

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 zinātnei 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 APLIECINOŠA DOKUMENTĀCIJA**

*Pārskata numurs Nr.3. par periodu no 01.03.2015.g līdz 31.05.2015.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 trešajā periodā (01.03.2015.-31.05.2015.) 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);
- datu pārraides arhitektūras un datu glabāšana (pētījumi Nr.4).

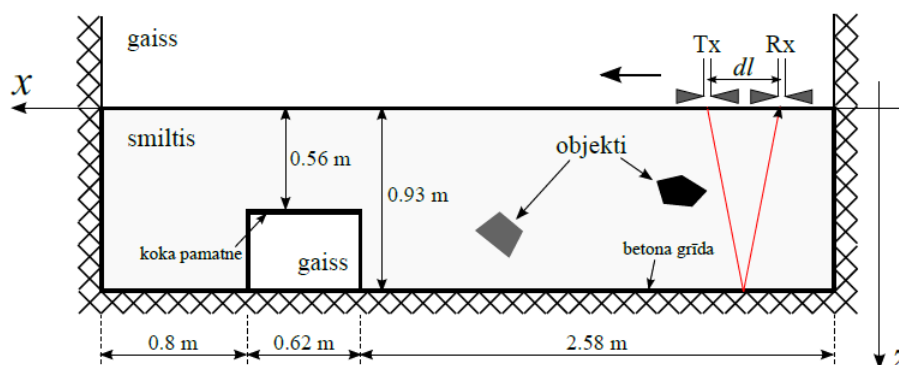
## Rezultātu kopsavilkums

**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:

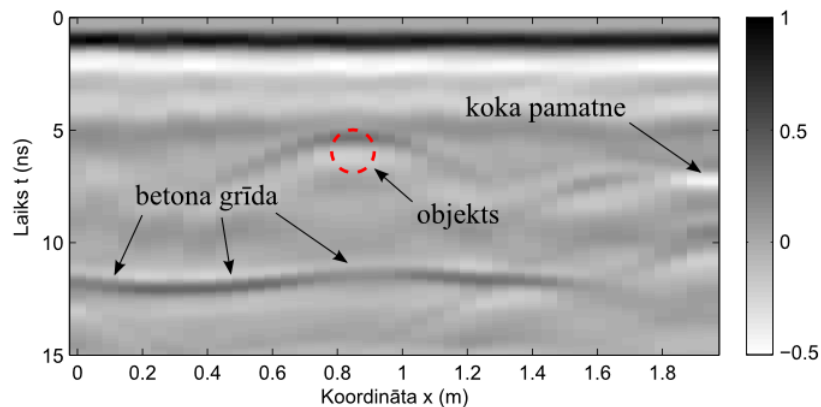
- veikta literatūras analīze par datu interpretāciju un signālapstrādes metodēm GPR tematikā;
- turpināta algoritmu un grafiskā lietotāja interfeisa (GUI) izstrāde Matlab vidē GPR mērījumos iegūto datu pēcapstrādei;
- veikti eksperimentālie mērījumi un iegūto datu apstrāde.

Eksperimentālie mērījumi objektu lokalizācijai tika veikti vidē, kas ilustrēta 1.1. attēlā – telpā uz grīdas ir uzbērts smilšu slānis, kurā tiek paslēpti meklējamie objekti.



1.1. att. Objektu meklēšana smilšu slānī, antenas virzot no labās puses uz kreiso

Antenas virzot uz priekšu pa  $x$  asi, ik pēc  $dx = 0.05$  metriem pozīcijās  $x_n = ndx$ ,  $n = 0, 1, \dots, N - 1$ , smilšu slānī vertikāli uz leju tiek raidīts elektromagnētiskais impulss, kuram atstarojoties no zemāk esošajiem objektiem un nonākot uztverošajā antenā, tiek iegūti uztvertā signāla pieraksti šajās pozīcijās. Rezultātā tiek iegūti  $N$  signāli  $s_n(t) = s(x_n, t)$ , kurus uzskatāmi parāda vienā attēlā – radarogrammā, kuras piemērs viena objekta (metāla gāzes baloniņš) gadījumā parādīts 1.2. attēlā.



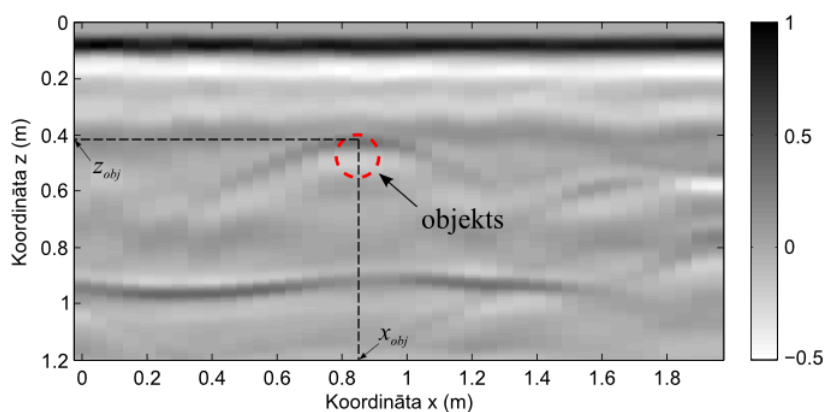
1.2. att. Mērījumu rezultāts  $xt$  plaknē ar vienu paslēptu objektu

Impulsiem atstarojoties no betona grīdas un metāla baloniņa, to fāze mainās uz pretējo, ko pirmajā gadījumā nosaka betona dielektriskā caurlaidība, kas ir lielāka nekā smiltīm, bet otrajā gadījumā – metāla augstā vadītspēja. Savukārt impulsiem, kas atstarojas no koka pamatnes, fāze nemainās un līdz ar to ir pretēja salīdzinājumā ar impulsiem, kas atstarojas no betona grīdas un metāla, ko labi parāda arī 1.2. attēlā redzamās krāsas, kuru intensitāti nosaka attēloto signālu  $s(x_n, t)$  vērtības.

Zinot laika momentu  $t_0$ , kurā raidošā antena sāk izstarot elektromagnētisko impulsu, un laika momentu  $t_{obj}$ , kurā no objekta atstarotais impulss pienāk uztverošajā antenā, objekta atrašanās dziļumu slānī aprēķina pēc formulas:

$$z_{obj} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon}}(t_{obj} - t_0),$$

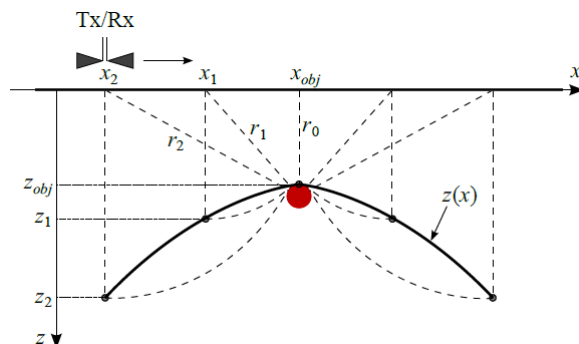
kur  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s ir gaismas ātrums vakuumā un  $\varepsilon = 3.5$  ir smilšu dielektriskā caurlaidība. Ja pieņem, ka  $t_0 = 0$ , tad  $z_{obj} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon}}t_{obj}$ , un pareizinot 1.2. attēlā parādītās radarogrammas laika  $t$  vērtības ar  $c/(2\sqrt{\varepsilon})$ , iegūst 1.3. attēlu, kurā laika  $t$  ass tiek aizstāta ar koordinātas  $z$  asi, kas rāda objekta atrašanās dziļumu pētāmajā slānī.



1.3. att. Mērījumu rezultāts  $xz$  plaknē ar vienu paslēptu objektu

Kā var novērot no 1.2. un 1.3. attēliem, tad apkārt vietai, kurā lokalizēts objekts (punkts  $(x_{obj}, z_{obj})$   $xz$  plaknē), ir parādījusies parabolai līdzīga līkne, kuras veidošanos nosaka antenu virziendarbība – jo platāka tā būs, jo garāki būs parabolas uz leju vēršie zari.

Parabolas veidošanos viena objekta gadījumā ilustrē 1.4. attēls.



1.4. att. Raksturīgās parabolas  $z(x)$  veidošanās  $xz$  plaknē ap meklējamo objektu

Platas virziendarbības gadījumā antenām 1.4. attēlā atrodies punktā  $x_2$ , izstarotie impulsi pa taisni  $r_2$ , kuras garums ir  $\sqrt{(x_2 - x_{obj})^2 + z_{obj}^2}$ , nonāk līdz objektam un pēc atstarošanās atgriežas atpakaļ. No iegūtā signāla tiek secināts, ka šis objekts atrodas attālumā  $r_2$ , bet nav skaidrs, kādā virzienā. Tā kā mērījums tiek veikts pie koordinātas  $x_2$ , tad uzskata, ka objekts atrodas attālumā  $r_2$  no  $x_2$  uz leju vērstās  $z$  ass virzienā. Rezultātā tiek iegūts punkts  $(x_2, z_2)$   $xz$  plaknē ar dziļuma koordinātu  $z_2 = \sqrt{(x_2 - x_{obj})^2 + z_{obj}^2}$ , ko nosaka antenu pozīcija  $x_2$  un objekta atrašanās vieta  $xz$  plaknē. Līdzīgā veidā analizējot, pie antenu pozīcijas  $x_1$  tiek iegūta dziļuma koordināta  $z_1 = \sqrt{(x_1 - x_{obj})^2 + z_{obj}^2}$ , un vispārīgā gadījumā – pie antenu pozīcijas  $x$ :

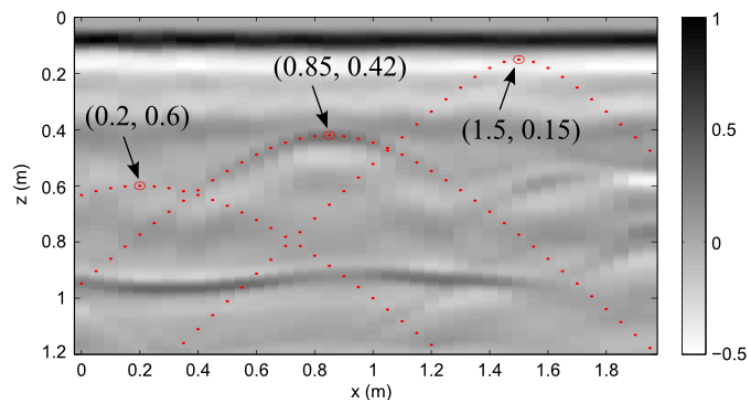
$$z(x) = \sqrt{(x - x_{obj})^2 + z_{obj}^2}.$$

Kā izriet no  $z(x)$  izteiksmes, tad pie antenu pozīcijas  $x = x_{obj}$  nomērītais dziļums būs vismazākais un sakrītīs ar objekta patieso dziļumu, ko parāda arī funkcija  $z(x)$  1.4. attēlā.

Ja attālums starp raidošo un uztverošo antenu ir  $dl$  (1.1. att.), tad funkciju  $z(x)$  nosaka izteiksme:  $z(x) = \frac{1}{2}\sqrt{\left(x + \frac{dl}{2} - x_{obj}\right)^2 + z_{obj}^2} + \frac{1}{2}\sqrt{\left(x - \frac{dl}{2} - x_{obj}\right)^2 + z_{obj}^2}$ .

Vairāku objektu gadījumā ap katru objektu veidosies mērījumiem raksturīgā parabola, kuras virsotnes koordināta sakrītīs ar objekta pozīciju  $xz$  plaknē. Tā kā šādu parabolu veidošanās var apgrūtināt nomērīto datu pareizu interpretāciju, tad iegūtos datus apstrādā ar "migrācijas" algoritmiem, no kuriem populārākais ir difrakcijas-summēšanas algoritms.

Algoritmam pamatā ir sekojoša ideja. Radarogrammas, kas attēlo mērījumos iegūtos signālus  $s(x, z)$ , katrā punktā  $(x_n, z_m)$  (1.5. attēls) tiek pieņemts, ka atrodas objekts ar tam raksturīgo parabolu  $z_{(x_n, z_m)}(x) = \sqrt{(x - x_n)^2 + z_m^2}$  (īsākam pierakstam attālums starp antenām šajā gadījumā tiek pieņemts  $dl = 0$ ).



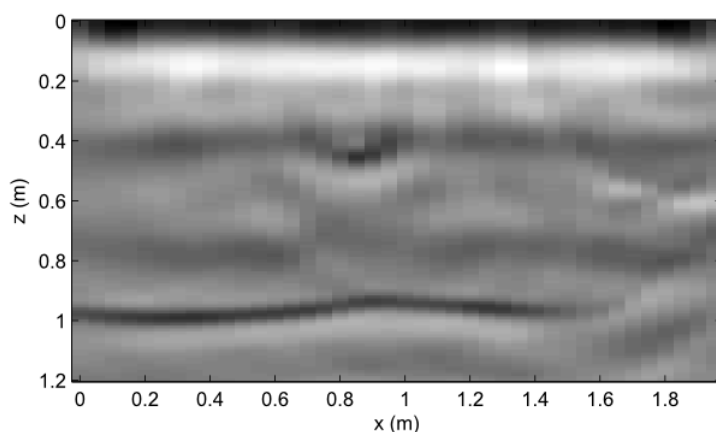
1.5. attēls Trīs punktiem atbilstošās parabolas (punktotās līnijas)

Summējot visu to pikseļu, kas atrodas uz parabolas zariem, vērtības, iegūst migrētā attēla pikseļa vērtību:

$$\hat{s}(x_n, z_m) = \sum_{k=1}^N s(x_k, z_{(x_n, z_m)}(x_k)) = \sum_{k=1}^N s\left(x_k, \sqrt{(x_k - x_n)^2 + z_m^2}\right).$$

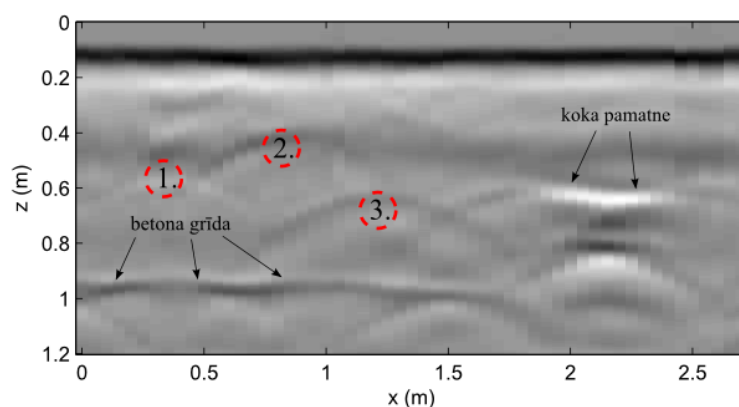
Ja apskatāmajā punktā  $(x_n, z_m)$  objekts atrodas, tad summēšanas rezultātā iegūtā pikseļa vērtība vairākas reizes palielināsies salīdzinājumā ar summēto pikseļu vērtībām, savukārt, ja apskatāmajā punktā objekts neatrodas, tad summārā pikseļa vērtība ar lielu varbūtību būs tuvu nullei.

Ar difrakcijas-summēšanas metodi pārveidotā 1.3. attēlā redzamā radarogramma parādīta 1.6. attēlā. Kā redzams, tad objekta atrašanās vietā ir izīmējies izteikts punkts, parabolas uz leju vēršie zari ir pazuduši, kā arī izteiksmīgāka ir kļuvusi smilšu slāņa apakšēja robežvirsmā.

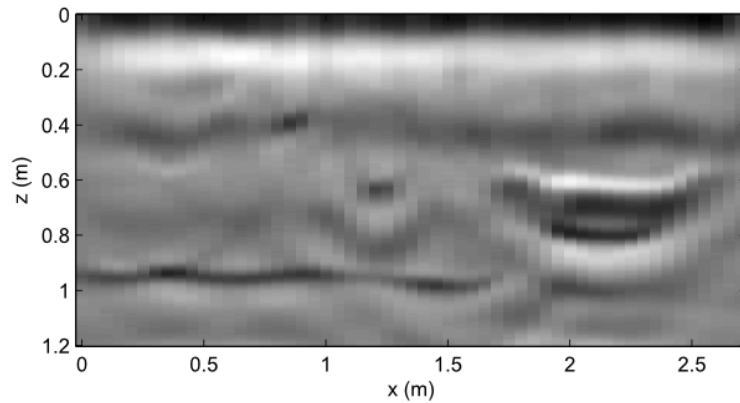


1.6. att. Ar difrakcijas-summēšanas metodi pārveidotā 1.3. attēla radarogramma

Trīs objektu gadījumā iegūtā radarogramma parādīta 1.7. attēlā, bet ar difrakcijas-summēšanas metodi pārveidotais rezultāts – 1.8. attēlā.



1.7. att. Mērījumu rezultāts  $xz$  plaknē ar trīs paslēptiem objektiem (1. – plastmasas caurule, 2. – gumijas caurule, 3. – metāla gāzes baloniņš)

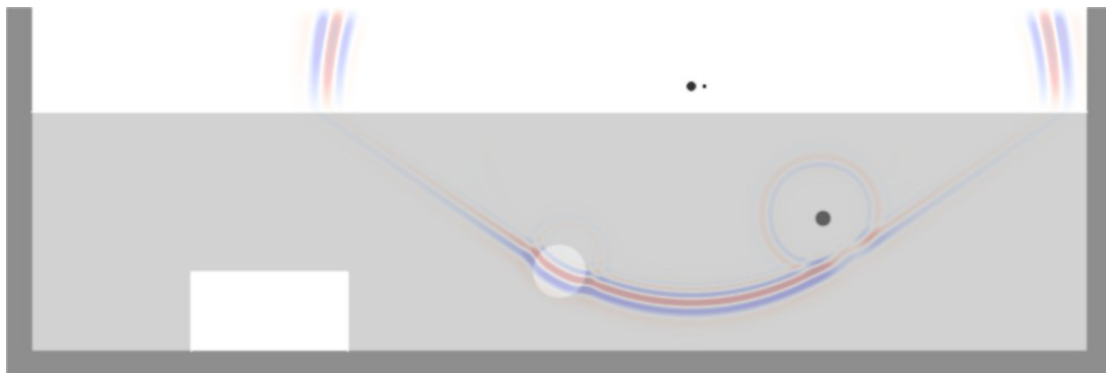


1.8. att. Ar difrakcijas-summēšanas metodi pārveidotā 1.7. attēla radarogramma

Kā redzams no 1.8. attēla, tad pēc pārveidošanas skaidri ir saskatāmi tikai 2. un 3. objekti, bet 1. objekts ir pazudis, kuru tomēr var novērot raksturīgās parabolas formā 1.7. attēlā. Tas liecina, ka ne vienmēr ar šādu vienkāršu migrācijas metodi izdosies uzlabot rezultātu, tāpēc apsverami ir sarežģītāku algoritmu pielietojumi (Kirhofa migrācija, f-k migrācija u.c.)

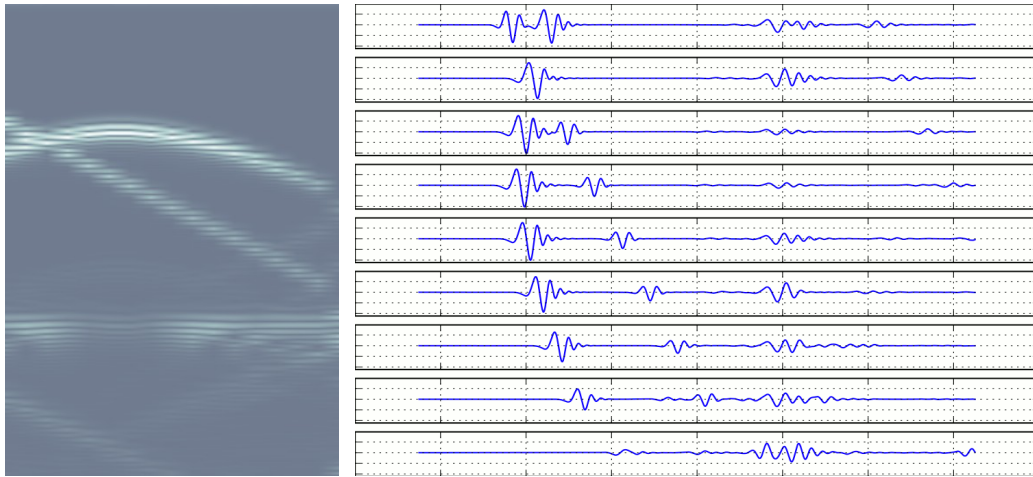
### **Pētījumi Nr.2.** Vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveide.

Pārskata periodā tika turpināta vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveidošana un uzlabošana. Skaitliskie aprēķini tika veikti, izmantojot Meep programmatūru testa eksperimentu vides ģeometrijas 2D šķēsgriezumam. Aprēķini tika organizēti atbilstoši tam, kā, izmantojot GPR sistēmu, tiek meklēti nelieli objekti: radara antenas tiek novietotas augsnes virskārtas tuvumā un abas vienlaicīgi tiek pārvietotas gar augsnes virsmu. Aprēķini tika veikti, mainot zemes dielektriskos parametrus un mitrumu, kā arī meklējamo objektu izvietojumu un īpašības. Aprēķinu rezultātu piemēri ir doti 2.1. un 2.2. attēlos.



2.1. att. RF viļņu fronte testa eksperimentu vidē ar diviem objektiem



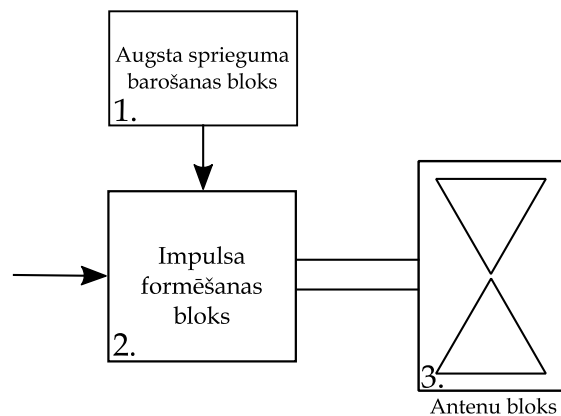


2.2. att. Aprēķinātie RF signāli dažādām raidošā-uztverošā antenu pozīcijām attiecībā pret objektiem testa vidē

### Pētījumi Nr.3. Raiduztvērēju moduļu izveide un uzlabošana.

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

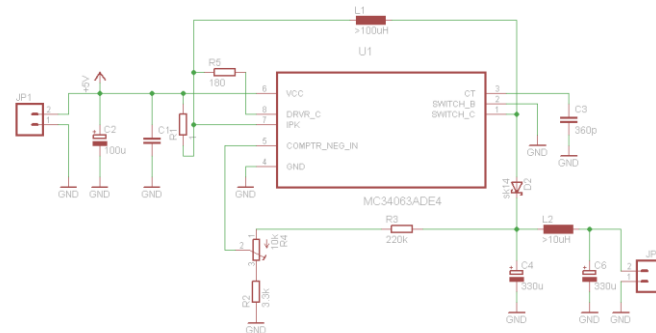
- Raidītāju moduļiem nepieciešamo sprieguma paaugstinošo impulsu barošanas bloku realizācijas veidu un slēgumu izpēte;
- Antenu ierosmes ģeneratoru (impulsu formētāju) izveide;
- Raiduztvērēju moduļu parametru uzlabošana.



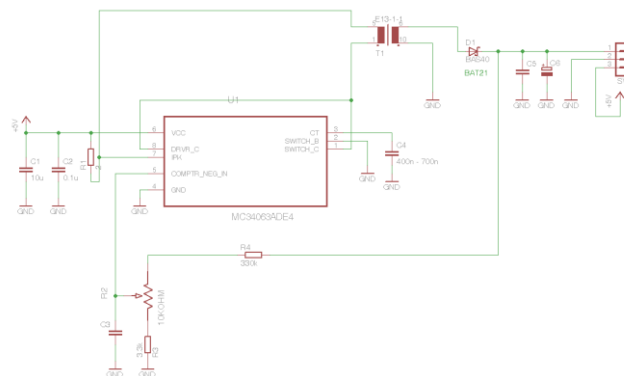
3.1. att. Raidītāja moduļa blokshēma

Raidīšanas modulis sastāv no trīs galvenajām sastāvdaļām (3.1. attēls). Izstarotā impulsa parametru tieši nosaka izmantotā ierosmes impulsa parametri – forma, frontes stāvums un amplitūda. Izstarotā impulsa parametru ir arī atkarīgi no izmantotās antenas – frekvenču joslas un antenas sloģošanas. Izmantojot bipolāro tranzistoru lavīncaursītes īpašības, iespējams lielas amplitūdas un īsas frontes impulsus, kurus efektīvi iespējams izmanto antenas ierosmei. Lavīncaursītes režīms notiek pie augstiem barošanas spriegumiem, tādēļ nepieciešams papildus stabils augsta sprieguma barošanas avots ar mazām sprieguma pulsācijām.

Bipolāro tranzistoru lavīncursite var notikt pie dažādiem spriegumiem, atkarībā no izmantoto tranzistoru struktūras, tādēļ nepieciešams izstrādāt barošanas avotu ar regulējamu barošanas spriegumu. Šādas iespējas sniedz impulsu barošanas avotu topoloģijas. Bipolāro tranzistoru impulsu formētājam nepieciešams formēt impulsu ar 100 kHz atkārtošanās frekvenci. Lavīncursites process, salīdzinājumā ar atkārtošanās periodu, ir ļoti īss process un pārējā laikā impulsa formētājs ir neaktīvs. Līdz ar to vidējais strāvas patēriņš ir ievērojami mazāks par 10 mA, kas neuzliek augstas prasības barošanas avotam. Ņemot vērā visu šos apsvērumus tika izveidotas BOOST un Flyback topoloģijas impulsu barošanas avoti (3.1 – 3.5. attēli).

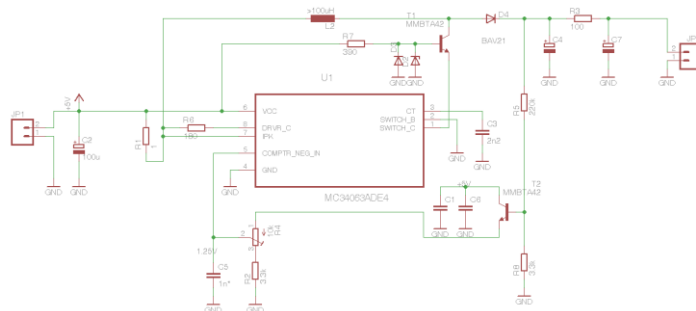


3.2. att. Vienkārša „boost” tipa impulsu barošanas blokskāma



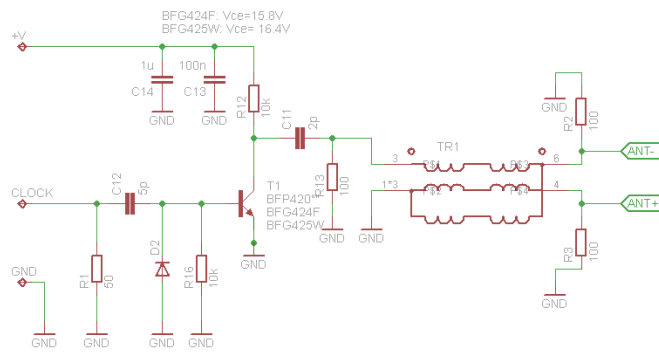
3.3. att. „Flyback” tipa sprieguma paaugstinoša impulsu barošanas blokskāma

Flyback topoloģijas impulsa barošanas avots tika izstrādāts spriegumiem, kas lielāki par 60 V.



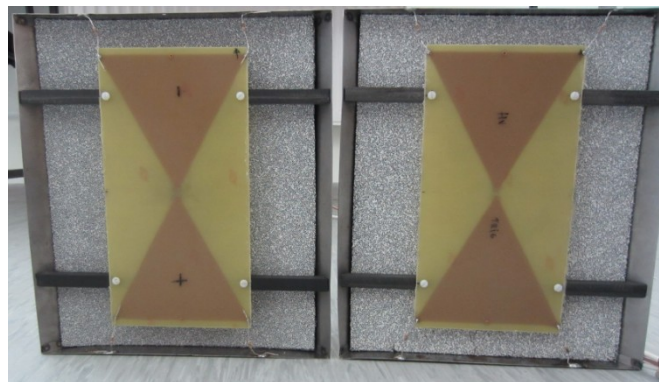
3.4. att. Beztransformatora liela sprieguma impulsu barošanas blokskāma ar ārēju bipolārā tranzistora slēdzi



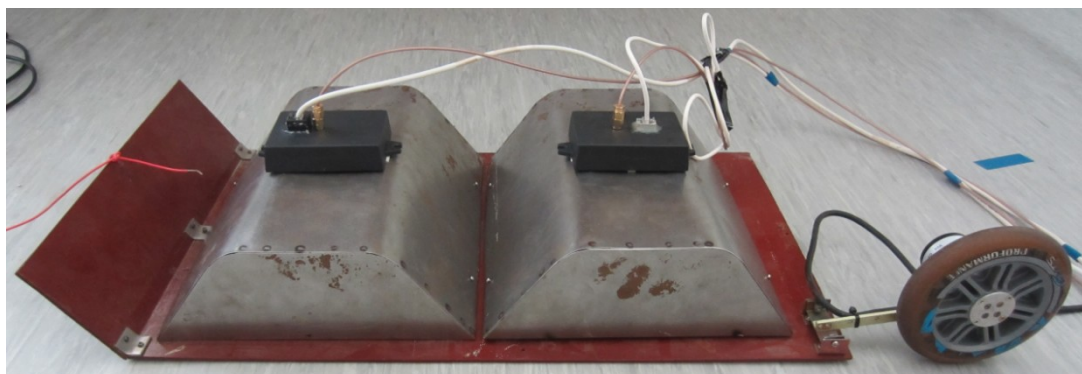


3.7. att. Simetriskas antenas ierosmes impulsu ģeneratora shēma ar simetrizējošo līnijtransformatoru

Būtiska ietekme uz izstarotā impulsa parametriem ir izmantotajām antenām. Iepriekš jau tika aplūkoti dažādi antenu sloģošanas paņēmieni. Šajā etapā tika veikti antenu parametru uzlabošanas testi, izmantojot augstfrekvences radioviļņu absorbējošos materiālus (3.8. attēls).



3.8. att. Raiduztvērēju antenu moduļi ar iemontētiem radioviļņu absorbējošiem materiāliem



3.9. att. Raiduztvērēju antenu modulis ar distances devēju, novietots uz „slēpes” tipa platformas

Attēlā 3.9. redzamais raiduztvērēju modulis tika izmantots atskaites sadaļas „Pētījumi Nr.1.” rezultātos atainoto mērījumu datu iegūšanai.

**Pētījumi Nr.4.** Datu pārraides arhitektūras (topoloģijas, protokoli) un datu glabāšanas (datu bāzes), attālinātas vadības risinājumu izveide.

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

- Iepazīšanās ar datu glabāšanas formātu HDF5, kas ļauj glabāt datus aparātiski neatkarīgi binārā formā, veidot heirarhiskas datu struktūras, anotēt datus, nepieciešamības gadījumā saspīest/atspīest datus
- Pētīta datu noglabāšana un nolasīšana HDF5 formātā izmantojot C API
- Pētīta HDF5 datu formāta lietošana MATLAB vidē
- Pētīta datu noglabāšana un nolasīšana HDF5 formātā Python vidē izmantojot h5py un pytables bibliotēkas
- Pētīta GPR datu specifikai atbilstoša optimāla datu saspīest/atspīest stratēģija HDF5 failu formāta ietvaros
- Iekārtas attālinātas parametru konfigurēšanas iespēju izpēte.
- Bezvadu saites realizācijas iespēju izmantojot 3G/4G datu pārraides tīklu izpēte:
- 2G (GSM/GPRS), 3G (UMTS), 4G (LTE) tīkla iekārtu (modēmu) un to parametru apskats.
- Attālinātajai vadībai piemērotu 2G,3G,4G tīkla iekārtu atlase.
- Attālinātas vadības paneļa izveides, izmantojot NI Labview programmnodrošinājuma apskats.
- NI Labview attālināta vadības paneļa izveides koncepta izpēte.
- NI Labview attālinātai vadībai piemērotu rīkkopu TCP/IP, Internet Toolkit, VI Server, Front Panel Web Publishing, Remote Data Acquisition (RDA), DataSocket izpēte.
- NI Labview attālināta vadības servera konfigurēšana.
- NI Labview attālināta vadības un parametru novērošanas klienta konfigurēšana.
- NI Labview attālinātas piekļuves paneļa izveide.
- Attālinātas vadības piekļuves paneļa darbības pārbaude. Kļūdu atklāšana un novēršana.
- Bezvadu datu saites pārrāvumu ietekmes un iekārtas darbību novērtēšana.
- NI Labview attālinātas piekļuves paneļa koriģēšana.