

Elektronikas un datorzinātņu institūts

«Impulsi materiālos un ne tikai»



Dr.sc.comp. Modris Greitans

Direktors, vadošais pētnieks

modris_greitans@edi.lv

+371 67554 500

ELEKTRONIKAS UN
DATORZINĀTŅU
INSTITŪTS

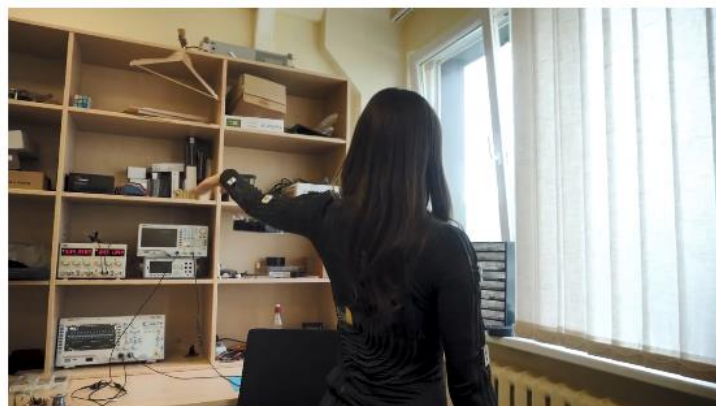


INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND
COMPUTER SCIENCE

Kas ir EDI?

Elektronikas un datorzinātņu insitūts ir valsts zinātniskais institūts, kas specializējas uz viеду, iegultu un kooperatīvu sistēmu attīstību, koncentrējoties uz 1) datu, attēlu apstrādi, mākslīgo intelektu, 2) iekārtu sadarbību, 3) implementāciju ierobežotos resursos un ar potenciāliem pielietojumiem:

Nākotnes
veselība



Viedā
mobilitāte



Industrija 4.0



Kosmos



+ drošība, ikdienas dzīve u.c.



60+ gadu vēsture

- Dibināts 1960. gadā Latvijas (PSR) Zinātņu akadēmijas sastāvā kā **Elektronikas un skaitļošanas tehnikas institūts** (ZA Augstceltnē)
- 1964.gadā pārcēlies uz Akadēmijas (tagad – Dzērbenes) ielu 14
- Kopš 1992.gada pārsaukts par **Elektronikas un datorzinātņu institūtu**



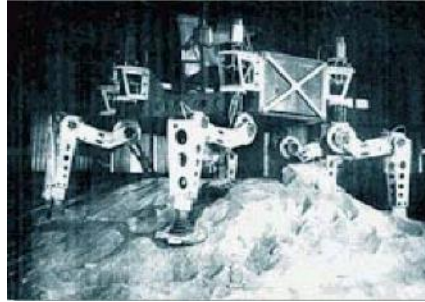
EDI vēsturiskie sasniegumi

1960s



Pirmais dators Latvijā

1970s



Pirmā mikroprocesoru sistēma Latvijā

1980s



Pirmais plašas teritorijas (PSRS) akadēmiskais datortīkls

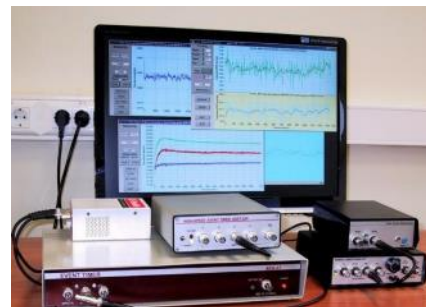
2020s



Pirmais pašbraucošais auto Latvijā

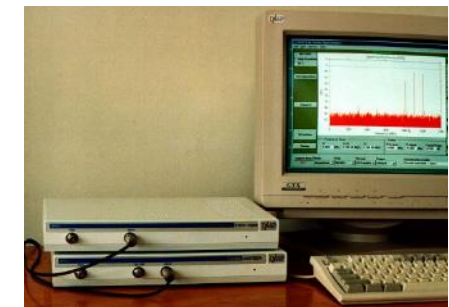
2010s

2000s



Pasaulē pirmais notikumu taimeris KHz satelītu lāzerlokācijai

1990s



Pasaulē pirmā sistēma GHz signālu ciparapstrādei



Daži citi fakti par EDI

Atrašanās vieta: Latvija, Rīga, «Teika», Dzērbenes iela 14

Personāls: 120+ (no kuriem 90+ pētnieki/inženieri)

Studentu skaits: 39 (19 - PhD, 9 - master, 11 - bachelor)

Ēku platība: 16 000 m²

Laboratoriju skaits: 4 (Diskrētā signālu apstrādes, Robotikas un mašīnuztveres, Kosmosa tehnoloģiju un Kiber-fizikālo sistēmu laboratorijas)

Sadarbība: 300+ zinātnes un industriālie partneri no visas pasaules

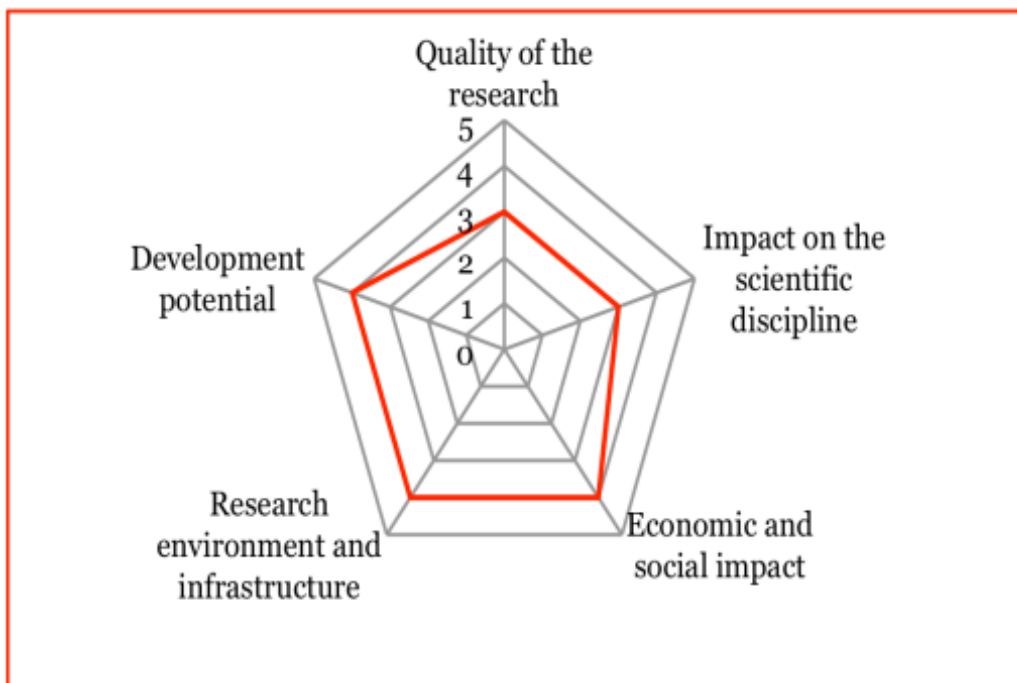
Aparatūra: Pieejama jaunākā zinātniskā aparatūra vairāku miljonu vērtībā



EDI starptautiskais izvērtējums

2013

Labākie Inženierzinātņu un datorzinātņu paneli



IZM Informatīvais ziņojums „Par zinātnes starptautisko izvērtējumu” 20.01.2014

Saskaņā ar ekspertu vērtējumu kopējais Latvijas pētniecības kvalitātes, vadības un infrastruktūras līmenis nav apmierinošs. Tajā pašā laikā savu darbību veic **atsevišķas augsta līmeņa zinātniskās institūcijas**, piemēram, **OSI, BMC, Elektronikas un datorzinātņu institūts, BIOR**. Tās var kalpot par centriem sistēmas **konsolidācijai** un nākotnes **investīcijām**.



...konsolidācijas aktivitātes...



Valsts pētījumu programma **SOPHIS**

“Kiberfizikālās sistēmas, ontoloģijas un biofotonika drošai & viedai pilsētai un sabiedrībai”

Koordinators: **Dr.sc.comp. Modris Greitans (EDI)**, 2014-2017, ~2,5 Meur

SOPHIS mērķis ir nākamās paaudzes IKT sistēmu attīstība, dodot ieguldījumu tautsaimniecības transformācijā uz produktiem ar augstu pievienoto vērtību, kā arī sabiedrībai nozīmīgu problēmu, kas saistītas ar digitālās plaisas mazināšanu, veselību, transportu, sabiedrības drošumu risināšanā.

Apvienotas starptautiski atzītas pētniecības grupas no

ELEKTRONIKAS UN
DATORZINĀTŅU
INSTITŪTS



INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND
COMPUTER SCIENCE

Signālu apstrādes laboratorija
Kiberfizikālo sistēmu laboratorija
Laika mērījumu laboratorija



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE
ANNO 1919

INSTITUTE OF ATOMIC
PHYSICS AND SPECTROSCOPY



DF | Faculty of
Computing



Latvijas Universitātes
Matemātikas un informātikas institūts



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

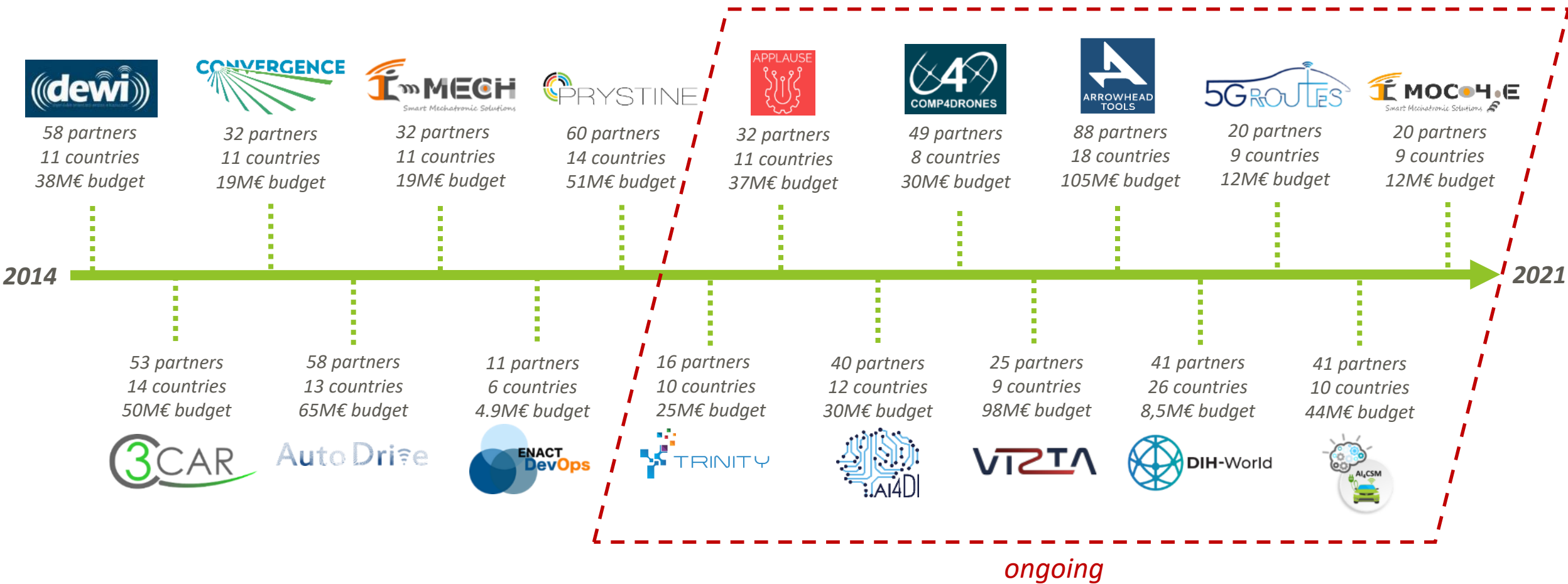
FACULTY OF
COMPUTER SCIENCE AND
INFORMATION TECHNOLOGY

RTU ETF
Telecommunications
institute

Water Research Laboratory
Faculty of Civil Engineering



EDI «Apvārsnis2020» projektos

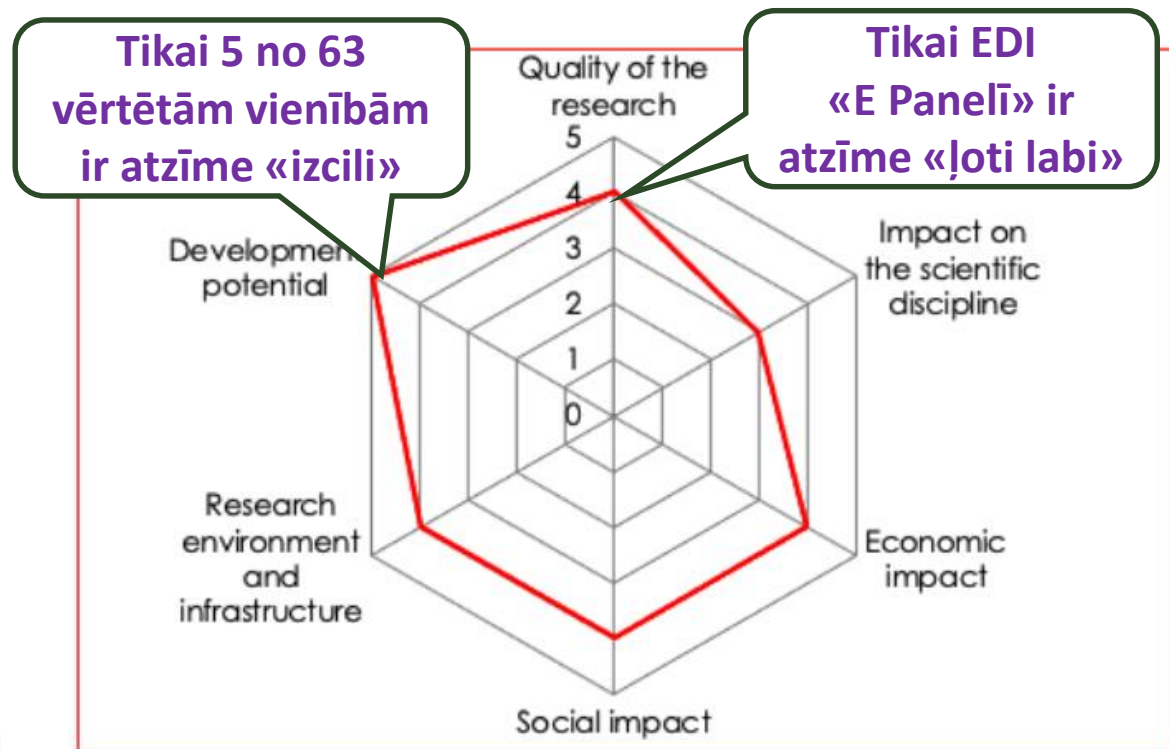


4x European Space Agency (ESA) projects: MPET, DynLand, [MireClass](#), [Dynland-2](#)

EDI starptautiskais izvērtējums

2019

Labākie Inženierzinātņu un tehnoloģiju panelī



- Spēja izcīnīt konkursa finansējumu (starptautisko un vietējo);
- Spēja piesaistīt studentus, doktorantus un ārvalstu pētniekus;
- Spēja iniciēt aktuālus pētījumu virzienus + infrastruktūras atbalsts;
- Tehnoloģiju komercializācijas projekti, + vaučeri, + līgumpētījumi, + licences, patenta pārdošana, +aktīvi strādājoši «spin-off» u.c.;
- Zinātniskais žurnāls «AUTOMATIC CONTROL AND COMPUTER SCIENCES» (SNIP 2019 0.725)
- Pētniecības personāla vidējais vecums ~ 40 gadi;



Dalība «Apvārsnis2020» projektos (Dati: maijs 2021)

← → ↻ 🔒 webgate.ec.europa.eu/dashboard/sense/ap

☰ H2020 Projects

🔍 🔄 📄 🗑️ Country Latvia Legal Entity Type 2 of 5 Thematic Priorit... Information and Co...

H2020 Participations

HES and REC LEIT-ICT

Top Participants

Legal Name	H2020 Participations	H2020 EU Contribution (EUR)	H2020 Total costs
Totals	24	€ 4.842.838	8,24 MEUR
ELEKTRONIKAS UN DATORZINATNU INSTITUTS	13	€ 1.998.299	3,86 MEUR
LATVIJAS UNIVERSITATE	4	€ 1.109.500	
LATVIJAS UNIVERSITATES MATEMATIKAS UN INFORMATIKAS INSTITUTS	3	€ 801.956	
RIGAS TEHNISKA UNIVERSITATE	2	€ 619.009	
LATVIJAS LAUKSAIMNIECIBAS UNIVERSITATE	1	€ 201.261	
DARZKOPIBAS INSTITUTS	1	€ 112.813	



Dalība «Apvārsnis2020» projektos (Dati: maijs 2021)

Country: Latvia | Thematic Priorit...: LEIT-ICT - Informatio...

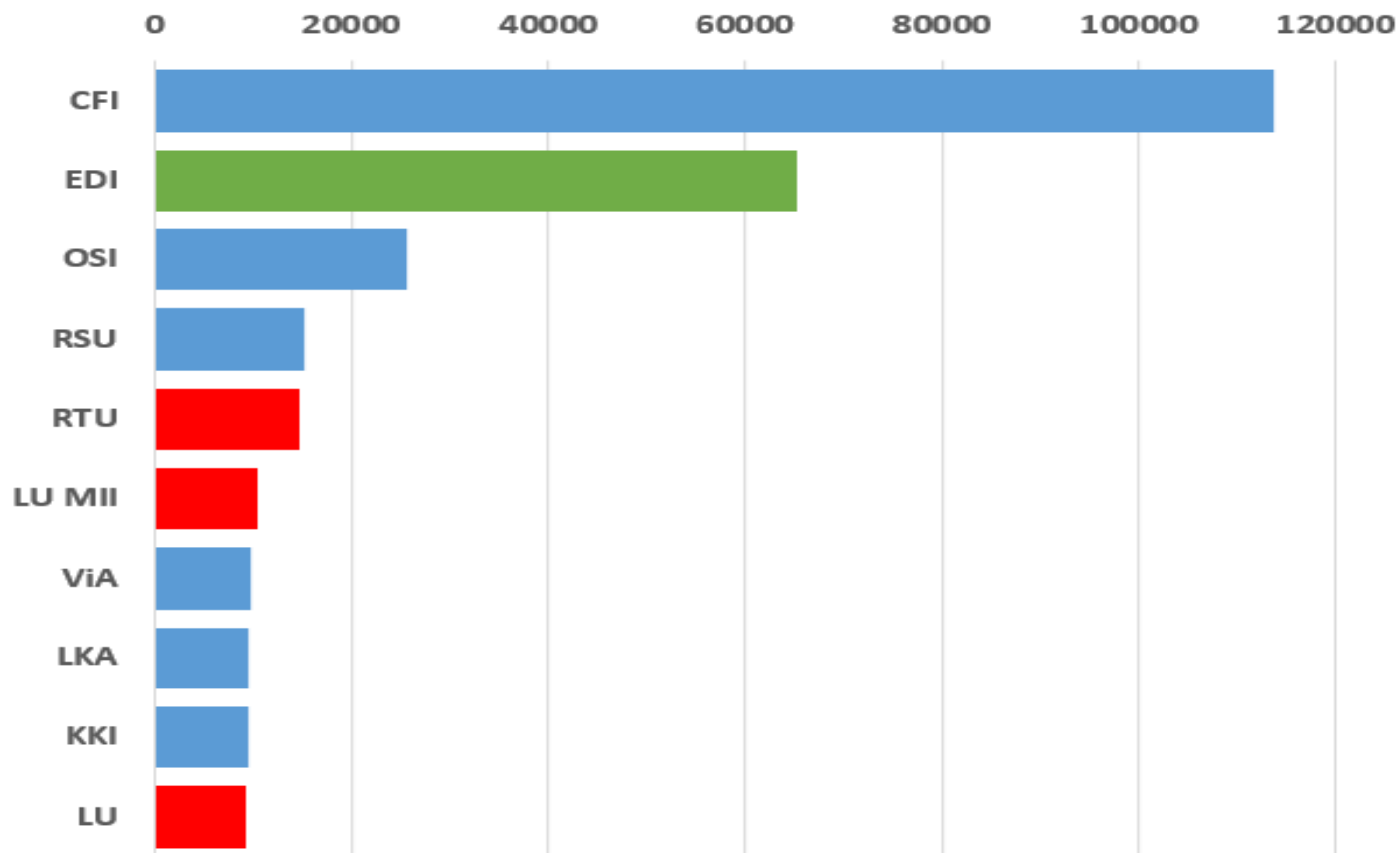
H2020 Participations

Top Participants

Legal Name	H2020 Participations
Totals	61
ELEKTRONIKAS UN DATORZINATNU INSTITUTS	13
TILDE SIA	10
LATVIJAS UNIVERSITATE	4
LATVIJAS UNIVERSITATES MATEMATIKAS UN INFORMATIKAS INSTITUTS	3
LATVIJAS MOBILAIS TELEFONS SIA	3



Apvārsnis2020 projektu (Dati: oktobris 2020) kopējais finansējums uz vienu zinātniskā personāla PLE (Dati: 2019) (TOP 10)



Starptautiskie un Latvijas (industrijas) sadarbības partneri

International Partners:

- infineon, SIEMENS, PHILIPS, VOLVO, NXP, DAIMLER, ON Semiconductor, TTTech, THALES, ST, virtual vehicle, AVL, AIRBUS DEFENCE & SPACE, Indra, nexperia, Holst Centre, ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, ROVIMÁTICA, ITRI, OKMETIC, DISTRICT, ITC, ADVANCED AUTOMOTIVE ANTENNAS, reden, ingenia, ceai, ENEA, Fraunhofer, STOUX, CCM, Technolution, tecnalía, iMinds, IK4, EPFL, ETH zürich, muRata, IXION, IFEVS, acciona, IMA, open engineering, Johnson & Johnson, Vision Care, Centria, cea, gmV, METU, SOLBIAN, GEFRAN, HUTCHINSON, TENNECO, OFFIS, TU Graz, ADEVICE, TU/e, Valeo, Consiglio Nazionale delle Ricerche, QinetiQ, MetisBaltic, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, UCC, LANGE, ingenia, ceai, ENEA, Fraunhofer, STOUX, CCM, Technolution, tecnalía, iMinds, IK4, EPFL, ETH zürich, muRata, IXION, IFEVS, acciona, IMA, open engineering, Johnson & Johnson, Vision Care, Centria, cea, gmV, METU, SOLBIAN, GEFRAN, HUTCHINSON, TENNECO, OFFIS, TU Graz, ADEVICE, TU/e, Valeo, Consiglio Nazionale delle Ricerche, QinetiQ, MetisBaltic, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, UCC, LANGE, ingenia, ceai.

Latvian Partners (highlighted in red dashed box):

- Imt, Primekss, EuroLCDS, mondote, Mádara, maksikoms, cube systems, Barboleta, BRAMEX, pest baltic, VIZULO, PILOT, DATI GROUP, Baltic3D.eu, evenjtech, RoadFuse, ABB, SQUARE AUDIO, squalio, HACKMOTION.

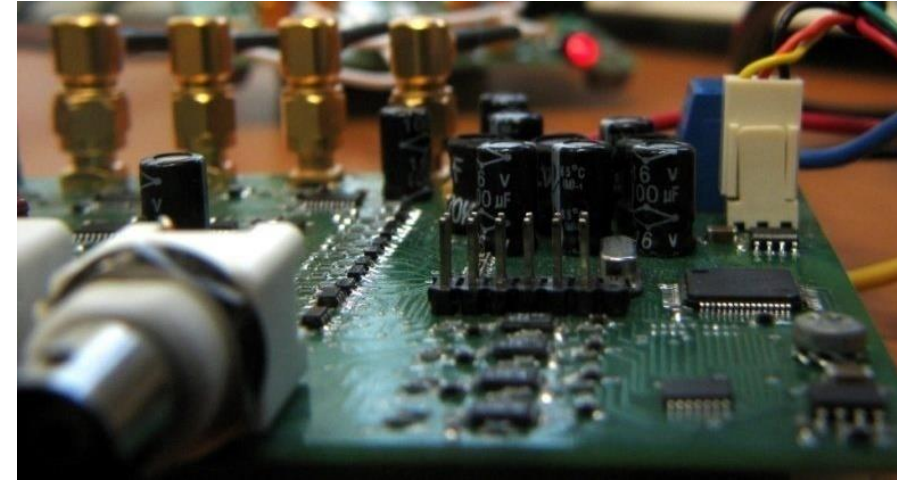
EDI darbības «impulsi»

- Paļauties uz savam spējām, nevis uz «citu» labvēlību
- Iekšēji būt paškritiskiem, bet ārēji - sevis cienošiem
- Uzticēties un dot iespēju sevi parādīt jaunajiem
- Saskatīt nevis šodienas vērtību, bet ilgtermiņa
- Svarīgs ir rezultāts, nevis process
- Labāk ir nepilnīgs, bet strādājošs rezultāts, nekā iespējams labāks, bet tikai it kā strādājošs
- Ko nevar nopirkt par naudu, to var panākt ar lielu darbu



EDI Laboratorijas un pētniecības virzieni

1. Diskrētās signālu apstrādes laboratorija (DSP)
2. Kosmosa tehnoloģiju laboratorija (Space)
3. Robotikas un mašīnuztveres laboratorija (Robot)
4. Kiberfizikālo sistēmu laboratorija (CPS)



- Īpaši precīza notikumu laika mērīšana (Space)
- Tālizpēte un kosmosa datu apstrāde (Space, DSP)
- Robotika un mašīnuztvere (Robot, CPS)
- Signālu apstrāde un iegultais intelekts (DSP, Robot)
- Viedie sensori un lietu internets (CPS, DSP)





Mākslīgā intelekta lietojums multi-statiska ultraplatajoslas impulsa radara signālu analīzē materiālu un struktūras nesagraujošai noteikšanai

AI-based analysis of multi-static UWB-IR radar signals for non-destructive estimation of materials and structure

MIRSA

Projekta zinātniskais vadītājs: Dr.sc.comp. Modris Greitāns

Project goal:

Development of a knowledge basis for the processing of multi-static ultra-wideband impulse radio radar signals using a deep learning approach in combination with conventional signal pre/post-processing methods.

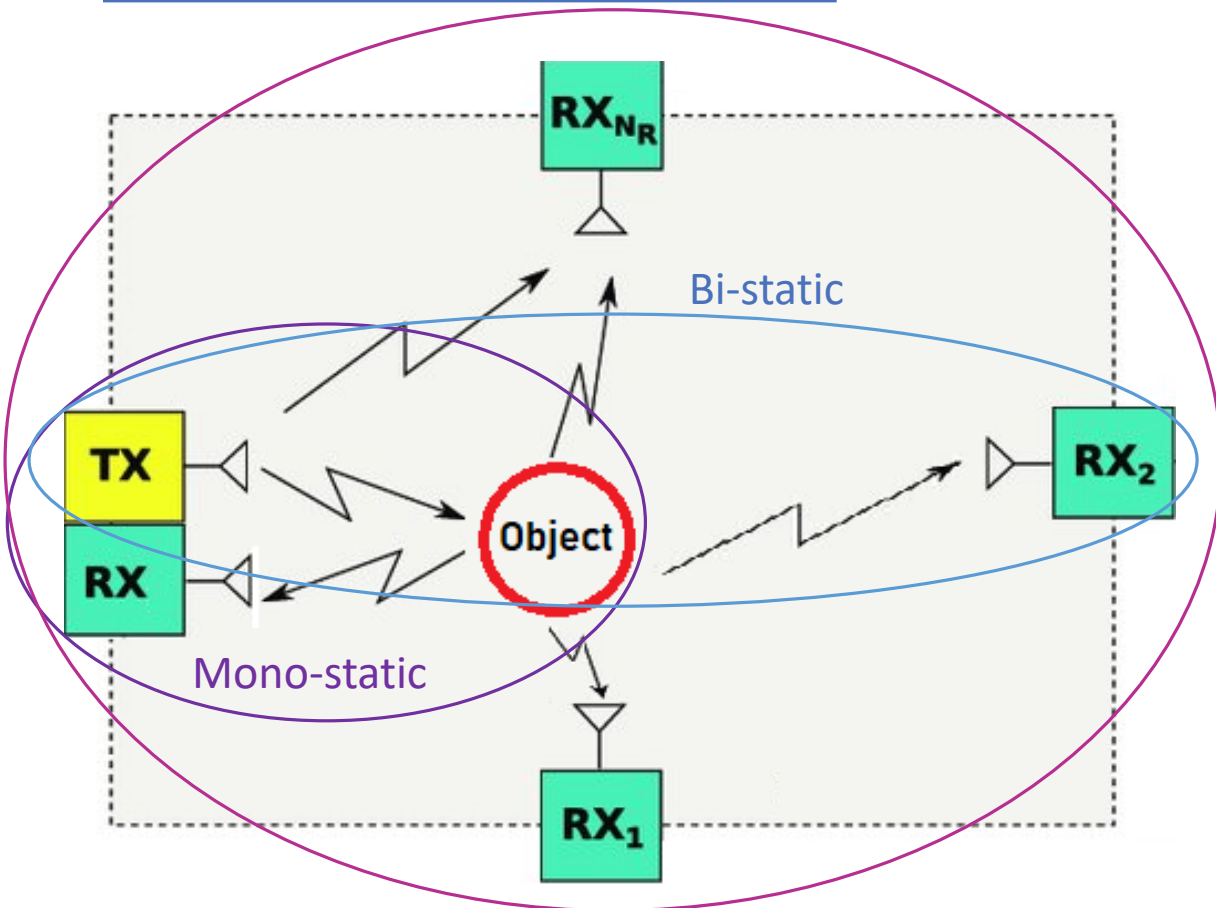


Kas ir MS-UWB-IR radars

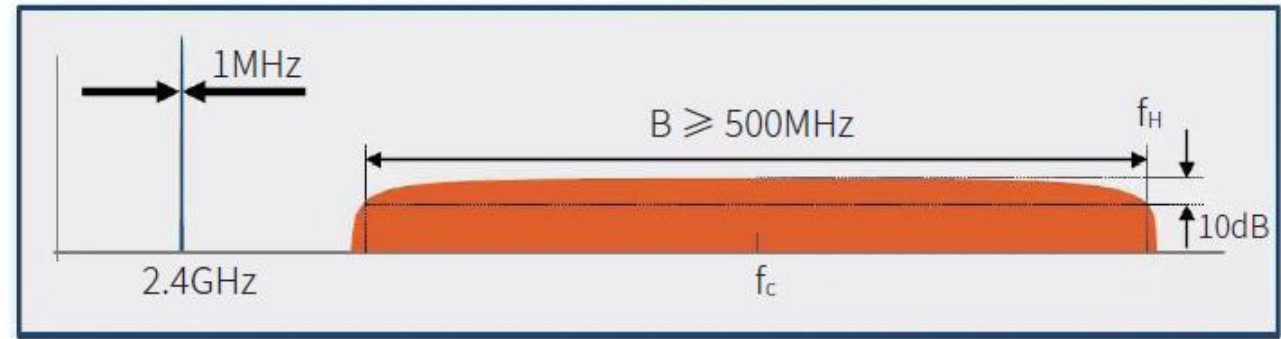
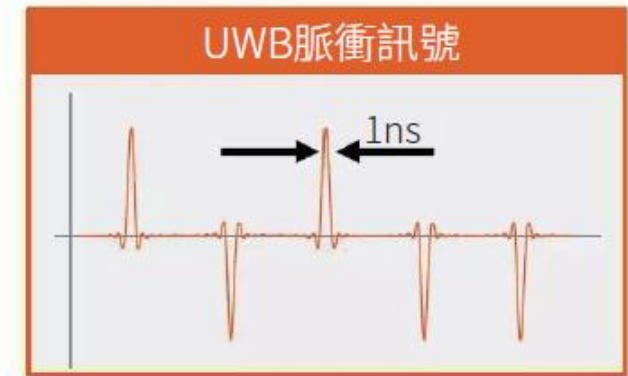
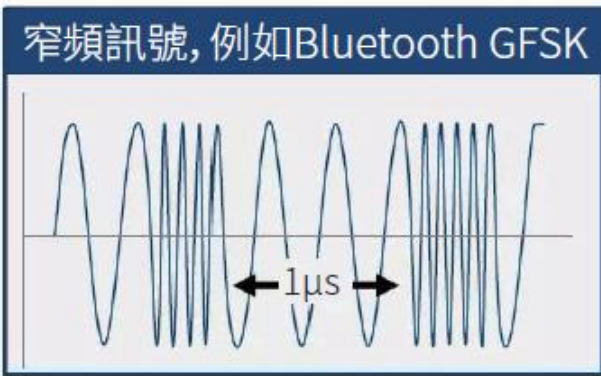
WHAT?

MIRSA

Multi-static



UWB-IR



Fundamentālais pētījums

Mērķi (*Objectives*):

- **(O1)** Adjustment of **MS-UWB-IR radar signal model** that describe passing of the UWB-IR signals through a layered media of various configurations and can be used to **generate correct synthetic ANN training data sets**.
- **(O2)** Development of **signal pre-processing methods** based on multidimensional **representations** (time-frequency, time-scale etc.), signal decomposition, combining of reflected from and propagated through media signals to ensure improved accuracy and/or reduced complexity of the ANN-based analysis.
- **(O3)** Research for **favorable ANN architecture** (RNN/LSTM, PCNN, transformers, CNN, etc.) and its **enhancement** for optimal (precision, complexity, etc.) estimation of object material and structure.
- **(O4)** Adjusting of existing mono-static MS-UWB-IR radar **to bi-static and multi-static systems** and **validation of developed concept** by experimental results.



Komanda:

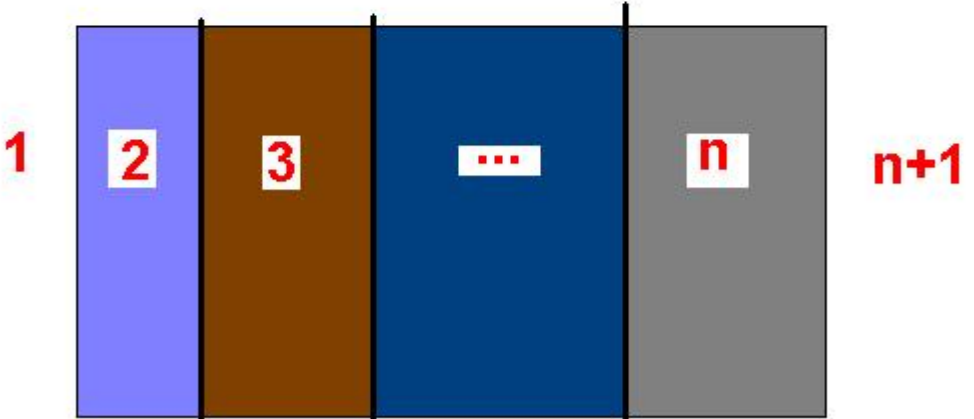
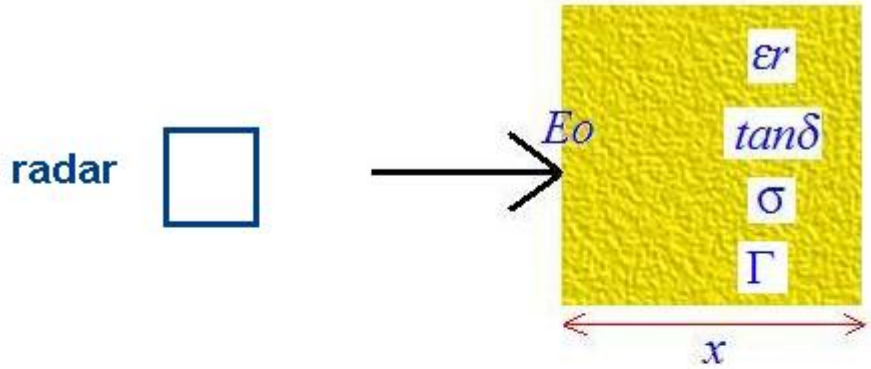
- Modris Greitāns – zinātniskais vadītājs,
- Vladimirs Aristovs – matemātiskie modeļi
- Gatis Gaigals – radara uzlabojumi un simulētas datukopas
- Romāns Maļiks – datu apstrāde
- Eduards Lobanovs – elektronika
- Kristaps Māris Greitāns – mākslīgie neironu tīkli
- Dans Laksis – signālu prezentācijas un priekšapstrāde
- Haralds Egliens – programmēšana, datu ieguve
- *Rolands Šāvelis – signālu priekšapstrāde*
- *Jānis Simanovičs – elektronika, datu ieguve*



UWB impulsi materiālos - teorija

Objekts var sastāvēt no vairākiem slāņiem, kuriem katram ir savas īpašības/parametri.

ϵ_r - Materiāla relatīvā dielektriskā konstante
 $\tan \delta$ - Materiāla zudumu tangenss



Matemātiskais modelis

balstās uz EM viļņu izplatīšanās vienādojumu z-ass virzienā

$$E(z, \omega) = E_0 e^{-\gamma z}$$

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$$

α - is the attenuation constant

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{w \sqrt{2} \sqrt{\epsilon_r (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)}}{c}$$

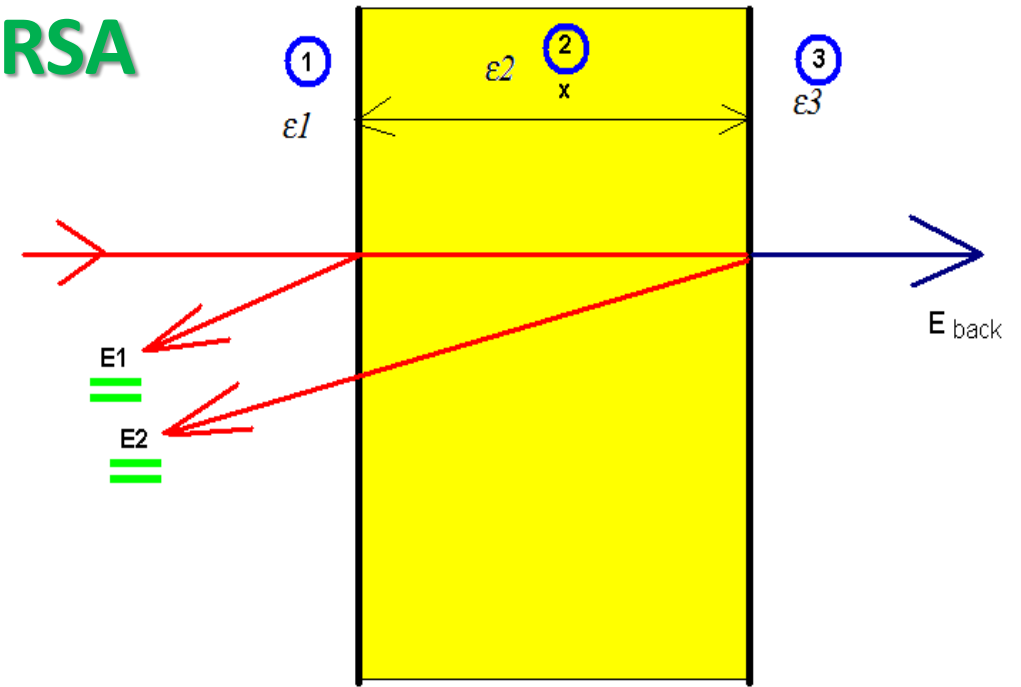
β - is the phase constant

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{w \sqrt{2} \sqrt{\epsilon_r (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1)}}{c}$$



Homogēns objekts

MIRSA



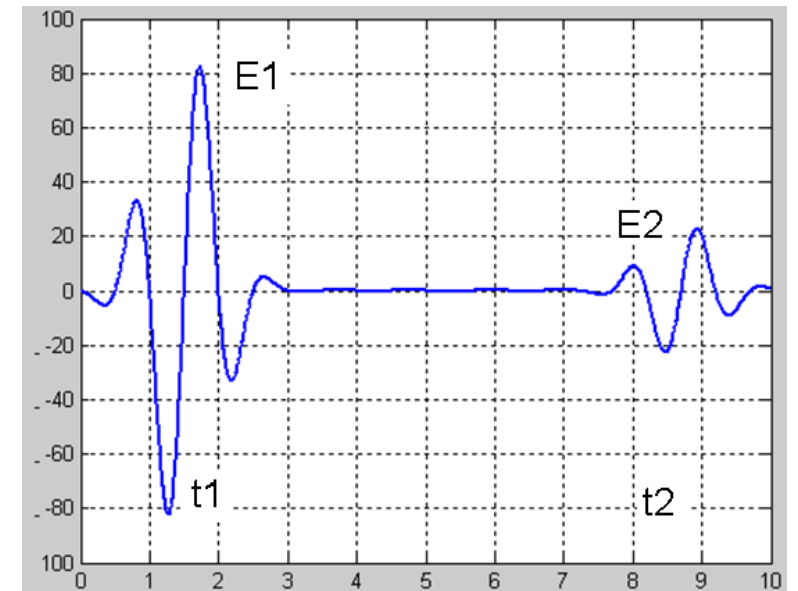
Kopumā aprēķinos ir jāizmanto trīs slāņi (jeb divas pārejas), kur pirmais un trešais slānis tiek pieņemts kā gaiss ar zināmiem parametriem.

$$\epsilon_1 = \epsilon_3 = 1$$

E1 and E2 are equivalent to pulse amplitudes from respective layer boundaries. These amplitudes are measured in the signal received by the receiver.

Varam ieviest parametrus:

1. $K = E1/E2$
2. $\Delta = t2 - t1$



Pēc nelieliem pārveidojumiem (skat. **V. Aristov, M. Greitans**, Determination of the Electrophysical Parameters of Dielectric Objects via the Processing of Ultra-Wideband Pulse Radar Signals // *Automatic Control and Computer Sciences*, 2021, Vol. 55, No. 6, pp. 577–587)

MIRSA

varam iegūt mērķa funkciju $F_o = \sum_{i=1}^2 W_i Q_i$, ko nepieciešams minimizēt

$$Q1 = K - \frac{1}{4} \frac{\left(\frac{1}{2x_0} - 0.151 \right) (1 + 2\sqrt{\epsilon r} + \epsilon r) e^{\frac{wx\sqrt{2}\sqrt{\epsilon(\sqrt{1+\tan\delta^2}-1)}}{c}} \left(x_0 + \frac{x}{\sqrt{\epsilon r}} \right)}{\left(\frac{1}{2x_0 + 2x} - 0.151 \right) (x_0 + x)}$$

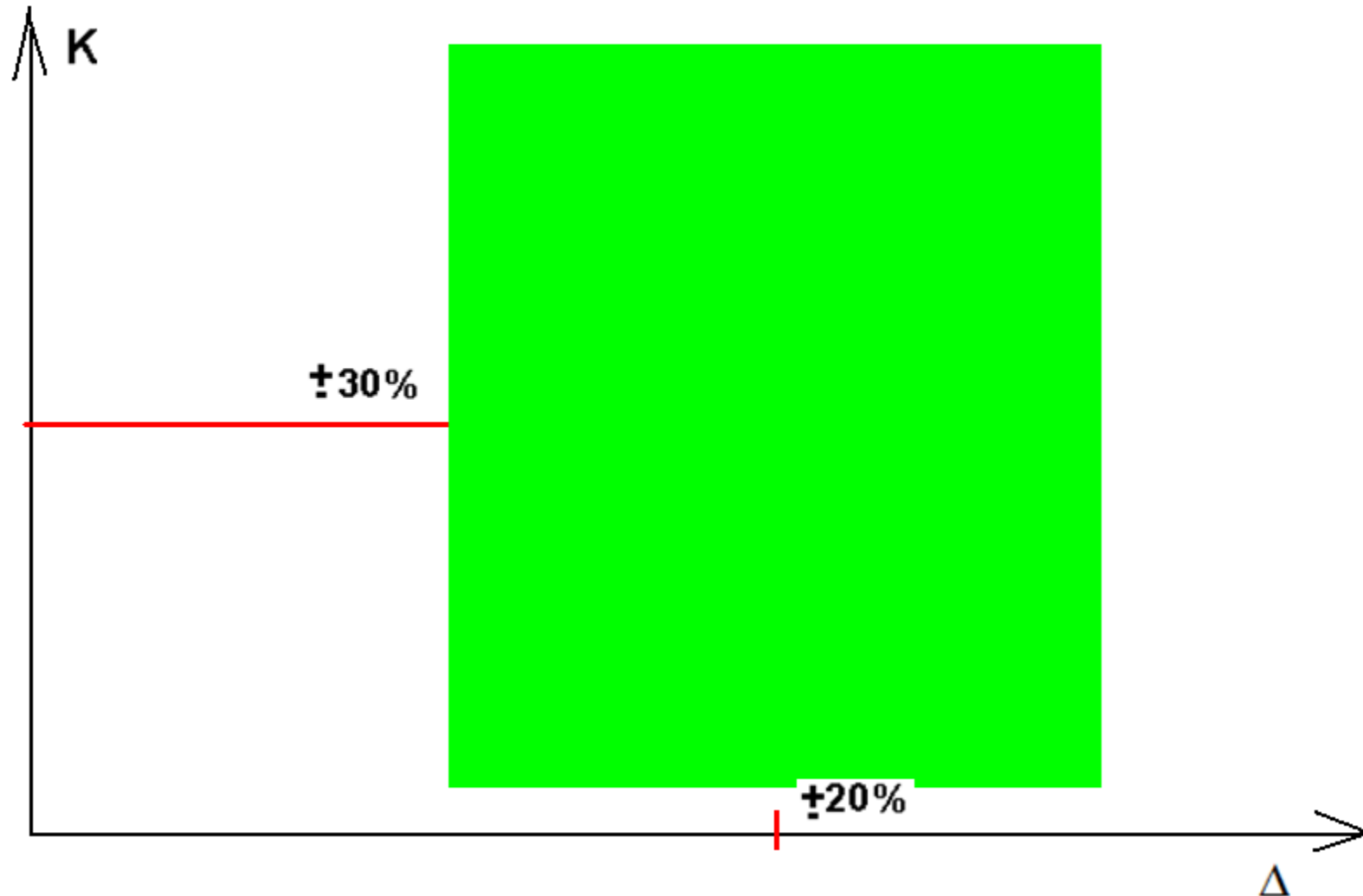
$$Q2 = \frac{1}{2} \Delta - \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2} x \sqrt{\epsilon(\sqrt{1+\tan\delta^2} + 1)}}{c}$$

Ja varam minimizēt $F_o = 0$, tad varam iegūt precīzas dielektriskās konstantes un zudumu tangensa vērtības!

Praktiski to iespējams risināt tikai ar skaitliskām metodēm!



Atrisinājumu stabilitātes problēma



Piemērs, gāzbetona bloks

MIRSA

$$U_1 = 0.0824\text{V}, U_2 = 0.0335\text{V}$$

$$\Delta_2 = 1.83\text{ns}, U_b = 0.392\text{V}$$

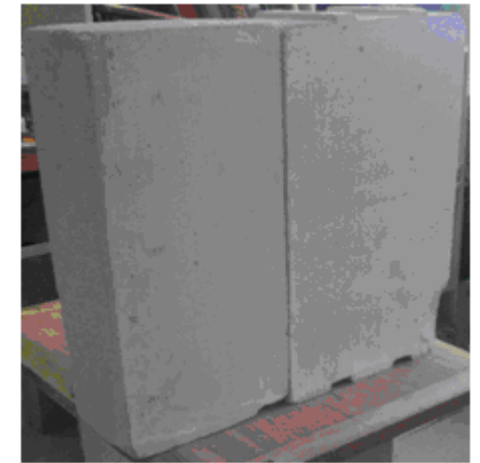
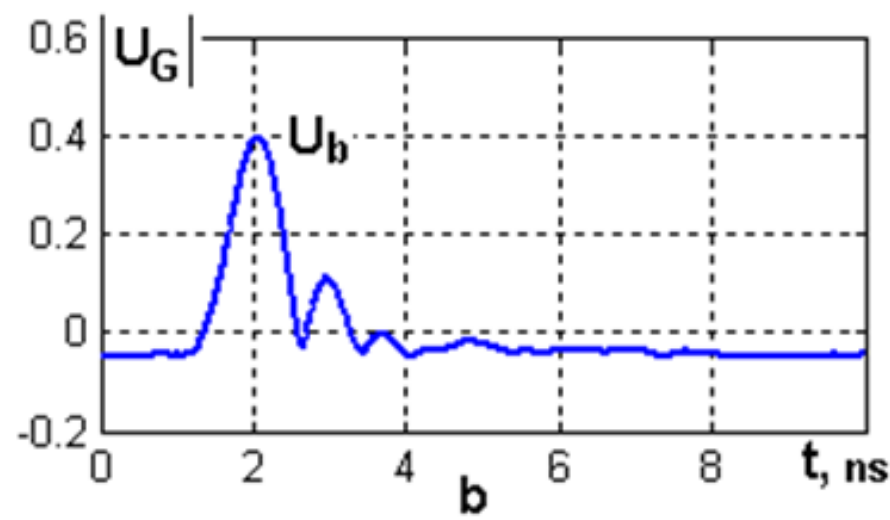
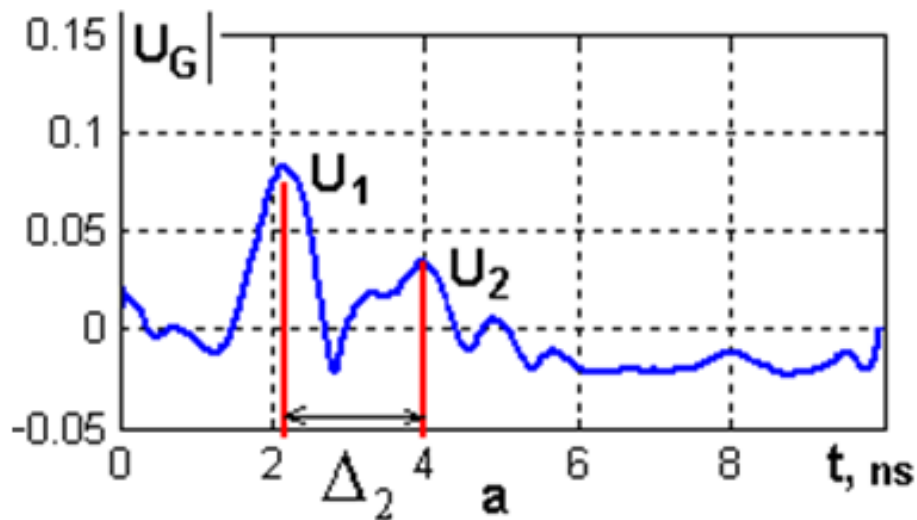
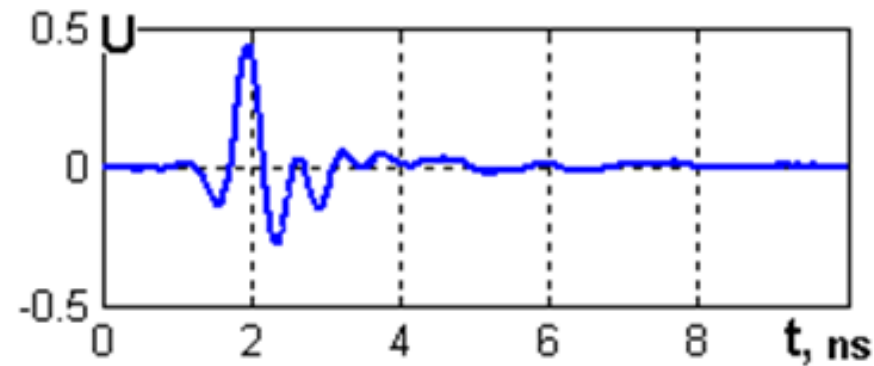
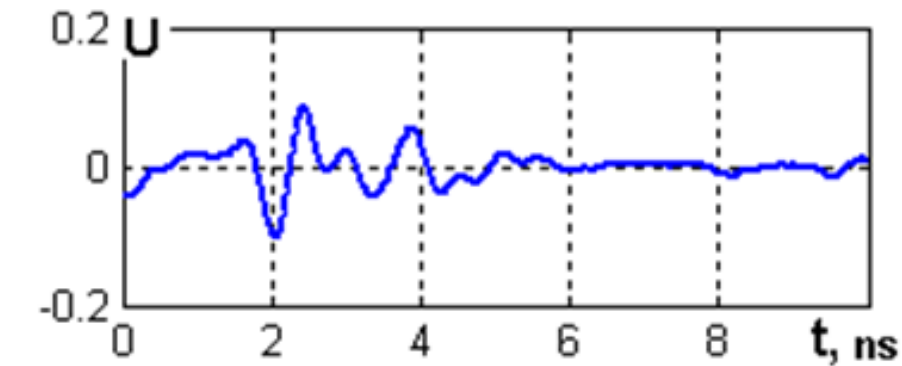
$$K_2 = 2.46 \quad K_b = 0.21$$

$$\varepsilon_2 = 1.88$$

$$\text{tg } \delta_2 = 0.05$$

$$\Gamma = 7.5\text{dB/m}$$

$$K_{bc} = 0.221 \quad 5\%$$



U_G Hilberta pārveidojums



Piemērs, betona bloks

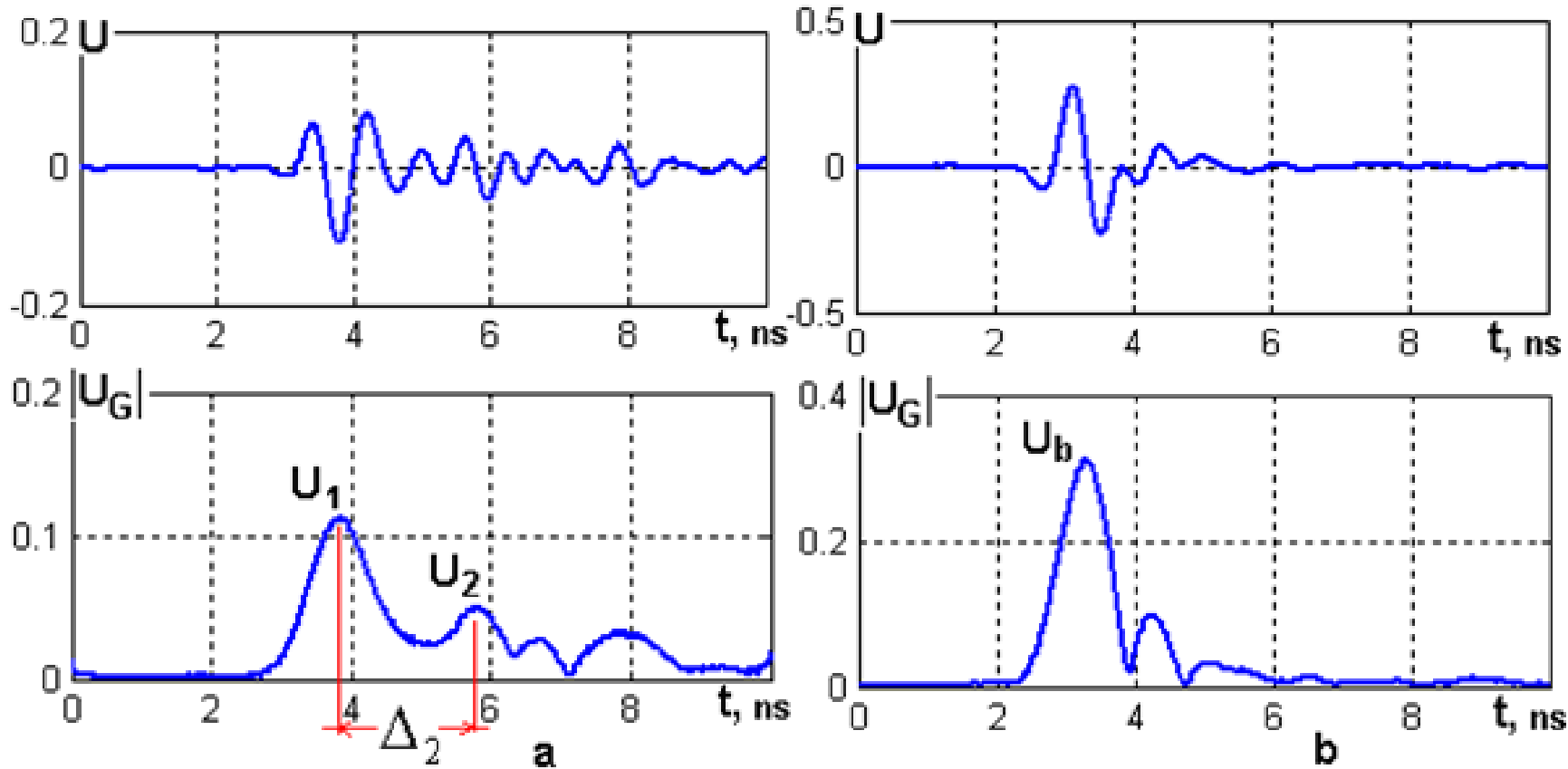
MIRSA $U_1 = 0.1125\text{V}$, $U_2 = 0.049\text{V}$
 $\Delta_2 = 1.9\text{ ns}$, $U_b = 0.315\text{V}$,
 $K_2 = 2.3$, $K_b = 0.357$.

$$\varepsilon_2 = 2.399$$

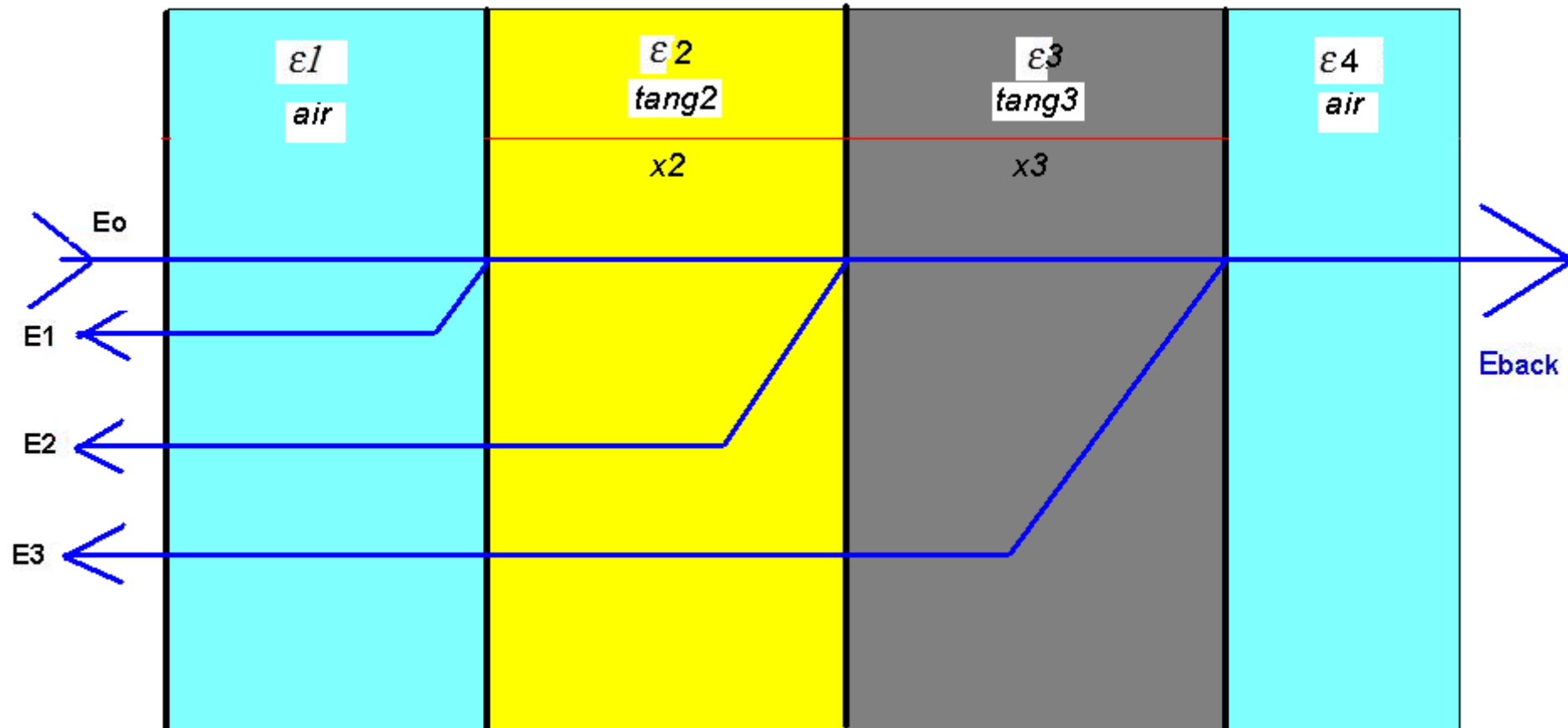
$$\text{tg } \delta_2 = 0.032.$$

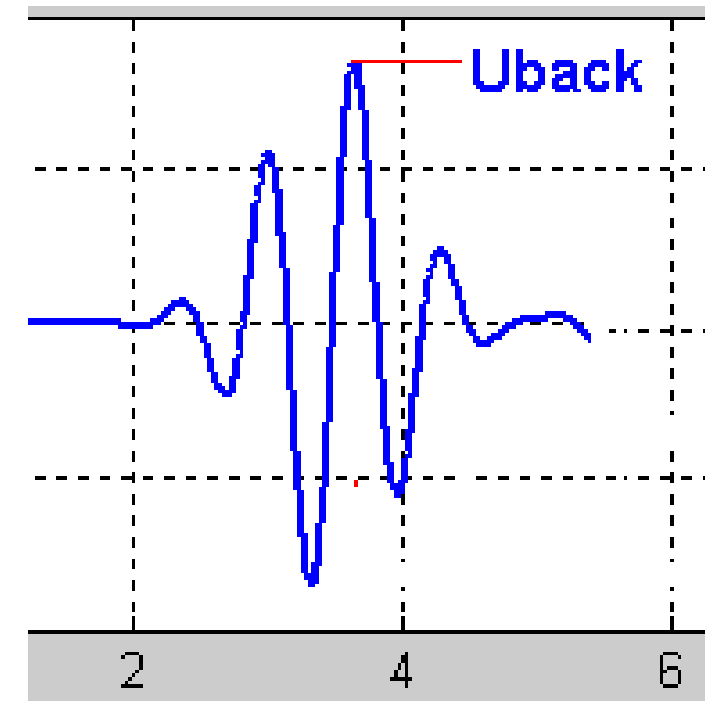
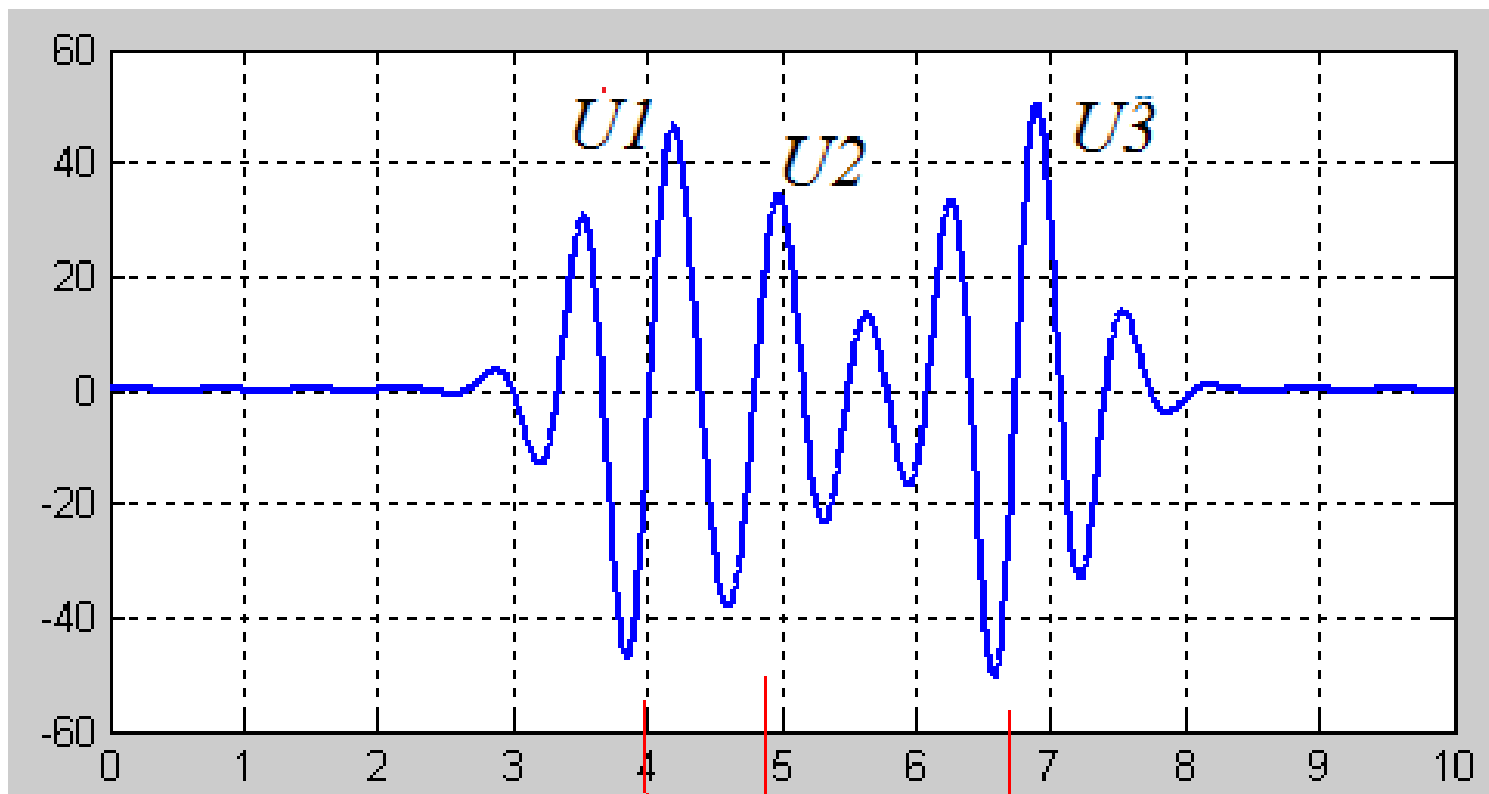
$$\Gamma = 3.8\text{ dB/m}.$$

$$K_{bc} = 0.35 \quad 6\%$$



Divslāņains objekts





$$\Delta_{12} = \Delta_2$$

$$\Delta_{13} = \Delta_3$$

$$\Delta_{23} = \Delta_3$$



Atstarošanās no pārejām

$$E1 = \frac{E_0 |\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}|}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

$$E2 = \frac{E_0 (\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2} - |\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}|)^2 (e^{-\alpha_2 x_2})^2 |\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_3}|}{(\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2})^2 (\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_3})}$$

$$E3 = \frac{E_0 (\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2} - |\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}|)^2 (e^{-\alpha_2 x_2})^2 (\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_3})}{(\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2})^2 (\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_3})^2} \dots$$

$$\frac{|\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_3}|^2 (e^{-\alpha_3 x_3})^2 |\sqrt{\epsilon_3} - \sqrt{\epsilon_4}|}{(\sqrt{\epsilon_3} + \sqrt{\epsilon_4})}$$



$$E_{back} = \frac{E_0 \left(\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2} - \left| \sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2} \right| \right) e^{-\alpha_2 x_2} \left(\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_3} \right)}{\left(\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2} \right) \left(\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_3} \right)} \dots$$

$$\frac{- \left| \sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_3} \right| e^{-\alpha_3 x_3} \left(\sqrt{\epsilon_3} + \sqrt{\epsilon_4} - \left| \sqrt{\epsilon_3} - \sqrt{\epsilon_4} \right| \right)}{\left(\sqrt{\epsilon_3} + \sqrt{\epsilon_4} \right)}$$

where

$$\alpha_2 = \frac{w}{c} \cdot \left(\frac{\epsilon_2}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta_2} - 1 \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha_3 = \frac{w}{c} \cdot \left(\frac{\epsilon_3}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta_3} - 1 \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$



Mērķa funkcija

$$\Phi = \sum_{i=1}^4 W_i Q_i, \quad \Phi \rightarrow 0,$$

where W - weighting factors

$$Q1 = K2 - \left(e^{2 \alpha^2 x^2} (\sqrt{\epsilon 1} \sqrt{\epsilon 2} + \sqrt{\epsilon 1} \sqrt{\epsilon 3} + \epsilon 2 + \sqrt{\epsilon 2} \sqrt{\epsilon 3}) \left| \frac{\sqrt{\epsilon 1} - \sqrt{\epsilon 2}}{\sqrt{\epsilon 2} - \sqrt{\epsilon 3}} \right| \left(\frac{1}{2 x_0} - 0.151 \right) \left(x_0 + \frac{x_2}{\sqrt{\epsilon 2}} \right) \right) / \left((\epsilon 1 + 2 \sqrt{\epsilon 1} \sqrt{\epsilon 2} - 2 \sqrt{\epsilon 1} |\sqrt{\epsilon 1} - \sqrt{\epsilon 2}| + \epsilon 2 - 2 \sqrt{\epsilon 2} |\sqrt{\epsilon 1} - \sqrt{\epsilon 2}| + |\sqrt{\epsilon 1} - \sqrt{\epsilon 2}|^2) \left(\frac{1}{2 x_0 + 2 x_2} - 0.151 \right) (x_0 + x_2) \right).$$



$$\begin{aligned}
Q_2 = & K_3 - \left(\left(\sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_3^{3/2} + \varepsilon_2^{3/2} \sqrt{\varepsilon_3} + \varepsilon_2^{3/2} \sqrt{\varepsilon_4} + 2 \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \sqrt{\varepsilon_2} \varepsilon_3^{3/2} \right. \right. \\
& + 2 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} \sqrt{\varepsilon_4} + \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_3} + \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_4} + 2 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} \varepsilon_3 \\
& \left. \left. + \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_3 \sqrt{\varepsilon_4} + 2 \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_3} \sqrt{\varepsilon_4} + \sqrt{\varepsilon_2} \varepsilon_3 \sqrt{\varepsilon_4} \right) \right) \\
& \left| \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_4}} \right| e^{2 \alpha_2 x_2 + 2 \alpha_3 x_3} \left(\frac{1}{2 x_0 + 2 x_2} - 0.151 \right) \left(x_0 + x_2 + \frac{x_3}{\sqrt{\varepsilon_3}} \right) \Bigg/ \left(\left(\varepsilon_2^2 \right. \right. \\
& - 4 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} \left| \sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3} \right| - 4 \sqrt{\varepsilon_1} \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right| \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} \\
& + 2 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} \left| \sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3} \right|^2 + 2 \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right|^2 \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} - 2 \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_3} \left| \sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3} \right| \\
& - 2 \sqrt{\varepsilon_2} \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right| \varepsilon_3 - 4 \varepsilon_2 \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right| \sqrt{\varepsilon_3} + 2 \varepsilon_1 \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} - 4 \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_2 \left| \sqrt{\varepsilon_2} \right. \\
& \left. - \sqrt{\varepsilon_3} \right| + 2 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} \varepsilon_3 - 2 \sqrt{\varepsilon_1} \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right| \varepsilon_3 - 2 \varepsilon_1 \left| \sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3} \right| \sqrt{\varepsilon_2} \\
& \left. - 2 \varepsilon_1 \sqrt{\varepsilon_3} \left| \sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3} \right| - 2 \sqrt{\varepsilon_1} \left| \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2} \right| \varepsilon_2 + 4 \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_3} + \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 \bullet \bullet \bullet \right)
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& + \varepsilon_1 \varepsilon_3 + 2 \sqrt{\varepsilon_1} \varepsilon_2^{3/2} + 2 \varepsilon_2^{3/2} \sqrt{\varepsilon_3} - 2 \varepsilon_2^{3/2} |\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3}| - 2 \varepsilon_2^{3/2} |\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}| \cdot \\
& + \varepsilon_2 |\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3}|^2 + |\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}|^2 \varepsilon_2 + |\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}|^2 \varepsilon_3 + \varepsilon_1 |\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3}|^2 \\
& + 4 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_2} |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})| + 4 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\varepsilon_3} |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})(\sqrt{\varepsilon_2} \\
& - \sqrt{\varepsilon_3})| + 4 \sqrt{\varepsilon_2} \sqrt{\varepsilon_3} |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})| - 2 \sqrt{\varepsilon_2} |(\sqrt{\varepsilon_2} \\
& - \sqrt{\varepsilon_3})^2 (\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})| - 2 \sqrt{\varepsilon_2} |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})^2 (\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})| \\
& - 2 \sqrt{\varepsilon_3} |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})^2 (\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})| - 2 \sqrt{\varepsilon_1} |(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})^2 (\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})| \\
& + 4 \varepsilon_2 |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})| + |(\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2})^2 (\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_3})^2|) \\
& \left(\frac{1}{2x_0 + 2x_2 + 2x_3} - 0.151 \right) (x_0 + x_2 + x_3) \Big).
\end{aligned}$$



$$Q3 = \Delta2 - \frac{x2 \sqrt{\epsilon2 (\sqrt{1 + \tan\delta2^2} + 1)} \sqrt{2}}{c}$$

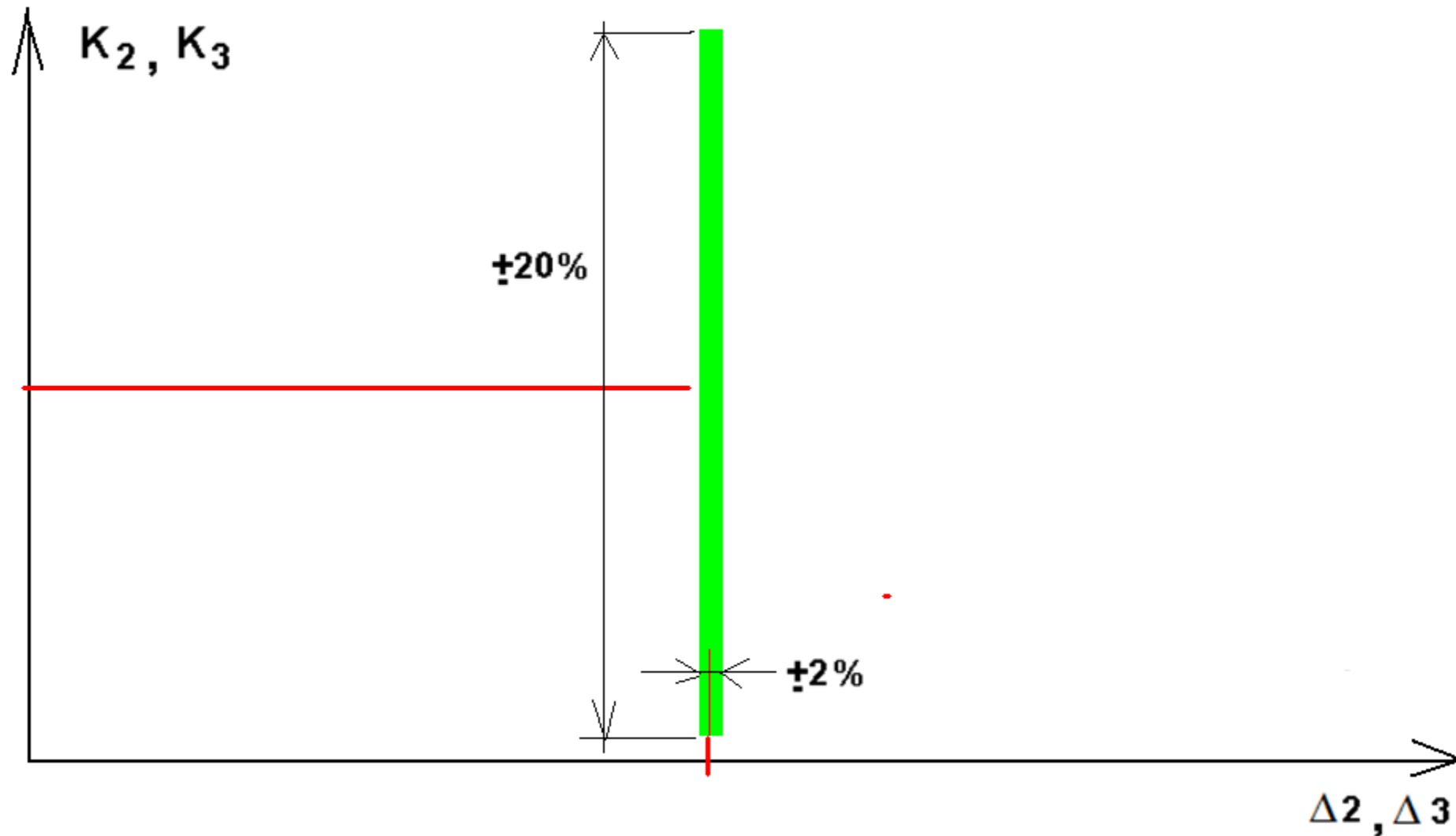
$$Q4 = \Delta3 - \frac{x3 \sqrt{\epsilon3 (\sqrt{1 + \tan\delta3^2} + 1)} \sqrt{2}}{c}$$

+ krītošā un caurejošā impulsu amplitūdu attiecība

$$K_{back} = \left(\left| \sqrt{\epsilon1} - \sqrt{\epsilon2} \right| (\sqrt{\epsilon2} + \sqrt{\epsilon3}) (\sqrt{\epsilon3} + \sqrt{\epsilon4}) \right) / \left((\sqrt{\epsilon1} + \sqrt{\epsilon2} - \left| \sqrt{\epsilon1} - \sqrt{\epsilon2} \right|) e^{-\alpha2 x2} (\sqrt{\epsilon2} + \sqrt{\epsilon3} - \left| \sqrt{\epsilon2} - \sqrt{\epsilon3} \right|) e^{-\alpha3 x3} (\sqrt{\epsilon3} + \sqrt{\epsilon4} - \left| \sqrt{\epsilon3} - \sqrt{\epsilon4} \right|) \right)$$



Atrisinājumu stabilitātes problēma



- Homogēnam vienam slānim ir iespējams skaitliski (bet ne analītiski) izrēķināt dielektrisko konstanti un zudumus/izkliedi, piedevām nav nepieciešams zināt radara impulsa formu.
- Daudzslāņu objektam «dabiskam intelektam» faktiski ir neiespējami izrēķināt parametrus, taču teorētiski informācija atstarotā un caurejošā signālā ir.
- Ir pamats risinājumus izmantojot «mākslīgo intelektu», ka ir iespējams iegūt pietiekama daudzuma un kvalitātes apmācības datus.



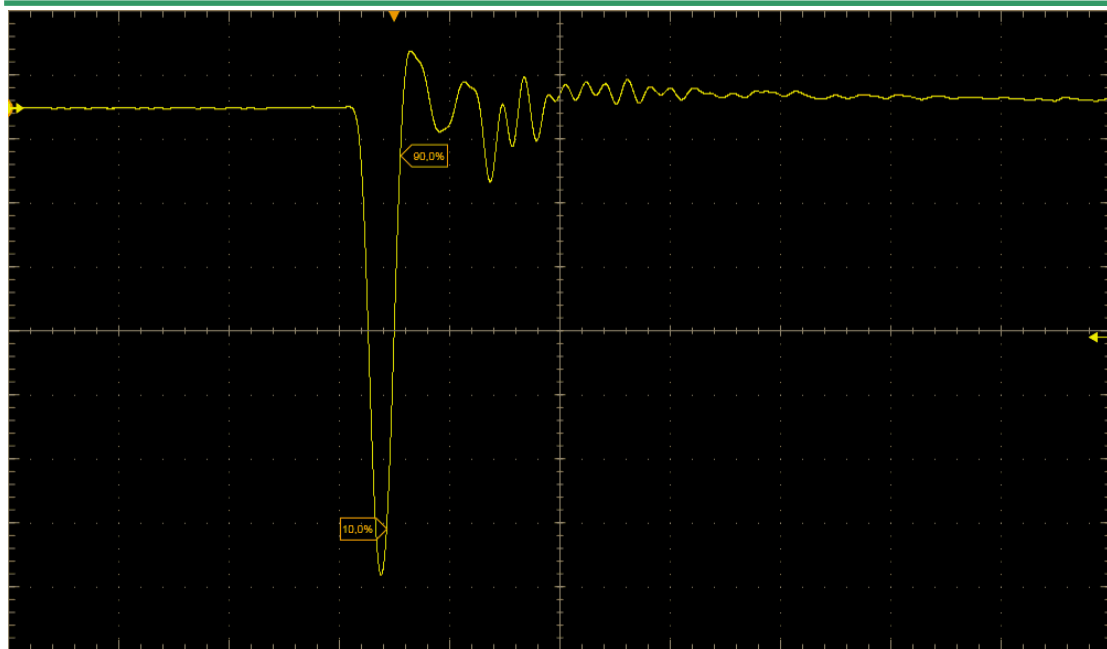
Simulāciju modelis

Mērķi:

- Matemātisko modeļu pārbaudei
- Neironu tīklu apmācībai (atbilstība reālai situācijai)

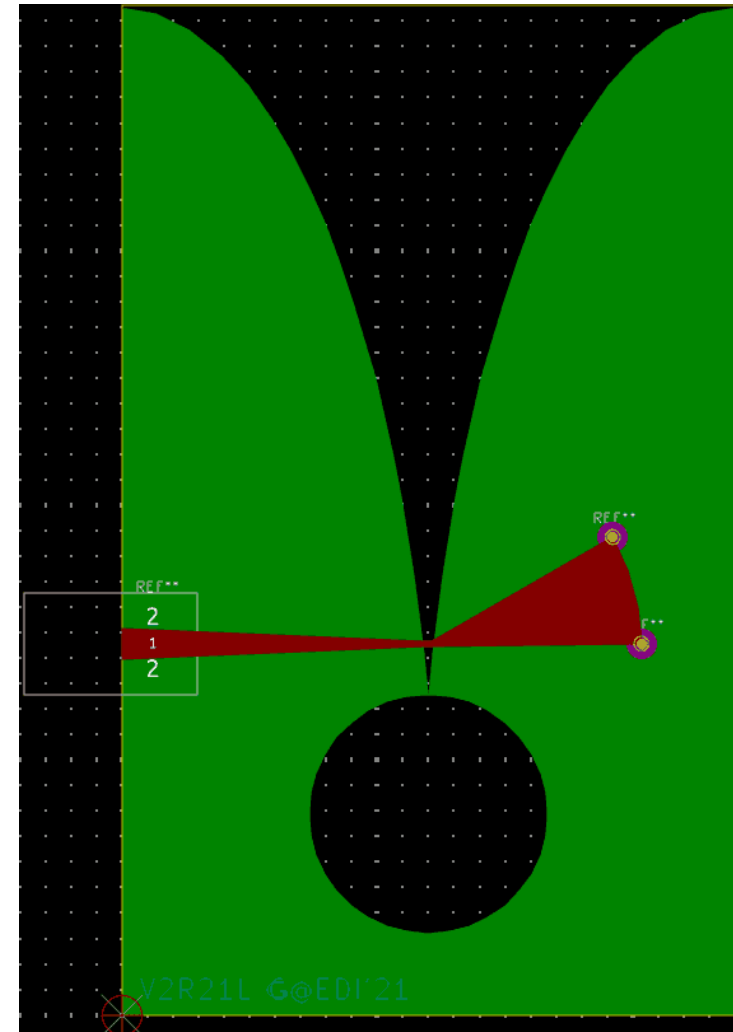


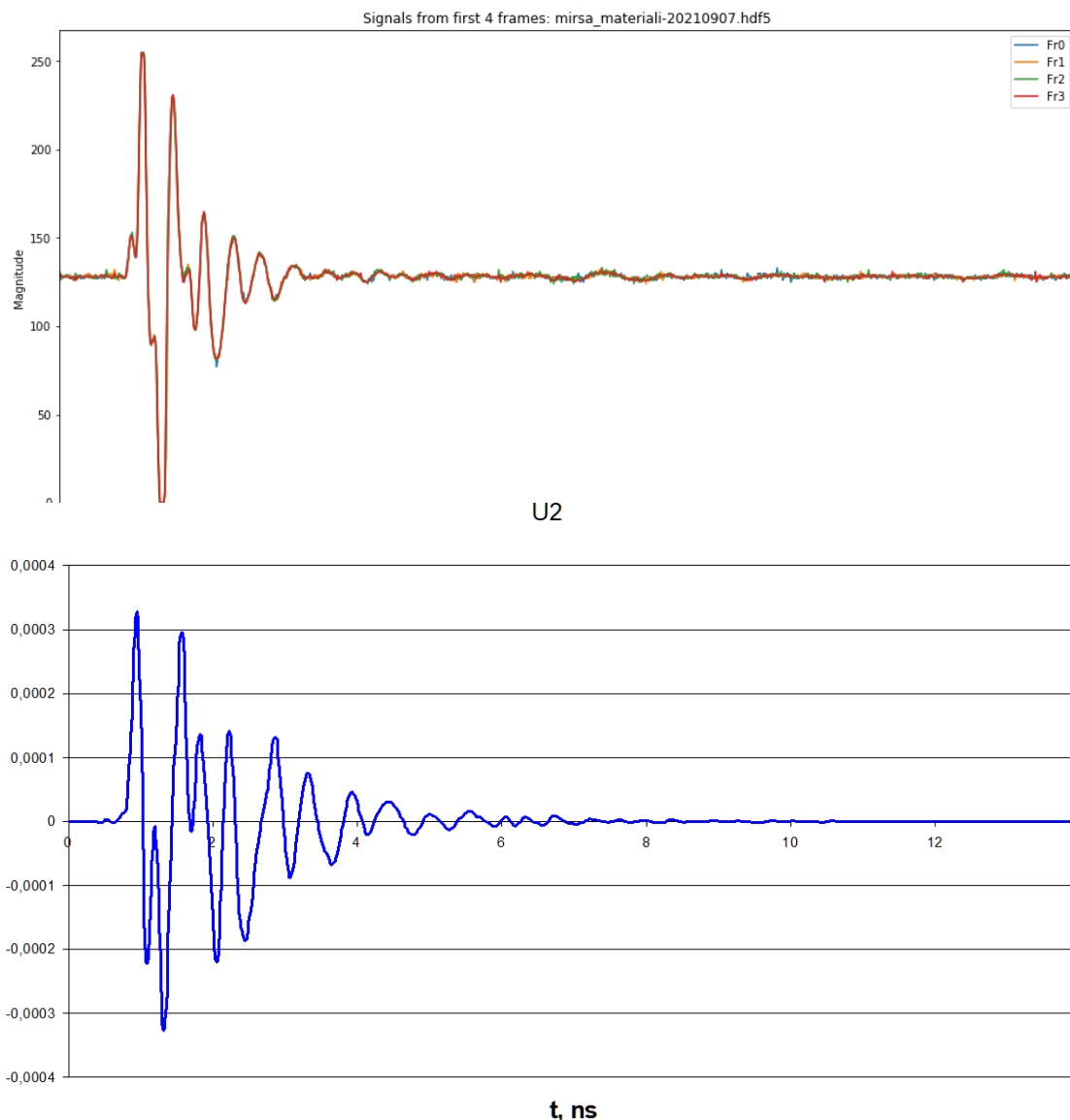
Signāla modelis



- OpenEMS ierobežojumi

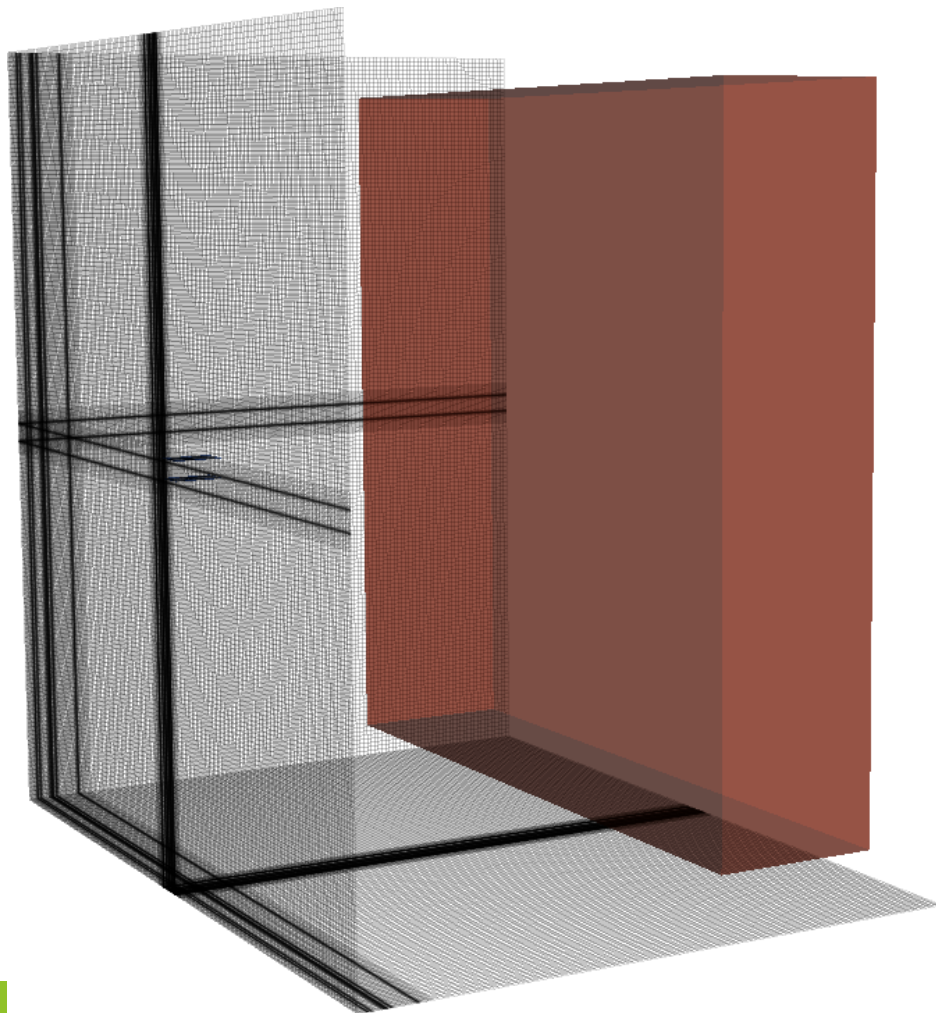
Antenas modelis MIRSA





- nomērītais un simulācija pie $\epsilon_2 = 2$
- vizuāli ļoti tuvs
- nesakrīt kvantitatīvi:
 - Simulācijā kā avots tiek izmantots reālais nomērītais signāls antenas ieejā
 - nav frekvenčatkarīgu materiālu modeļu
- sakrīt kvalitatīvi

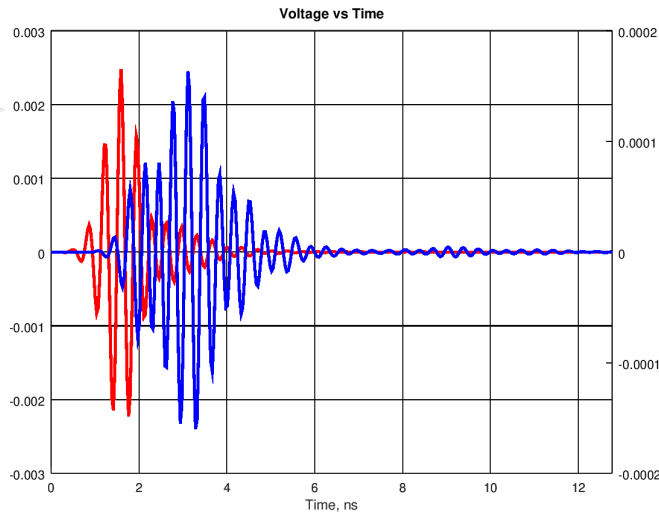
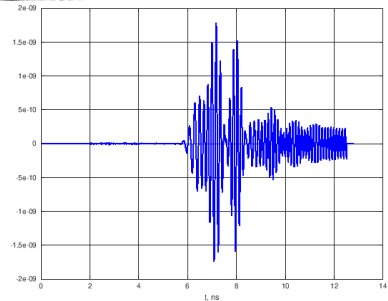
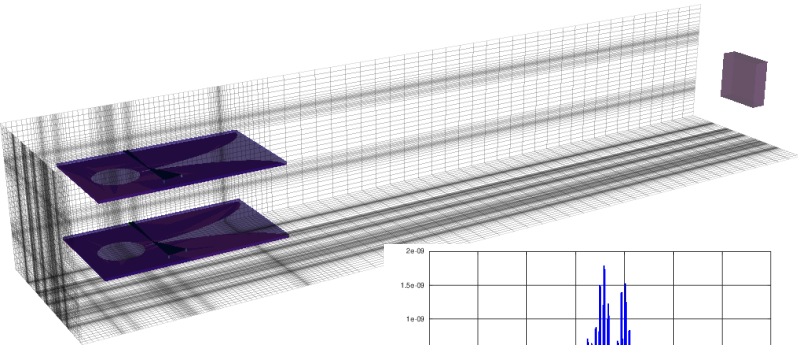




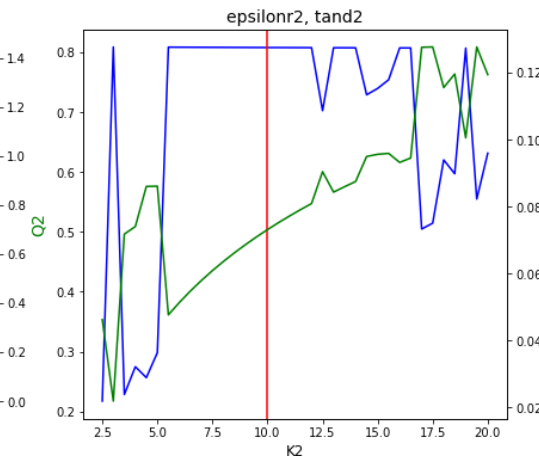
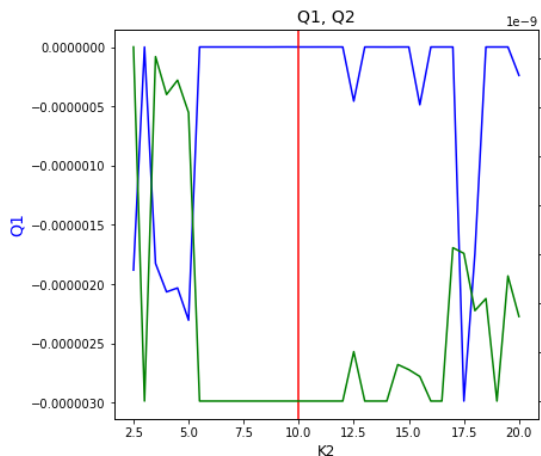
- veiktas divu scēnu simulācijas dažādām materiāla relatīvās dielektriskās caurlaidības un dielektrisko zudumu vērtībām
- scēnas ir lielas, aprēķini ilgi
- **modeļa [ne]atbilstība (liela vidējā novirze):**
- rezultāti ir publicēti

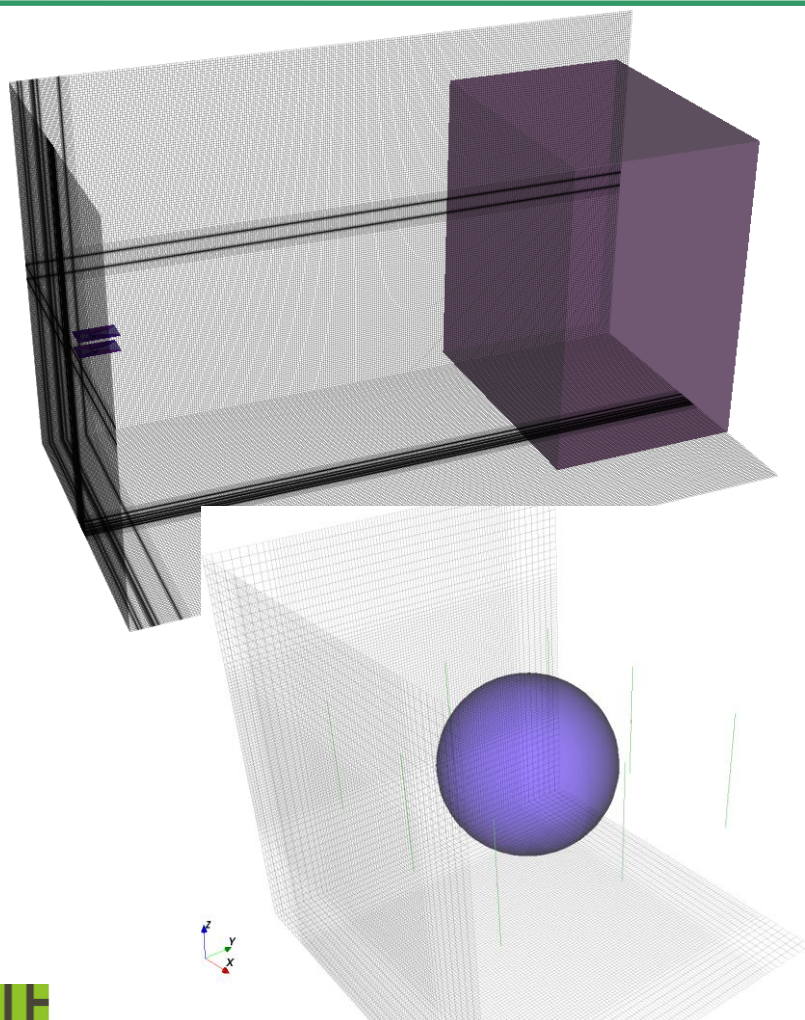
G. Gaigals, V. Aristov and M. Greitans, "Conformance analysis of model for material properties determination using simulation of ultra-wideband pulse radar," *MTTW 2021*, pp. 35-39

Modeļu (ne)atbilstības izskaidrojums



- neatbilstošs atstarojuma pozīcijas laikā noteikšanas signāls
- nestabila pakotnes scipy.optimize darbība: līdz pat 75% un 250% kļūda, nosakot ϵ_2 and $\tan(\delta_2)$





Reāli nomērāmi ir tikai 60x60x10 cm betona gabali (sākotnējās simulācijas)

- ļoti ilgi aprēķini lielām scēnām (4 simulāciju dati bistatiskā režīmā)

Vienkāršotu scēnu lietojums (2 simulāciju dati multistatiskā režīmā)

- dati (ap 100 GB) ir iekļauti projekta nodevumā

- Simulācijas rezultāti ir iegūstami tuvi eksperimentāli nomērītiem
- Apgūta pakotne OpenEMS:
 - izveidoti izmantoto signālu un antenu skriptu modeļi
 - skaitļošana tikai ar bezgalīgi plānu metālu, kam ir sekas
 - nav pieejami reālu materiālu frekvenčatkarīgi modeļi
- Publicēts raksts par modeļa atbilstības testēšanu:
 - matemātiski “izvilkt” materiāla parametrus nav neiespējami,
- **Jāturpina koncepta pārbaude ar sintētiskajiem datiem**
 - FDFD (Finite-difference frequency-domain method) pielietojums FDTD vietā



Materiālu parametru noteikšana ar «mākslīgo intelektu» no sintētiskiem datiem

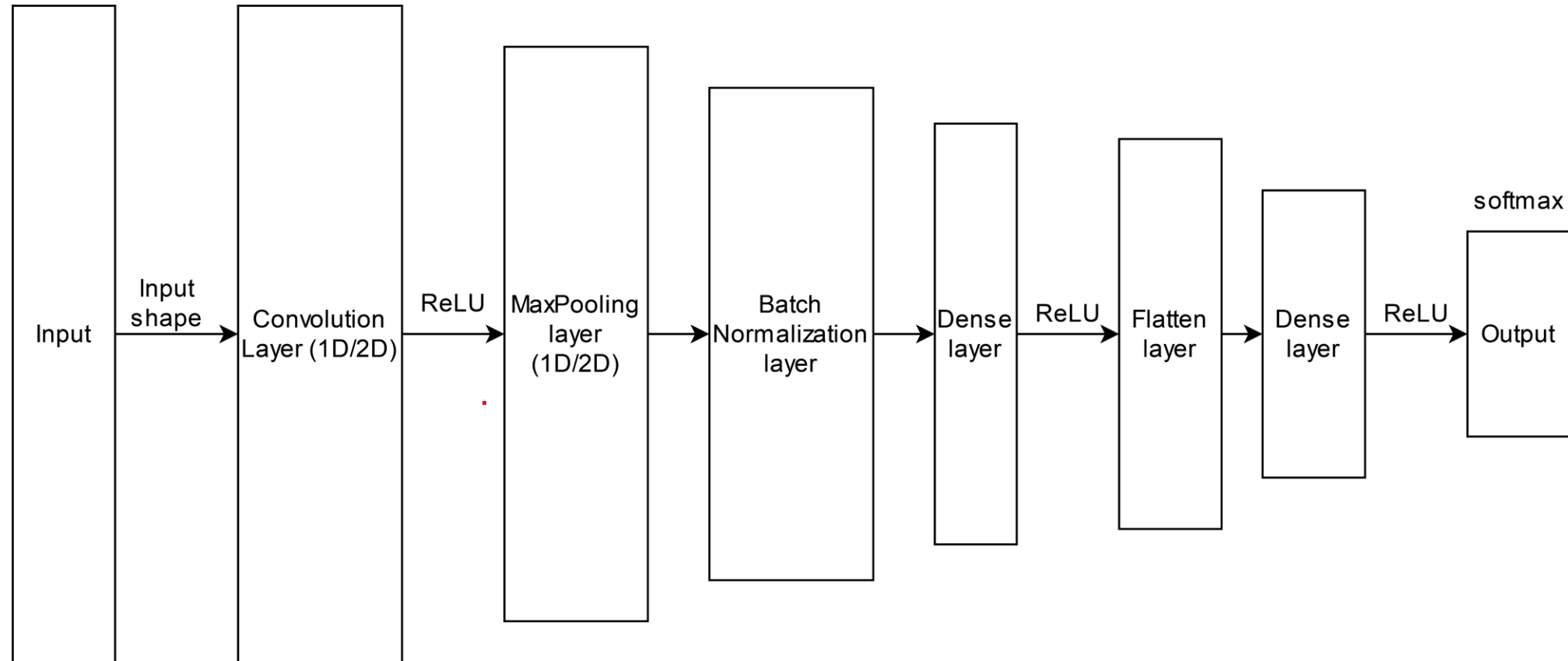
Nosakāmie parametri

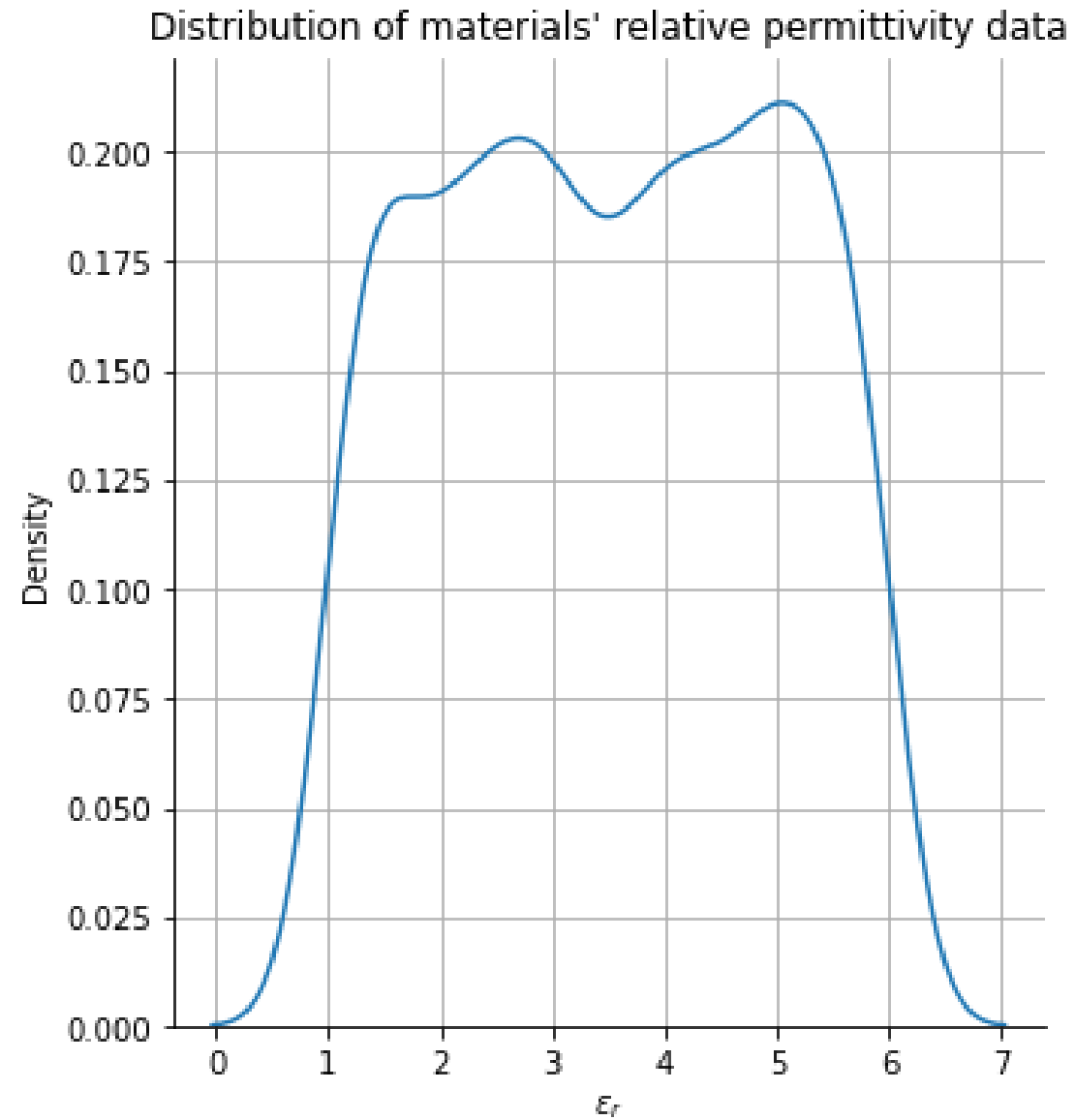
- Relatīvā dielektriskā konstante ϵ_r
- Zudumu tangenss ($\tan(\delta)$)
- Nākotnē iespējams pētīt vairāk parametru (izmēri, attālumi u.c.) noteikšanu.

«Panaceja» – mākslīgais intelekts – mākslīgie neironu tīkli – *deep learning*

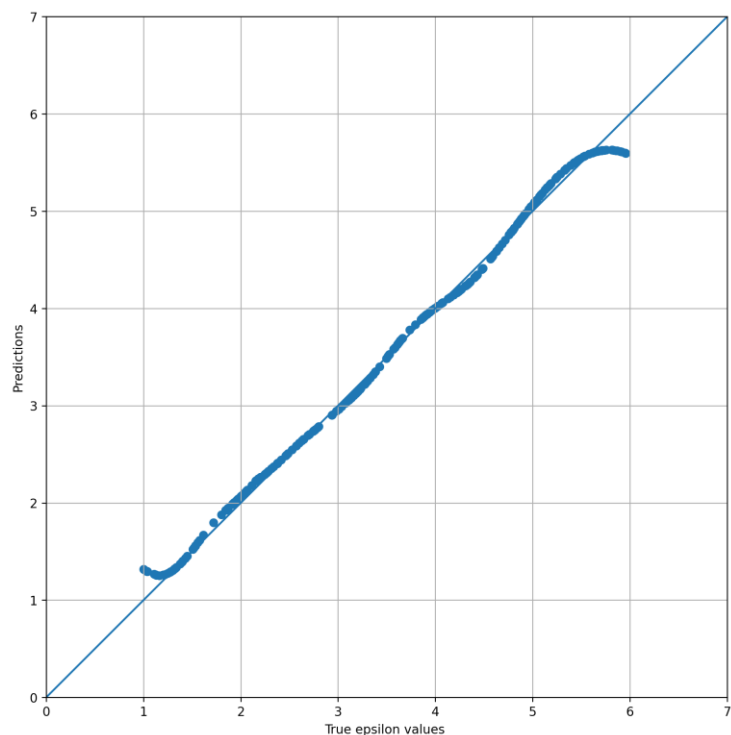


Neironu tīkla modeļa arhitektūra

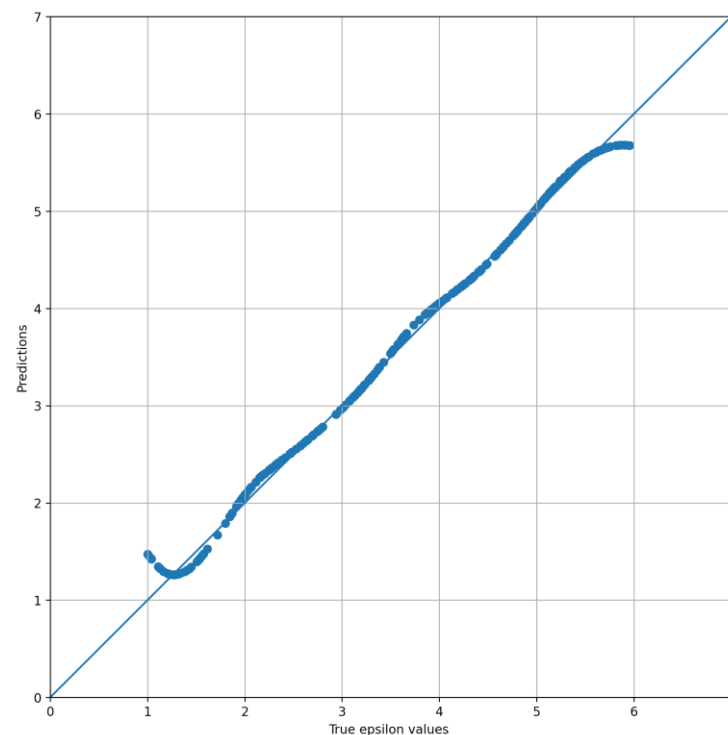




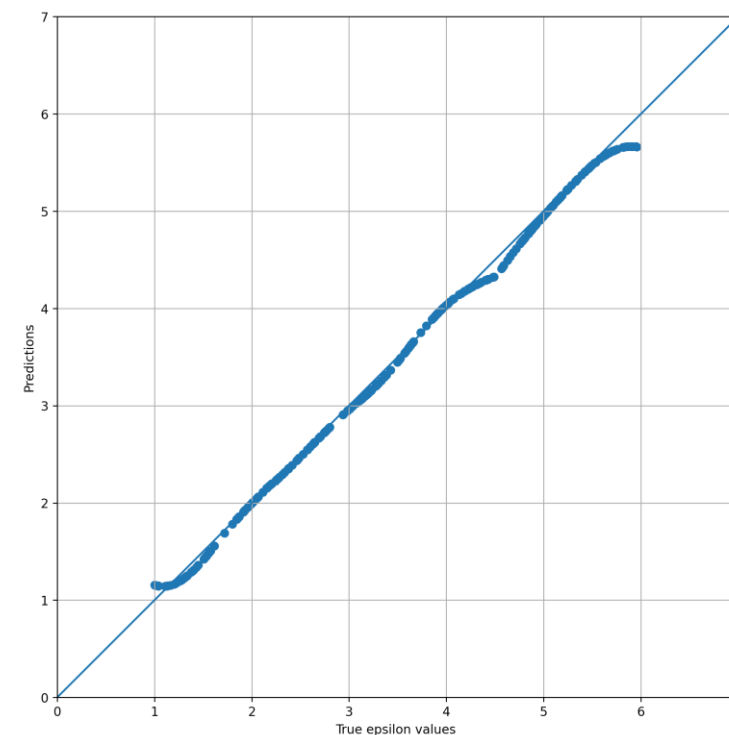
Material's relative permittivity linear regression with different loss functions



MAE(MAE loss)= $4.24 \cdot 10^{-3}$



MAE(MSE loss)= $0,26 \cdot 10^{-3}$

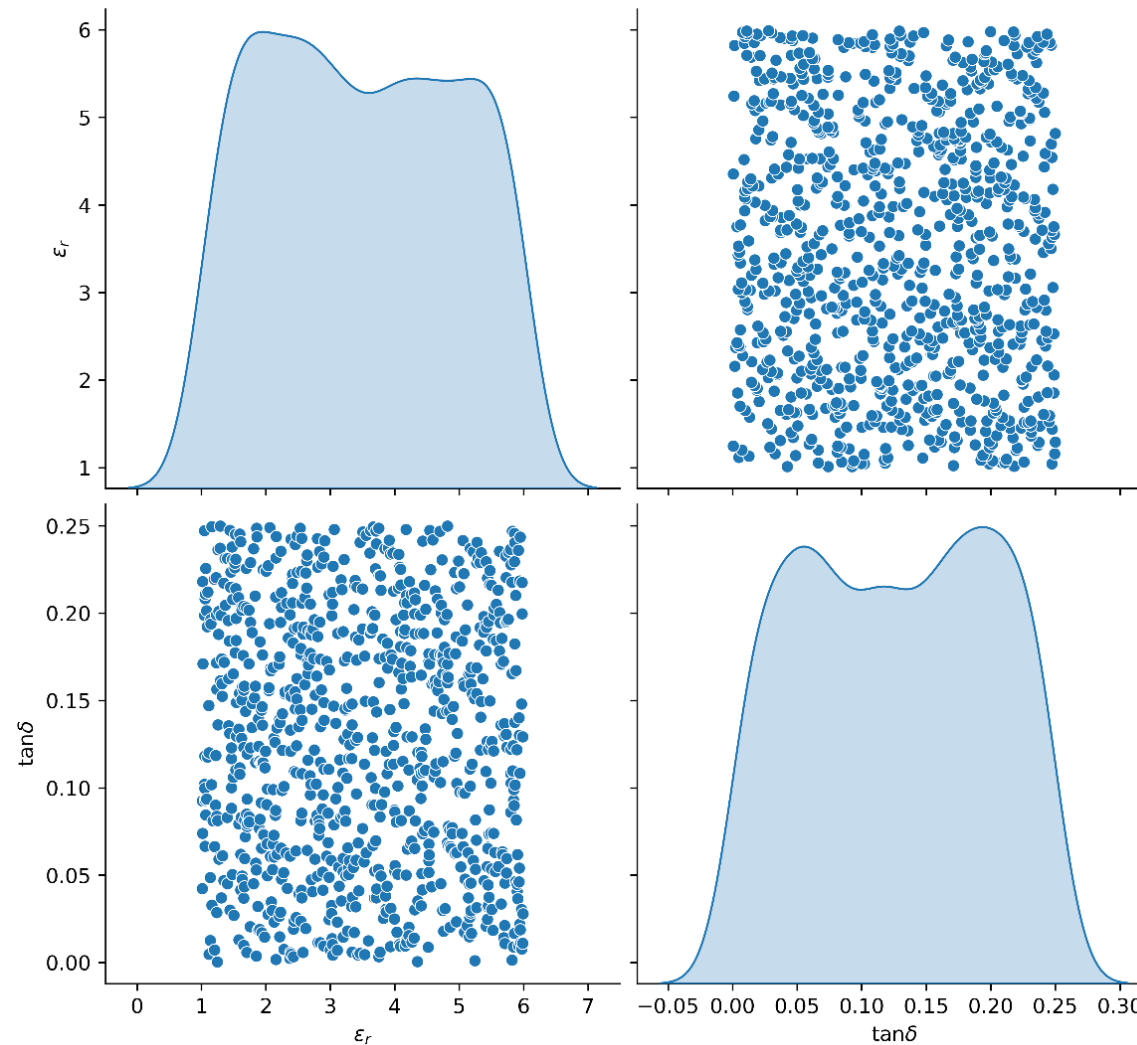


MAE(RMSE loss)= $4.8 \cdot 10^{-3}$

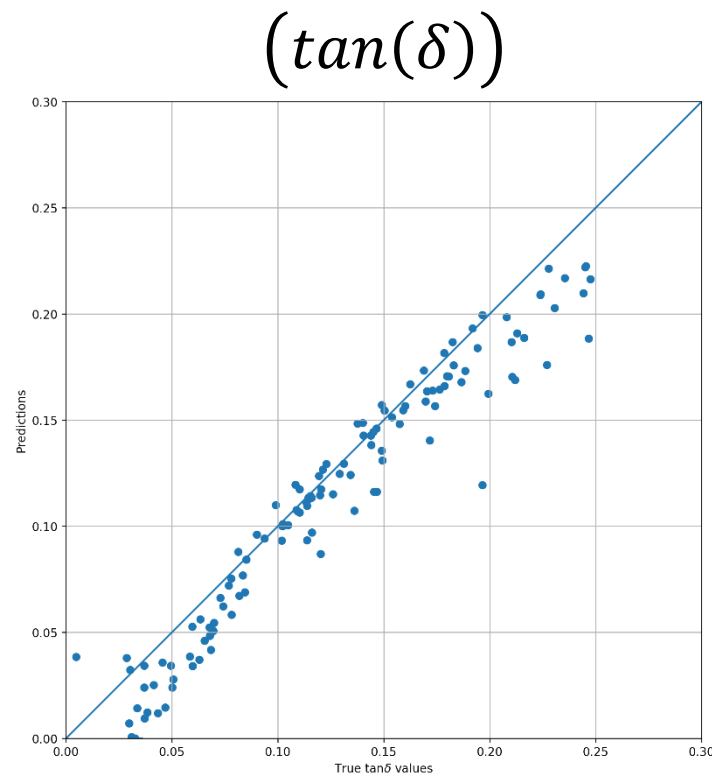


Divu parametru noteikšana

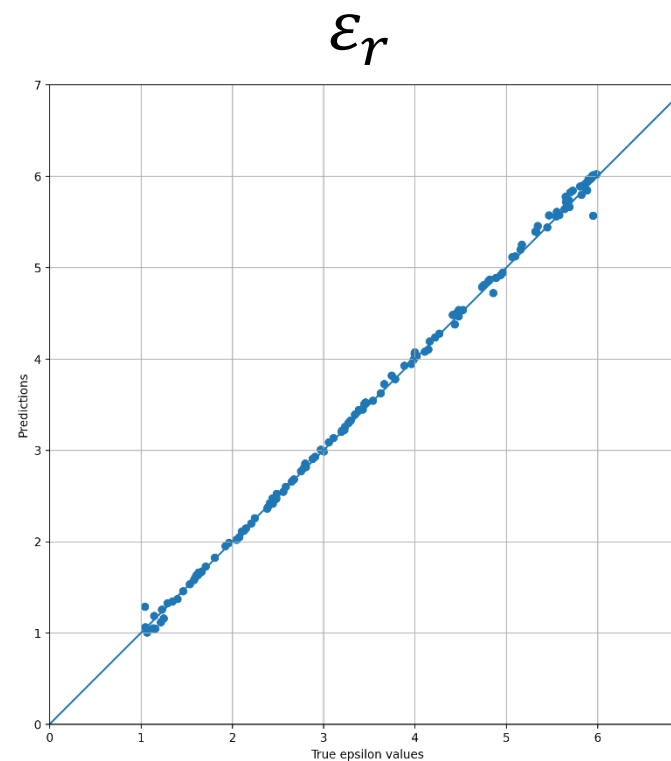
Distribution of materials' parameter data



Material's relative permittivity and dielectric loss tangent linear regression results (MSE)



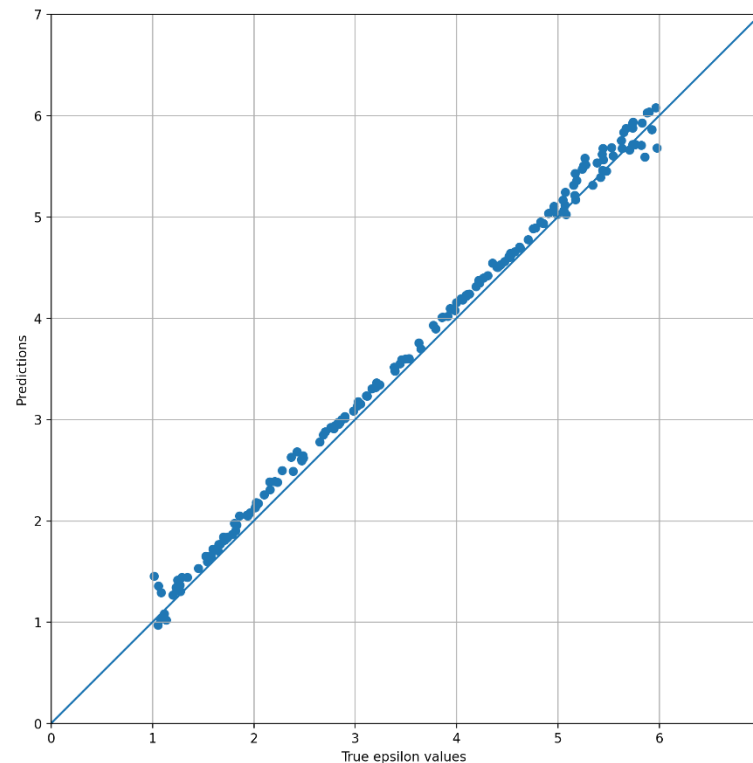
MAE(MSE loss)=0.44*1e-3



MAE(MSE loss)=26.46*1e-3



Relative permittivity prediction on unknown data



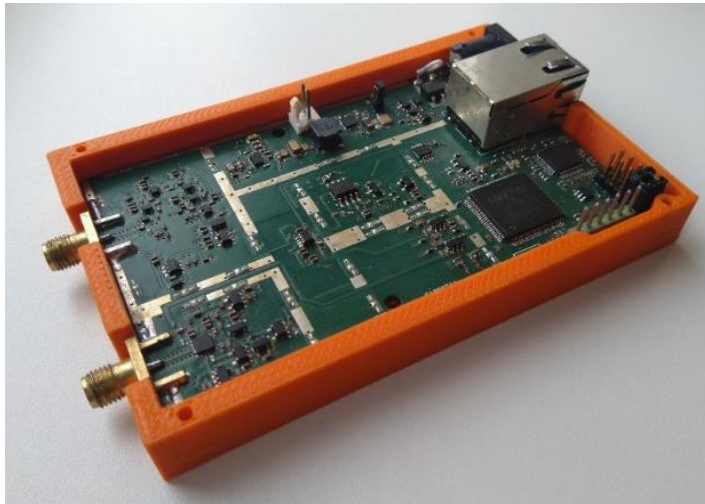
Secinājumi par MI pielietojumu sintētiskiem datiem MIRSA

- Precise parameter estimation on 1-parameter dataset
- *Mean squared error* is best loss function to train the model
- Possibilities to use obtained results in real materials' structure observation
- Pre-processing improves predictions and reduces errors



Ekspierimentālais makets un mērījumi

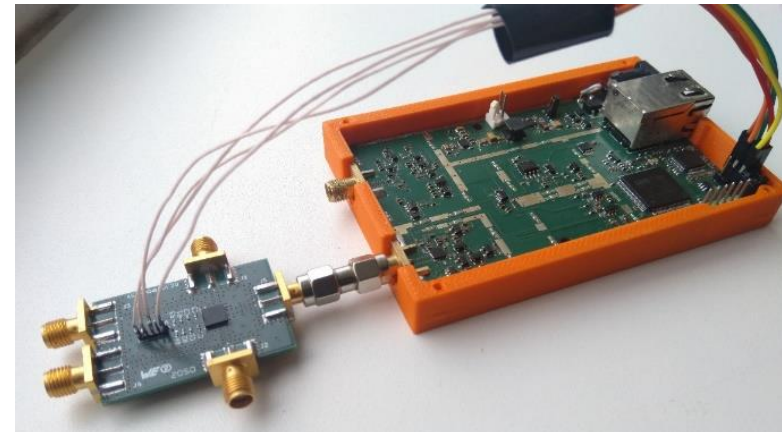
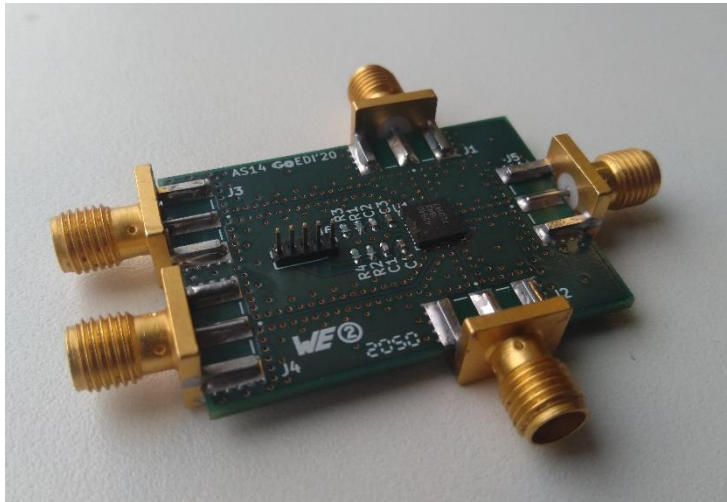
- Iepriekšējos projektos izstrādāts ultra-platjoslas radara izstrādes komplekts



Property	Value
PRF	1.38MHz
Size	60.50 mm x 98.46 mm
Input voltage	12V-48V PoE or AUX
Time window	18-50ns
Sample count	400-4096
Equivalent sample rate	8-130Gsps
ADC sample size	8-12bits
Communication interface	Ethernet
Pulse bandwidth	DC – 4.5 GHz
Pulse voltage	6V
Pulse rise time	55ps
Pulse half width time	98ps
Maximum pulse repetition frequency	10 MHz
Output impedance	50 Ohm
RF connector type	SMA
Input Bandwidth	5.7 GHz
Receiver dynamic range	60db
Receiver Input noise level	1mV

Radara pielāgošana multi-statiskam pielietojumam MIRSA

- RF signāla komutatora Spiestās plates izstrāde
- Balstīta uz PE42540 slēdža mikroshēmu
- Radara aparāt programmatūras pielāgošana
- GPIO signāla kanāla komutācijas kontrole
- Aktīvā kanāla informācijas pievienošana datu nosūtīšanas laikā

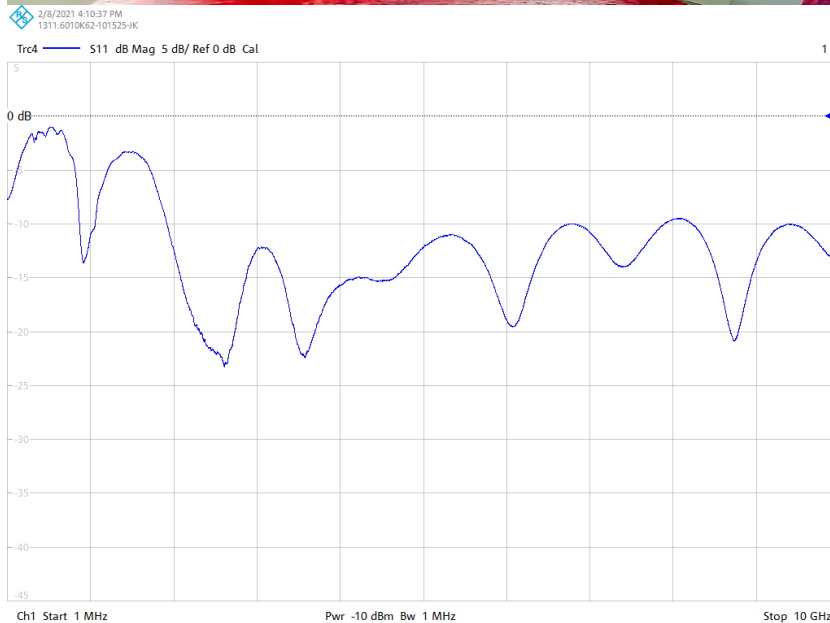




- antenu attīstības vēsture
- prasības:
 - virzien-darbība
 - platjoslība



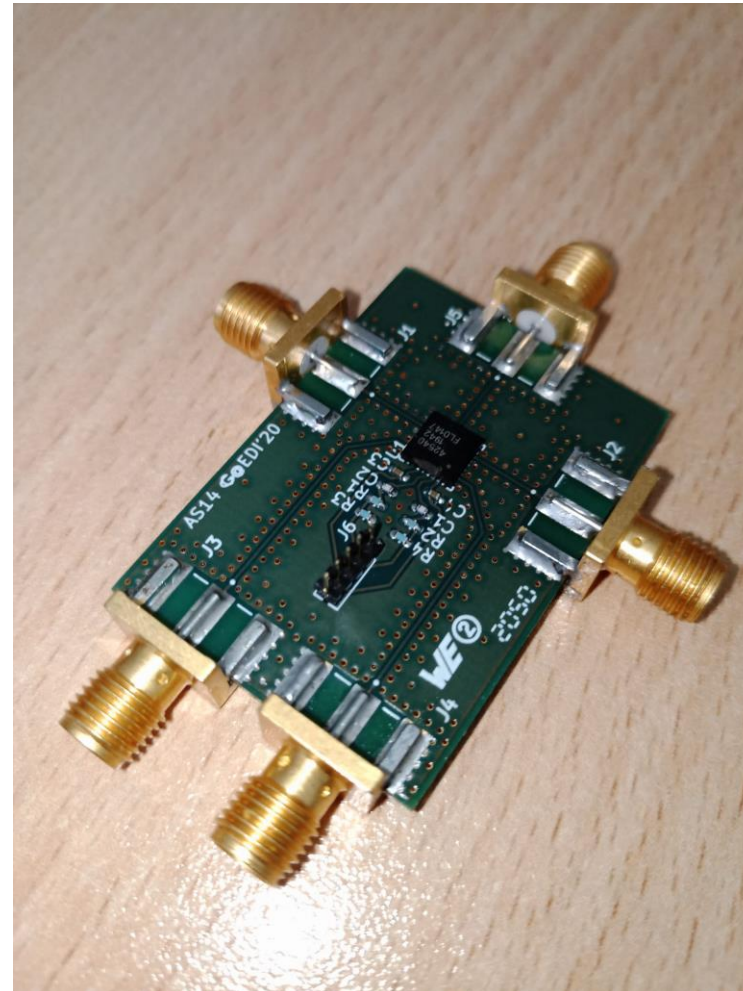
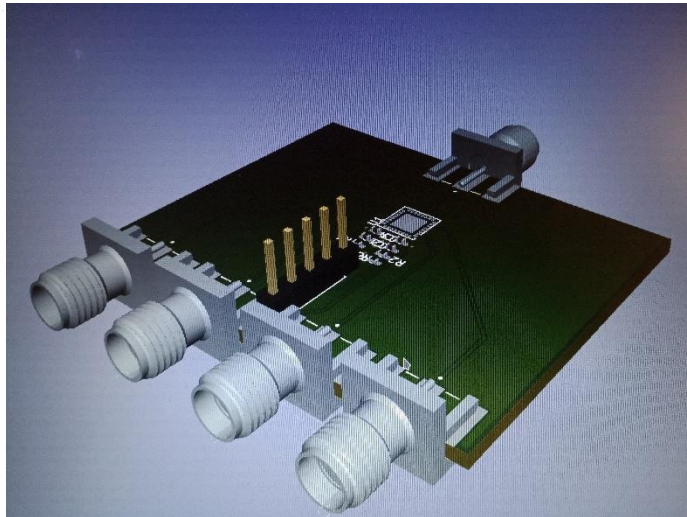
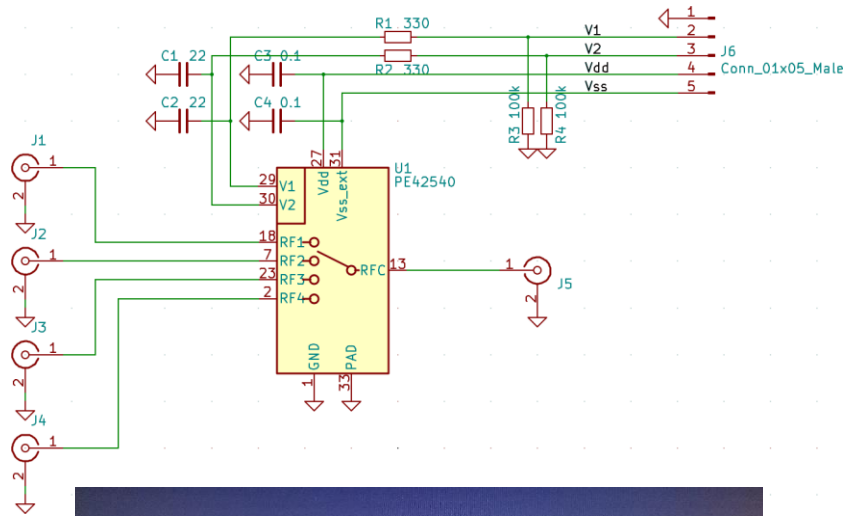
Antenu izstrādes rezultāts



- prototips mērogots un optimizēts
- papildus – rezistīvs sloojums
- izmēri: 60x99x5 mm
- ultraplatajosa: 2..10+ GHz
- pastiprinājums: VVZ
- ir pieejams platjoslīgāks variants ar mazākiem izmēriem



Radara transformācija: antenu slēdzis

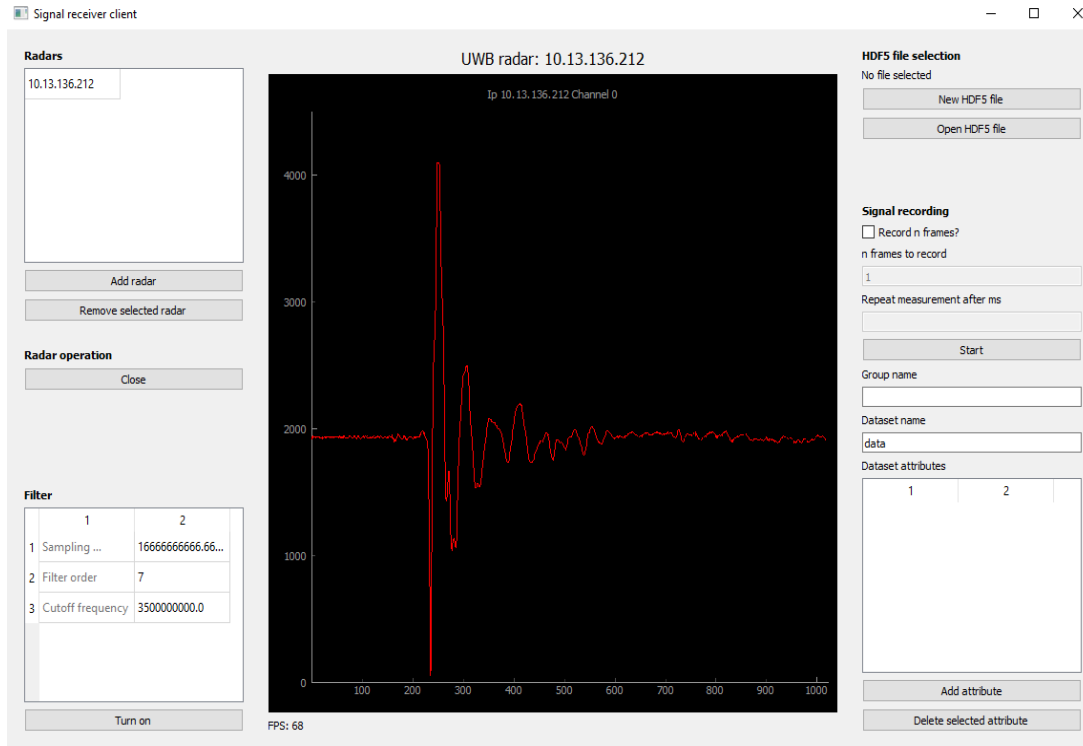


Izveidots stends

- Nelielu objektu mērījumiem
- Antenu un objekta novietojums, lai mazinātu mērījumos apkārtējo ietekmi
- 10 Antenu pozīciju iespējas
- Mērījumi
 - 2020-12-10 (mono-static radar) : 30 PET, 31 stikla pudeles
 - 2021-02-09 (mono-static radar) : 27 PET, 21 PET saplacināts, 34 stikla pudeles, 10 metāla bundžas
 - 2021-04-27 (ms radar) : 10 PET, 10 PET saplacinātas, 10 stikla, 10 bundžas, 10 bundžas saplacinātas
 - 2021-05-07 (ms radar ar ferītu) : 10 PET, 10 PET saplacinātas, 10 stikla, 10 bundžas, 10 bundžas saplacinātas
 - 2021-06-11 (ms radar ar ielietu ūdeni) : 27 PET, 39 PET saplacinātas, 34 stikla, 10 bundžas
 - 2021-07-29 (ms radar ar ielietu, izlietu ūdeni) : 24 PET, 34 stikla, 10 bundžas
 - 2021-10-28 (ms radar) : 128 PET, 149 stikla, 14 bundžas, 6 kartona pakas



Programmatūra datu attēlošanai un saglabāšanai MIRSA

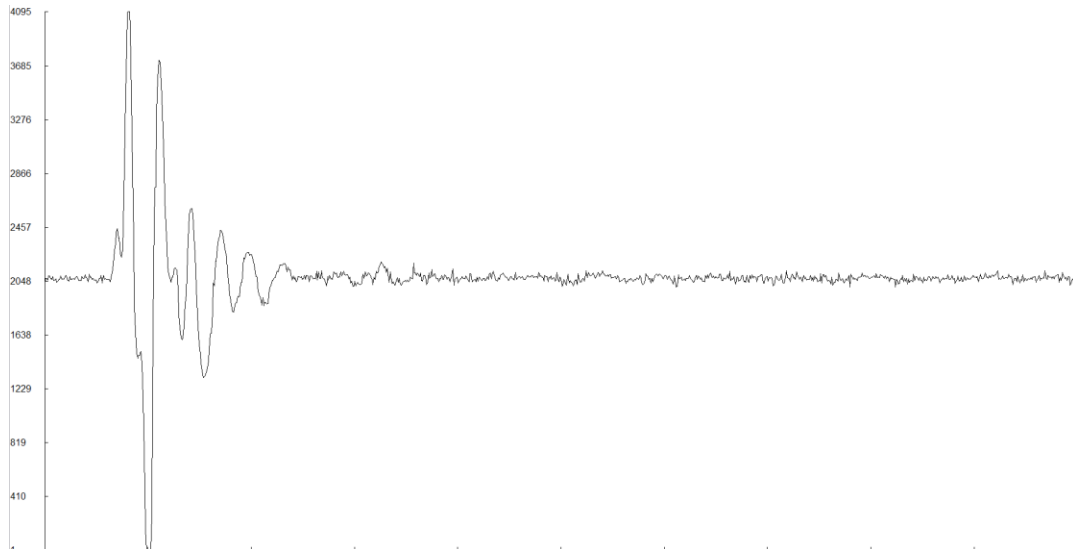


- Programma: Python 3, PyQt5, Pyqtgraph, HDF5
- Iespējas:
 - Pievienot 1 vai vairākus single/multi channel radarus
 - Izmantot signālapstrādes filtrus
 - Ierakstīt saņemtos radara kadrus
 - Nepārtraukti ierakstīt pēc start un līdz stop pogas nospiešanas
 - Ierakstīt N kadrus pēc start pogas nospiešanas
 - Nepārtraukti, periodiski ierakstīt N kadrus pēc start un līdz stop pogas nospiešanas
 - Saglabāt ierakstītos kadrus HDF5 failā



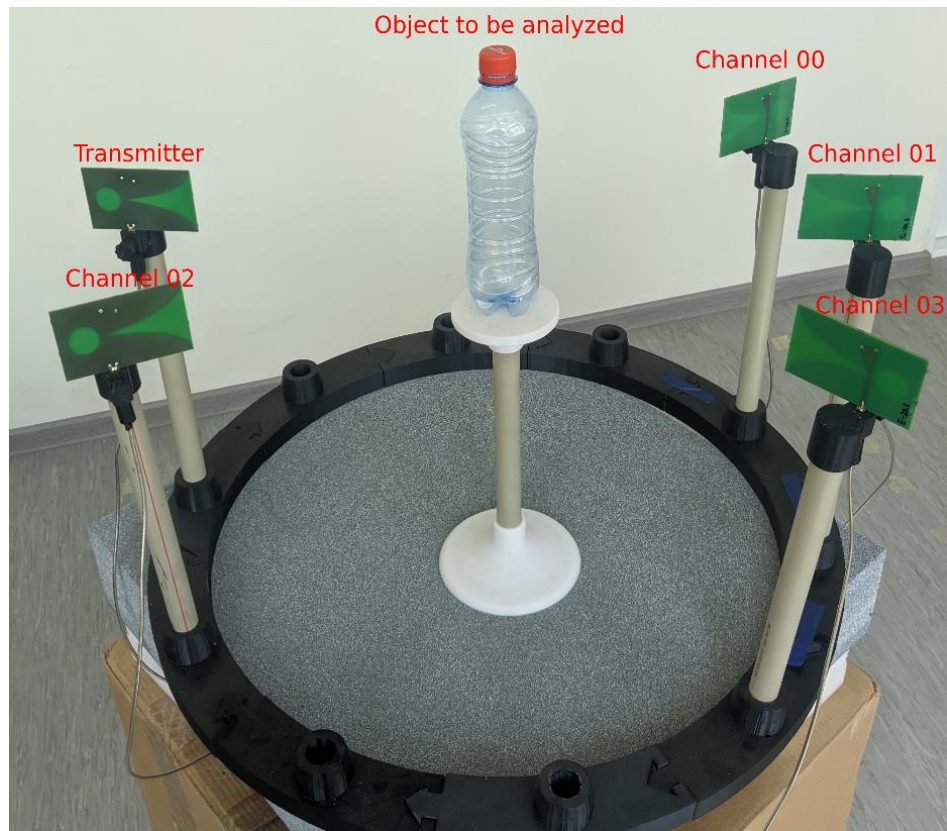
Ekspierimenti materiāla mēriņumos

- Mēriņs bieziis betons, metāla plāksne, gāzbetons

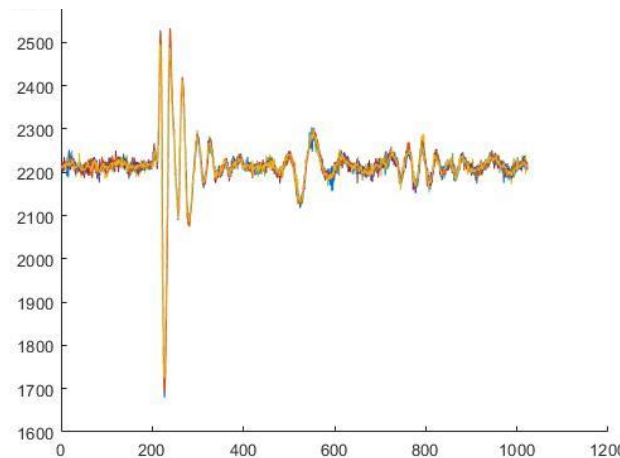
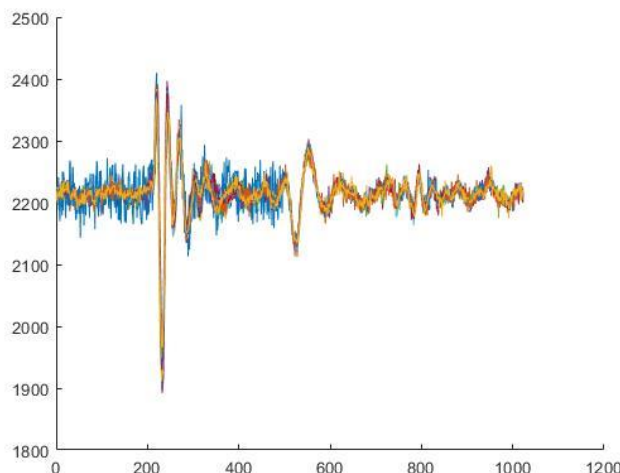


Signālu prezentācijas un priekšapstrāde

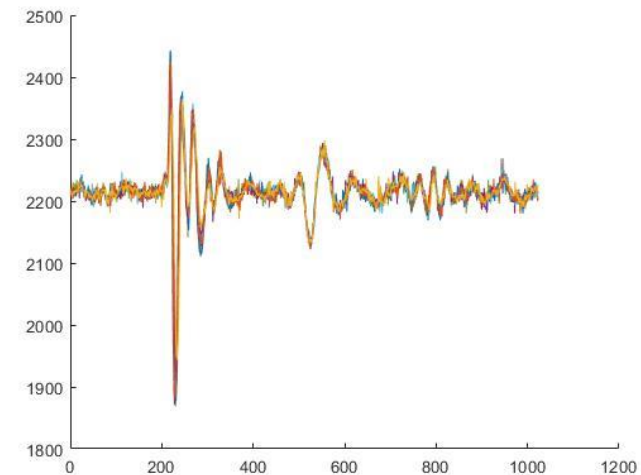
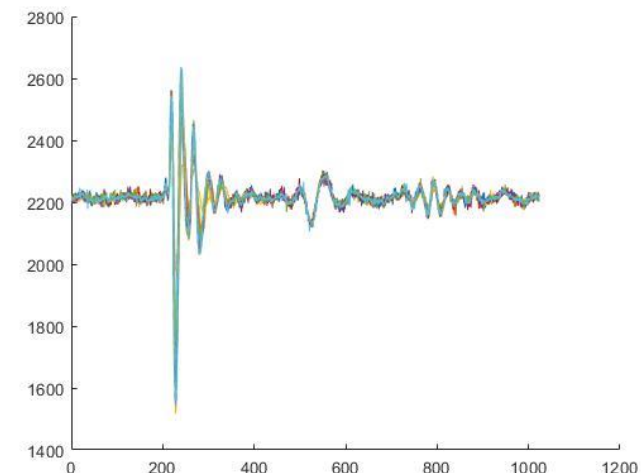
Kā dažādas datu prezentācijas un priekšapstrāde var uzlabot atšķirīgu objektu atpazīšanu ar mākslīgajiem neironu tīkliem?



Datu iegūšanas platforma ar petāmo objektu



Uzņemtie laika signāli (PET un wPET)



Uzņemtie laika signāli (Glass un Can)

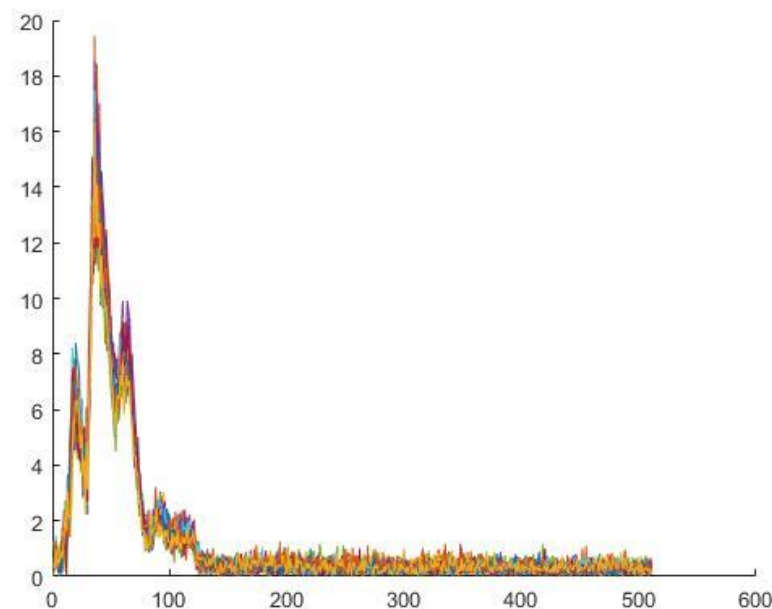


Signālu prezentācijas un priekšapstrāde

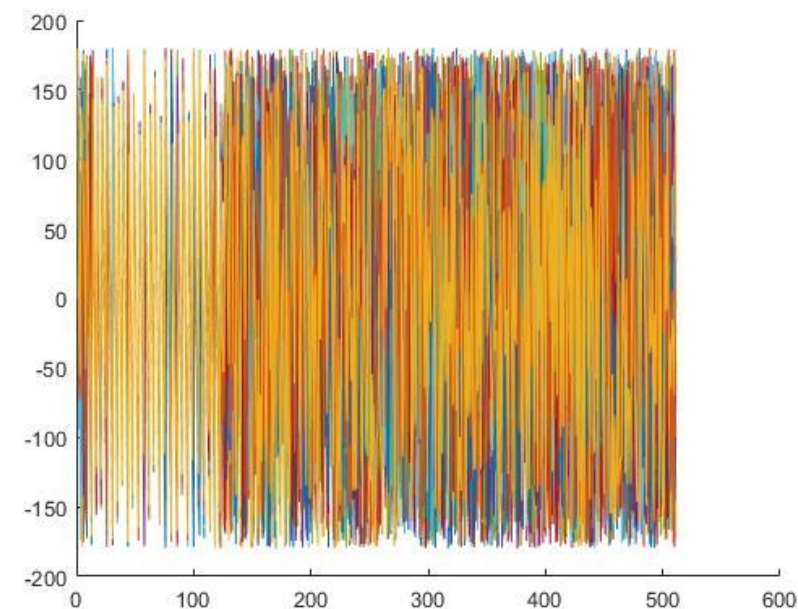
- Laika prezentācija
- Frekvenču prezentācija (Furjē transformācija)
 - Absolūto amplitūdu spektrs
 - Fāžu spektrs
- PCA
- STFT



wPET STFT attēls



wPET absolūto amplitūdu spektri



wPET fāžu spektri



iegūtie rezultāti - secinājumi

Representation		Accuracy on evaluation data (CNN)
Time domain		78.75%
Frequency domain (DFT)	Magnitude	74.08%
	Phase	75.83%
	Magnitude & Phase	77.11%
Time-frequency domain (STFT)		96.98%
Principal Component Analysis		80.23%
Principal Component Analysis + Support Vector Machine (polynomial kernel)		82.42%

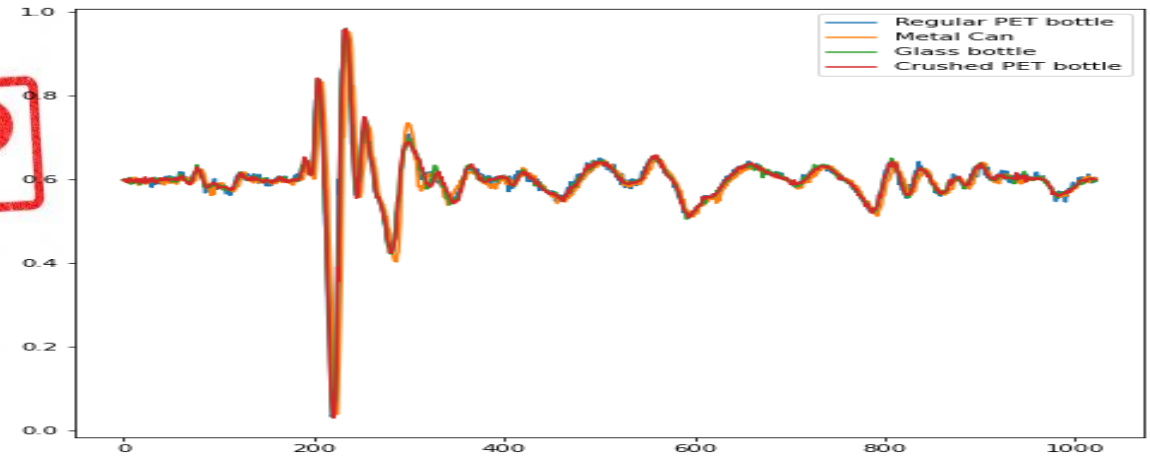


Objektu no dažādiem materiāliem atšķiršana

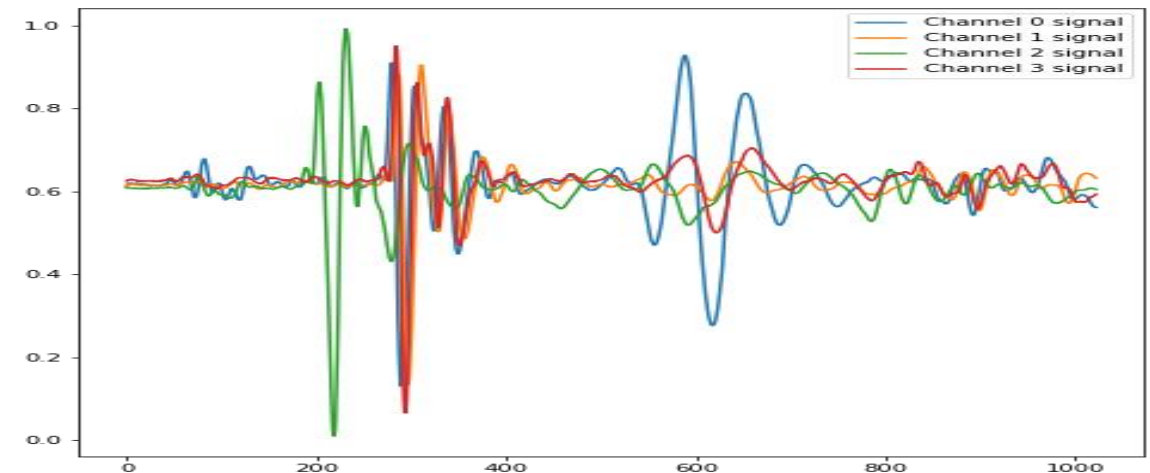
(eksperimentālie pētījumi)

WHY?

- Objects from **different materials** have **slightly** different impact on UWB-IR signals
- Impact can be made more significant by combination of **reflected and propagated trough** signals.
- The complexity of signal processing can be solved with AI-based processing.



Objects from different materials, the same antenna position



The same object, different antenna positions

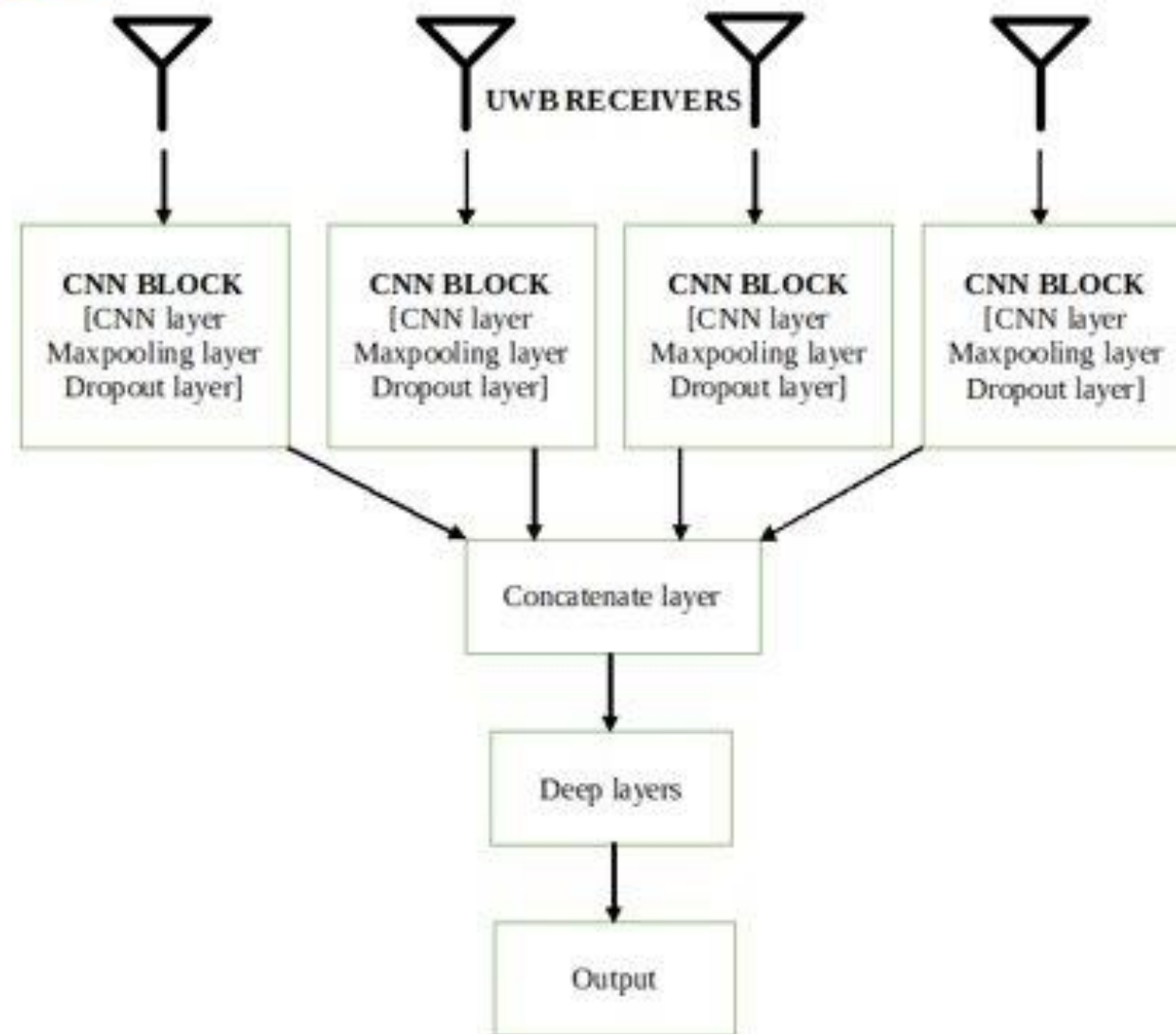


HOW?

MIRSA

Risinājuma struktūra

- **Multi-static UWB radar** (hardware)
+ **Hybrid ANN** (software)
- Architecture consists of:
 - UWB-IR receivers;
 - CNN block for features extraction in each channel;
 - Concatenate layer;
 - Deep layers for output.



Objektu datu kopa

WHAT?

- The object-set consists of **114 objects** from different materials:
 - 27 PET bottles,
 - 43 crushed PET bottles,
 - 20 metal cans,
 - 24 glass bottles.
- From this set 16 regular and 26 crushed PET bottles were separated for evaluation.
- Each antenna channel produces its own data, thus each object has 4 data-subsets.



HOW?

Hibrīdā makslīgā neironu tīkla trenēšana

The data-subset for each channel consists of:

- 1) 244 sequences obtained by averaging 25 out of 100 frames as **training data** (85%);
- 2) 44 sequences obtained from averaging 25 of 100 frames as **validation data** split (15%);
- 3) 4200 raw data sequences (recorded from 16 regular and 26 crushed PET bottles not «seen» for ANN training) for **evaluation**.



Rezultāti PET pudeļu klasificēšanā

Architecture	Evaluation accuracy Median (%)	Evaluation accuracy Mean (%)	Evaluation accuracy STD (%)	Training time (s)
Channel 00	92.5	91.90	5.27	78
Channel 01	95.1	94.39	4.96	85
Channel 02 (reflection)	91.0	90.63	5.99	76
Channel 03	92.36	93.00	4.25	100
Channel 01+02	97.24	96.60	2.57	69
Channel 00+01+03	97.8	97.45	3.02	64
Multi-Static (all 4 Ch.)	98.4	97.8	2.70	54

To eliminate effect of specific training cases, the presented results are obtained by averaging 20 processing cycles processed



Klasifikācijas kļūdas

Architecture	Glass bottle Mistakes (Nr.)	Crushed PET Mistakes (Nr.)	Regular PET Mistakes (Nr.)	Total mistakes (Nr.)
Channel 00	304	8	0	312
Channel 01	190	9	0	199
Channel 02 (reflection)	64	302	1	367
Channel 03	264	59	1	324
Channel 01+02	3	112	0	115
Channel 00+01+03	95	10	0	105
Multi-Static (all 4 Ch.)	13	44	0	57

Pavisam tika klasificēti 4200 mērījumu rezultāti



Secinājumi par objektu no dažādiem materiāliem šķirošanai ar Multi-statisku UWB-IR radaru

MIRSA

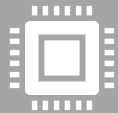
- Multi-statiska radara arhitektūra pārspēj mono un bi-statisku arhitektūru, jo signalu kombinācija ļauj klasificēt plašu objektu kopu un struktūras (normālas, «saspiestas»);
- Sasniegtā precizitāte 98% ļauj plānot praktisku pielietojšanu
- Turpmākie pētījumi:
 - Sarežģītākas formas un struktūras (daudzslāņu, tukšumi utt.) objektu klasificēšana
 - Mākslīgo neironu tīklu piemērotākās arhitektūras noskaidrošana.



Favorable ANN architecture for UWB



From previous research it was concluded that the best architecture for UWB signal classification was the Multi-static case.



There is a lack of research analyzing the direct influence of the variation of different Neural Network architectures on UWB radar classification performance



Apskatītās neironu tīklu arhitektūras

- **Multilayer Perceptron (MLP)**
- **Convolution Neural Network (CNN)**
- **Recurrent neural network with long-short-time-memory (LSTM)**
- **Residual Neural Network (ResNet)**
- **Convolution Neural Network with memory (CNN/LSTM)**
- **Gated residual Network (GRU)**
- **Transformer Neural Network**



Trenēšanai lietotie hiper-parametri

Hyperparameter	Value
Max epochs	200
Number of layers	2
Optimizer	Nadam
Learn rate	0.001
Batch size	20
Loss	Categorical cross entropy



PET klasifikācijas rezultāti (Mediāna)

Architecture	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 1,2	Channel 1,2,3	All Channels	Training time
MLP	0.95729	0.92767	0.957619	0.94611	0.95694	0.9674999	0.96928	60s
CNN	0.9625	0.9651	0.9651	0.9526	0.9724	0.978	0.984	70s
LSTM	0.9877	0.9834	0.9926	0.9955	0.9988	0.9988	0.9989	1500s
GRU	0.99857	0.980952	0.978095	0.996547	0.99857	0.998333	0.9983	1200s
Transformer	0.98657	0.93453	0.964556	0.9654645	0.9991	0.998956	0.99928	2105s
CNN/LSTM	0.974536	0.96534	0.97456	0.9564	0.995645	0.9984754	0.9985	2000s
ResNet	0.98159	0.9974	0.9966	0.9568	0.9989	0.9976	0.99799	75s



Results Applying Preprocessing methods (Channel 1) **MIRSA**

Representation		CNN	Transformer	ResNet	GRU
Frequency domain (DFT)	Magnitude	74.08%	94.08%	94.38%	96.22%
	Phase	75.83%	95.33%	97.56%	96.87%
	Magnitude & Phase	77.11%	96.78%	98.63%	97.52%
Principal Component Analysis		82.42%	97.3%	98.67%	99.71%



Komanda:

- Modris Greitāns – zinātniskais vadītājs,
- Vladimirs Aristovs – matemātiskie modeļi
- Gatis Gaigals – radara uzlabojumi un simulētas datukopas
- Romāns Maļiks – datu apstrāde
- Eduards Lobanovs – elektronika
- Kristaps Māris Greitāns – mākslīgie neironu tīkli
- Dans Laksis – signālu prezentācijas un priekšapstrāde
- Haralds Egliens – programmēšana, datu ieguve
- *Rolands Šāvelis – signālu priekšapstrāde*
- *Jānis Simanovičs – elektronika, datu ieguve*



Rezultāti (būtiskie) (matemātika, simulācijas eksperimentālais makets, eksperimentālo datu ieguve, apstrāde faktiski notika paralēli dēļ 1 gada ilguma)

- **WP1 – MS-UWB-IR signal model, simulation and synthetic data generation.**
 - (D1)Initial (for homogeneous objects) model;
 - (D2)Advanced model;
 - (D3)Synthetic data.
- **WP2 – Pre/post-processing and deep learning**
 - (D4)Pre-processed data sets;
 - (D5)Favorable ANN architecture;
 - (D6)Report on the obtained results.
- **WP3 – Multi-static UWB-IR setup and experimental validation of the concept.**
 - (D7)MS-UWB-IR radar setup,
 - (D8)Evaluation & comparison results;
 - (D9)Report of concept (estimation of materials and structures) validation.



Sasniegtie rezultāti (formālie) - publikācijas

Rezultāts	Pieteikumā	Faktiski	Komentārs
Oriģināli zinātniskie raksti, kas iesniegti vai pieņemti publicēšanai SCOPUS datubāzēs iekļautajos izdevumos	2	3	<p>K. Greitans and M. Greitans, "Multi-static UWB radar for classification of objects from different materials," <i>2021 IEEE Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTTW)</i>, 2021, pp. 7-11</p> <p>G. Gaigals, V. Aristov and M. Greitans, "Conformance analysis of model for material properties determination using simulation of ultra-wideband pulse radar," <i>MTTW 2021</i>, pp. 35-39</p> <p>V. Aristov, M. Greitans, Determination of the Electrophysical Parameters of Dielectric Objects via the Processing of Ultra-Wideband Pulse Radar Signals // <i>Automatic Control and Computer Sciences</i>, Allerton Press, Inc., 2021, Vol. 55, No. 6, pp. 577–587.</p> <p>Papildus tiek gatavoti</p> <p>K. M. Greitans and M. Greitans, «Comparison of different neural network architectures for UWB radar material classification»</p> <p>G.Gaigals et al. «Concept validation of estimation of materials and structures by multi-static UWB-IR radars»</p>

Sasniegtie rezultāti (formālie) – akadēmiskie darbi

Rezultāts	Pieteikumā	Faktiski	Komentārs
Sekmīgi aizstāvēts bakalaura vai maģistra darbs, vai promocijas darbs projekta tematikā	2	1	<p>Jānis Simanovičs «Pasīva sistēma radioviļņu starotāju virziennoteikšanai» vad.R.Šāvelis, maģistra darbs aizstāvēts RTU 2021.</p> <p>Papildus tiek gatavoti</p> <p>Haralds Egliens «Dzelzceļa pārbrauktuves automatizētas uzraudzības programmatūras izveides risinājums» vad. M.Greitans, aizstavēs RTU 2022</p> <p>E.Lobanovs «???» vad. ???, aizstāvēs RTU 202?</p> <p>+ devums R.Maļika, G.Gaigala promocijas darbos</p> <p>D.Lakša maģistra darba</p>



Paldies par uzmanību!

EDI:

Atsevišķu jomu ekselences apvienojums ar jauniem prātiem, kuri uzsāk jaunus, aktuālus pētījumu virzienus

Starptautiska līmeņa pētniecības vide – infrastruktūra, telpas, aprīkojums, projekti utt.

Jautājumi?

300+ starptautiskie partneri uz apmēram 100 pētniekiem

