

Darbības programma: “Uzņēmējdarbība un inovācijas”
Prioritātes numurs un nosaukums: 2.1. “Zinātne un inovācijas”
Pasākuma numurs un nosaukums: 2.1.1. “Zinātne, pētniecība un attīstība”
Aktivitātes numurs un nosaukums: 2.1.1.1. aktivitāte "Atbalsts zinātni un pētniecībai"

PROJEKTS Nr.2014/0052/2DP/2.1.1.1.0/14/APIA/VIAA/031

Projekta nosaukums: ”Tehnoloģija nanoimpulsu kiberfizikālas sistēmas izveidei zemes virsējo slāņu neinvazīvai apsekošanai” (NanoKS)

Līguma noslēgšanas datums: 26.09.2014.g.

Projekta sākuma datums: 26.09.2014.g.

Projekta beigu datums: 31.08.2015.g.

Eiropas Reģionālās attīstības fonda finansējuma saņēmējs:
Elektronikas un datorzinātņu institūts (EDI)

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.2. par periodu no 01.12.2014.g līdz 28.02.2015.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Rolands Šāvelis, Dr.sc.ing., pētnieks.

Projekta izpildītāju saraksts:
Vad.pētn. Dr.sc.comp. Kārlis Krūmiņš
Pētn. Dr.sc.ing. Vladimirs Aristovs
Pētn. Dr.phys. Ivars Driķis
Pētn. Dr.sc.ing. Oļegs Ņikišins
Pētn. Dr.sc.comp. Andrejs Skaģeris
Pētn. Gatis Šūpols
Zin.asist. Rūdolfs Cīrulis
Zin.asist. Mārtiņš Liepiņš
Zin.asist. Aivars Ševerdaks
Prog.inž. Ģirts Pētersons
Prog.inž. Normunds Šilinskis

Anotācija

NanoKS ir Eiropas Reģionālās attīstības fonda līdzfinansēts projekts zinātnei un pētniecībai. Projekta vispārīgais mērķis ir sekmēt zinātnes un ražošanas integrāciju un pētniecības rezultātu komercializāciju atbilstoši valstī noteiktajām prioritārajām tautsaimniecības nozarēm un prioritārajiem zinātnes virzieniem. Projekta ietvaros plānots izstrādāt jaunu inovatīvu tehnoloģiju, kas padarītu zemes virsējo slāņu radiozondēšanas metodi (tehnoloģiju) plašāk pieejamu un pielietojamu, pateicoties kombinētai vairāku devēju datu ieguvei, izmantojot komparatora tipa pārveidotāju, un iegūto rezultātu uzlabotai vizualizācijai un interpretācijai.

Projekts ietver sekojošas aktivitātes: 1) rūpnieciskais pētījums; 2) rūpnieciskā pētījuma tiesību nostiprināšana; 3) projekta vadība un publicitāte.

Projekts tiek īstenots sadarbībā starp Elektronikas un datorzinātņu institūtu un SIA „Infoserv-Rīga”.

Īstenošanas ilgums – 12 mēneši.

Šajā dokumentā dots pārskats par projekta otrajā periodā (01.12.2014.-28.02.2015.) veiktajiem pētniecības darbiem un šobrīd sasniegtajiem rezultātiem.

Ievads

Zemes virsējo slāņu (līdz 10 m) un apakšzemes objektu neinvazīvai apsekošanai izmanto radiolokācijas metodes, kurai pamatā ir impulsveida elektromagnētiskā viļņa izstarošana zemē un zemes radītā atstarojuma uztveršana un pētīšana. Iekārtas, ar kurām veic šos mērījumus, sauc par zemes zondēšanas radariem jeb GPR (no angļu valodas – Ground Penetrating Radar). Šo radiolokācijas metodes var izmantot zemē esošo resursu apzināšanai (piemēram, kūdras, kaļķakmens un grants atradņu lokācijai un daudzuma analīzei), kā arī būvniecībā būvkonstrukciju un ceļu stāvokļa apsekošanai, apakšzemes energotīklu (gāzes, ūdens vadu) un komunikāciju tīklu precīzai kartēšanai un stāvokļa apsekošanai u.c.

Problēma, kas līdz šim ir kavējusi tehnoloģijas plašu izmantošanu ir tehnoloģijas sarežģītība, kas liedz nespeciālistam saprotamā veidā veikt kvalitatīvus mērījumus un mērījumu rezultātā iegūto datu apstrādi un interpretāciju. Problēmas risināšanai projekta ietvaros plānots izstrādāt jaunu tehnoloģiju zemes virsējo slāņu neinvazīvai apsekošanai, kas izmantos nanosekunžu un subnanosekunžu impulsu raidītājus objektu izšķirtspējai līdz 10 cm. Lai nodrošinātu apsekošanas dziļumu līdz 2 m, tiks kombinētas antenas ar šauru virziendarbību un platu virziendarbību, kā arī tiks veikta gan kontakta (piemērota dziļāku objektu apsekošanai), gan bezkontakta mērīšana un izstrādāta metodika optimālā risinājuma iegūšanai. Lai mērījumos iegūtos datus padarītu vieglāk interpretējamus, tiks izstrādāti atbilstošie signālapstrādes algoritmi un izmantots kiberfizikālās sistēmas modelis no fizikālās pasaules iegūtās informācijas sasaistei ar datorsimulāciju rezultātā iegūtajiem vides modeļiem.

Šajā projekta pārskata posmā ir veikti darbi un sasniegti rezultāti aktivitātes „Rūpnieciskie pētījumi” sekojošos pētījumos:

- datu apstrāde, GUI izveide (pētījumi Nr.1);
- vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveide (pētījumi Nr.2);
- raiduztvērēju moduļu izveide (pētījumi Nr.3).

Rezultātu kopsavilkums

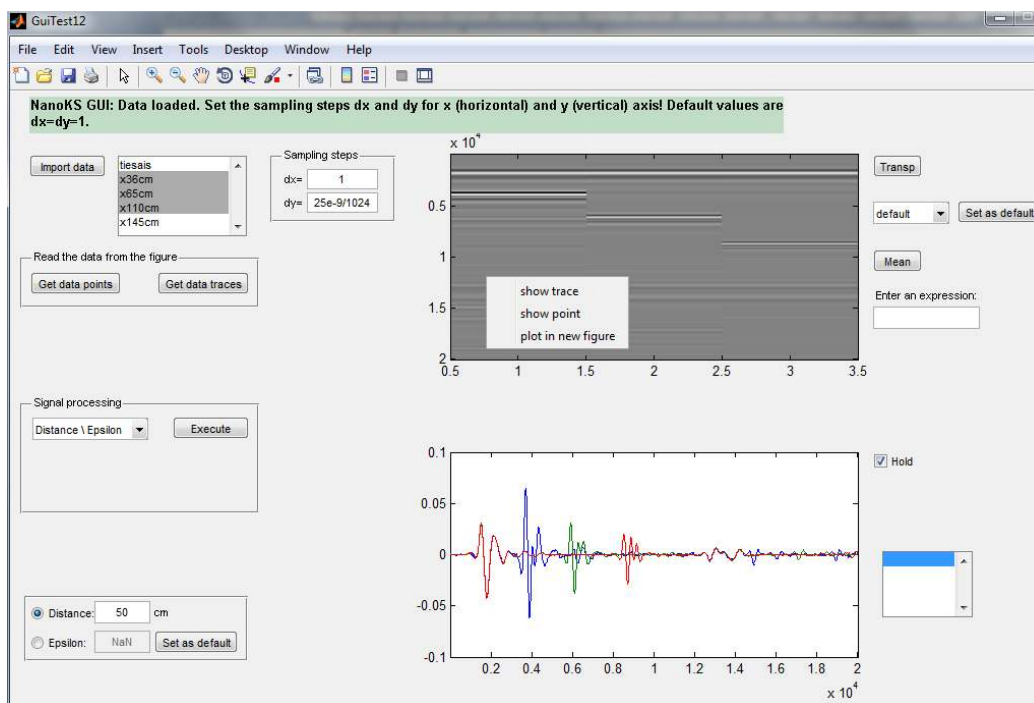
Pētījumi Nr.1. Ar radiolokācijas metodi iegūto zemes virsējo slāņu zondēšanas datu apstrādes algoritmu izpēte, lai apstrādātu dažādos reālos apstākļos iegūtus zemes virsējo slāņu lokācijas datus (attēlus).

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi saistībā ar ģeolokācijas radaru (GPR) signālu apstrādi:

- veikta literatūras analīze par mērījumu veikšanu, datu interpretāciju un signālapstrādes metodēm GPR tematikā;
- izstrādāti algoritmi un veikta grafiskā lietotāja interfeisa (GUI) izstrāde Matlab vidē GPR mērījumos iegūto datu pēcapstrādei;
- veikti eksperimentālie mērījumi un iegūto datu apstrāde.

GUI izstrāde.

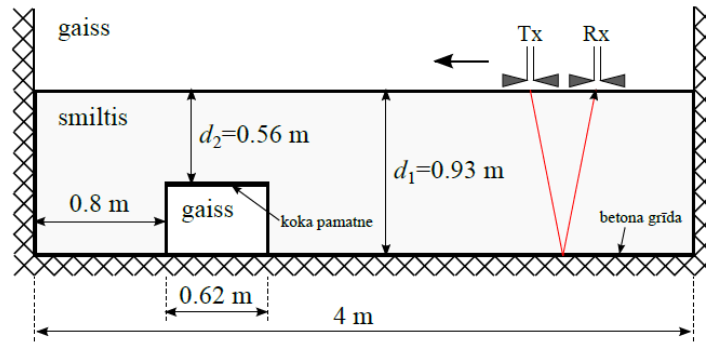
Grafiskais lietotāja interfeiss Matlab vidē tiek izstrādāts ar mērķi, lai tajā ērti varētu ielasīt GPR mērījumos iegūtus datus un veikt to apstrādi ar interfeisā iestrādātajām signālapstrādes metodēm, kā arī veikt šo datu dažādu vizualizāciju. GUI izstrāde vēl turpinās, tāpēc 1.1. attēlā parādīta interfeisa pagaidu versija.



1.1. att. Grafiskais lietotāja interfeiss GPR datu ielasīšanai un apstrādei

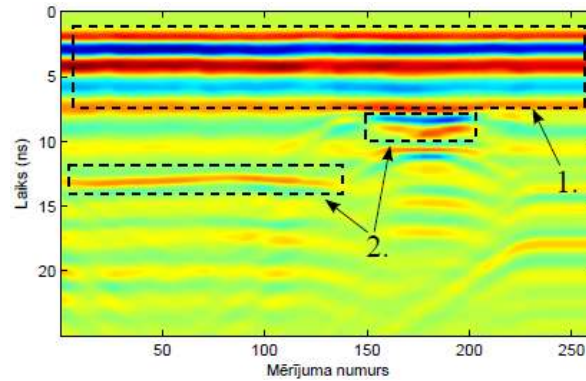
Eksperimentālie mērījumi.

Pirmie mērījumi tika veikti vidē, kas ilustrēta 1.2. attēlā – kā testa materiāls telpā uz grīdas ir uzbērts smilšu slānis, kura biezums mainās no 0.93 m uz 0.56 m.

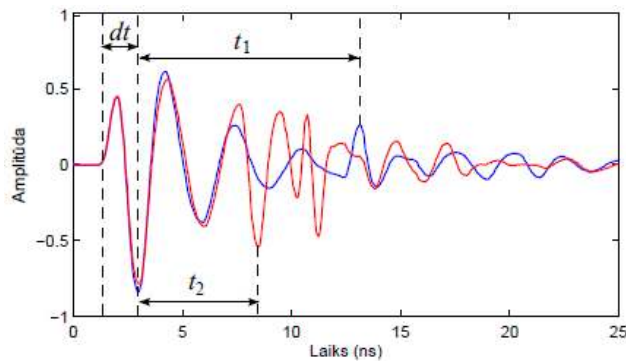


1.2. att. Smilšu slāņa biezuma mērīšana, antenas virzot no labās puses uz kreiso

Mērījumi tika veikti, virzot antenas no labās puses uz kreiso. Iegūtais kopējais rezultāts ir parādīts 1.3. attēlā, bet atsevišķo mērījumu ar kārtas numuriem 50 un 180 signāli ir parādīti 1.4. attēlā.



1.3. att. Mērījumu rezultāts: 1. – tiešais signāls, 2. – no smilšu slāņa apakšējās robežvirsmas atstarotais signāls



1.4. att. Signāli (no 1.3. attēla) ar kārtas numuriem 50 (zilā līnija – atstarojums no betona grīdas) un 180 (sarkanā līnija – atstarojums no koka pamatnes)

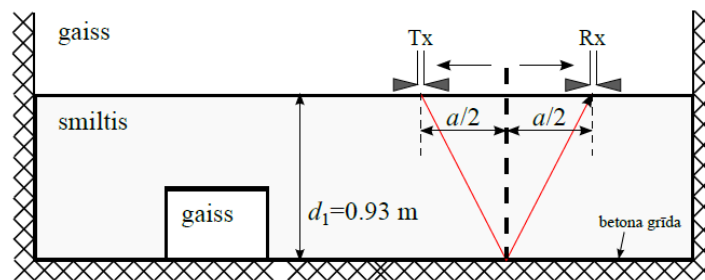
No 1.4. attēlā parādītajiem signāliem var atrast smilšu dielektrisko caurlaidību, nomērot laika intervālus t_1 un t_2 starp tiešā signāla pirmo negatīvo pīķi un atstaroto signālu maksimumiem. Zilā līnija atbilst atstarojumam no betona grīdas $d_1 = 0.93$ m dziļumā – šajā gadījumā mainās izstaroto impulsu fāze uz pretējo, ko nosaka

atstarošanās koeficienta $r = \frac{\sqrt{\epsilon_{smiltim}} - \sqrt{\epsilon_{betonam}}}{\sqrt{\epsilon_{smiltim}} + \sqrt{\epsilon_{betonam}}}$ zīme ($\epsilon_{smiltim} < \epsilon_{betonam}$), tāpēc laiks t_1 tiek mērīts no atstarotā impulsa pozitīvā maksimuma. Savukārt sarkanā līnija atbilst atstarojumam no koka pamatnes 0.56 m dziļumā – šajā gadījumā izstaroto impulsu fāze nemainās ($\epsilon_{smiltim} > \epsilon_{kokam}$), tāpēc laiks t_2 tiek mērīts no atstarotā impulsa minimuma. Ņemot vērā, ka t_1 un t_2 vērtībām papildus ir jāpieskaita laika intervāls dt , kurā tiešais signāls pienāk no raidošās antenas uz uztverošo, iegūst sekojošu vienādojumu sistēmu

$$\begin{cases} \frac{d_1}{c} \sqrt{\epsilon_{smiltim}} = t_1 + dt \\ \frac{d_2}{c} \sqrt{\epsilon_{smiltim}} = t_2 + dt \end{cases}$$

no kuras atrod $dt = \frac{(t_1 - t_2)h_1}{h_1 - h_2} - t_1 = 1.53 \text{ ns}$ un $\epsilon_{smiltim} = \frac{c^2(t_1 - t_2)^2}{4(h_1 - h_2)^2} = 3.5$.

Otrie mērījumi tika veikti kopējā viduspunkta (CM) metodes pārbaudei, kuru izmanto slāņu biezuma un dielektriskās caurlaidības noteikšanai. Mērījumu gaita ilustratīvi parādīta 1.5. attēlā.

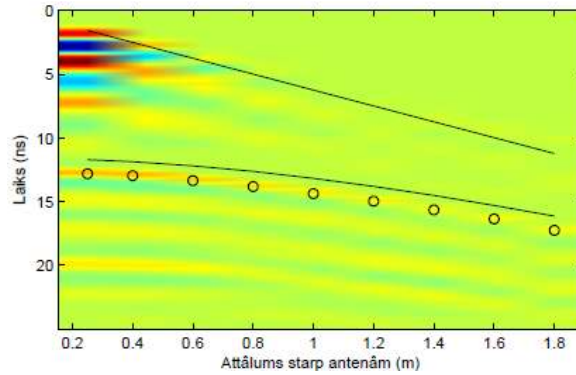


1.5. att. Smilšu slāņa biezuma mērīšana ar CM metodi

Saskaņā ar CM metodi raidošā un uztverošā antenas tiek attālinātas viena no otras simetriski attiecībā pret kopējo viduspunktu. Ja antenas ir labi ekranētas, tad no raidošās antenas izstarotie impulsi nonāk uztverošajā pa 2 dažādiem ceļiem šādos laika intervālos:

- 1) $\tau_1 = a/v$ – tiešā signāla pienākšana no raidošās uz uztverošo antenu pa smiltīm ar ātrumu $v = c/\sqrt{\epsilon}$, kur ϵ ir smilšu dielektriskā caurlaidība;
- 2) $\tau_2 = 2\sqrt{a^2/4 + h^2}/v$ – no smilšu slāņa apakšējās robežvirsmas atstaroto impulsu pienākšana uztverošajā antenā.

Pēc 9 mērījumiem pie attālumiem $a = 0.25 \text{ m}, 0.4 \text{ m}, \dots, 1.8 \text{ m}$ iegūtais rezultāts ir parādīts 1.6. attēlā.



1.6. att. CM mērijumu rezultāts – uzvilktais nepārtrauktās līnijas atbilst teorētiski sagaidāmajām līknēm τ_1 un τ_2 , bet ievilkšie aplīši – praktiski iegūtās atstaroto impulsu maksimumu vietas

Kā izriet no 1.6. attēla, tad praktiski iegūtie punkti ir nedaudz nobīdīti uz leju salīdzinājumā ar teorētiski sagaidāmo parabolas līkni, kas skaidrojams ar impulsu raidītāja un uztvērēja tehniskā īpildījuma specifiku. Uzdevums šajā gadījumā ir no dotajiem punktiem $\hat{t}_n(a_n)$ atrast smilšu slāņa biezumu h un smilšu dielektrisko caurlaidību ε . Uzdevumu atrisina, minimizējot izteiksmi

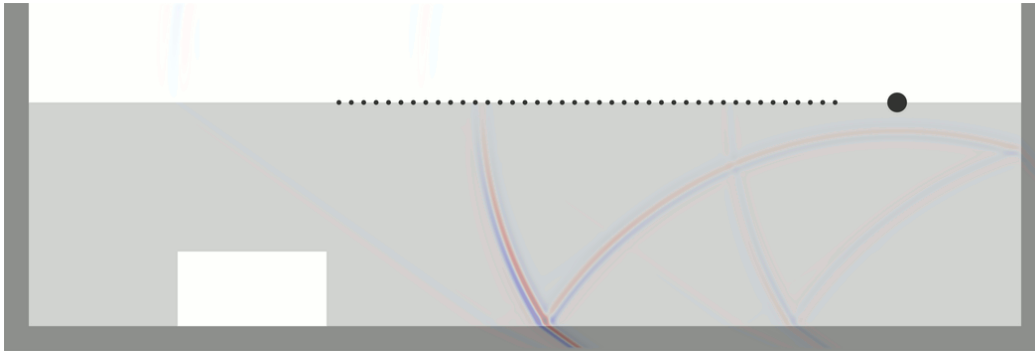
$$E = \sum_{n=1}^N \left(\hat{t}_n(a_n) - \frac{2\sqrt{\varepsilon}}{c} \sqrt{\frac{a_n^2}{4} + h^2} - dt_0 \right)^2,$$

kur lielumi $\hat{t}_n(a_n)$, a_n un $N = 9$ ir doti, un ir jānosaka ε , h un dt_0 . Pēc atrisināšanas iegūst: $\varepsilon = 3.35$ un $h = 0.86$ m, kaut gan smilšu slāņa patiesais dziļums ir 0.93 m, un no pirmajiem mērijumiem tika iegūts: $\varepsilon_{smiltīm} = 3.5$. Līdz ar to var secināt, ka CM metode šajā gadījumā dod neprecīzāku rezultātu, kas skaidrojams ar to, ka minimizācijas uzdevumā tika izmantoti tikai 9 punkti, kas attiecīgi palielina trokšņa ietekmi uz iegūto rezultātu.

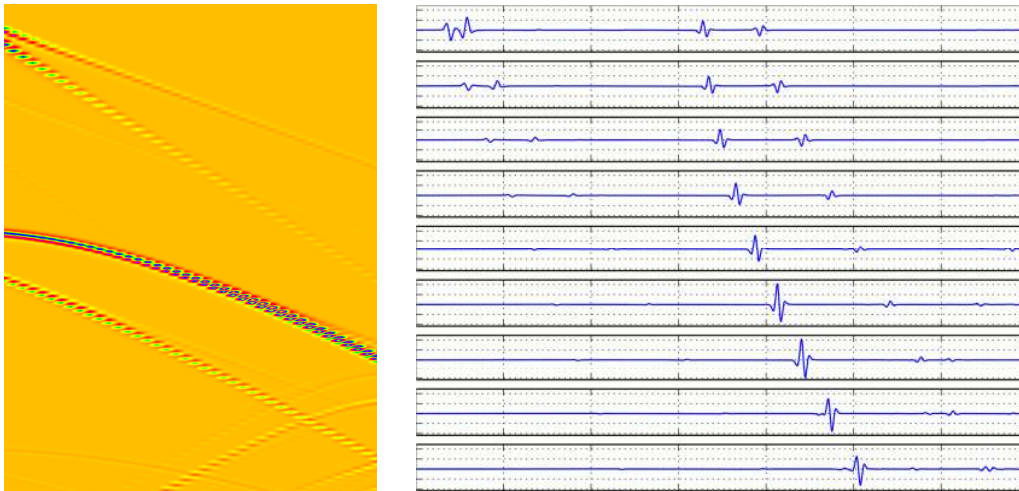
Pētījumi Nr.2. Vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveide.

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi saistībā ar vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveidošanu un uzlabošanu:

- iepazīšanās ar Meep radioviļņu izplatīšanās simulācijas programmatūru;
- programmas izveide Python vidē Meep programmatūras aprēķinu rezultātu pēcapstrādei;
- radioviļņu izplatīšanās zemes virsslāņos modelēšana ar Meep programmatūru;
- veikta skaitlisko aprēķinu izšķirtspējas analīze gan gprMax, gan Meep programmatūrai;
- veikta publikāciju un rakstu meklēšana par efektīvu radioviļņu izplatīšanās aprēķinu precizitātes un izšķirtspējas palielināšanu.



2.1. att. Meep programmas vides modeļa attēlojums



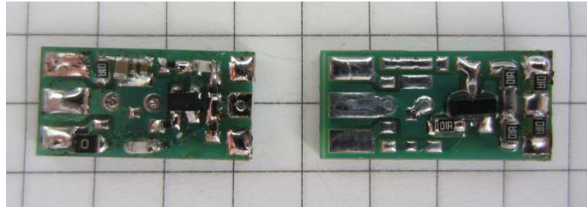
2.2. att. Meep programmas vides modeļa datora simulācijas rezultāts

Pētījumi Nr.3. Raiduztvērēju moduļu izveide un uzlabošana.

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi raiduztvērēju moduļu izveidē un pilnveidošanā kontakta veida zemes zondēšanai:

- Izveidoti antenu ierosmes impulsu ģeneratoru moduļi:
 - Antenu ierosmes impulsu ģeneratoru moduļi, pievienojami tieši pie simetriskas antenas;
 - Antenu ierosmes impulsu ģeneratora modulis ar koaksiālu izeju.
- Izveidoti uztvērēju moduļi:
 - Uztvērēja modulis, pievienojams tieši pie simetriskas antenas
 - Uztvērēja modulis ar SMA tipa koaksiālo ieeju;
- Kontakta veida zemes zondēšanas antenu moduļi:
 - Antenu moduļi ar koaksiāla kabeļa izeju un ieeju;
 - Antenu moduļi ar pie antenām tieši pievienotu raidītāju un uztvērēju.

Balstoties uz iepriekšējā pārskata periodā veikto antenu ierosmes ģeneratoru izstrādes pētījumu rezultātiem, tika izveidoti antenu ierosmes ģeneratoru moduļi.

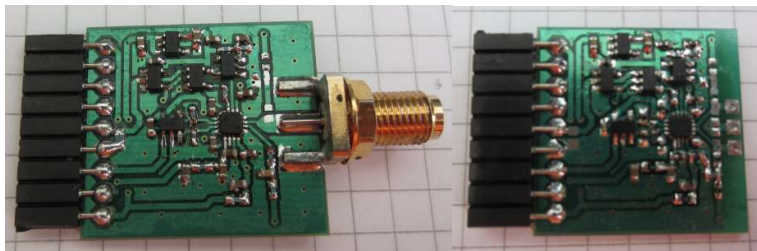


3.1. att. Antenu ierosmes impulsu ģeneratoru moduļi, pievienojami tieši pie simetriskas antenas.



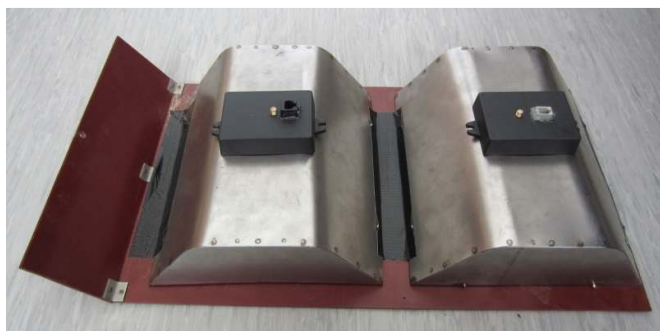
3.2. att. Antenu ierosmes impulsu ģeneratora modulis ar koaksiālu izeju

Uztvērēju moduļu izstrāde.



3.3. att. Uztvērēju moduļi: Pievienošanai tieši pie antenas (pa labi); Ar koaksiālu ieeju (pa kreisi).

Kontakta veida zemes zondēšanas antenu moduļu izstrāde



3.4. att. Kontakveida zemes virsējo slāņu apsekošana antenu modulis ar tieši pie antenām pievienota ierosmes ģeneratora un uztvērēja

Izstrādātie raiduztvērēju moduļi tika izmantoti pētījumos, kuru rezultāti ir aprakstīti zinātniskās atskaites nodaļas „Pētījumi Nr.1” sadaļā „Eksperimentālie mērījumi”.