

Е4.35.Д1 Оформяне на заключителния доклад и отчитане на проекта . Изготвяне на рекламни материали. Попълване на Интернет страницата с резултати от изпълнението на проекта. Оформяне на научни публикации.

Извършва ръководителя на проекта или неговите заместници, съвместно с водещите изследователи в областта на цифрова обработка на сигнали, моделиране на радарни задачи, развойна дейност в областта на радарите. Участват общо 8 висококвалифицирани специалисти в изброените области с поне 10 години професионален опит.

Разделът беше разработен, както следва:

Е4.35.Д1.1. д-р инж. Иван Стоянов, научен ръководител на проекта и отговорен изследовател;

Е4.35.Д1.2. икономист Владимир Стоянов, изследовател патентни проучвания;

Е4.35.Д1.3. д-р инж. Станислав Бабалов, научен ръководител на проекта по изследователската част;

инж. Соня Проконова, водещ изследовател специалист цифрова сигнална обработка- методическа помощ по оформяне на заключителния доклад по отношение на цифровата обработка на сигналите;

инж. Илко Бешински, водещ изследовател радари и комуникации- методическа помощ по оформяне на заключителния доклад по отношение на експерименталната платформа;

инж. Здравка Николова, водещ изследовател авангардни електронни технологии – методическа помощ при подготовка на публикациите и семинарите от технологична гледна точка;

инж. Христо Петков, Изследовател системно проектиране- методическа помощ от системна гледна точка при оформяне на заключителния доклад и публикациите;

инж. Димитър Стоянов, Научен ръководител на проекта по развойната дейност- методическа помощ и консултации при оформяне на заключителния доклад от гледна точка на възможности за практическа реализация.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЕН ДОКЛАД

Е4.35.Д1.1. Оформяне на заключителния доклад и отчитане на проекта

Д-р инж. Иван Стоянов

В рамките на проекта бяха изследвани и усъвършенствани съществуващите и разработени нови методи за калибриране и ориентиране на метеорологичните радари.

Бяха моделирани теоретично с помощта на най-добрите програмни продукти в тази област- AREPS, MATLAB, SYSTEMVUE, GENESYS конкретни радарни системи и външни за тях пасивни и активни цели, на фона на цифрова карта на местността, отчитаща рефракционни, дифракционни ефекти и многолъчево разпространение. С помощта на теоретичното моделиране бяха получени теоретични оценки за право и обратно разпространение на електромагнитните вълни от изследваните еталонни пасивни и активни цели. По-нататък в реална среда бяха получени експериментални резултати за същите модели радари и цели. По пътя на сравнителния анализ бяха оценени резултатите от теоретичното моделиране и експериментите. На тази база беше разработена нова интегрирана методика за калибриране и ориентиране на метеорологичните радари, която използва, както детерминирани, така и недетерминирани източници и преодолява недостатъците на съществуващите методики.

По-конкретно през отделните етапи бяха извършени следните планирани предварително дейности и резултати:

Етап1 – Проучване на съвременното ниво

В рамките на етапа беше извършено:

- проучване на съвременното ниво в научната тематика на проекта;
- провеждане на научни изследвания относно подходящи източници на базисно калибриране и ориентиране на радарите;
- проучване на достигнатото ниво на моделиране и експериментални измервания в областта на метеорологичната радиолокация;
- уточняване и детайлно планиране на комплекса научни измервания и експерименти, които ще са необходими за покриване на областите, обект на изследванията;
- оценка какви технически средства и програми ще са необходими за създаването на експериментална платформа, необходима за провеждането на измерванията;
- уточняване и дефиниране на задачите за изследване в областта на антените и СВЧ, цифровата обработка на сигнали и данни, смесеното хардуерно и софтуерно моделиране, механичните изисквания на експерименталната установка, задачите по логистиката и маркетинга на проекта.
- поставяне на конкретни задания на отговорниците на отделните подзадачи;

Етап 2 – Теоретично моделиране и изследване на методи за ориентиране и калибриране с помощта на недетерминирани и детерминирани източници на излъчване и отражение. Създаване на експериментална опитна постановка

В рамките на етапа бяха планирани следните по-важни направления на работа:

1. Теоретични изследвания в областта на използването на недетерминирани и детерминирани източници на излъчване и отражение в сферата на научен интерес на проекта:

- В областта на недетерминирани източници през етапа се работи за доразвиването и подобряването на методите за ориентиране и калибриране с използване на слънчевата радиация и местни отражатели, като недетерминиран източник в радиочестотния спектър. Бяха изследвани потенциалните възможности за ползване на този източник в двата крайни за метеорологичните радар обхвата – 3см и 10см. За целта, в среда на софтуерните пакети с които разполагахме, теоретично бяха моделирани вероятностните характеристики на приетите сигнали в двата диапазона. На базата на създадените теоретични модели бяха изведени потенциалните точностни характеристики на ориентирането и калибрирането. Бяха оценени също теоретичните възможности за измерване на усиляването на антенната система на приемане в различни азимутални и по височина направления на работа на РЛС.

- В областта на приложението на детерминирани източници на излъчване и отражение проведохме изследване на потенциалните и реалните точностни характеристики на детерминиран, външен за радарите източник на сигнали за ориентиране и калибриране. Бяха изследвани потенциалните възможности за ползване на този източник в двата крайни за метеорологичните радар обхвата – 3см и 10см. За целта теоретично, в среда на софтуерните пакети с които разполагахме, моделирахме вероятностните характеристики на приетите сигнали от външен детерминиран източник на фона на собствения шум на приемника в двата диапазона и на базата на теоретичните модели бяха оценени потенциалните точностни характеристики на ориентирането и калибрирането.

За целите на експериментите беше извършено:

1. Създаване на експериментална опитна постановка по дефинираните на предходния етап изисквания за провеждане на научен експеримент.
Беше направен теоретичен разчет на антенните системи, СВЧ подсистемите и приемно-предавателните подсистеми на такъв детерминиран източник. В среда на програмни продукти за моделиране на радиочестотни системи SystemVue, Genesys, Matlab моделирахме активен източник на радарни сигнали с библиотечни елементи- максимално

близки по характеристики до практическите модели. На този етап създадохме експериментална опитна постановка, включваща приемно-предавателна и антенна системи в интересните за метеорологичната радиолокация 3см и 10см диапазони, както и FPGA базирана система за цифрова обработка на сигналите. Тя приема радиолокационните сигнали в 10см диапазон или 3см диапазон, чрез смесване с непрекъснат хетеродинен сигнал от синтезатори в съответните диапазони и сваля приетия сигнал на междинна честота. По-нататък сигналите по междинна честота са дискретизирани в цифрови развойни китове, сигнала в цифров вид ще бъде манипулиран с доплерова честота и по задръжка, след което през вградените в китовите цифроаналогови преобразуватели са преобразувани в аналогов вид. По-нататък тези аналогови сигнали отново посредством смесване в смесители са транслирани по честота в съответния 3см или 10 см диапазони, усилен по мощност и обратно преизлъчени към съответния метеорологичен радар. Освен изброените компоненти са използвани и други, като насочени отклонители, изолатори и атенюатори, опорни генератори и други. Експерименталната опитна платформа има също възможност да излъчва собствени, непрекъснати или модулирани сигнали за снемане на диаграмата на насоченост на радарите. Експерименталната апаратура е съставена от компоненти на сложни системи и подсистеми, необходими за нашите индустриални научни изследвания, включително с използване на модерните технологии на дискретизиране на сигналите на междинна или носеща радиочестота, свръхдискретизация, цифрова филтрация и цифрова доплерова обработка. За нуждите на научния експеримент направихме запис и последваща обработка и анализ на реални радарни сигнали, съдържащи полезна информация за оценка на методите за дистанционно калибриране и ориентиране – основна цел на научно-изследователската разработка. Експерименталната апаратура беле измерена и калибрирана по мощност в безехова камера.

Етап3 Експериментални измервания и записи на радарни сигнали от детерминирани и недетерминирани източници на излъчване и отражение в 3см и 10см диапазони. Обработка, анализ и оценка на получените резултати за нуждите на калибрирането и ориентирането.

На този етап от изпълнението на задачата извършихме практически измервания на характеристиките на приетите сигнали от детерминиран източник. За целта използвахме детерминиран външен източник на радиолокационен сигнал с два режима на работа – на принципа на транспондера, преизлъчващ сигнала на метеорологичния радар и самостоятелно излъчващ източник в двата диапазона.

На същия етап от изпълнението на задачата извършихме практически измервания на същите характеристики на приетите сигнали от недетерминиран външен източник на излъчване и отражения. За целта използвахме комплекс за запис на реални радарни сигнали на базата на съществуващ, създаден от нас двучестотен радар MPJ5-IRIS, който пригодихм за целта и използвахме софтуер за запис на радиолокационни сигнали.

Получените резултати от експерименталните измервания сравнихме с теоретичен разчет на очакваните нива на приет сигнал/шум с помощта на средства за моделиране на разпространение на електромагнитните вълни на фона на цифрова карта на местността от типа на AREPS (Advanced Refractive Effects Prediction System), любезно предоставена ни за ползване от Военноморските сили на САЩ- най-добрата програма в света в тази област. Теоретичния разчет направихме за 3 от съществуващите метеорологични радари за различни позиции на разположение на детерминирания източник на радарни сигнали, както и за двойки съседни радари позиция на детерминирания източник, така че да опишем по-пълно загубите на приемане и предаване в различни азимутални направления.

В заключение на този етап направихме оценка на постигнатите точностни характеристики и в съответствие с тях изследваната методика за ориентиране и калибриране по активен външен източник намери място в създавания комплекс от методи за ориентиране и калибриране.

Етап 4 Сравнителен анализ на разработваните методи за дистанционно калибриране и ориентиране в среда на метеорологична радарна мрежа. Корекция на методиката по практическите резултати от полеви измервания. Оценка на полезността на всеки един от изследваните методи в практическата работа на метеорологичните радары. Дефиниране на спецификацията на бъдещия иновационен продукт и изготвяне на рекламни материали, интернет раздел и научни публикации.

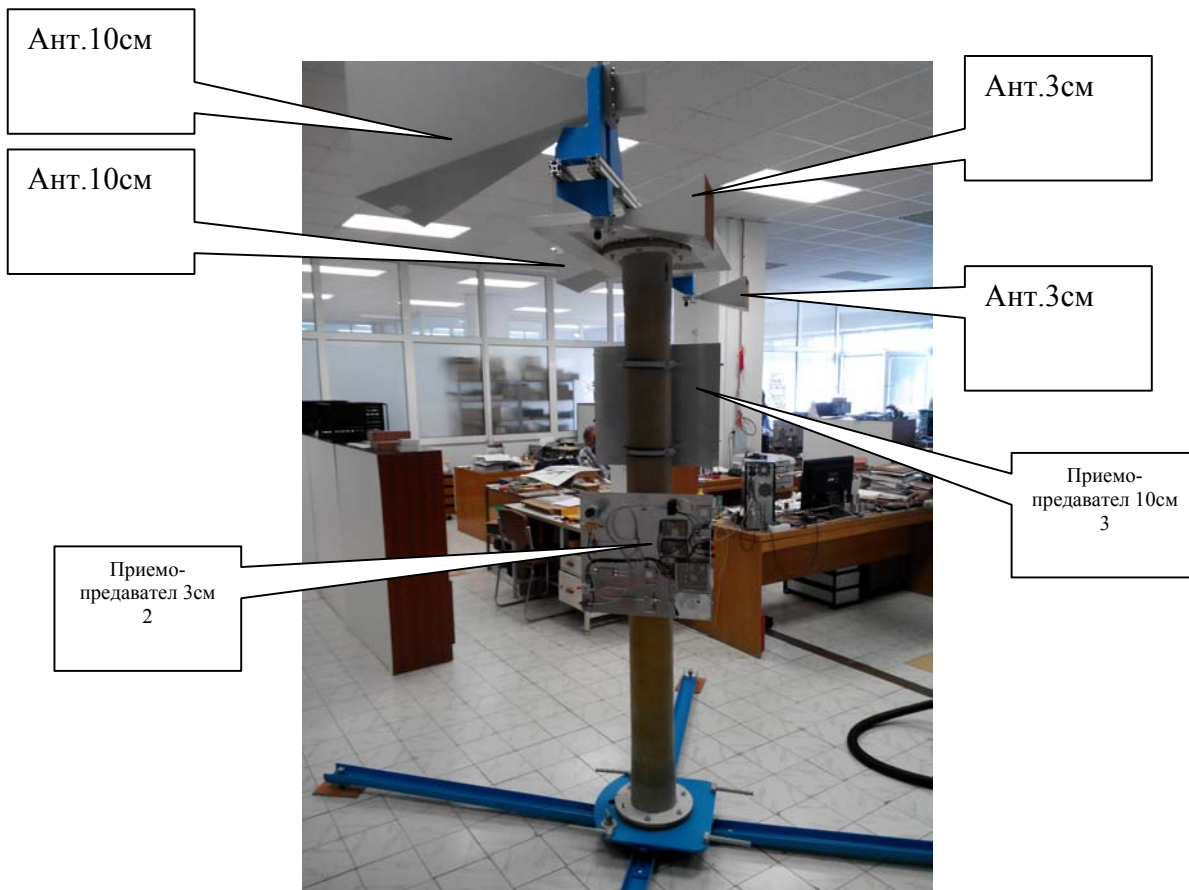
За проверка на качеството на разработваната методика извършихме ориентиране и калибровка на три, разработени през последните години от нас метеорологични радара тип МРЛ5-IRIS от радарната мрежа на Изпълнителна агенция «Борба с градушките». Сравнихме получените резултати по една и съща цел със съседни радары. За целта в качеството на единна за два съседни радара цел използвахме създадения детерминиран източник, както и значими естествени отражатели. Сравнихме резултатите по ориентирането с известни координати на целта в GoogleEarth, а за калибрирането по теоретичните разчети с помощта на AREPS. По резултатите от сравнителния анализ корегирахме своите теоретични модели и методика за ориентиране и калибриране на метеорологични радари и мрежа от метеорологични радари.

В заключение на този етап и проекта бяха дефинирани основните изисквания и характеристики на разработваната методика и бяха специфицирани основните параметри на бъдещото изделие – мобилна работна станция за базисно калибриране и ориентиране на метеорологични радари и интегрирана методика за използване на детерминирани и недетерминирани източници на излъчване.

През всички етапи на индустриалните научни изследвания се изпълняваше и задачата по организация и икономическо осигуряване на проекта. За целта към екипа на проекта бяха привлечени и опитни организатори, маркетингови специалисти, икономисти и специалисти по човешки ресурси.

За нагледност привеждаме някои по-интересни резултати от изпълнение на проекта.

В рамките на проекта бяха извършени мащабни индустриални изследвания в лабораторни и полеви условия на различни методи и устройства за дистанционно открай-докрай калибриране и ориентиране на метеорологични радари в двата най-интересни за метеорологичната радиолокация диапазони на електромагнитните вълни – 10см и 3см. За целите на експериментите беше разработена платформа за експериментални измервания, изградена с доставени след конкурс, антени, СВЧ устройства и цифрови обработващи устройства, показана на снимката по-долу:





С платформата бяха извършени серия от експериментални изследвания с три радиолокационни постове на Агенцията за борба с градушките, разположени в КП Бърдарски Геран – ракетна площадка Буковец (на снимката по-горе), КП Голям Чердак – КП Поповица (виж снимката по-долу)



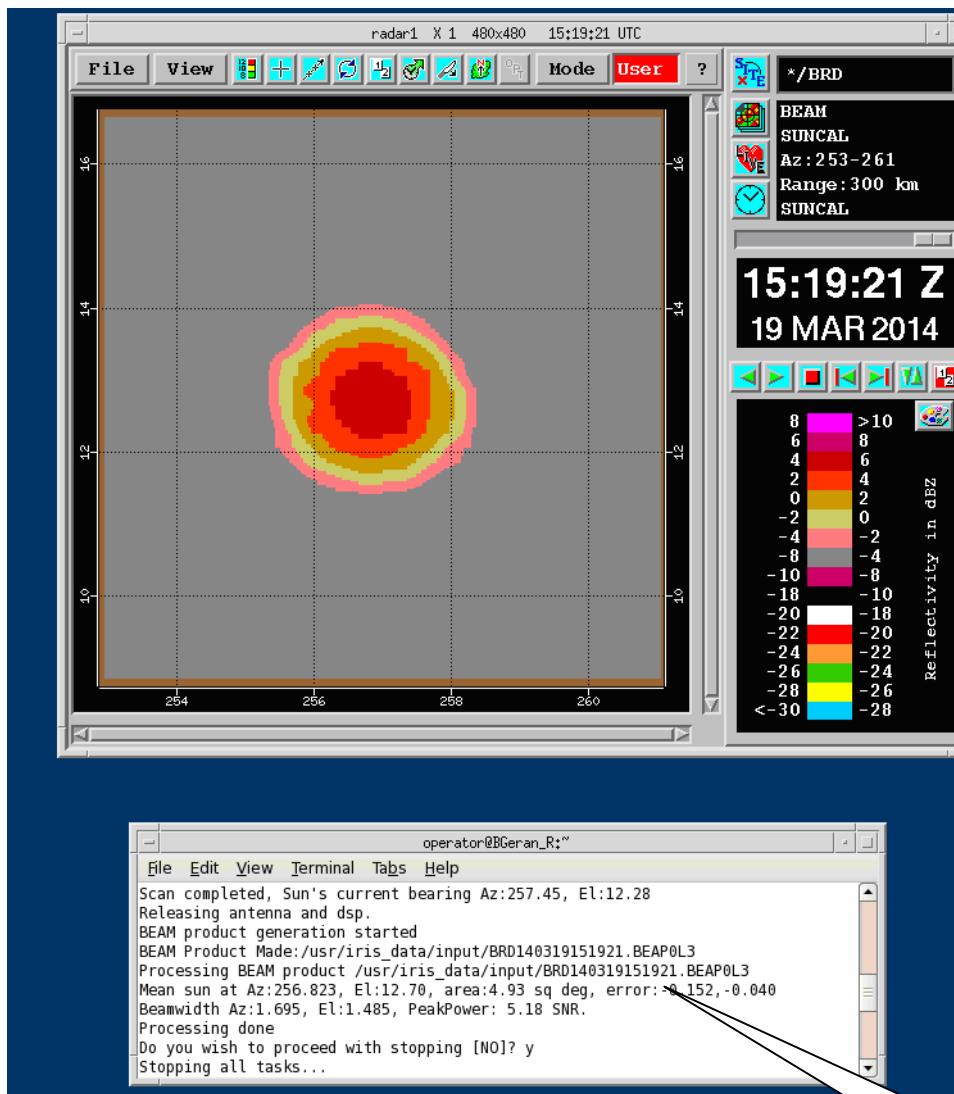
и КП-Старо село – КП Петрово:



В съответните КП с радари беше създадена организация за запис на радарните сигнали от експерименталната платформа, както и съответни потребителски програми за запис и обработка на сигнали от платформата или от недетерминиран източник на електромагнитно излъчване- слънцето, в двата честотни диапазона.

С помощта на направените експерименти бяха изследвани и усъвършенствувани съществуващите и разработени нови дистанционни методи и технологии за калибриране и ориентиране на метеорологични радари:

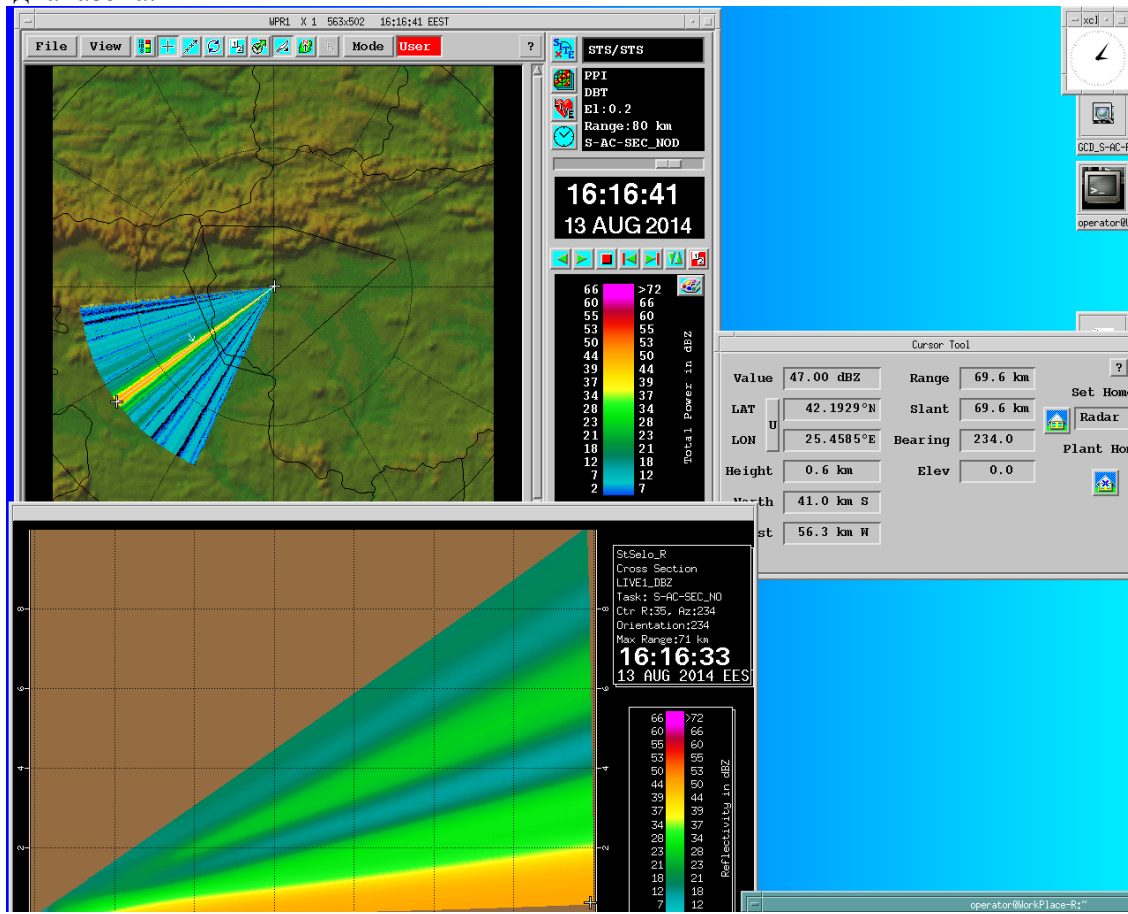
- усъвършенствуван беше съществуващия метод за ориентиране на метеорологичните радари по приети от слънцето сигнали с експериментално потвърдени конфигурационни параметри:

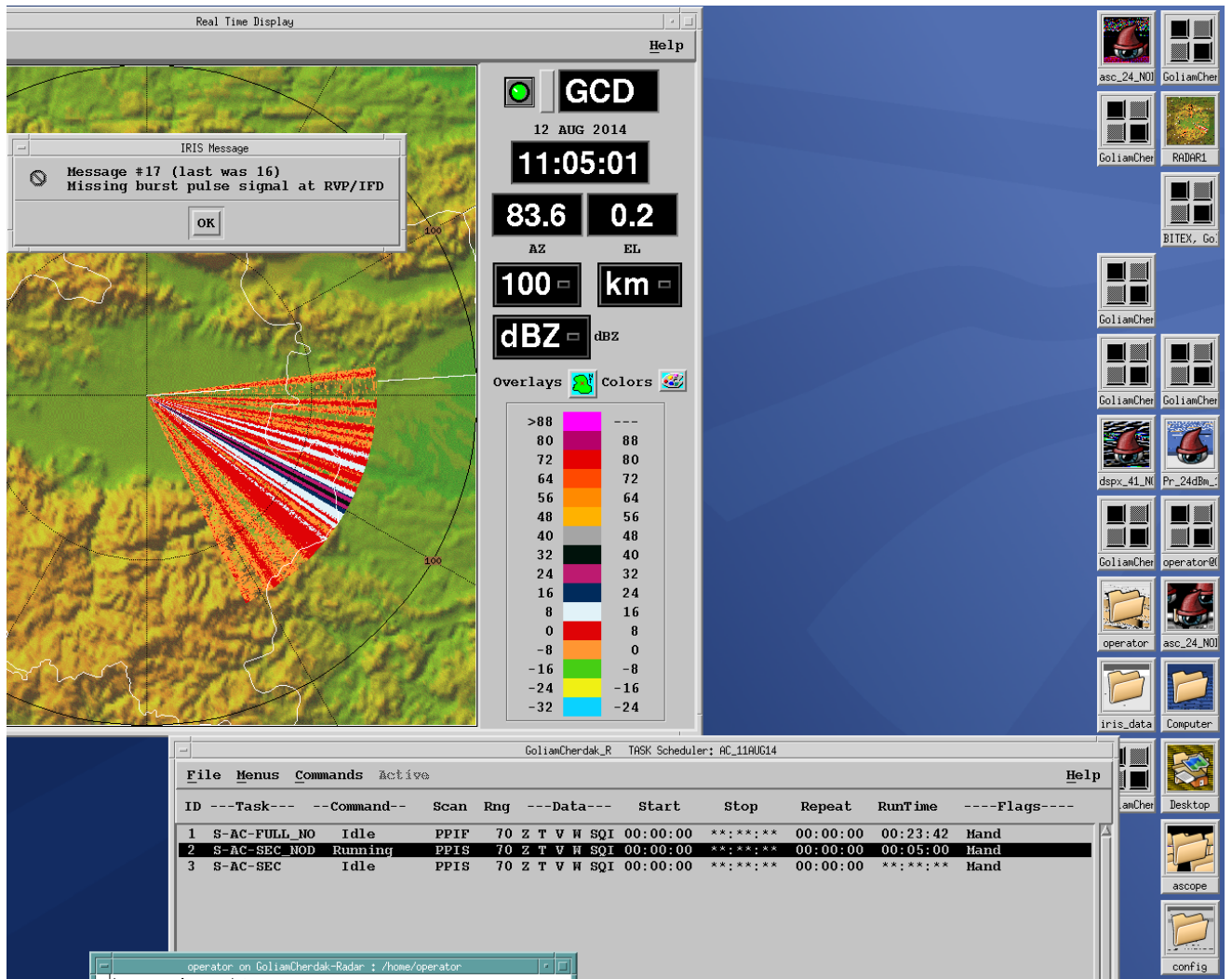


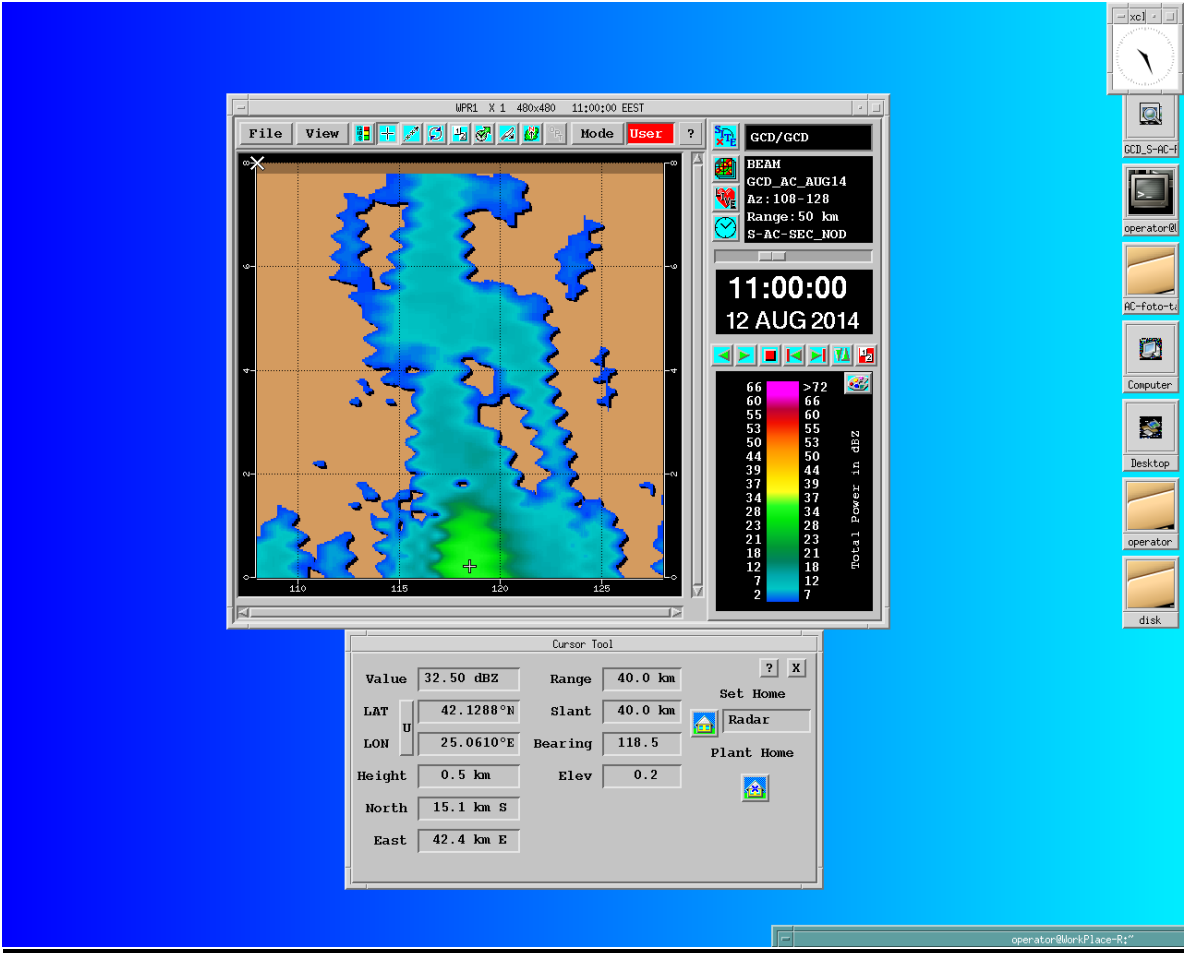
Грешка по
Азимут - 0.152
Ъгъл по височина -0.040

- по аналогия на метода за ориентиране по слънцето беше разработен нов метод за дистанционно ориентиране със сигнали от експерименталната платформа, позволяващ и снемане на диаграмата на антената на радиолокационната станция:

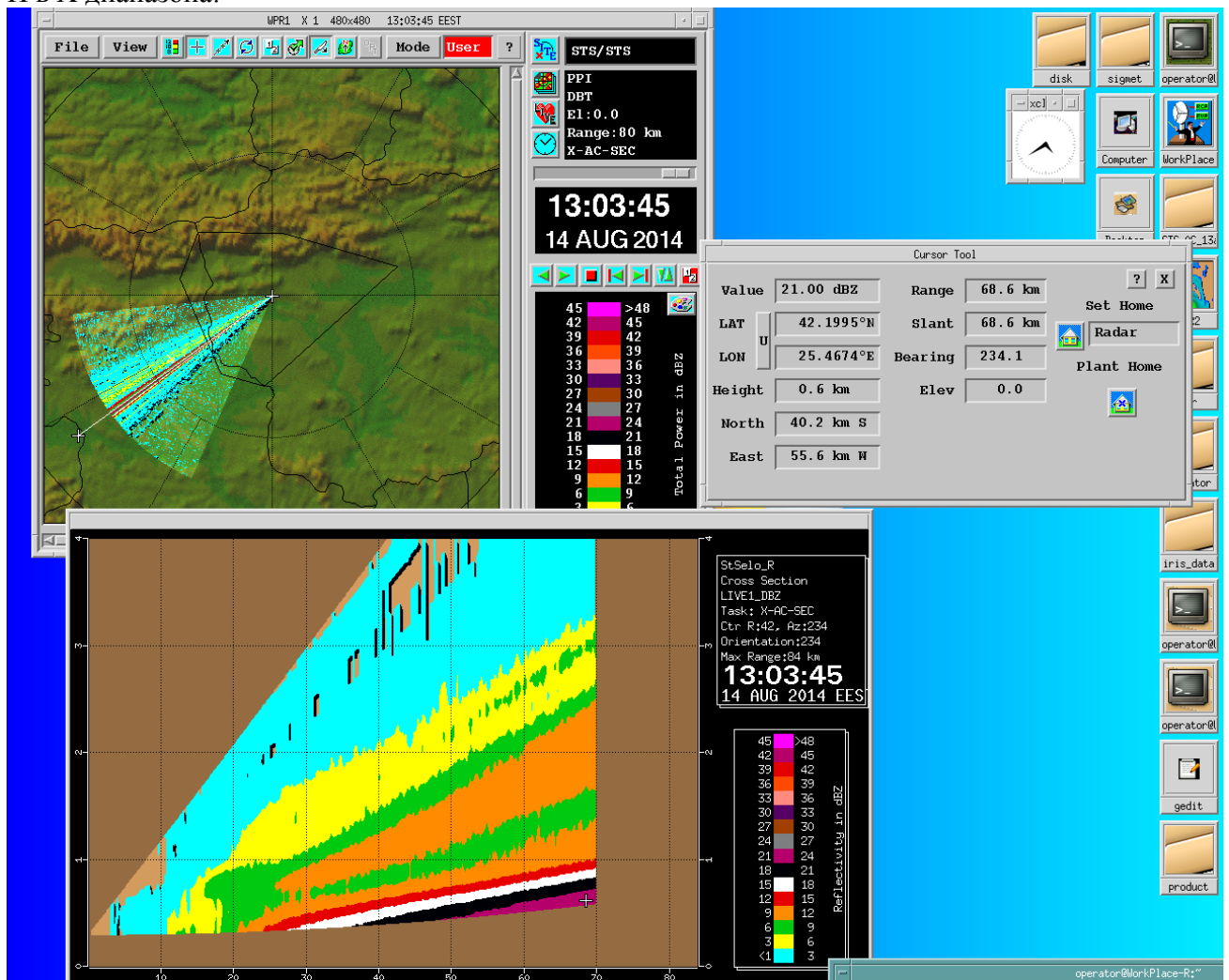
В S диапазоне:



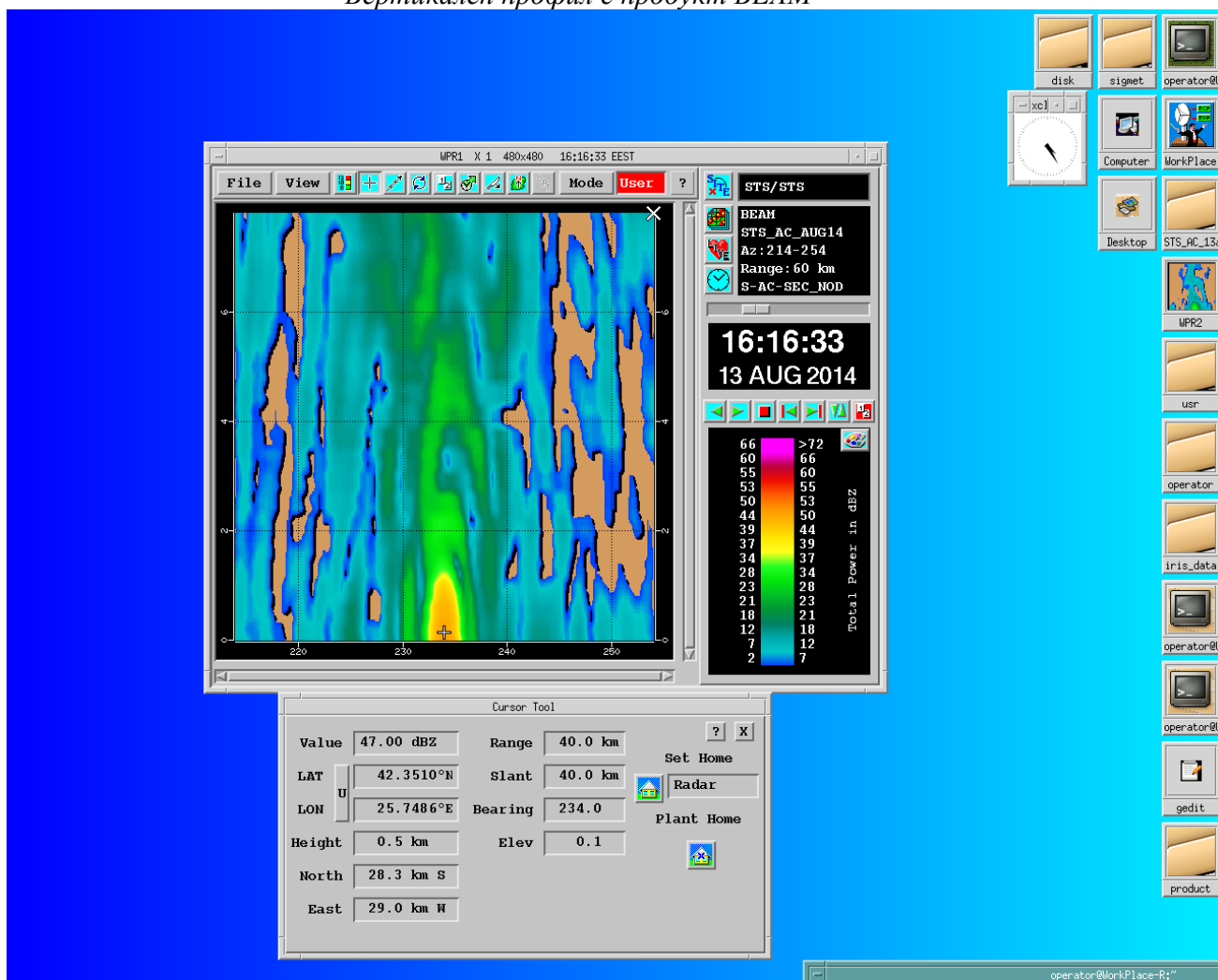




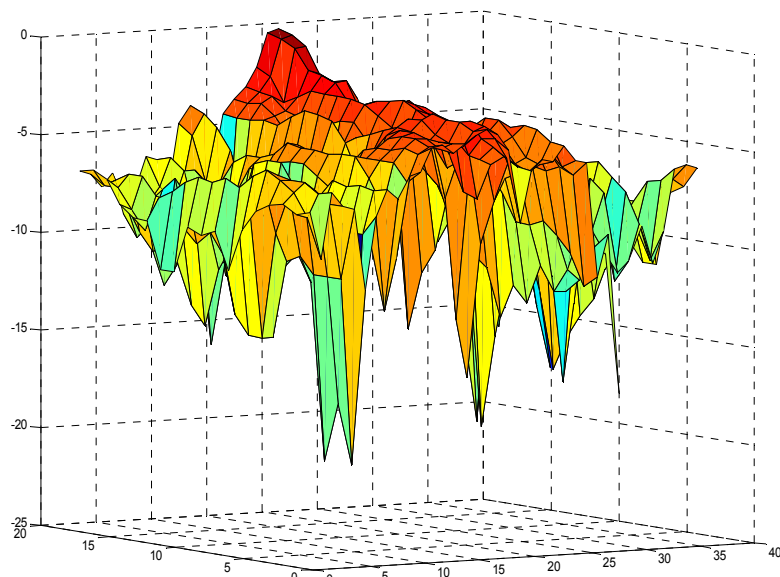
И в X диапазона:



Вертикален профил с продукт BEAM



Диаграма на насоченост на антената, включително и странични листа на РЛС Голям Чердак, снети с активната радарна цел в режим на непрекъснато излъчване



- В областта на калибрирането на метеорологичните радары, за първи път в България беше проведено експериментално калибриране открай-докрай, включващо в процеса на калибриране недостъпни досега точки от радарите – рупор на антената, огледало на антената, купол на антената. Беше създадена съответна методика за такова дистанционно калибриране (виж **Е3.36.Д1.1**), коригирана по резултатите от измерванията в т. Е4.32.Д1.1. Сравнителният анализ на резултатите (Е4.31.Д1.6.), сравнен с резултати от теоретичната калибровка от софтуер за разпространение на електромагнитните вълни AREPS и ADLAB-PC показва достатъчна за практическата работа точност.

Основни изводи и предложения за усъвършенстване на работата.

- 1.Измерването в режим непрекъсната генерация е с достатъчно силен и стабилен сигнал.
- 2.Нивото на клутера на площадката е много високо, съпоставимо с това на сигнала.
- 3.Измерването в режим „активен” (преизлъчване) изисква:
 - Канал2 – управлението на синтезатора на АЦ по време на измерването;
 - Канал 1 – голяма нестабилност на честотата на предавателя на радара в този диапазон- работа в широк честотен обхват.
 - Следва да се работи на много по-къси разстояния от радиолокационната станция, поради по-ниската средна мощност на сигнала от активната цел.

Количествени параметри :

	S диапазон- Канал2	X диапазон- Канал 1
Максимално ниво на клутера на мястото на измерваната площадка (ascopre) dBT (C/N)	64	63
Максимално ниво на клутера на мястото на измерваната площадка (Pr-dspix) dBm		-6.37
Точност на настройваната честота MHz	+0.1	-0.2
Мощност на приетия сигнал на АЦ в режим НГ (Pr-dspix) dBm	-22.18	-28.79
Мощност на приетия сигнал на АЦ в режим НГ (ascopre) dBT	54.5	49
Мощност на приетия сигнал на АЦ в режим NG+отразения радарен сигнал (Pr-dspix) dBm	-5.92	-
Мощност на приетия сигнал на АЦ в режим NG+отразения радарен сигнал (ascopre) dBT	63-65	-
Мощност на приетия сигнал на АЦ в режим активен-преизлъчване (Pr-dspix) dBm	-5.87.....-6.39 ?? (stalo??)	-14.10 --- +0.85?? (magnetron-radar)

Препоръки за бъдещи полеви експерименти:

- Да се направят (с доплерова и без доплерова филтрация):
 - секторни задачи, които да позволяват подробна оценка на клутера и излъчването в по-широк пространствен ъгъл с ВЕАМ продукт, както и на страничните листа на диаграмата на антената;
 - обзорни задачи (PPI) с по-висок таван по височина, които да дават възможност за вертикален профил на произволно място по пътя на сигнала.
- Да се избере площадка с ниско ниво на клутера;
- Необходимо е да се въведе автоматична донастройка на честотата (АДЧ) в АЦ, за да се осигури стабилност на получените резултати;
- Да се осигури в АЦ регулируемост на:
 - амплитудата на сигнала, която да може да се установява в средата на линейния диапазон на радарния приемник, независимо от разстоянието на което е разположена АЦ, а с това и да се осигури имитация на цели с различен ЕПР;
 - въвеждане на отместване с доплеровата честота, което в режим НГ да позволява отчетливо идентифициране на сигнала преди/след доплерова филтрация, а в режим активен- калибриране и оценка на доплеровия радар за широк диапазон от скорости;

- *задръжката на сигнала.*

Постигнати са общите и специфични цели на проекта, а именно:

Обща цел:

Успешно се разшири обхвата на иновативната дейност в Електрон Консорциум АД, чрез развиването на нови в световен или регионален мащаб методи и технологии за дистанционно ориентиране и калибриране на радари.

Създадоха се финансови възможности за реализация на научния и технологичен потенциал на фирмата в областта на телекомуникациите и ИТ.

Укрепиха се позициите на страната в тази стратегически важна област на телекомуникациите и ИТ – метеорологичната радиолокация – все по-често учени и специалисти в метеорологичната радиолокация докладват на международни форуми в Швейцария, Финландия, Молдова, резултати тясно свързани с нашата радарна метеорологична мрежа.

Подобри се качеството на информацията за климатичните промени и контрола на околната среда – последни примери са навременно и качествено оценени процеси на градушка през сезон 2014г.

Специфични цели:

1. Бяха доразвити съществуващи и създадени нови методи за ориентиране и калибриране на радарни сензори;
2. Беше създадена експериментална платформа за научни изследвания в областта на дистанционните радарни калибратори;
3. Бяха получени и анализирани огромен обем експериментални резултати в различни метеорологични условия и различни честотни обхвати;
4. Създадоха се нови интегрирани методи и технологии за дистанционно калибриране и ориентиране на метеорологични радари с прилагане на резултатите от научните изследвания.

Изпълнението на специфичните цели на проекта позволи на Електрон Консорциум АД да развие своя научен и технологичен потенциал и създаде предпоставки за успешно доразвиване на постигнатите резултати в иновативен краен продукт – работна станция за базисно калибриране и ориентиране на метеорологични радари с висока добавена стойност. Обособени части от тази работна станция могат да бъдат използвани като отделни изделия, за да мултиплицират ефекта от научната разработка.

Е4.35.Д1.2. Попълване на Интернет страницата с резултати от изпълнението на проекта. Оформяне на научни публикации.

Икономически специалист Владимир Стоянов

Публикации в конференции с международно участие:

1. B. Vassilev and B. Vassileva, A NEW METHOD FOR GNSS BASED ATTITUDE DETERMINATION, Proceedings of the Anniversary Scientific Conference BulTrans-2013, Sofia, Bulgaria, October 2013, pp. 145-148

.....

Acknowledgement

This work was partially supported by the OP "Competitiveness" under grant BG161PO003-1.1.06.0075-C0001.

Б. Василев и Б. Василева, Нов GNSS метод за определяне на ъглови координати
B.Vassilev and B. Vassileva, A new Method for GNSS Based Attitude Determination

145



Technical University of Sofia
50 Years Faculty of Transport

**ANNIVERSARY
SCIENTIFIC CONFERENCE**
on Aeronautics, Automotive and
Railway Engineering and
Technologies

**BulTrans-2013
PROCEEDINGS**

Sponsored by:
Research and Development of TU-Sofia

BALKAN STAR

SSAB

MOTO-PFOHE

София Франс Ауто

AVL

KNORR-BREMSE

TRANSWAGON Plc

AEETPH

ABTOMOTOP

Lufthansa Technik Sofia

TURBOTRUCKS

ETA

DB SCHENKER

KONCAR

October 16-18, 2013
Sofia, Bulgaria

[Http://bultrans.tu-sofia.bg](http://bultrans.tu-sofia.bg)

2. Simulation Tool for ROC Analysis in the Context of Weather Radar Calibration*

Б. Василева, Ст. Бабалов и Б. Василев, Програмен продукт за симулационен анализ на операционните характеристики на приемника на метеорадар за целите на неговата калибровка

39

B. Vassileva, St. Babalov and B. Vassilev, Simulation Tool for Roc Analysis in the Context of Weather Radar Calibration

BULTRANS-2014 Conference

Electron Consortium JSC, Sofia 1309

Emails:

*bvassil@bas.bg,

**sbabalov@electron-bg.eu

Technical University of Sofia
Faculty of Transport

SCIENTIFIC CONFERENCE
on Aeronautics, Automotive and
Railway Engineering and
Technologies

BulTrans-2014
PROCEEDINGS

Sponsored by:

Research and Development Sector
of Technical University of Sofia

MOTO-PFOHE **AVL** **AEBTRI** **SSAB**

SKODA **ET** **TRANСВАГОН АД**

АВТОМОТОР КОРПОРАЦИЈА **TURBOTRUCKS**

SCANIA **KNORR-BREMSE** **BALKAN STAR** **Lufthansa Technik**

September 17-19, 2014
Sozopol, Bulgaria

<http://bultrans.tu-sofia.bg>

Abstract: Weather radars have become an invaluable tool for real time measurements of meteorological quantities such as precipitation rate and wind velocity. For meteorological products to be as accurate as possible, the amount of uncertainty in each estimated quantity must be minimized. A well-controlled

* This work was partially supported by the OP “Competitiveness” under grant BG161PO003-1.1.06.0075-C0001

calibration process must be used to reduce the influence of imprecisely known radar system parameters on the uncertainty of the formed estimates. There are different calibration methods. This work concerns design of active, external, calibrator for use with MRL-IRIS weather radar. It presents simulation tool and some initial investigation of the calibrator potential capabilities obtained by means of Monte Carlo simulation analysis.

Keywords: weather radar, calibration, signal processing, simulation analysis

Simulation Tool for ROC Analysis in the Context of Weather Radar Calibration*

Boriana Vassileva, Stanislav Babalov***

Electron Consortium JSC, Sofia 1309

*Emails: *bvassil@bas.bg, **sbabalov@electron-bg*

Abstract: *Weather radars have become an invaluable tool for real time measurements of meteorological quantities such as precipitation rate and wind velocity. For meteorological products to be as accurate as possible, the amount of uncertainty in each estimated quantity must be minimized. A well-controlled calibration process must be used to reduce the influence of imprecisely known radar system parameters on the uncertainty of the formed estimates. There are different calibration methods. This work concerns design of active, external, calibrator for use with MRL-IRIS weather radar. It presents simulation tool and some initial investigation of the calibrator potential capabilities obtained by means of Monte Carlo simulation analysis.*

Keywords: weather radar, calibration, signal processing, simulation analysis

1. Introduction

Pulsed weather radars produce estimates of reflectivity, mean radial velocity and velocity spread using echo signal samples from a wide variety of weather targets.

* This work was partially supported by the OP "Competitiveness" under grant BG161PO003-1.1.06.0075-C0001

Е4.35.Д1.3 Семинар за специалисти в метеорологичната радиолокация Банско
24.11.2014-28.11.2014г

Д-р инж. Станислав Бабалов

В рамките на семинара беше организирана експозиция на материали от работата по проекта и бяха докладвани основните резултати в областта на калибровката на метеорологичните радари, постигнати с помощта на разработените в проекта хардуерни и софтуерни средства.

Калибровка, ориентиране и хоризонтиране на МРЛ5-ИРИС

1. Въведение

В метеорологичната радиолокация и в частност приложението ѝ в градузачитата особено място по важност заема правилното ориентиране и калибриране на радиолокационните станции. От това зависи в най-голяма степен правилното целеуказване при огневата работа. И в старата система МРЛ5, а още повече в модернизиранията система са взети мерки в една или друга степен да се извършва тази дейност в сравнително точни граници.

И това е проблем значим не само у нас, но навсякъде по света. Така например NORDRAD - радиолокационната мрежа на скандинавските страни в средата на 90-те години е имала разброс от около 10dBz [2], преди да бъдат предприети съвместни измервания и корекции. В резултат на двегодишен проект 1996-1998, наречен *NORDRAD continuation project*, са установени основните източници на грешки и те са намалени чувствително. През 1998г е започнат нов проект за по-добро калибриране, наречен NORDRAD QA-project, който да осигури качествено събиране на данни. В резултат през 2002 година е постигнат резултат ± 2 dBZ за мрежата на скандинавските страни [3]. В другите радиолокационни мрежи, като САЩ- NEXRAD положението е също в тези граници.

У нас за съжаление мащабни усилия в това направление не са правени.

Как се изчислява отражаемостта в системата МРЛ5-ИРИС:

$$dBZ = 10\log\left[\frac{T_0 - N}{N}\right] + dBZ_0 + 20\log r + ar + CCOR$$

$$T_0 = g^t g^r S + N$$

където g е усилването на предавателя и приемника, S е средната отразена мощност от целта, N измерената мощност на шума. Пренебрегвайки затихването и отраженията от местни предмети, уравнението на радиолокация има вида:

$$Z = CSr^2 = \left[\frac{Cr_0^2 N}{g_r g_t} \right] \left[\frac{r^2}{r_0^2} \right] \left[\frac{T_0 - N}{N} \right]$$

Където С е т.н. радарна константа а го е опорно разстояние 1 км. Тогава първия член има вида:

$$Z_0 = \frac{Cr_0^2 N}{g_r g_t} = Cr_0^2 I_0 \text{ where } I_0 = \frac{N}{g_r g_t}$$

Zo калибрационен коефициент на отражаемост, който представлява еквивалентната отражаемост на 1км, когато приетия сигнал по мощност е равен на шума (SNR=0) или минимален откриваем сигнал на 1км.

Параметърът Io е измерената мощност на шума на междинна честота, калибрирана със системното усилване (преизчислена към входа на приемника от антената)

Калибрирането на МРЛ5-ИРИС включва дефиниране на радарната константа С и измерване на Io.

Тук следва да отбележим, че ако усилването на приемната система не е стабилно следва да се вземат периодични отчети на шума, но в случая на МРЛ5-ИРИС усилването на приемника е стабилно и това не е необходимо.

В логаритмична форма в dB, уравнението на отражаемостта има следните членове:

$$\text{1st Term : } 10 \log \left[\frac{T_0 - N}{N} \right] \text{ Signal to Noise Ratio}$$

Който представлява текущото отношение сигнал/шум.

2nd Term: dBZ_0 : Calibration Reflectivity

dBZ_0 е минималния откриваем сигнал в dBZ на 1км.,

3th Term: $20 \log r$: Range Normalization

Член който нормира отражаемостта по разстояние.

$$\left[\frac{r}{r_0} \right]^2$$

4th Term: ar : Gaseous Attenuation Correction

Коефициент, който нормира отражаемостта по отношение на затихването в средата на разпространение.

5th Term: CCOR: Clutter Correction

Този член нормира отражаемостта по отношение на влиянието на отраженията от местни предмети.

$$CCOR = 10\log \frac{S}{C+S} = 10\log \frac{1}{CSR+1}$$

където S е мощността на сигнала от метеорологични обекти, C е мощността на отраженията от местни предмети (clutter), а CSR е отношението смущение-сигнал.

Общата блокова схема на калибровка на МРЛ5-ИРИС, включваща и загубите в трактовете има вида:

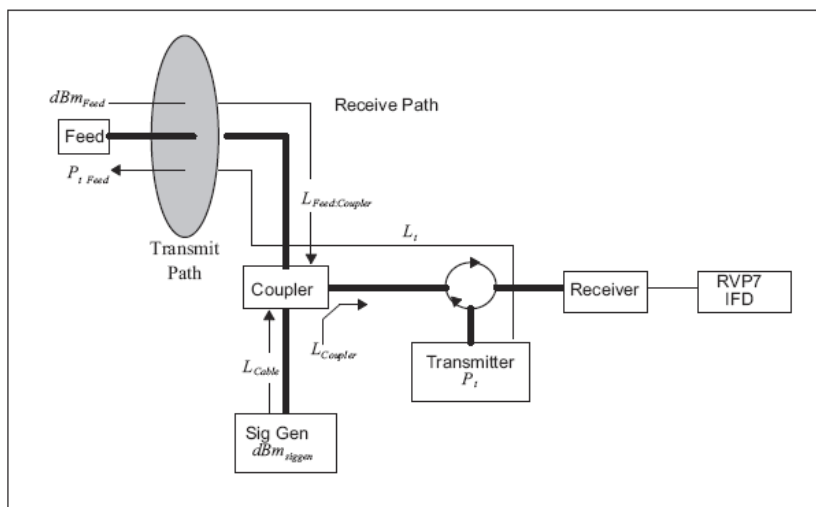


Figure 43 Illustration of Losses that Affect LOG Calibration

Калибриране на отражаемостта

Калибрирането на МРЛ-ИРИС изисква изчисляване на калибрационната отражаемост dBZo. За целта може да се използва програмата **zauto**.

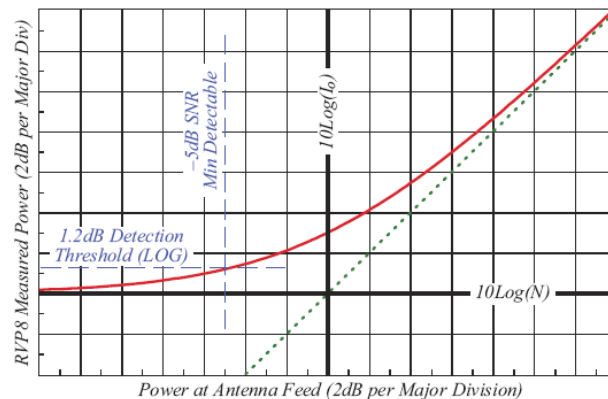


Figure 42 Model Intensity Curve

Графичен метод за изчисляване на I_0

Този метод използва построяване на кривата в червено, чрез въвеждане и измерване на стойности на мощността на входа и изхода на приемника по междинна честота. Калибрационната отражаемост dBZ_0 се изчислява с помощта на радарната константа и стойността на I_0 , която е точката на пресичане на зелената линия с нивото на шума.

Нека G_{dB} е системното усилване от RF до IF, включително и RVP8. Зелената линия може да бъде интерпретирана, като отклика на идеален безшумен усилвател с усилване G_{dB} , докато червената линия е отклика на реалния усилвател, чийто еквивалентен шум на входа е I_0 :

$$(Red) 10\log_{10}(P_{OUT}) = G_{dB} + 10\log_{10}(P_{IN} + I_0)$$

$$(Green) 10\log_{10}(P_{OUT}) = G_{dB} + 10\log_{10}(P_{IN})$$

Измерения шум на приемника е хоризонталната асимптотична крива на червената линия, когато входната мощност P_{IN} е нула.

Всъщност I_0 е равен на преизчисления шум на приемника, към входа му (коригиран с коефициента на усилване).

$$10\log_{10}(N) = G_{dB} + 10\log_{10}(I_0).$$

Практически за да се направи калибровка се използва сигнал генератор, както е показано на блоковата схема и се изменя входния сигнал на стъпки от 5 или 10dB през целия динамичен диапазон на приемната система. Около шумовата зона и в зоната на насичане се използва по-малка стъпка за да се измери прецизно тази част от кривата.

Определяне на dBZ_0

$$dBZ_0 = 10\log[Cr_0^2 I_0]$$

I_0 е в mW (коригирано със загубите), r_0 е 1 km, а радарната константа C е:

$$C = \frac{2.69 \times 10^{16} \lambda^2}{P_t \tau \theta \phi G^2} L_t$$

where,

λ	Radar wavelength in cm.
P_t	Transmitted peak power in kW.
L_t	Transmit loss (for example, 3 dB corresponds to $L_t = 2$)
T	Pulse width in microseconds.
θ	Horizontal half-power full beamwidth.
ϕ	Vertical half-power full beamwidth.
G	Antenna gain (dimensionless) on beam axis.

$$dBI_0 \text{ corrected} = dBI_0 - dBL_{Coupler} - dBL_{Cable} + dBL_{Feed: Coupler}$$

Пример: Резултати от калибровката на метеорологични радар

Калибровка на Канал 2 – S диапазон -Сезон 2014

на радар „Голям Чардак“, „Старо село“, „Бърдарски Геран“

Сезон 2014

Program	Parameters	GCD		STS 2apr14		BRD 19marc14	
zcal		G= 39 ; $\theta=1.5$; $\lambda=10.42$;		G= 39 ; $\theta=1.5$; $\lambda=10.4$;		G= 39; $\theta=1.5$; $\lambda=10.40$;	
		$L_t= 1.2$ $L_r=3.4$ $L_{sg}=1$ измерени общи загуби – 4.6dB		$L_t=$ $L_r=$ $L_{sg}=$ (не са мерени – сложени са загубите2012)		$L_t= 1.2$ $L_r= 3.4$ $L_{sg}=1.2$ общи загуби – 4.6dB (2013)	
		1us P=750 kW	2us P=670 kW	1us P=741	2us P=544	1us P=745	2us P=642
	RadarConst	75.43	73.09	75.63	73.96	75.59	73.24
	Noise	-78.39	-82.23	-77.13	-80.43	-77.19	-80.07
	Io	-107.07	-110.98	-107.41	-110.37	-108.64	-111..69
	Cal dBZ	-31.64	-37.88	-31.78	-36.41	-33.04	-38.46
	slope	1.0204	1.0226	1.0052	1.0054	1.041	1.0147
	Fit SD	0.29	0.28	0.16	0.13	0.19	0.18
	DD	96 1dB над N	100 1dB над N	97 измерено!	100 измерен	97 1dB над N	98 1dB над N

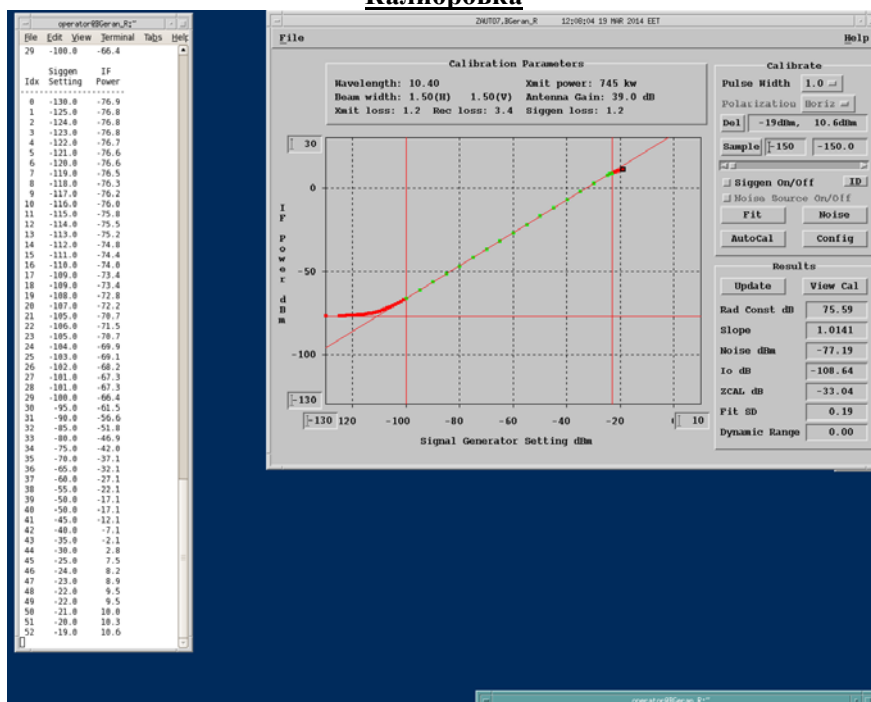
				!	o!!		
--	--	--	--	---	-----	--	--

Сезон 2013

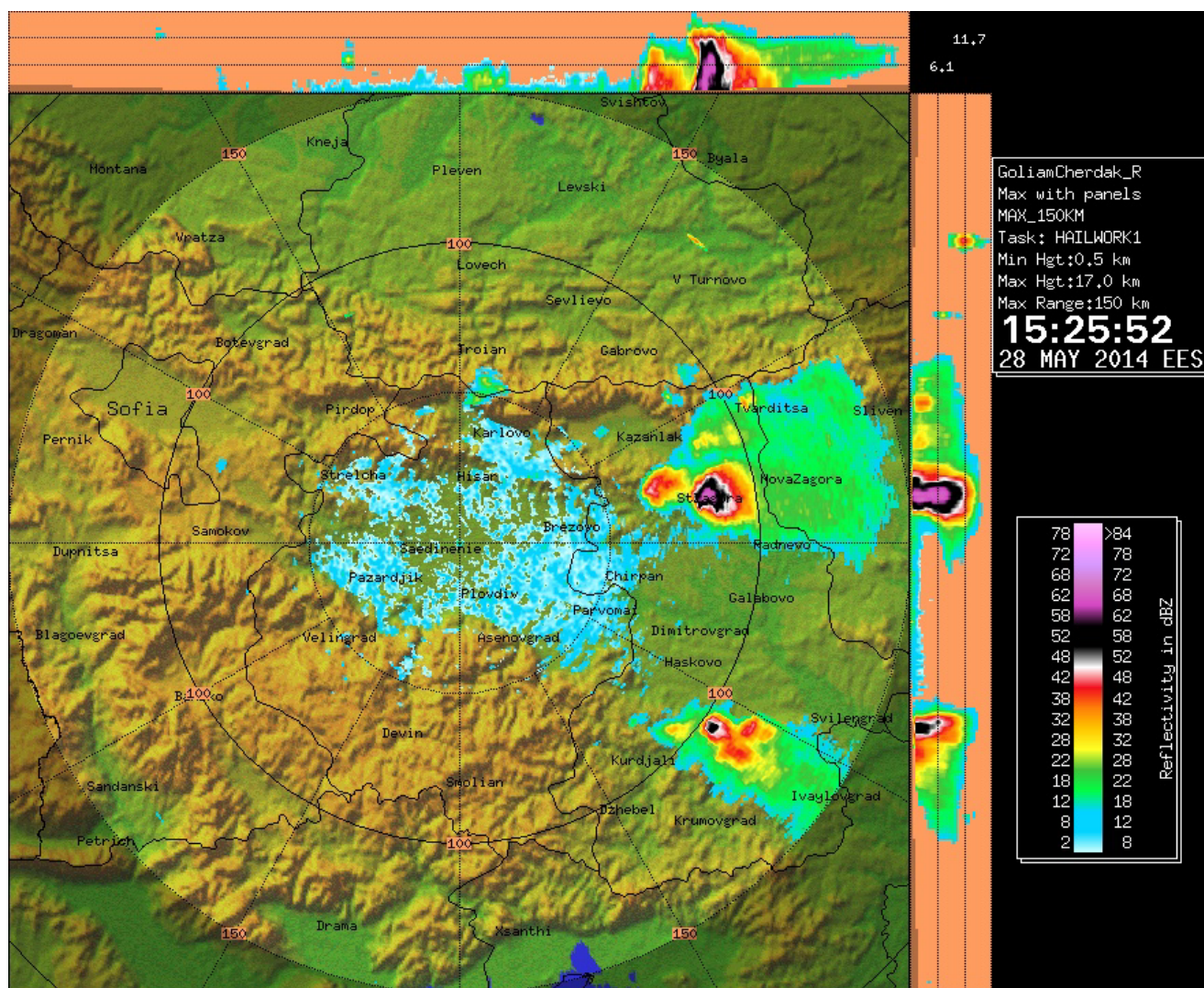
Program	Parameters	GCD		STS		BRD 26marc13	
zcal		G= 39 ; $\theta=1.5$; $\lambda=10.42$; P=750 (1us); P=690 (2us)		G= 39 ; $\theta=1.5$; $\lambda=10.4$;		G= 39; $\theta=1.5$; $\lambda=10.40$; P=755	
		L _t = 1.2 L _r =3.4 L _{sg} =1 измерени общи загуби – 4.6dB		L _t = L _r = L _{sg} = (не са мерени – сложени са загубите2012)		L _t = 1.2 L _r = 3.4 L _{sg} =1.2 измерени общи загуби – 4.6dB	
		1us P=750 kW	2us P=670 kW	1us P=740	2us P=600	1us	2us
	RadarConst	75.58	73.06	75.63	-	75.54	72.53
	Noise	-78.69	-82.56	-77.54	-80.681	-76.91	-79.86
	Io	-107.12	-110.95	-107.54	-110.81	-108.58	-111.22
	Cal dBZ	-31.54	-37.89	-31.84	-37.28	-33.04	-38.69
	slope	1.0227	1.0218	1.0084	1.01584	1.0143	1.0224
	Fit SD	0.31	0.26	0.2	0.37	0.23	0.48
	DD	85 -1dB from lin 95- 1dB from n	89 -1dB from lin 98 -1dB from n	86-1dB from lin 97 -1dB from n	няма фото	98- измерено! 1dB from n	

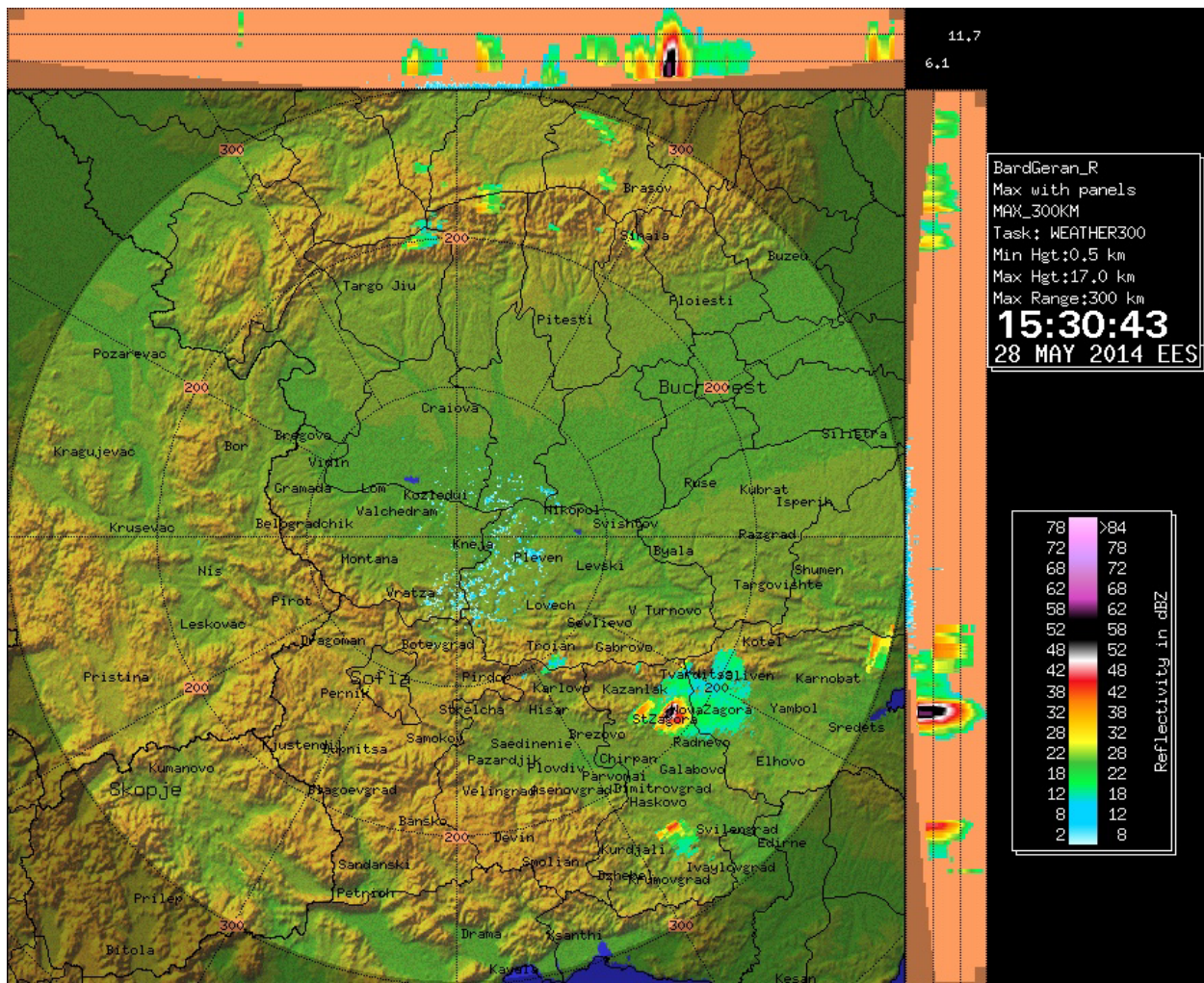
BRD 19 март 2014

Калибровка



Проверка на калибровката
Основно по това, което се извалява на земята





И това, което са заснели или констатирани независими източници – медии, Интернет.
Стара загора 28.05.2014 15-16 часа

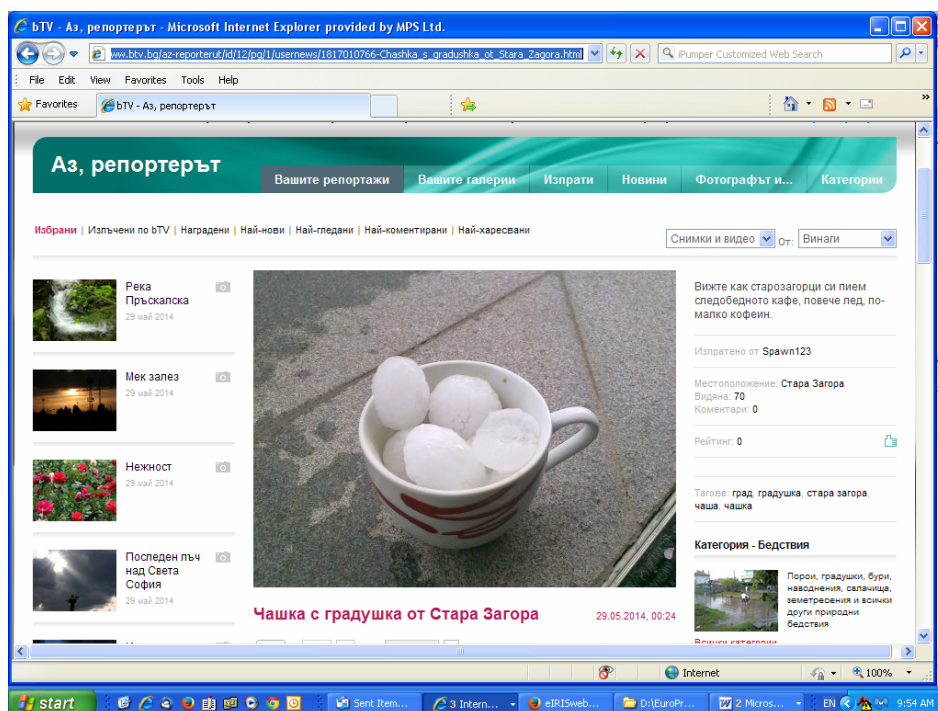
Малко след 15.00 часа днес за броени минути улиците се превърнаха в реки. Пороен дъжд и градушка с големината на орех, която по-късно премина в големина на грахово зърно се изсипаха в центъра на Стара Загора. Дъждът и градушката бяха придружени от гръмотевици. Малко преди да се изсипе пороя над града небето потъмня.



starozagorci.com

Жестока градушка и силен дъжд удариха Старозагорските минерални бани днес. Снимки на фоторепортера Петьо Турлаков показват размера на ледената напаст. Порой се изсипа и върху определени райони над Стара Загора. Град с големина на орех падна над Старозагорските минерални бани. Градушката удари курортното село около 15:40 часа, докато в отделни райони над Стара Загора валя обилен дъжд и спръска леко от ледените топчета.





За сведение прилагам и скалата за dBZ и съответните описания на валеж:

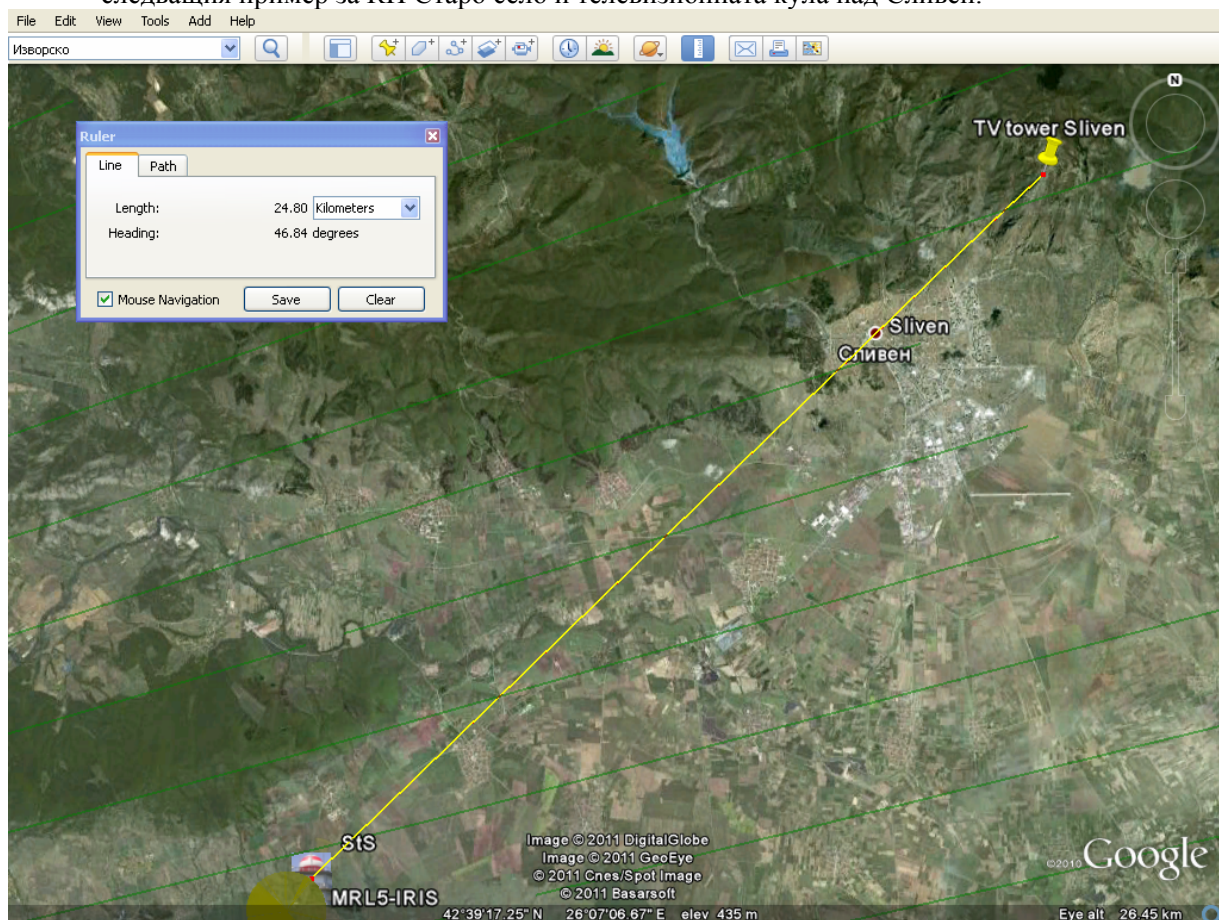
dBZ versus Rainrate			
	dBZ	R (mm/h)	Rate (in/hr)
			Intensity
5	0.07	< 0.01	Hardly Noticeable
10	0.15	< 0.01	Light Mist
15	0.3	0.01	Mist
20	0.6	0.02	Very Light
25	1.3	0.05	Light
30	2.7	0.1	Light to Moderate
35	5.6	0.22	Moderate Rain
40	11.53	0.45	Moderate Rain
45	23.7	0.92	Moderate to Heavy
50	48.6	1.90	Heavy
55	100	4	Very Heavy / Small Hail
60	205	8	Extreme / Moderate Hail
65	421	16.6	Extreme / Large Hail

ПРОБЛЕМИ НА ОРИЕНТИРАНЕТО НА РЛС

В старата система, още при монтажа на радара, преди поставянето на защитния купол, с помощта на оптични уреди е извършвано ориентиране на антенната система на РЛС. Аналогично са ориентирани и огневите площадки. Впоследствие са правени и привързвания с помощта на GPS приемници. През годините на използване на радарите, вследствие на наложили се механични ремонти, смяна на датчици ъгъл-код и други причини в някои от радарите са се появили отклонения, които не могат да бъдат коригирани с оптични средства поради наличието на купола.

Затова в рамките на годишните профилактични дейности се извършва и проверка на ориентирането на РЛС.

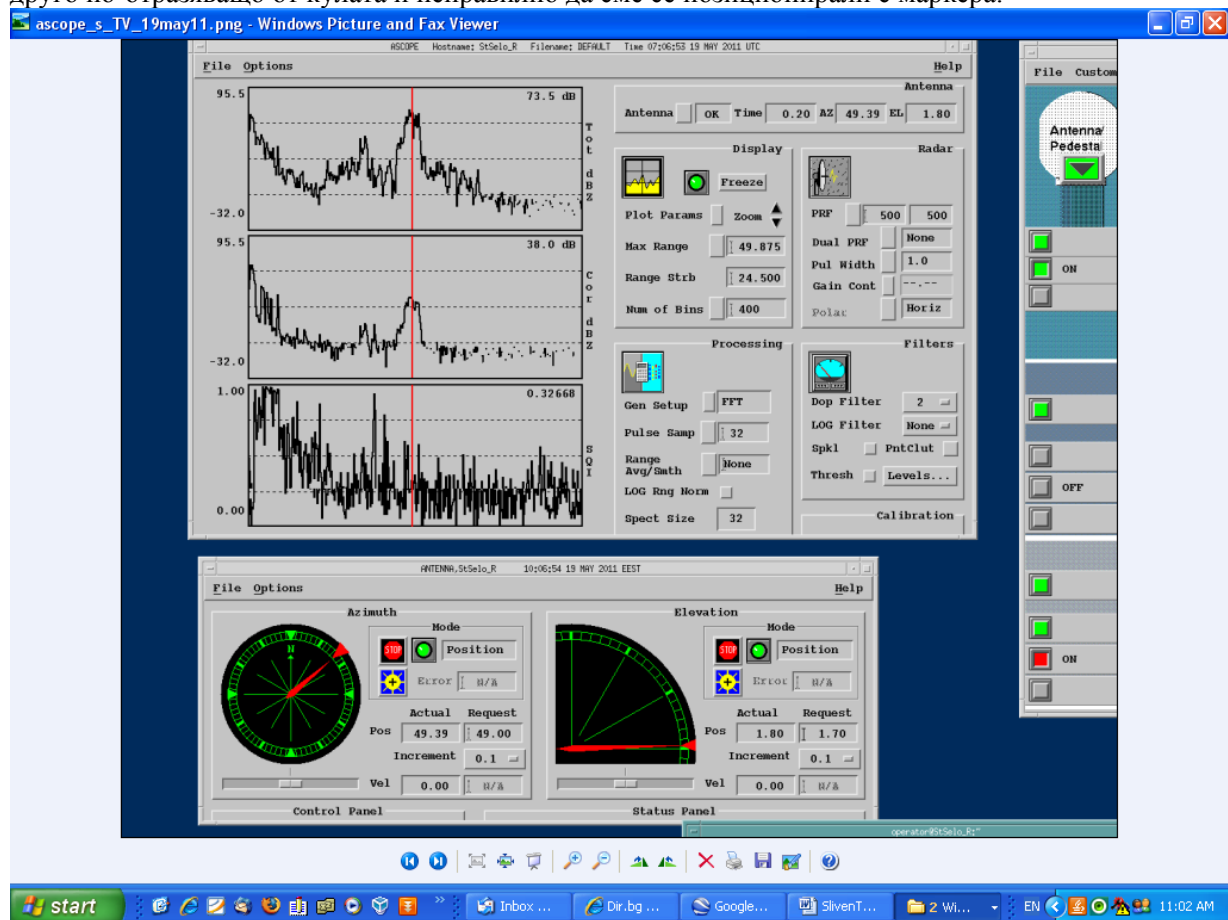
Там, където е възможно това се извършва по известен местен отражател и сравняване на неговите радиолокационни координати и тези в GoogleEarth, както е показано на следващия пример за КП Старо село и телевизионната кула над Сливен.



Радиолокационните координати снемат с помощта на помощното средство Ascopre, като на приблизително същия азимут и разстояние търсим най-силния местник с отражаемост в случая 73.5dBz (той е използван отдавна за проверка на ориентирането). Отчетения резултат се различава несъществено по разстояние 24.5км, но по азимут 49.39 градуса имаме разлика от около 2.55 градуса. Ако използваме само този метод за проверка на ориентирането можем да заключим, че РЛС е ориентирана с грешка от около 2.55°.

Следва обаче да си даваме сметка, че грешката може да идва от неправилното позициониране в Ascopre- ние смятаме че целта с най-голяма отражаемост 73.5dBz е ТВ кулата, а

това може да не е така. В близост може да има метална конструкция, кран, камиони или нещо друго по-отразяващо от кулата и неправилно да сме се позиционирали с маркера.



Полученият резултат показва, че като средство за основно ориентиране на РЛС, методът-ориентиране по местник с помощта на програмата ASCOPE може да ни подведе. ASCOPE е удобно средство за ежедневно сверяване на ориентирането и калибровката, но за основно и дългосрочно ориентиране следва да се използва по-надежден метод.

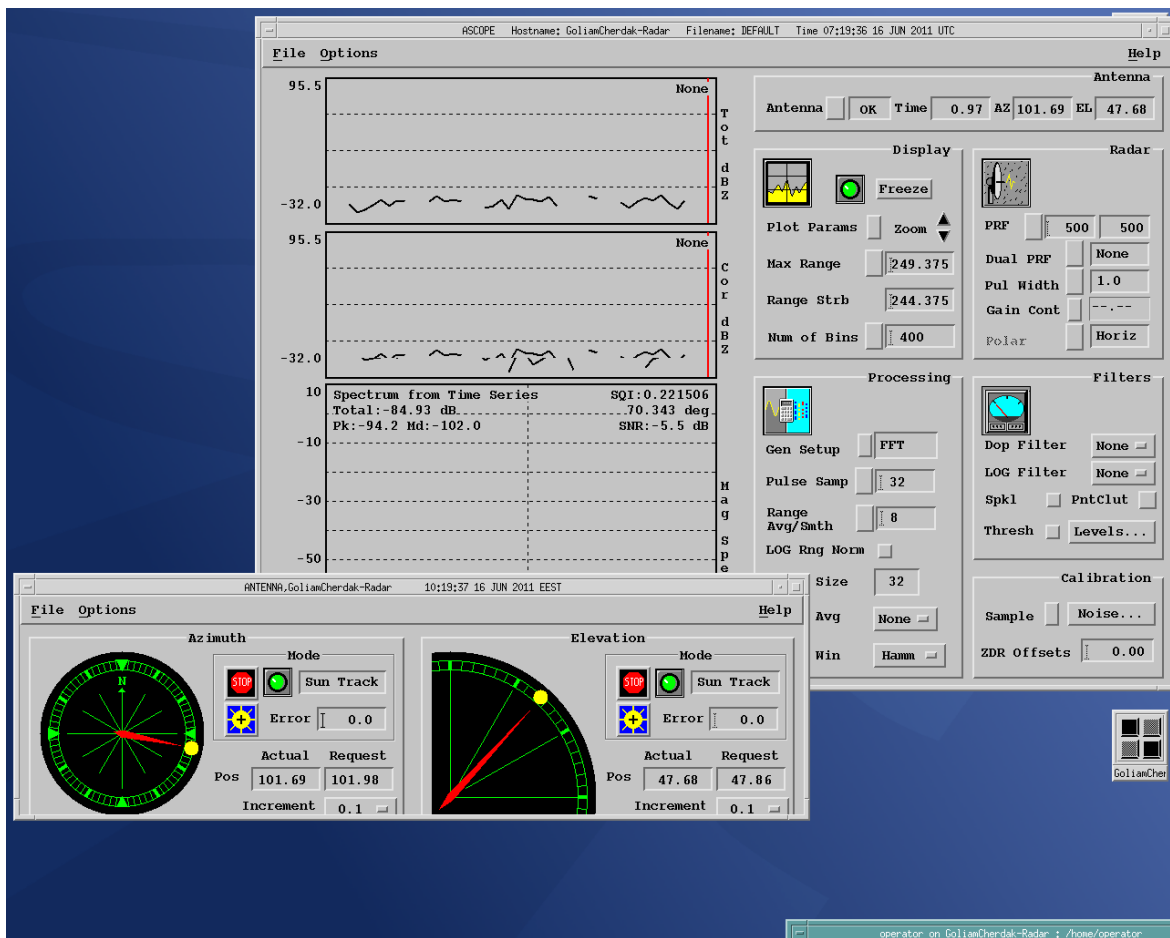
Не можем да разчитаме и на основно ориентиране по Google earth, защото не на всички радарни постове разполагаме с разпознаваем от сателитни снимки единичен обект, около който да няма силни отражатели.

Алтернатива на тези методи е ориентирането по слънцето, както и един нов метод с активна радиолокационна цел-транспондер, който ще бъде дискутиран по-долу.

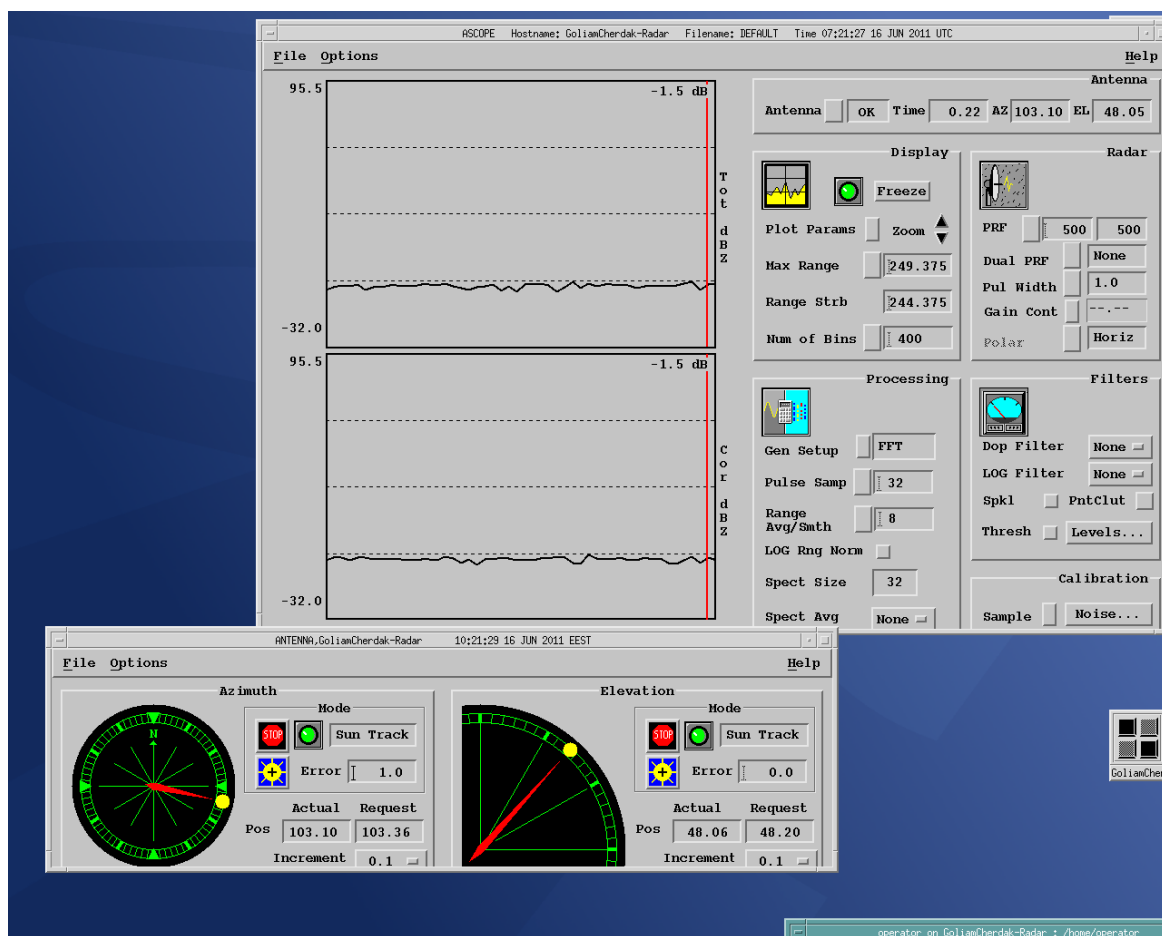
Ръчно измерване на ориентирането на РЛС с програма ASCOPE по слънцето

На снимките по-долу са показани последователно резултатите от ориентирането при изчислена от IRIS позиция на слънцето (за критерий вземаме нивото на слънчевата радиация в S диапазона) и няколко позиции с грешка в позицията вкарвана целенасочено от нас- 1, 2, 3, 4 градуса.

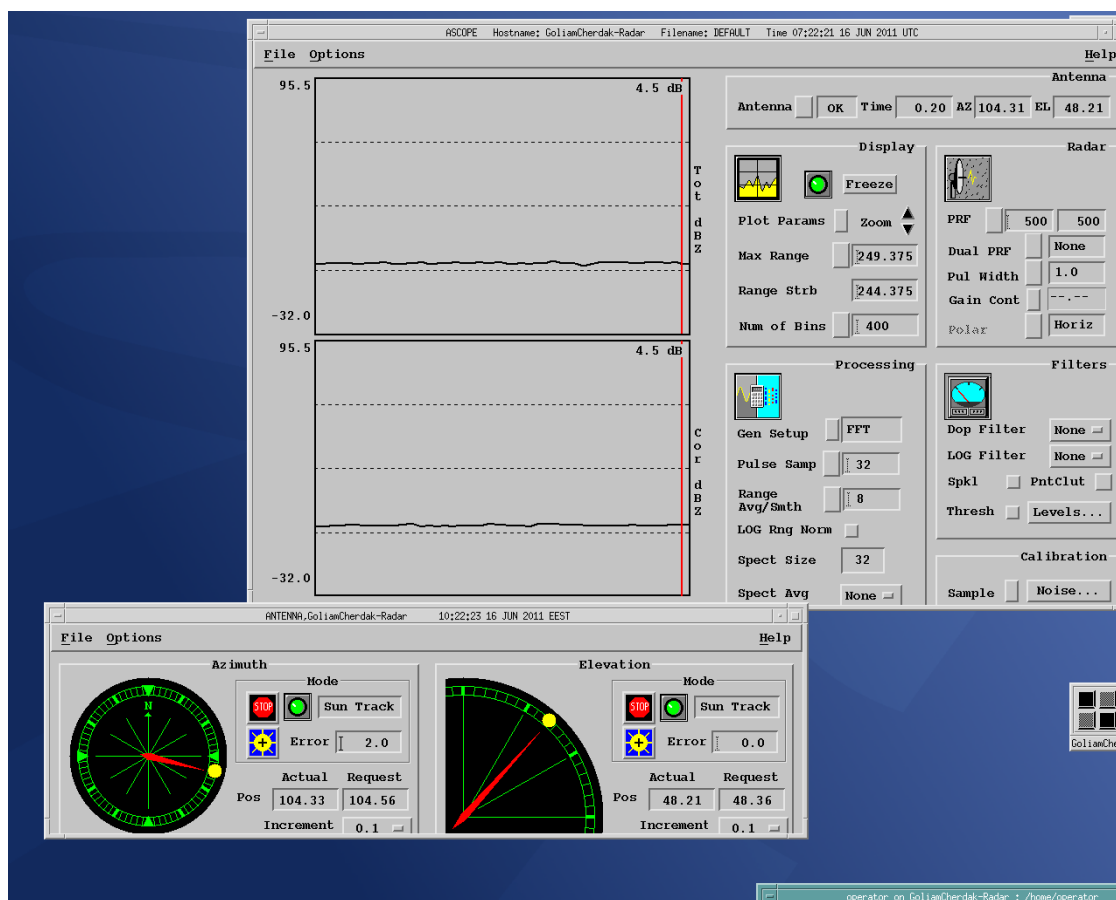
На първата снимка- при сегашната ориентация (по данни които са вкарани в SETUP) се вижда, че нивото на радиацията е пренебрежимо малко, т.е. изчислената позиция на слънцето не е вярна, нямаме тозно ориентиране по слънцето.



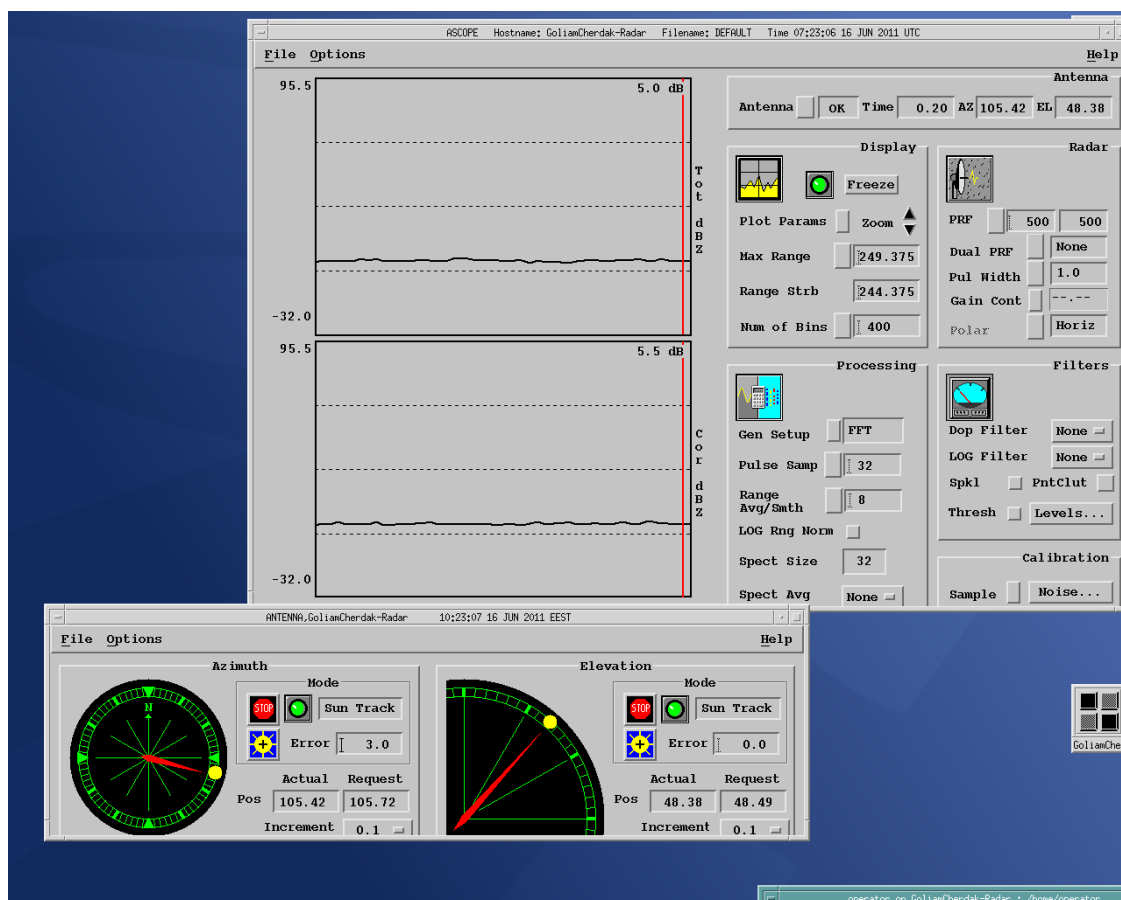
На следващата снимка сме вкарали целенасочено грешка в азимута +1градус. Виждаме че нивото на приетата радиация става около -1.5dBz, следователно вървим в посока към вярно ориентиране.



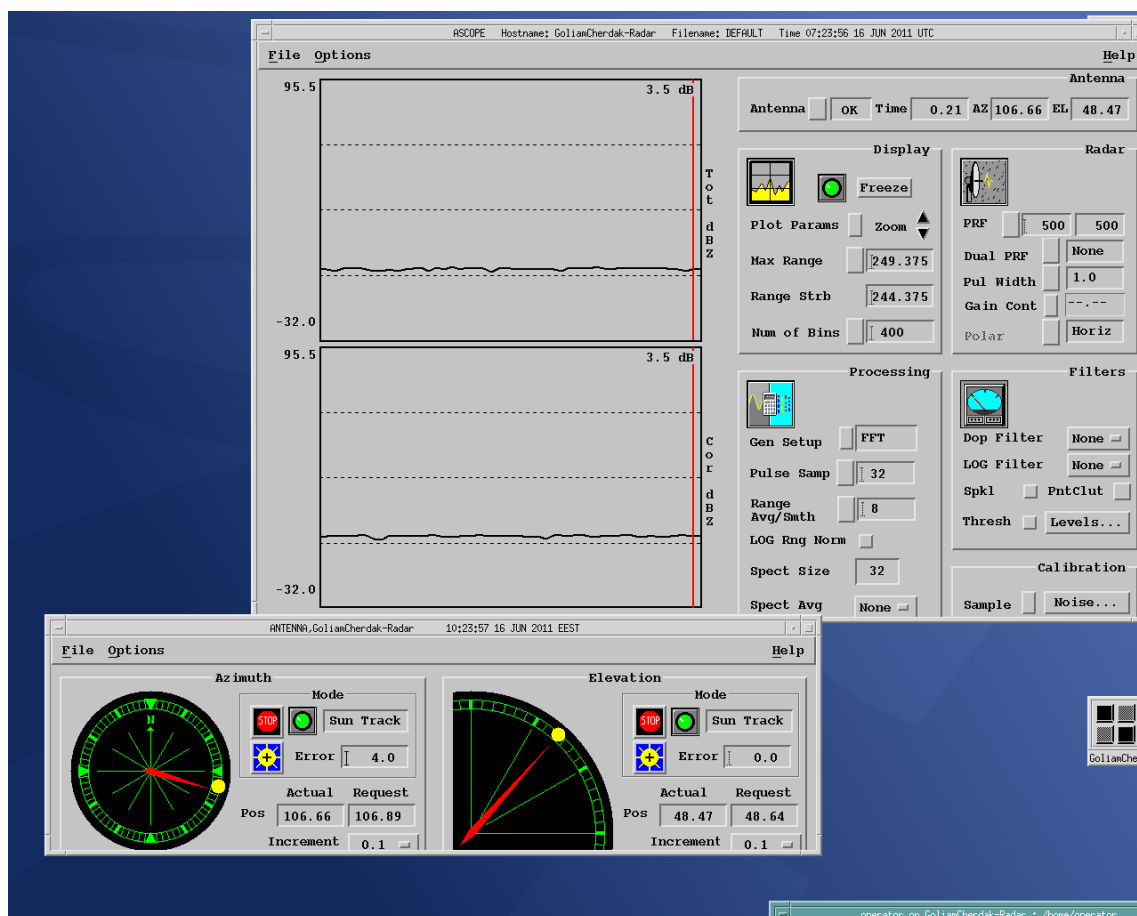
При въведена грешка от 2 градуса имаме съществено нарастване на приетата слънчева енергия, до +4.5dBz:



При въведена грешка от 3 градуса стигаме до 5dBz и сме очевидно някъде в максимума на приемане:

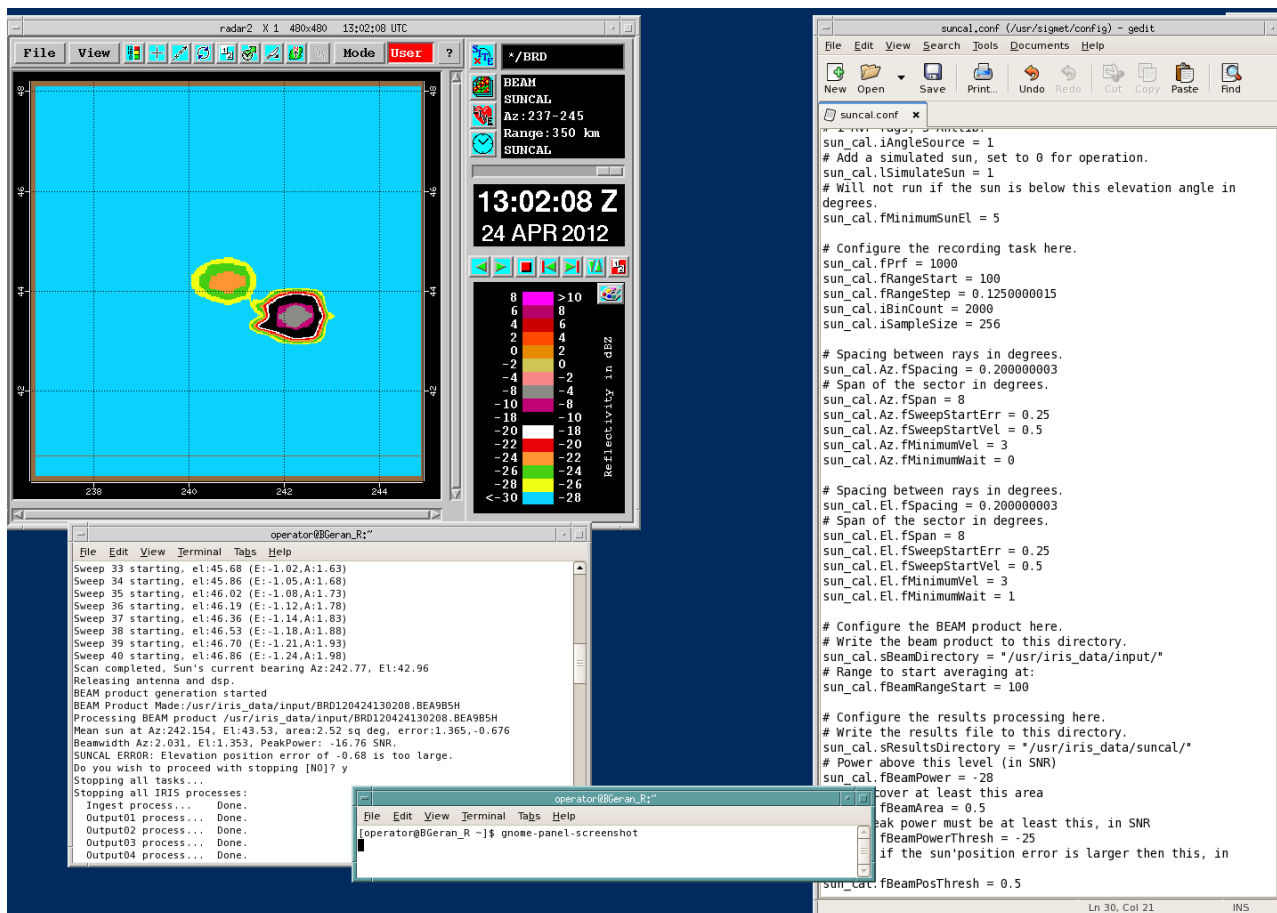


При въведена грешка от 4 градуса енергията приета от слънцето започва да пада до 3.5dBz. Очевидно грешката в ориентирането е някъде около 3 градуса.

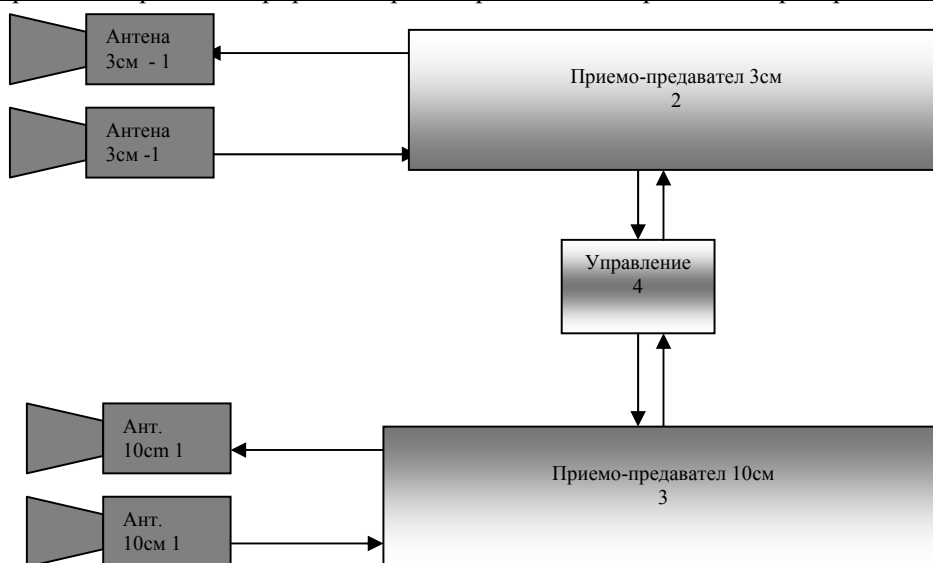


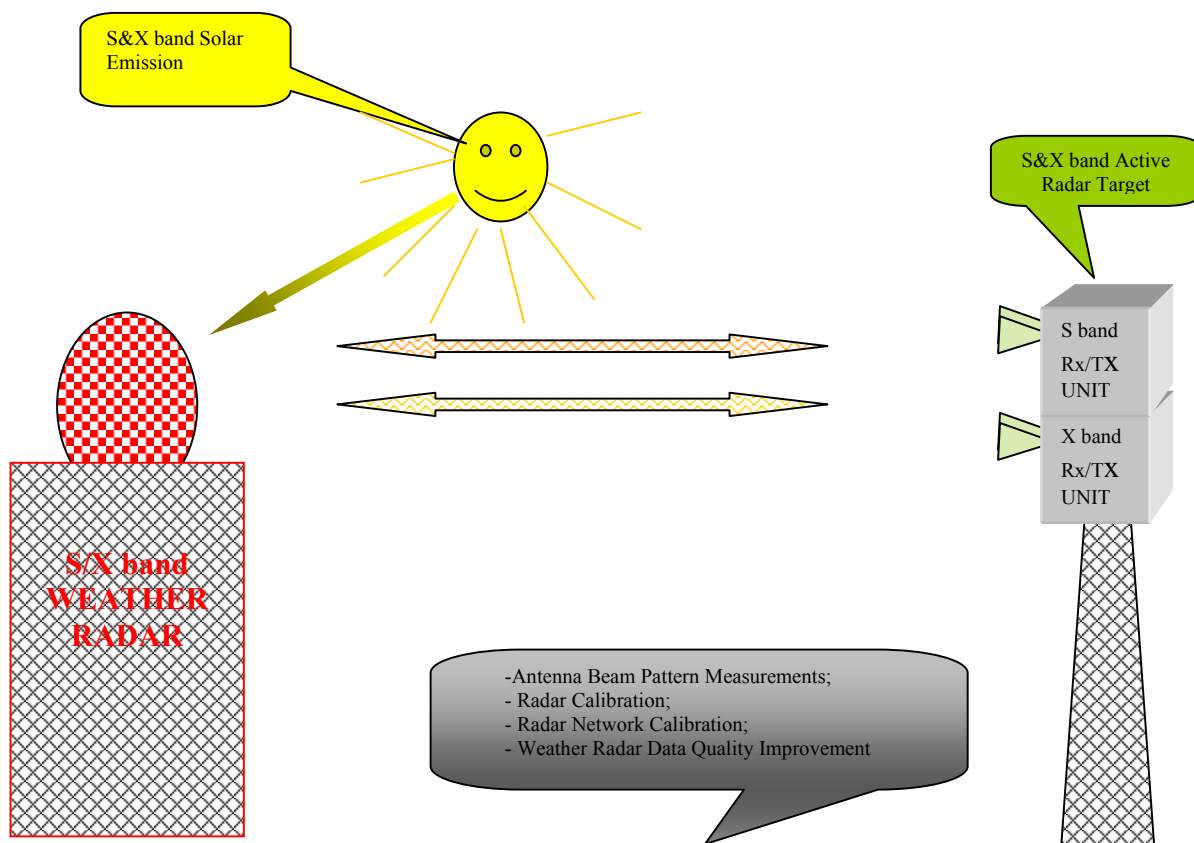
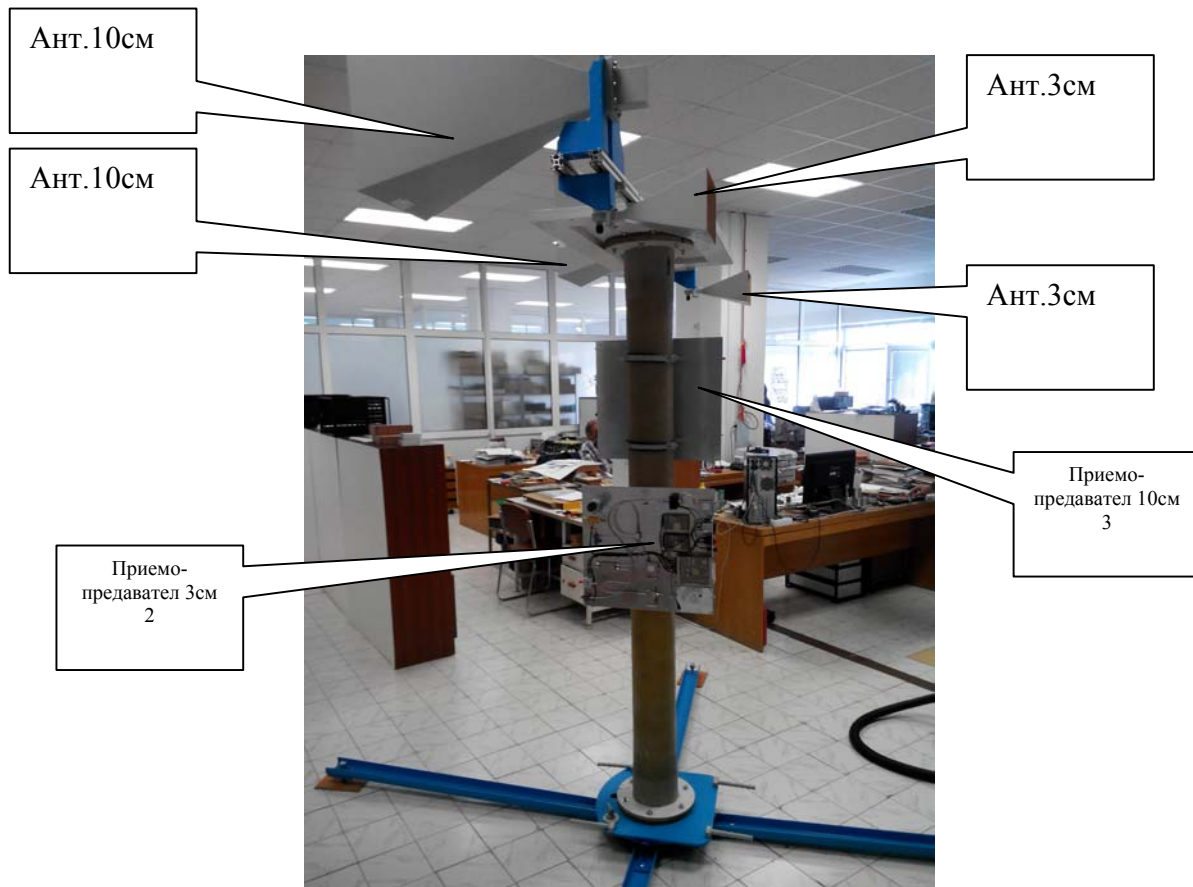
Все пак, въпреки установената грешка в ориентирането и на РЛС Старо село и на РЛС в Голям чердак, не можем да сме сигурни колко точно е тази грешка и да я въведем още сега, като поправка в софтуера на IRIS. Даваме си сметка, че измерването на точната грешка в ориентирането е резултат от дълги измервания и статистическо усредняване, избор на подходящо време за слънчево ориентиране, както и ползване на по-точен инструментариум за измерване, като например активна радиолокационна цел.

Автоматизирано измерване на ориентирането на РЛС с програма BEAM по слънцето



Нови методи за ориентиране и калибриране на радарите от край до край Транспондер за калибриране и ориентиране на метеорологични радары - ТКМР

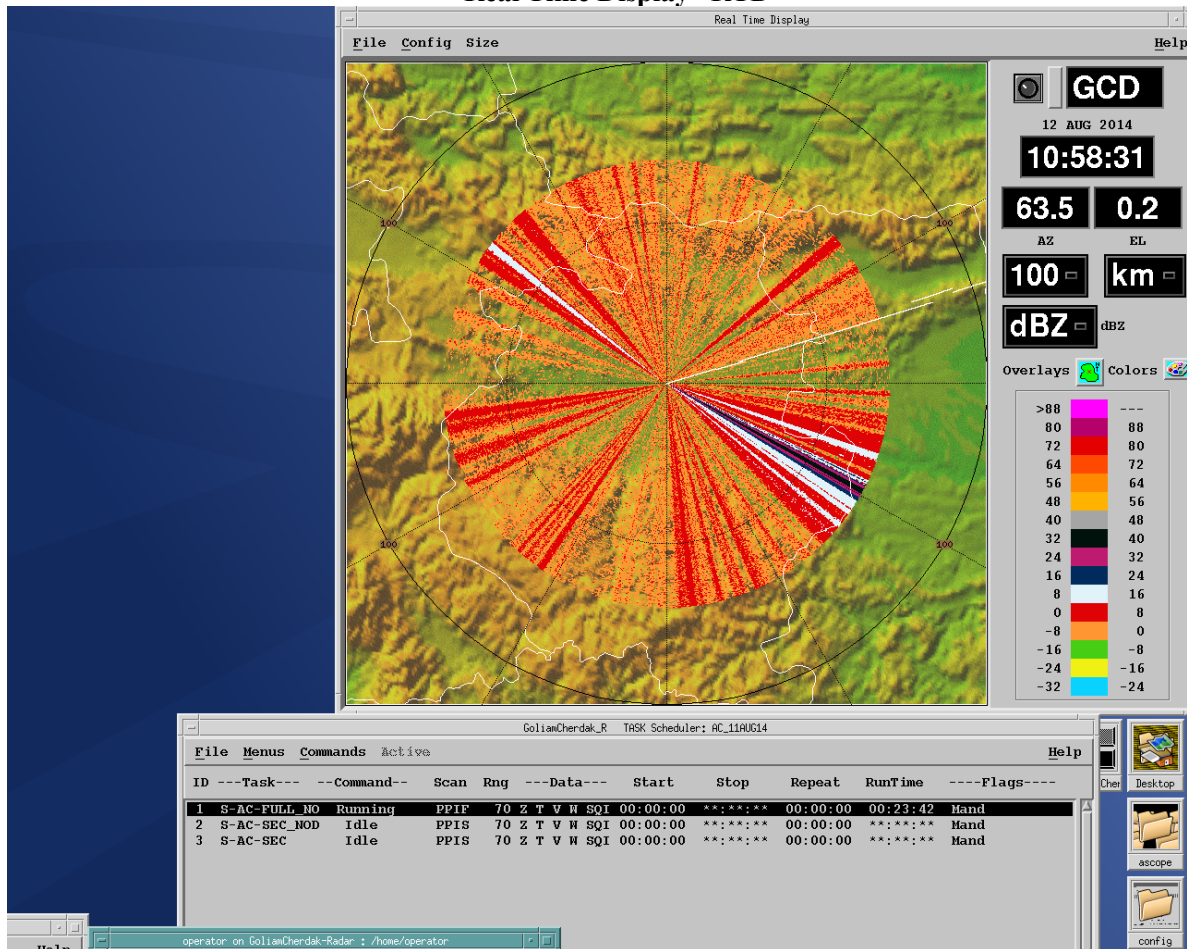




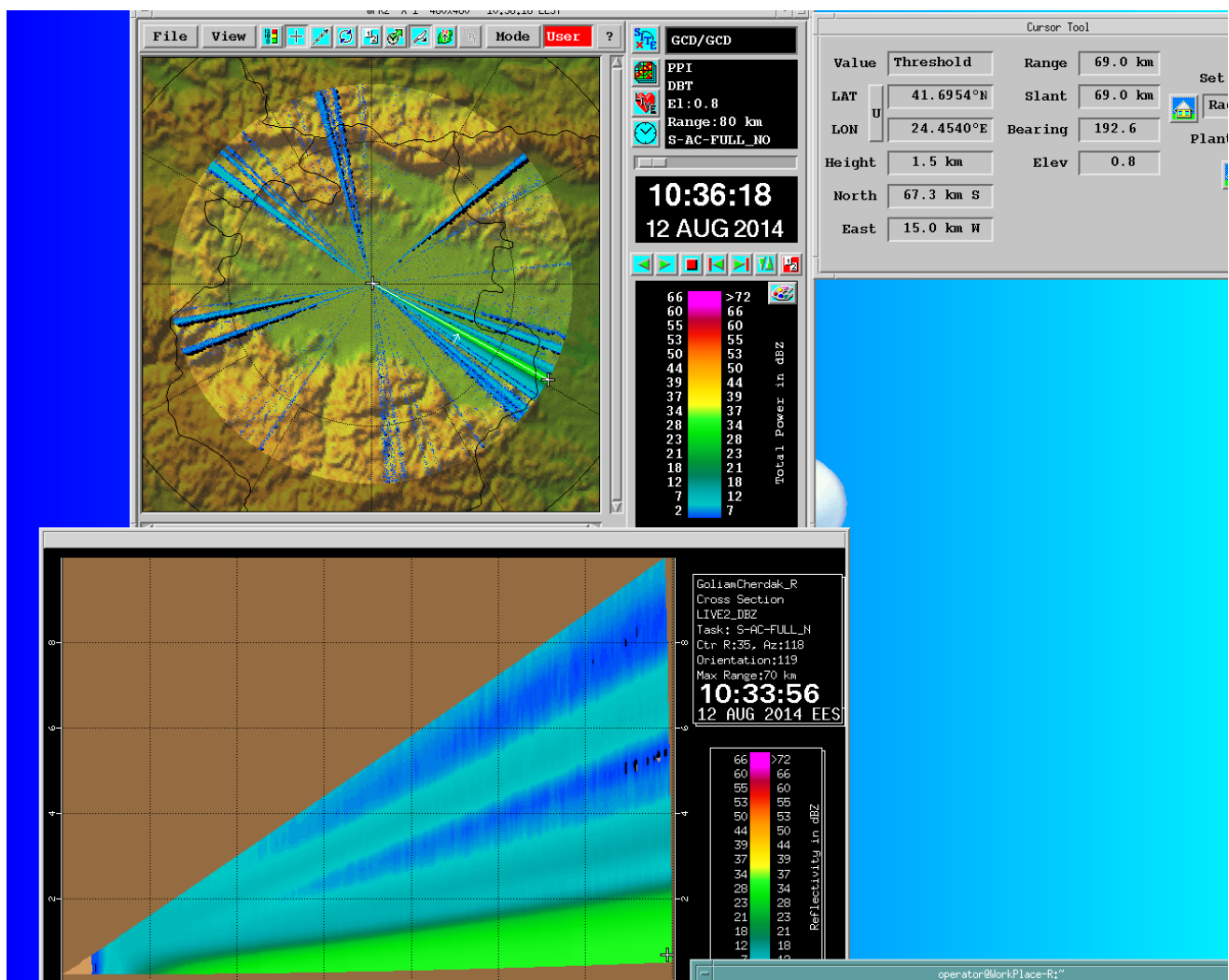
Пространствено изследване на диаграмата на Антената:

- с обзорна задача- PPI-FULL: S-AC_FULL-NOD (около 23мин) :resolution-0.35;El-0.2 to 7.8°;Auto; SNR; N=32;Rmax=70km;thresh:0.75-5-18-0.40; без доплеров филтър-NOD)

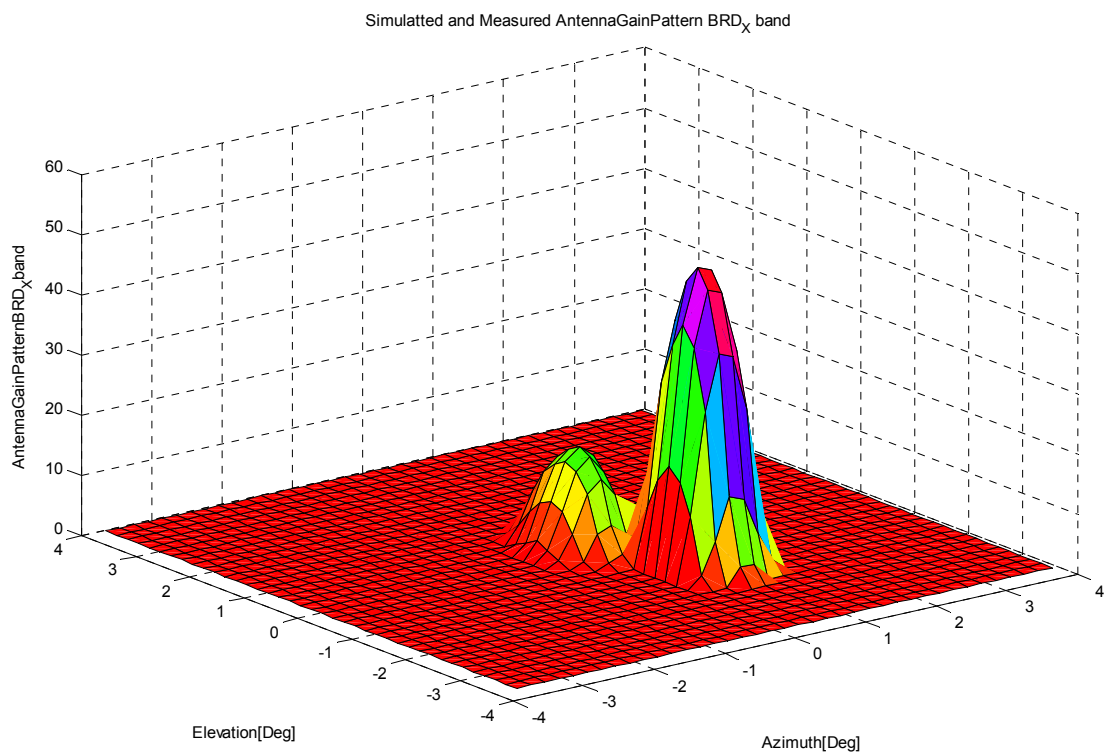
Изображение в реално време **Real Time Display –RTD**



Хоризонтален и вертикален профил на излъчването на АЦ в режим НГ – от продукт PPI



На фигурата по-долу показваме резултати от теоретично точно ориентирана диаграма на антената на РЛС в Бърдарски Геран и реално измерена по слънцето с установени грешки в ориентирането:



Диаграма на насоченост на антената, включително и странични листа на РЛС Голям Чердак, снети с активната радарна цел в режим на непрекъснато излъчване

