

Faculty of Business and Science

Department of Science



TS09:01 - Raunvísindaskor

Mars 2009

Fjarkönnun háhitasvæða
Endurbætur á innrauðum hitaskanna
og tilraunamælingar á háhitasvæðum

Axel Björnsson
Kolbeinn Árnason
Hrefna Kristmannsdóttir



Háskólinn
á Akureyri
University
of Akureyri

Viðskipta- og raunvísindadeild
Háskólans á Akureyri
Raunvísindaskor

Fjarkönnun háhitasvæða

Endurbætur á innrauðum hitaskanna og tilraunamælingar á háhitasvæðum

Axel Björnsson
Kolbeinn Árnason
Hrefna Kristmannsdóttir



Áfangaskýrsla til Orkusjóðs
Verkefni: 8–2002

Háskólinn á Akureyri, mars 2009
Skýrsla TS09:01-Raunvísindaskor

Útgefandi:

Háskólinn á Akureyri, Viðskipta- og raunvísindadeild, Raunvísindaskor
Útgáfuár: 2008, ISSN: 1670-7931, Vefútgáfa: www.unak.is/taekniskyrslur

Efnisyfirlit

| | |
|--|----|
| Ágrip | 1 |
| 1. Inngangur | 2 |
| 1.1 Fjarkönnun háhitasvæða | 2 |
| 1.2 Tiltækur tækjabúnaður | 2 |
| 1.3 Umsókn til Orkusjóðs – fyrirhugaðar rannsóknir | 2 |
| 2. Hitaskanninn | 4 |
| 2.1 Myndataka með línuskanna | 6 |
| 2.2 Næmni og geómetría hitaskannans | 7 |
| 3. Vinna við verkið 2003 – 2006 | 7 |
| 3.1 Endurbætur á skannanum | 7 |
| 3.2 Tilraunaflug eftir endurbætur 2004 og 2006 | 8 |
| 4. Frekari endurbætur á skannanum | 10 |
| 4.1 Lagfæringar og endurbætur á festingum skannans | 10 |
| 4.2 Endurbætur á skráningu gagna | 11 |
| 5. Dæmi um niðurstöður tilraunamælinga 2004 -2006 | 13 |
| 5.1 Reykjanes | 13 |
| 5.2 Krýsuvík | 16 |
| 5.3 Þeistareykir | 17 |
| 5.4 Bjarnarflag | 18 |
| 5.5 Nesjavellir | 19 |
| 6. Niðurstöður og tillögur um framhald verksins | 21 |
| 6.1 Helstu niðurstöður | 21 |
| 6.2 Tillögur umframhald verksins | 21 |
| Heimildir | 22 |
| Viðauki I Dagbókarfærslur úr tilraunaflugi | 24 |
| Viðauki II Sæti fyrir loftmyndavélar | 28 |

Mynd á forsíðu:

Flugvélin sem notuð er í hitaskannaflugið, TF – BMW, er af gerðinni Partenavia Observer. Hún er með stórt op í gólfi og búin öllum fullkomnustu staðsetningar- og siglingatækjum. TF – BMW er eina flugvélin á landinu sem er sérútbúin fyrir hvers kyns mælingar og myndatöku.

Ágrip

Árið 2003 veitti Orkusjóður 4,6 Mkr styrk til þess að gera einfaldar og ódýrar endurbætur á eina innrauða hitaskannann sem til er hér á landi og nú er í vörslu Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands. Í framhaldi af endurbótunum átti að framkvæma nauðsynlegar tilraunamælingar með skannanum á háhitasvæðum Norðausturlands í því skyni að sannreyna notagildi endurbótanna. Þannig var stefnt að því að þróa fljótvirka aðferð til þess að fylgjast með breytingum á jarðhitasvæðum vegna vinnslu eða af náttúrunnar völdum. Fyrsti hluti styrksins 1,5 Mkr var greiddur út 2003.

Endurbæturnar fólust í ýmsum lagfæringum á skannanum sjálfum og gagnasöfnun úr honum. Jafnframt fólust endurbætur í því að útbúa nýjar veltifestingar á skannann í flugvél til þess að gera hann óháðari óreglulegum hreyfingum flugvélarinnar, en slíkar hreyfingar valda bjögun á myndum sem teknar eru með skannanum. Bjögunin gerir alla úrvinnslu myndanna erfiðari og kemur í veg fyrir að hægt sé að vinna kerfisbundið með myndefnið, t.d. að setja myndirnar inn í landfræðileg upplýsingakerfi þar sem hægt er að tengja það öðrum hnitbundnum upplýsingum s.s. kortum og loftmyndum. Veltifestingarnar sem smíðaðar voru eru svipaðar áttavítavestingum sem notaðar eru í skipum. Var þess vænst að þær gæfu viðunandi niðurstöður á ódýran hátt við hagstæðar veðurastæður í flugi.

Yfirleitt eru flugmyndir teknar með myndavélum eða skönnum sem festir eru á sérstakt fjaðrandi borð sem haldið er stöðugu með „gyroáttavitum“. Slík borð kosta hins vegar um tug milljóna og því var ekki kostur á slíkri lausn í þessu verkefni. Einnig eru notuð tölvustýrð borð eða myndavélasæti sem bregðast við hallabreytingum flugvélarinnar, en ekki var kostur á slíku á viðráðanlegu verði. Vonir standa til að unnt sé að kaupa eða leigja slík borð í framhaldi verkefnisins þar sem notkun þeirra er orðin mun algengari en var fyrir örfáum árum.

Eftir endurbætur á skannanum voru teknar hitamyndir af jarðhitasvæðum á suðvesturhorni landsins, en einnig var farið í tvær ferðir norður í land og flogið yfir jarðhitavæði á Norðurlandi. Eftir þessar mælingar er ljóst að endurbæturnar sem gerðar voru á skannanum eru veruleg framför frá því að skrúfa skannann fastan í flugvél, en vart fullnægjandi til að viðunandi árangur náist við reglubundið eftirlit með jarðhitasvæðum. Mögulegt er að endurbæta veltifestingarnar sem smíðaðar voru eða þá að leita verður annarra leiða til þess að koma skannanum fyrir í flugvél. Sá möguleiki sem einna helst kemur til greina er að tryggja aðgang að gyroáttavítaborði eða myndavélsæti fyrir loftmyndavélar sem heldur skannanum kyrrum í ákveðinni stöðu (hnitakerfi) miðað við jörð og gerir hann óháðan öllum hreyfingum flugvélarinnar nema færslunni í flugstefnu. Kannaðir hafa verið möguleikar að kaupa eða leigja notaðar festingar á viðráðanlegu verði.

Þó tilraunamyndirnar séu nokkuð bjagaðar er ljóst að skanninn sjálfur er í besta lagi og með góða upplausn, eins og vel sést á tilraunamyndunum. Það er því tilvinnandi að gera frekari lagfæringar á festingum tækisins og gagnavinnslunni og gera það þannig úr garði að það nýtist við reglubundið eftirlit á háhitasvæðum og í öðrum skyldum verkefnum. Farið er fram á greiðslu er nemur 2,0 Mkr til að halda verkefninu áfram. Vonir standa til að unnt verði að fljúga á komandi sumri og ljúka verkefninu á u.þ.b. ári.

1. Inngangur

1.1 Fjarkönnun háhitasvæða

Til að halda góðum lífskjörum í landinu og tryggja hagvöxt er nauðsynlegt að nýta náttúruauðlindir landsins. Á háhitasvæðum landsins mætti virkja um 30.000 GWh/a af raforku, sem er álíka mikil orka og talið er hagkvæmt að virkja úr vatnsföllum landsins. Til að spilla ekki umhverfi um of og varðveita þessar sérstæðu náttúruperlur sem háhitasvæðin eru þarf að gæta þess að velja þá virkjunarkosti sem eru umhverfisvænstir. Virkjun háhitasvæða til framleiðslu raforku eða varmaorku fylgja óhjákvæmilega, eins og við allar aðrar framkvæmdir, einhver áhrif á umhverfið. Til að geta metið þessi áhrif þarf að vera fyrir hendi þekking á eðli jarðhitasvæðanna, á náttúrulegu ástandi þeirra og á þeim náttúrulegu breytingum sem verða á öllum háhitasvæðum með tíma, hvort sem þau eru virkjuð eða ekki. Rannsóknir á yfirborðsvirkni og breytingum óvirkjaðra jarðhitasvæða hafa verið takmarkaðar og ósamfelldar. Fjármagn til rannsókna er takmarkað og rannsóknir á náttúrulegu ástandi jarðhitasvæða hafa ekki verið forgangsverkefni. Rannsóknir hafa oft ekki hafist fyrr en taka þarf ákvörðun um virkjun.

Þó ekki hefi verið fylgst skipulega með breytingum á yfirborðsvirkni nema fárra jarðhitasvæða má út frá lýsingum á hinum þekktari þó lesa nokkra sögu. Hverir kvikna og slokkna og virðast útfellingar með tíma stífla aðrennslisæðar hvera en hræingar af völdum landreks og jarðskjálfta opna leiðir vatnsins á ný og svo koll af kolli. Hverir og gufuaugu færast til, nýir hverir myndast en aðrir hverfa. Virðast breytingar á vatnsborði jarðhitakerfa, sem aftur stafa af veðurfari, hafa mest áhrif hvað þetta varðar. Hitastigsbreytingar gerast hægar en geta verið umtalsverðar á nokkrum árum. Breytingar vegna virkjunar svæða geta verið umtalsverðar og tengjast að langmestu leyti breytingum á vatnsborði og þrýstingi vegna massatöku.

Af þessu má vera ljóst að erfitt getur verið að greina í sundur náttúrulegar breytingar á yfirborði háhitasvæða og breytingar sem verða vegna vinnslu jarðhita. Til þess að skilja þessa þætti að og til þess að geta metið hugsanleg áhrif virkjunar á umhverfi sitt verður að fylgjast með jarðhitasvæðum reglulega í allmörg ár og reyna að átta sig á innri gerð þess og viðbrögðum við vinnslu (Halldór Ármannsson o.fl, 2000).

Þegar fylgst er með breytingum á háhitasvæðum þarf yfirleitt að gera tímafrekar og dýrar athuganir á svæðunum með tilheyrandi ferðakostnaði og upphaldi á staðnum, oft í óbyggðum. Kortleggja þarf yfirborðsvirkni, mæla hitastig og safna sýnum úr hverum til efnagreiningar til að fylgjast með hitastigi í jarðhitakerfinu. Vegna þess hversu kostnaðarsamar og tímafrekar mælingar og kortlagning á yfirborði eru, hefur verið leitast við að finna nothæfar fjarkönnunaraðferðir til þess að fylgjast með virkni jarðhitasvæða (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 2000).

1.2 Tiltækur tækjabúnaður

Merkjafræðistofa Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands vann á tíunda áratug síðustu aldar að þróun á notkun innrauðrar myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði. Sú aðferð er talin mjög áhugaverð til að fylgjast með breytingum á virkni jarðhitasvæða samhliða athugunum á jörðu niðri. Einn verkþátta í yfirgrípsmiklu átaksverkefni um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar var notkun innrauðrar myndatöku (Hrefna Kristmannsdóttir, 1997). Verkefnið hófst á árinu 1993 og voru öll vinnslusvæði samstarfsaðila í

verkefninu mynduð þrívegis og einnig nokkur óvirkjuð svæði, m.a. Þeistareykir, Fremrinámar, Kverkfjöll, Krísuvík, Trölladyngja og Ölkelduháls. Unnið var úr flestum mælingunum að einhverju leyti, en vegna umfangs varð að velja úr sérstök svæði til nákvæmari skoðunar og samanburðar við rannsóknir á jörðu niðri (Kolbeinn Árnason, 1994a og b, 1995a og b, 1996a og b, 1997, Kolbeinn Árnason o.fl., 1994). Árangur og gagnsemi þessarar aðferðar til að fylgjast með langtímabreytingum í varmaflæði og virkni jarðhitasvæða var talinn nokkuð góður, en vegna skorts á fjármagni reyndist ekki unnt að ljúka verkefninu. Vegna fjárskorts var ekki heldur í öllum tilvikum unnt að gera samhliða mælingar á yfirborði. Einkum var erfitt að fá fjármagn til að gera mælingar og vinna úr niðurstöðum á óvirkjuðu svæðunum.

Hitaskanninn sem notaður var við þessar mælingar er afar næmt tæki og það eina sinnar tegundar sem til er hér á landi. Með honum er hægt er að mæla úr flugvél hitastigsmun á jörðu niðri sem er innan við 0,1°C. Með honum fást samfelldar hitamyndir af þeim svæðum sem flogið er yfir með greinihæfni um 1 – 3m. Til samanburðar er greinihæfni hitaskanna núverandi fjarkönnunargervitungla 60 – 90m, en slík greinihæfni nægir engan veginn til þess að kortlegga hitamynstur á yfirborði jarðhitasvæða þar sem hverir og hitablettir eru yfirleitt einungis nokkrir metrar í þvermál.

Ágæt reynsla fékkst af tilraunamælingum sem gerðar voru með skannanum á árunum 1993 – 1995, en ljóst varð að endurbæta þyrfti festingar hans við flugvélinu til þess að koma í veg fyrir bjögun myndefnisins og auðvelda vinnslu gagnanna. Skanninn hafði verið festur við flugvélinu þannig að óreglulegar hreyfingar hennar vegna ókyrrðar í lofti komu fram sem bjögun í myndefninu. Með því að koma skannanum fyrir í gýró-stýrðum festingum eða á sérþúnu borði sem bregst við vaggi vélarinnar verður skanninn óháður hreyfingum flugvélarinnar. Það þýðir að bjögun í hitamyndunum verður hverfandi og mun auðveldara verður að vinna sameiginlega úr myndefni af sama svæðinu sem safnað er með á mismunandi tímum, en slík úrvinnsla er forsenda fyrir því að hægt sé að kortleggja nákvæmlega allar hitabreytingar á viðkomandi jarðhitasvæði frá ári til árs.

1.3 Umsókn til Orkusjóðs – fyrirhugaðar rannsóknir

Árið 2002 veitti Orkusjóður Háskólanum á Akureyri, í samvinnu við Verkfræðistofnun Háskóla Íslands og Náttúrufræðistofnun Íslands styrk að upphæð 4,6 m.kr. Styrkinn átti að nota til að endurbæta áðurnefndan skanna og taka innrauðar hitamyndir úr flugvél af háhitasvæðum til þess að kanna notagildi aðferðarinnar við eftirlit með breytingum á háhitasvæðum.

Hafist var handa við að kanna ástand skannans á árinu 2003 og afla upplýsinga um verð á varahlutum og aukabúnaði. Í ljós kom að auðvelt væri að endurbæta rafeindabúnað tækisins og að neminn sjálfur reyndist vera í lagi. Var því hafist handa við það verk. Mælingar tækisins eru skráðar á stafrænt segulband og var það látið halda sér í bili, en næsta skref í endurbótum á skannanum er að tengja hann við tölvubúnað og skrá gögnin beint í tölvuminni. Það mun auðvelda mjög alla meðhöndlun gagnanna og flutning þeirra í úrvinnslutölvu að mælingum loknum.

Það sem helst vantaði á skannann var undirstöðuborð sem haldið er stöðugu með öflugum snúðum (gyroscope) eða borð sem stýrt er af nokkrum mótörum sem stjórnast af hallabreytingum vélarinnar á flugi og leitast við að halda borðinu láréttu. Slíkt borð halda alltaf láréttri stöðu sinni þótt flugvélin vaggi. Í ljós kom að ný slík borð kosta um 5 m.kr. og ekki tókst að finna notað falt borð hjá erlendum samstarfsaðilum. Það var því brugðið á það ráð að láta

smíða sérstaka upphengingu fyrir skannann úr stórri áttavítastefningu úr skipi. Upphengingin tekur mestu veltunarflokkinn af skannanum á flugi, bæði hliðarvagg og eins dýfur fram- og afturenda vélarinnar. Þessi upphenging verður þó aldrei eins góð og snúðborð og verður að fljúga í rólegu veðri þegar ókyrrð í lofti er sem minnst.

Í styrkumsókninni til Orkusjóðs var verkefninu skipt í tvo meginþætti. Annars vegar var lagt til að koma skannanum fyrir í hreyfanlegum festingum þannig að unnt verði að koma í veg fyrir þá bjögun sem kemur fram við þáverandi fyrirkomulag myndatökunnar. Þennan búnað skyldi síðan prófa við ýmsar aðstæður í grennd við Reykjavík þar sem flugvélin er staðsett. Hins vegar var lagt til að mynda nokkur jarðhitasvæði á Norðausturlandi einu sinni á ári í þrjú ár og gera athuganir á jörðu niðri samhliða hitamyndatökunni.

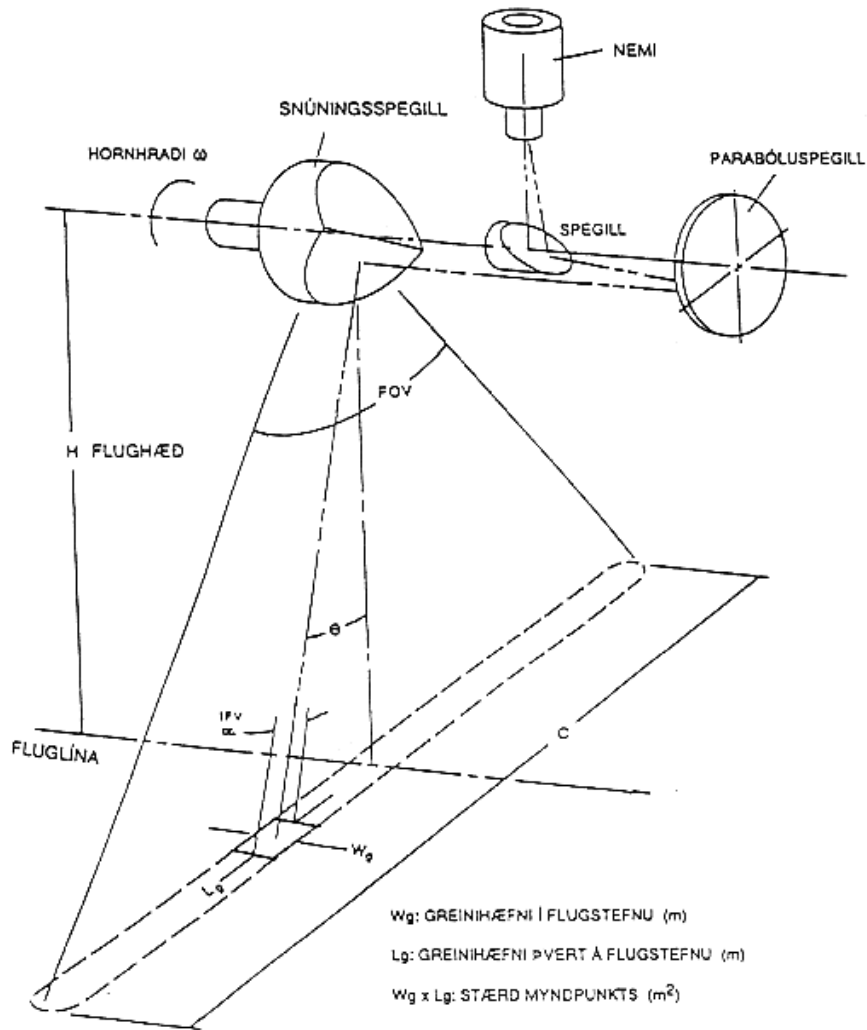
Allur nauðsynlegur búnaður til hitamyndaflugsins er til staðar bæði hvað varðar myndatökuna sjálfa og eins úrvinnslu myndefnisins. Sérútbúin tveggja hreyfla mælingaflugvél með gati í gólfi og öllum nauðsynlegum staðsetningar- og öryggistækjum er til staðar í Reykjavík og hefur flugmaður hennar mikla reynslu af fjarkönnunarflugi.

Þau svæði sem lagt var til að skoða eru Kverkfjöll, Fremrinámar, Þeistareykir og Námafjall. Valið miðast við það að á öllum þessum svæðum er til talsvert af eldri gögnum, bæði fjarkönnunarmælingar og jarðhitarannsóknir og eru þau tiltölulega vel þekkt miðað við önnur jarðhitasvæði sem eru ekki eða lítið nýtt. Vitað er að á öllum þessum svæðum hafa orðið miklar breytingar af náttúrulegum orsökum, en þau eru þó mjög ólík hvað varðar jarðfræðilega uppbyggingu og tengsl við eldvirkni. Kverkfjöll, Fremrinámar og Þeistareykir eru ósnortin að mestu, þ.e. engin nýting hefur átt sér stað. Á Þeistareykjum er nú verið að bora vinnsluholur og þar verður væntanlega virkjað á næstu árum og mjög áhugavert að fylgjast með breytingum þar. Ekki er hins vegar líklegt að Kverkfjöll verði nýtt um fyrirsjáanlega framtíð. Nokkur nýting er í Námafjalli, en ekki mjög mikil enn sem komið er. Líklegt má telja að á næstu tveimur til þremur árum verði unnt að fylgjast með þessum svæðum án þess að þar verði komin á mikil nýting.

2. Innrauð myndataka með hitaskanna

Hitaskanninn sem er sá eini í eigu Íslendinga kom til landsins um 1970 og var notaður í samstarfsverkefni Bandarísku jarðfræðastofnunarinnar (USGS) og Orkustofnunar. Þá voru teknar myndir úr flugvél af varmageislun frá nokkrum háhitasvæðum í tilraunaskyni. Þegar verkefninu lauk varð skanninn eftir á Orkustofnun. Hann fór síðar á Merkjafræðistofnu Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands þar sem prófessor Sigfús Björnsson sá um verulegar endurbætur á skannanum á árunum uppúr 1990. Speglabúnaður og mótör tækisins reyndust vera í lagi, en skipta þurfti um allan rafeindabúnað skannans sem og hitanemann sjálfan. Rafeindatækni breytist hins vegar hratt og stór hluti rafeindabúnaðarins var þegar orðinn úreltur um 2003 vegna framfara og tíðra breytinga í tölvubúnaði. Á árunum 1993 – 1996 notaði Kolbeinn Árnason skannann í umfangsmiklu umhverfisverkefni eins og þegar hefur verið greint frá. Ekki finnast nú nauðsynlegir fylgihlutir sem væntanlega hafa verið með skannanum í upphafi. Má þar helst nefna hallastýrt stöðugleikaborð og tilheyrandi festingar til að festa tækið og gera það stöðugt í flugvél. Hugsanlegt er að þessir hlutir hafi ekki fylgt eða þá glatast á flakki milli stofnana.

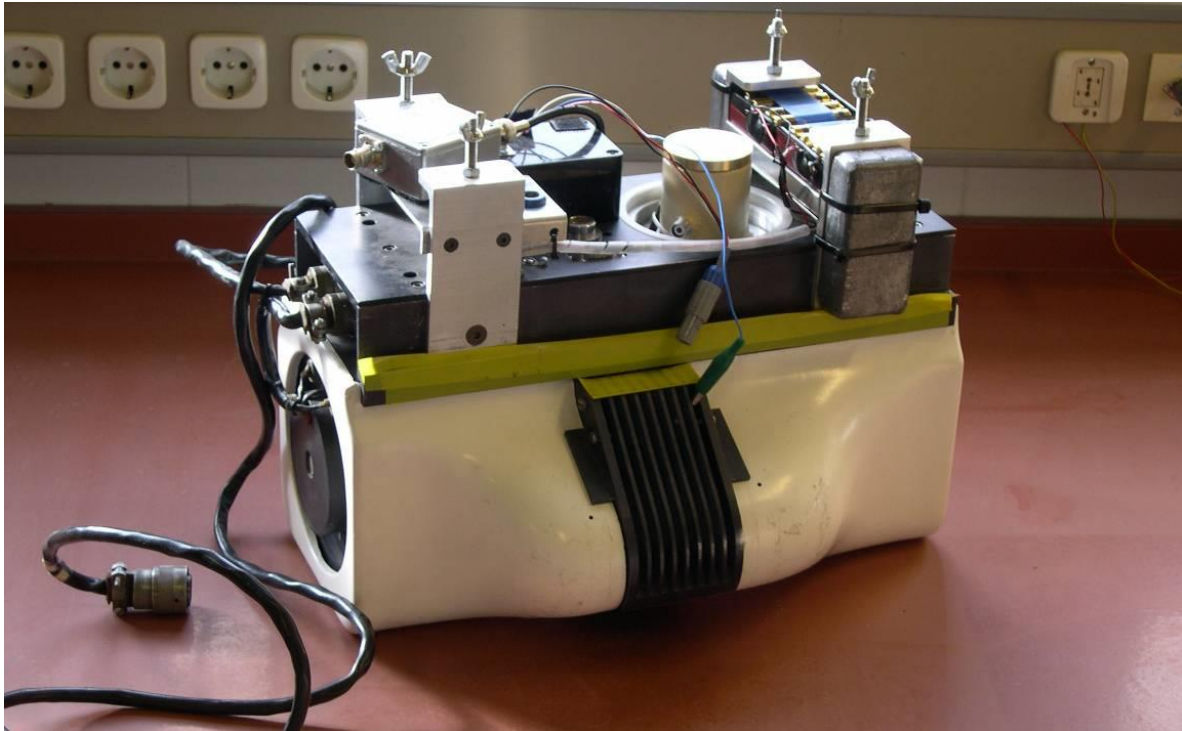
Á mynd 1 er einfölduð skýringarmynd af hitaskanna sem sýnir í stórum dráttum hvernig mælingin fer fram en mynd 2 sýnir skannann sjálfan (án festinga og fylgibúnaðar).



Mynd 1. Einfölduð skýringarmynd af línuskanna. Snúningsspegill skannans myndar 45° horn við snúningásinn sem er samsíða flugstefnunni og hann ásamt spegillinsunni (parabóluspegli) og hornspegli varpa varmageislun af svæði sem afmarkast af $3,3$ mrad rúmhorni α inn á nema skannans. Hornhraði snúningsspegilsins ω er 60 s^{-1} og þegar flogið er með skannann nemur hann varmageislun frá yfirborði jarðar línu fyrir línu þvert á flugstefnuna. Færsla flugvélarinnar fram á við hefur það í för með sér að skráður er samfelldur myndrenningur af jarðaryfirborði undir flugvélinni.

Skannahornið (FOV: Field Of View) hefur hingað til verið 100° þannig að breidd myndrenningsins C var rúmlega helmingi meiri en flughæðin H . Ein af þeim endurbótum sem gerðar hafa verið á skannanum er sú að nú er hægt að þrengja skannahornið í 70° og auka þar með greinihæfni skannans þar sem jafmörgum punktum og áður er safnað í hverri skannlínu. Annar kostur við þrengra skannahorn er sá að rúmfræðileg bjögun í myndunum, sem er mest undir stærstu horni út við jaðar myndanna, minnkar verulega.

Mynd 1. Einfölduð skýringarmynd af hitaskanna (Kolbeinn Árnason, 1997).



Mynd 2. Hitaskanni (sjá einnig mynd 1). Speglerkerfi og mótör skannans eru undir hvítu plasthlífunum (mótörinn til vinstri, speglakerfið hægra megin á myndinni). Varmageislun frá ákveðnum bletti á yfirborði jarðar er fókuseruð og speglað inn á nemann sem er kældur með fljótandi köfnunarefni niður í u.þ.b. -200°C . Nemi skannans “sér” út um opna þverrifu á neðri hlið hans (sem er á milli hvítu plasthlífanna).

2.1. Myndataka með línuskanna

Í skannanum er snúningsspegill (sjá mynd 1) sem speglar geislun frá ákveðnum bletti á jörðinni inn á nema tækisins, sem kældur er með fljótandi köfnunarefni niður í u.þ.b. -200°C til þess að auka næmni hans. Snúningur spegilsins veldur því að sá blettur á yfirborði jarðar sem skanninn sér hverju sinni, færast eftir beinni línu þvert á flugstefnuna, en í hverri línu eru mæld um 700 - 800 gildi með jöfnu millibili. Skannhornið er um 100° þannig að myndrenningurinn er um tvöfalt breiðari en flughæðin. Munurinn á hefðbundinni flugljósmynd og línuskannaðri mynd er sýndur á mynd 3.

Flughraðinn er oftast um 200 km/klst og snúningsspegillinn snýst 60 hringi á sekúndu sem þýðir að við hvern snúning spegilsins mælir skanninn punkta á línu sem er samsíða næstu línu á undan, en hefur hliðrast um tæpan metra fram á við. Yfir svæði sem er 1 km á lengd mælir skanninn því rúmlega 1000 slíkar línur og framkvæmir þar með um 7 - 800.000 hitamælingar á þessari vegalengd.

Við úrvinnslu gagnanna er mælingunum raðað upp í samfellda mynd þar sem hver mæling skannans samsvarar einni myndlínu og hver mæling svarar til eins myndpunkts eða myndeingar. Hitamyndirnar eru því settar saman úr miklum fjölda myndeinga þar sem hver eining hefur ákveðið línu- og dálknúmer. Tölugildi hvers myndpunkts (hverrar mælingar), sem er í réttu hlutfalli við þann geislunarstyrk sem mældist frá tilsvarendi bletti á jörðu niðri, er táknað með ákveðnu grágildi á svarthvítri mynd (eða ákveðnum lit á litmynd) á þann hátt að því meiri sem geislunarstyrkurinn er því ljósari er viðkomandi myndpunktur. Á svarthvítum hitamyndum er því svart kaldast og hvítt er heitast.

2.2. Næmni og geómetría hitaskannans

Bandbreidd hitaskannans er 12 bitar, sem þýðir að mælisviði hans er hægt að skipta niður í $2^{12} = 4096$ mismunandi mæligildi. Skanninn hefur tvær næmnistillingar; fína og grófa. Í fínni stillingunni er hægt að mæla hitastigsmun sem er innan við $0,1^{\circ}\text{C}$. Með skannann í þessari stillingu er hægt að mæla hitastig á þéttbýlissvæðum frá -200 til $+200^{\circ}\text{C}$ án þess að skanninn fari í mettun. Í grófari stillingunni eru $0,7^{\circ}\text{C}$ milli grágilda og er hún því heppilegri þegar mæla þarf hátt hitastig. Í þessari stillingu getur skanninn til dæmis mælt hitastig á opnum eldi eða rennandi hraunkviku ($1000 - 1100^{\circ}\text{C}$) án þess að fara í mettun.

Skannahornið er 100° , myndrenningurinn er rúmlega helmingi breiðari en flughæðin. Í 1000m hæð er greinihæfnin $3,3\text{m}$, í 500m hæð er hún helmingi meiri eða $1,7\text{m}$. Við könnun háhitasvæða (hæsta hitastig á yfirborði 100°C) er gögnum yfirleitt safnað með mestu næmni nemans, en þá er hægt að mæla hitastigsmun sem er minni en $0,1^{\circ}$ á bilinu $0^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$.

3. Vinna við verkefnið 2003 – 2006

Það sem af er verkefninu hafa ákveðnar endurbætur verið gerðar á skannanum. Þær fólust í því að smíða sérstaka veltifestingu svipaðri kompásfestingu í skipi, sjá lið 3.1 hér að neðan. Samhliða og í framhaldi af þeim voru síðan gerðar nokkrar tilraunamælingar. Endurbæturnar voru til bóta en reyndust ekki eins vel og vonir stóðu til og ljóst er að fara verður yfir þessa hluti vandlega aftur. Það má endurbæta veltifestinguna, en öruggari leið og jafnframt dýrari er að kaupa eða fá lánað/leigt tölvustýrt myndavélarsæti.

3.1 Endurbætur á skannanum

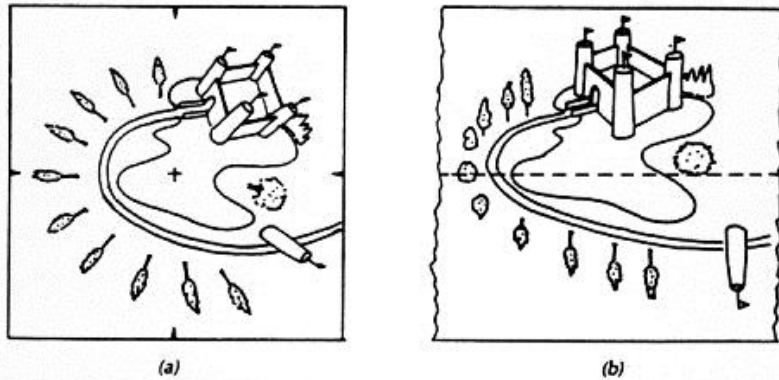
Í eldri mælingum var skanninn einfaldlega festur í plexiglerplötu sem sett var yfir opið í gólfi flugvélarinnar. Öll ókyrrð í lofti meðan á myndatöku stóð olli því óæskilegum hreyfingum á skannanum, sem komu fram sem geómetrísk bjögum í hitamyndunum. Þessi bjögum var mikil eftir því hversu mikil ókyrrðin var. Við allra bestu flugskilyrði voru myndirnar vel nothæfar en í verstu tilfellum var myndefnið ónothæft.

Það sem helst vantaði á skannann var undirstöðuborð sem haldið er stöðugu með öflugum snúðum (gyroscope). Slíkt borð heldur alltaf láréttri stöðu sinni þótt flugvélin vaggi. Í ljós kom að ný slík borð kostuðu um 5 m.kr árið 2003 og ekki tókst að finna notað falt borð hjá erlendum samstarfsaðilum. Það var því brugðið á það ráð að láta smíða sérstaka upphengingu fyrir skannann úr stórri áttavitafestingu úr skipi. Upphengingin tekur mestu veltturnar af skannanum á flugi, bæði hliðarvagg og eins vagg fram og aftur. Þessi upphenging verður þó aldrei eins góð og snúðborð og verður að fljúga í rólegu veðri þegar ókyrrð í lofti er sem minnst.

Endurbætur á festingunum sem gerðar voru árið 2003 miðuðu að því að koma í veg fyrir að óreglulegar hreyfingar flugvélarinnar færðust beint yfir á skannann sjálfan með því að setja hann í veltifestingar, þ.e. kompásfestingar sem notaðar eru um borð í skipum, en slíkar festingar sjá til þess að kompásinn helst ávallt sem næst í láréttri stöðu þrátt fyrir velting skipsins.

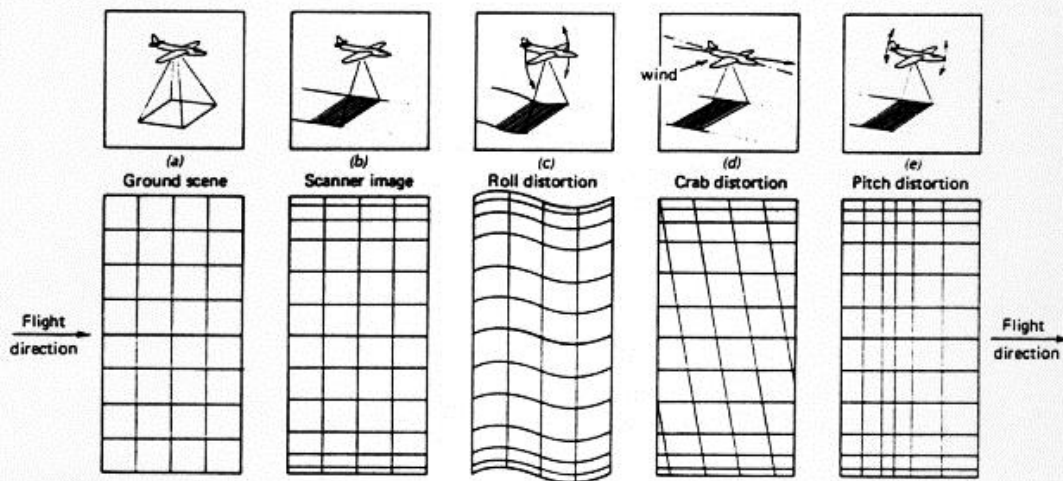
Haft var samband við lítið fyrirtæki, Raför, í Reykjavík sem annast viðgerðir og viðhald á kompásum og beðið um tilboð í festingar skannans fyrir flugvél. Tilboðinu var tekið og voru smíðaðar nýjar festingar fyrir skannann sem byggðust á því að nota hluta úr gamalli kompásfestingu ásamt loftdempurum til þess að drepa niður yfirsveiflur (sjá mynd 6). Þessar festingar áttu að geta komið í veg fyrir vagg flugvélarinnar um lengdarásinn (sjá mynd 4c) og láréttan ás þvert á flugstefnuna (sjá mynd 4e) bæriskt yfir á skannan. Skanninn getur hins

vegar ekki snúist um lóðréttan ás í þessari festingu (sjá mynd 4d) en slík hreyfing verður þegar flogið er í hliðarvindi og flugvélin snýr sér þá upp í vindinn þegar reynt er að halda henni á ákveðinni fluglínu.



Mynd 3. Geómetría loftljósmyndar (a) og línuskannamyndar (b).

Á loftmynd kemur hæðarmunur fram sem hliðrun út frá miðpunkti myndarinnar, en á línuskannamynd út frá miðlinu hennar.



Mynd 4. Bjögun í línuskannamyndum sem teknar eru úr flugvél.

(a): rétt geómetría myndarinnar (b): samþjöppun myndar út til jaðranna vegna konstant söfnunartíðni og snúningshraða skannspegilsins, (c), (d) og (e): bjögun vegna óreglulegra hreyfinga flugvélarinnar (snúningur um höfuðásana).

3.2. Tilraunaflug 2004 – 2006 eftir endurbætur

Í framhaldi af endurbótum á festingum skannans var farið með hann í nokkur tilraunaflug. Fyrst var farið í stutt flug í nágrenni Reykjavíkur og teknar hitamyndir af jarðhitasvæðum á suðvesturhorni landsins, en að fenginni reynslu úr því flugi var farið í tvær ferðir norður í land og flogið yfir jarðhitasvæði á Norðurlandi. Reynt var að fljúga að hausti til í kyrru veðri fyrir fyrstu snjóa en það reyndist nokkuð torsótt. Stundum var vélin upptekin í öðrum verkefnum,

eitt sinn var hún í skoðun og oftast en einu sinni versnaði veður eftir að lagt var af stað. Niðurstöðurnar urðu því rýrari en vonast hafði verið eftir.

Eftirfandi mælingaflug voru flogin í tengslum við endurbæturnar á skannanum. Sjá enn fremur dagbókarfærslur úr hverju flugi í **Viðauka I** :

- 5. apríl 2004, Reykjanes og Bláa lónið, < 1 klst. (Viðauki I, flug1)
- 19. nóvember 2004; Jarðhitasvæði á Norðurlandi, flogið yfir strönd Þingvallavatns í bakaleiðinni, 4 klst. (Viðauki I, flug 2)
- 6. okt 2006: Hengill – Reykjanes, alls rúmar 2 klst. (Viðauki I, flug3)
- 17. okt 2006: Jarðhitasvæði á Norðurlandi, um 4 klst. (Viðauki I, flug 4)

Í flestum tilvikum voru gerðar einhverjar breytingar á skannanum milli tilraunamælinganna án þess að þær séu tíundaðar hér. Helstu breytingarnar voru gerðar eftir fyrsta flugið en þá voru settir loftdempingar á kompásfestinguna til þess að koma í veg fyrir yfirsveiflur. Þær endurbætur gáfu ekki nægilega góða raun.

Eftir tilraunamælingarnar með þessu nýja fyrirkomulagi á festingum skannans er ljóst að þessar endurbætur eru veruleg bót frá því að skrúfa skannann fastan í vélina, en eru ekki fullnægjandi og leita verður annarra og betri leiða til þess að koma skannanum fyrir í flugvélinni. Auk þess sem skanninn er enn óstöðugur hvað varðar vagg um lengdarás flugvélarinnar (roll, **mynd 4c**, sjá einnig **mynd 7**), þá er snúningur um lóðréttan ás heldur ekki mögulegur með nýja fyrirkomulaginu (**mynd 4d**). Ef vel á að vera þurfa skannafestingarnar einnig að gera ráð fyrir þessari hreyfingu.

Það er ekki mikil vinna að endurbæta upphenginu skannans þannig að tekið sé tillit til snúnings vélarinnar um lóðréttan ás og hliðrun vegna hliðarvinds. Einnig ætti að vera einfalt mál að finna hæfilega dempun þannig að vagg um lengdarás verði minna. Þetta væri alla vega fyrsta aðgerð til að bæta upphenginguna. Nú er orðið mun meira framboð af flugmyndavélum og búnaði tengdum þeim heldur en var fyrir aðeins örfáum árum síðan. Það ætti því að vera auðveldara að fá tölvustýrð myndavélasæti keypt eða leigð til að leysa vandamálin við festingu skannans í flugvél. Í viðauka 2 er dæmi um búnað sem boðinn er til sölu.

Flest tilraunaflugin voru að hluta til misheppnuð vegna óhagstæðra veðurskilyrða. Í sumum ferðum þyknaði upp og veður versnaði eftir að útlitið hafði verið nægilega gott til þess að fljúga. Þetta er einkum bagalegt í sambandi við tilraunaflug fyrir norðan þar sem flugvélin er gerð út frá Reykjavík og um 1,5 klst flug er frá Reykjavík norður í Mývatnssveit. Þó má fullyrða að mjög mikilvæg reynsla hafi safnast í þessum mælingatilaunum. Þar má einkum nefna eftirfarandi:

- Nánast vonlaust er að fljúga með hitaskannann yfir vetrarmánuðina vegna óstöðugra veðurskilyrða og myrkurs. Heppilegur tími fyrir hitaskannaflug er maí – september.
- Annar augljós ókostur við vetrarmælingar er sá að snjór er þá oftast á hálendinu, en snjór getur lagst yfir væg hitafrávik og gert þau ósýnileg á tíðnisviði skannans.
- Viðmiðunarhitamælingar á jörðu niðri eru best gerðar eftir sólsetur eða fyrir sólarupprás til þess að inngeslun sólar trufla ekki mælingarnar. Af flugfræðilegum ástæðum er heppilegra að fljúga fyrir sólarupprás.



Mynd 5. Hitaskanninn með núverandi festingum (vinstra megin) og öllum öðrum búnaði (til hægri). Heildarþyngd alls tækjabúnaðarins er um 50kg.

4. Frekari endurbætur á skannanum

Þótt skanninn sé að grunni til nothæft verkfæri og sé í rauninni einstakt tæki hér á landi, verður að gera á honum tvenns konar lagfæringar til þess að hann geti talist brúklegur í reglubundnum mælingum. Eins og er þarf að eyða allt of mikilli vinnu í leiðréttingu gagnanna vegna ófullnægjandi upphengingar í flugvélinni áður en raunveruleg túlkun getur farið fram. Við þetta verður úrvinnsla flóknari og rannsóknakostnaðurinn of mikill. Með nauðsynlegum endurbótum yrði hægt að lækka fastan kostnað verulega og þar með gera kleift að stunda reglubundnar hitamælingar, s.s. eftirlit á jarðhitasvæðum, á viðráðanlegu verði. Hin lagfæringin er einfaldlega tímanna tákni. Í stað þess að nota stafræn segulbönd fyrir gagnaskráninguna eins og nauðsynlegt var fyrir 15 árum síðan er núna hægt að skrá gögnin beint inn í fartölvu í flugvélinni. Með því verður öll meðhöndlun gagnanna mun auðveldari og aflestur inn í úrvinnsluforrit leikur einn.

4.1. Frekari lagfæringar/endurbætur á festingum skannans

Það er ekki mikil vinna að endurbæta upphenginu skannans þannig að tekið sé tillit til snúnings vélarinnar um lóðréttan ás og hliðrun vegna hliðarvinds. Einnig ætti að vera einfalt mál að finna hæfilega dempun þannig að vagg um lengdarás verði minna. Þetta væri alla vega fyrsta aðgerð til að bæta upphenginguna.

Sá möguleiki sem væri besta lausnin til þess að tryggja óbjagað myndefni úr skannanum er að fá aðgang að stöðugri festingu (e: gyro-stabilised mount) fyrir loftmyndavélar sem heldur skannanum kyrrum í ákveðinni stöðu (hnitakerfi) miðað við jörð og gerir hann óháðan öllum hreyfingum flugvélarinnar nema færslunni í flugstefnu (sjá viðauka II). Framboð á slíkum

myndavélarsætum var kannað á sínum tíma og ljóst er að það er talsvert og virðist vera stöðugt, en þau voru of dýr til þess að hægt væri að kaupa þau árið 2004. Á síðustu árum hafa orðið miklar tækniframfarir í sambandi við loftmyndavélar og loftmyndatöku sem þýðir að framboð á gömlum (notuðum) loftmyndavélum hefur aukist og verðið lækkað. Einnig er vel hugsanlegt að hægt sé að fá þökkalega gott tölvustýrt myndavélarsæti núna á viðráðanlegu verði.

4.2. Endurbætur á skráningu gagna frá skannanum

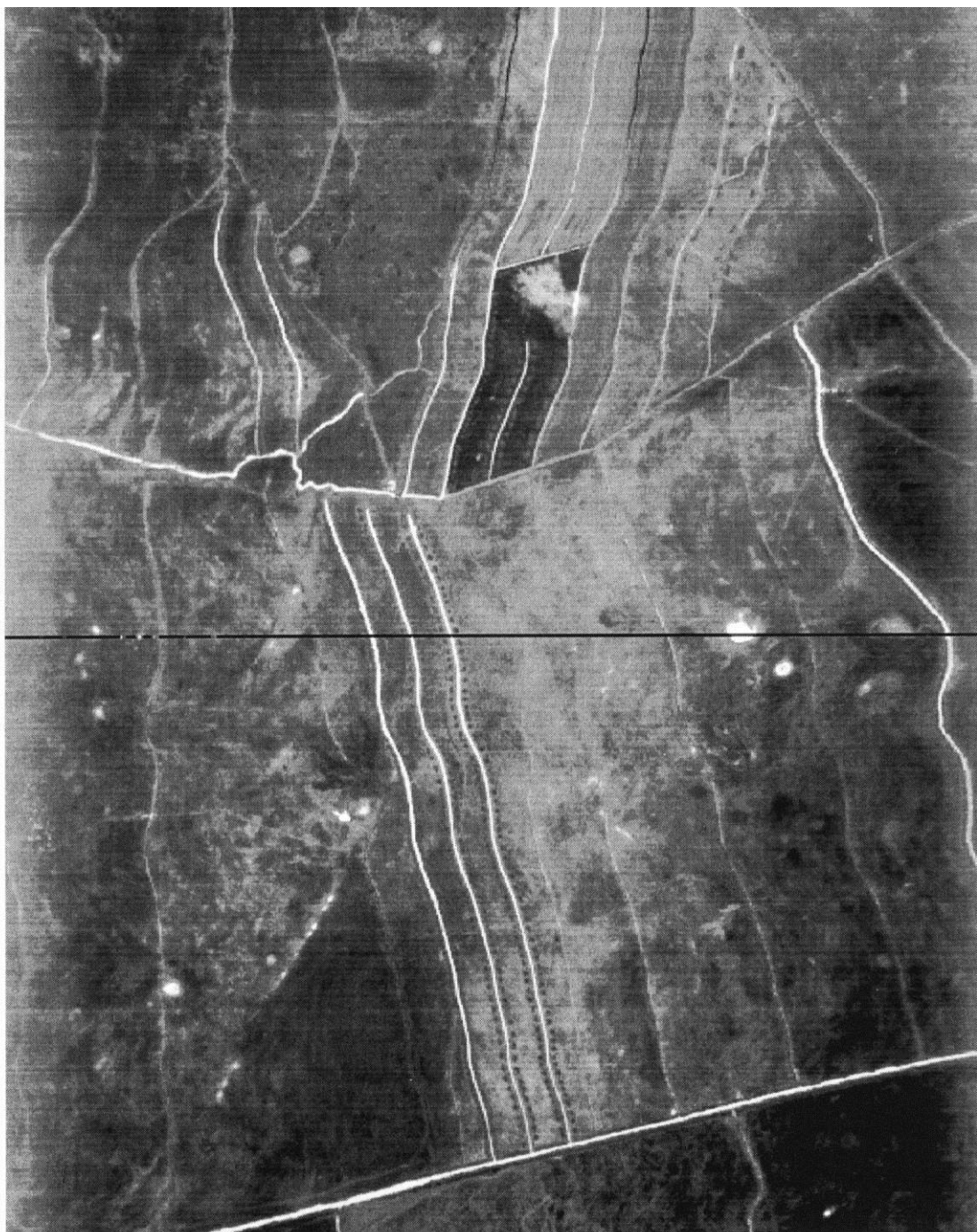
Skráning gagna frá hitaskannanum er nú gerð á DAT segulband (Digital AudioTape), en þetta fyrirkomulag var þróað hjá Verkfræðistofnun Háskólans (VHÍ) upp úr 1990. Þetta var afar snjöll lausn á sínum tíma (hægt er að skrá allt að 2 klst gagnastreymi á hverja snældu) þegar tölvur voru mun frumstæðari og fyrirferðarmeiri en nú er. Helsti ókosturinn við þessa gagnaskráningu er sá að mikið umstang fylgir því að ná gögnunum aftur af segulbandinu og koma þeim yfir á tölvu. Til þess þarf ákveðinn vélbúnað sem smíðaður var hjá Verkfræðistofnun HÍ á sínum tíma og ekki er til nema í einu eintaki á einni tölvu og sú tölva er reyndar löngu orðin úrelt og búnaðurinn ekki í fullkomnu lagi.

Alþekkt er að á seinustu árum hafa orðið gríðarlegar tækniframfarir í tölvuþróun, tölvur bæði orðið minni og öflugri og umfam allt mun sparneytnari á afl. Nú er ekki lengur neitt vandamál að tengja öfluga fartölvu beint inn á rafmagnskerfi flugvélarinnar og skrá gögnin frá hitaskannanum beint inn á slíka tölvu meðan á fluginu stendur. Það blasir við að það mundi auðvelda meðhöndlun og vinnslu hitamyndanna verulega ef tölvuskráning gagnanna yrði tekin upp. Kostnaður við svona breytingu yrði ekki mikill, heppileg tölva kostar ekki nema 100 – 200 þús. kr., en nokkur forritunarvinna mundi þó fylgja þessu. Haft hefur verið samband við þá sérfræðinga sem unnu að þróun skannans á sínum tíma og þeir segja slíka breytingu ekki vera mikið mál og eru tilbúnir að taka hana að sér.



Mynd 6. Hitaskanninn með tilraunafestingu þar sem plexiglersplata er skrúfuð föst á gólf flugvélarinnar, en skanninn hangir laus niður úr henni ofan í opi í gólfinu. Þessi festing leyfir hreyfingar skannans í tvær óháðar stefnur og tilgangur þeirra er að vega upp á móti vaggi (roll) og risi/hnigi (pitch) flugvélarinnar. Með þessum búnaði getur skanninn ekki snúist um lóðréttan ás og því ekki hægt að vega upp á móti snúningi flugvélarinnar (yaw)

um lóðréttan ás. Í ljós hefur komið að helstu óreglulegu hreyfingar flugvélarinnar eru vagg og snúningur (roll og yaw) þannig að þessar tilraunafestingar eru ekki fullkomnar.



Mynd 7. Mynd úr flugi 1996 þegar skanninn var skrúfaður fastur í flugvélinu og engar veltifestingar notaðar (Kolbeinn Árnason, 1996). Þetta er gott dæmi um hvernig smávægi-legar hreyfingar flugvélarinnar koma fram sem bjögun í hitamynd. Myndin er tekin í rólegu veðri í Flóanum skammt austan Selfoss og sýnir framræsluskurði á sléttu landi. Myndin er tekin að næturlagi en þá er meiri varmageislun frá vatninu í skurðunum en frá yfirborði landsins í kring og skurðirnir koma því fram sem ljósar línur á myndinni. Skurðirnir eru þráðbeinir og grafnir samsíða á ákveðnum svæðum eða spildum. Smávægilegt vagg flugvélarinnar (roll) meðan á myndatöku stendur, veldur augljósri bjögun í myndinni, sem eykst út til jadranna til vinstri og hægri. Það er tímafrekt og erfitt eða jafnvel ómögulegt að leiðrétta þessa bjögun að fullu eftir á í vinnslu myndarinnar. Með góðum veltifestingum á skanninum er hægt að koma í veg fyrir svona truflun í myndgögnunum.

5. Nokkur dæmi um niðurstöður tilraunamælinga 2004 – 2006.

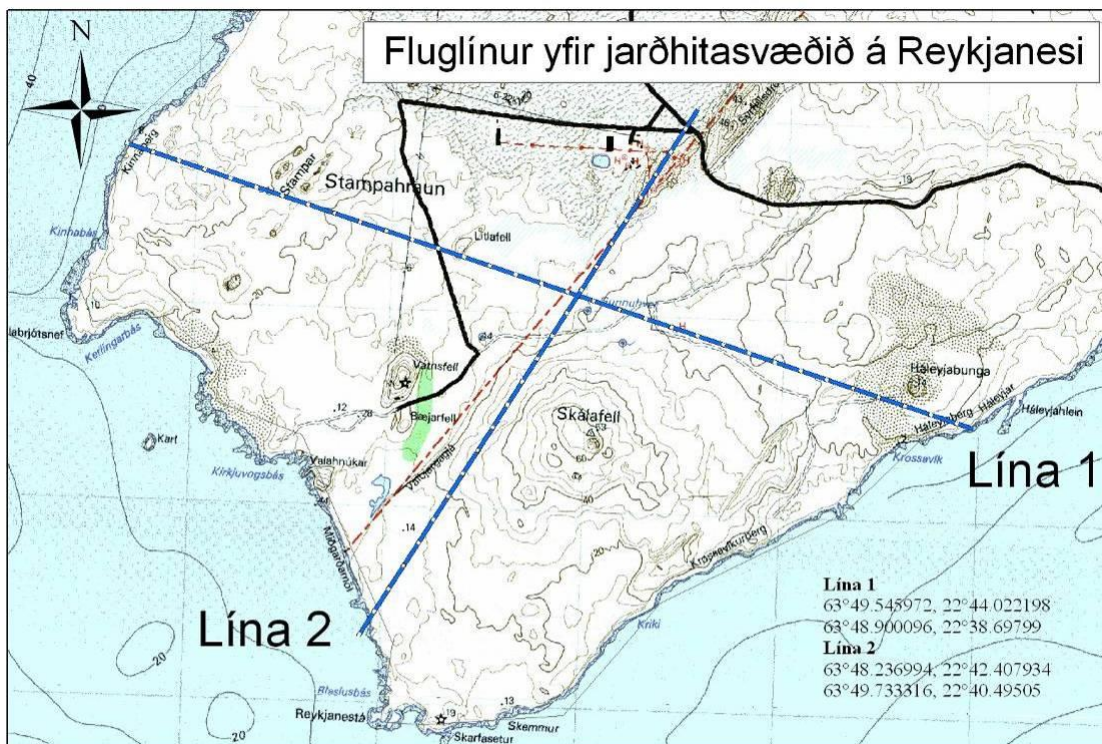
Hér verða sýndar nokkur dæmi um hitamyndir sem teknar voru með skannanum í tengslum við þetta verkefni. Það er ljóst að næmni skannans er afar góð. Hægt er að mæla hitastigsmun upp á 0,1°C, en gögnin eru bjöguð nema ókyrrð í lofti sé óveruleg. Slíkar aðstæður eru því miður allt of sjaldgæfar á Íslandi. Það sem hér er sýnt eru hrá gögn eins og þau koma úr skannanum og án frekari úrvinnslu. Nokkrum hitamyndum (nr. 14, 16, 17 og 18) er þó varpað ofan á landakort og/eða SPOT gervitunglamyndir og felldar að kortunum með einföldum úrvinnsluforritum.

5.1. Reykjanes

Flogið var tvisvar sinnum yfir jarðhitasvæðið á Reykjanesi í tengslum við þetta verkefni; 5. apríl 2004 og 6. október 2006 (sjá **Viðauka I**). Meðfylgjandi hitamyndir (**myndir 9 og 10**) eru teknar í fyrri ferðinni, en þá var rólegt veður.

Mynd 9 er tekin eftir sólarlag og er því ótrufluð af inngeslun sólar. Svart er kaldast og hvítt er heitast. Að næturlagi er yfirborð vatns nokkuð heitara en yfirborð lands og affallslón og allir vatnspollar koma því vel fram sem ljósir blettir á myndinni. Ljósustu (heitustu) blettirnir og þeir sem mest eru áberandi endurspegla náttúrulegu jarðhitavirknina á svæðinu (á miðri mynd) og gufurnar sem og heita affallsvatnið frá virkjuninni (yst til hægri).

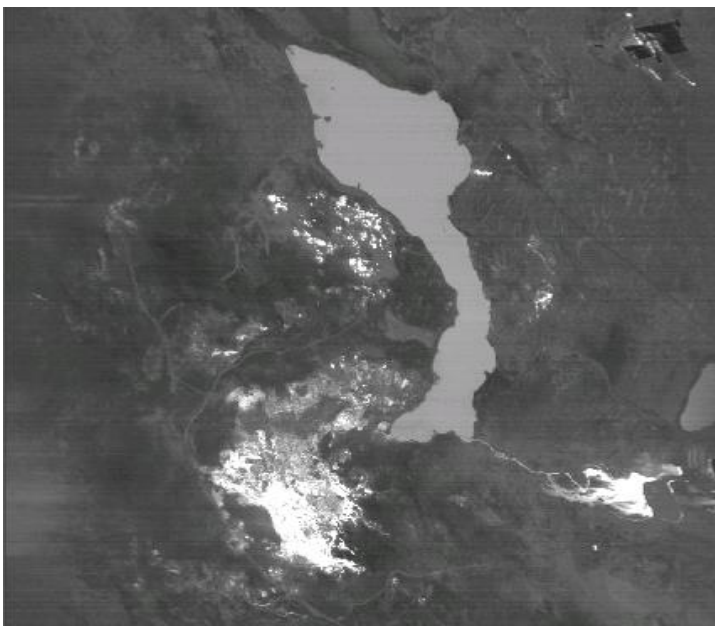
Með endurtekinni hitamyndatöku er hægt að mæla nákvæmlega allar hitabreytingar á svæðinu, en það getur verið afar erfitt eða jafnvel ómögulegt að setja niðurstöðurnar fram ef ekki er hægt að varpa myndunum ofan á kort eða landhæðarlíkan (sjá geómetrískan mun á **myndum 9 og 10** á næstu síðu). Með góðum veltifestingum á skannanum verður þetta vandamál leyst að miklu eða öllu leyti.



Mynd 8. Fluglínur yfir jarðhitasvæðið á Reykjanesi. Mynd 9 á næstu síðu sýnir hitamynd sem tekin var á línu 2 til sem liggur NV þann 5. apríl, 2004 (myndin nær eingöngu yfir norðurhelming línunnar. Mynd 10 var tekin á línu 1.



Mynd 9. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi, hitamynd tekin í apríl 2004 á línu 2 til norðausturs (sjá kort á mynd 8). Myndin er ekki hnitsett; Norðvestur er upp. Svart er kaldast og hvítt er heitast. Að næturlagi er yfirborð vatns nokkuð heitara en yfirborð lands og affallslón og allir vatnspollar koma því vel fram sem ljósir blettir á myndinni. Ljósustu (heitustu) blettirnir og þeir sem mest eru áberandi endurspeglja náttúrulegu jarðhitavirknina á svæðinu (á miðri mynd) og gufurnar og heita affallsvatnið frá virkjuninni (yst til hægri). Áhugaverðara getur hins vegar verið að koma auga á veikar hitaanómalíur utan eiginlega jarðhitasvæðisins (sjá örvar), sem augljóslega eru tengdar sprungum.



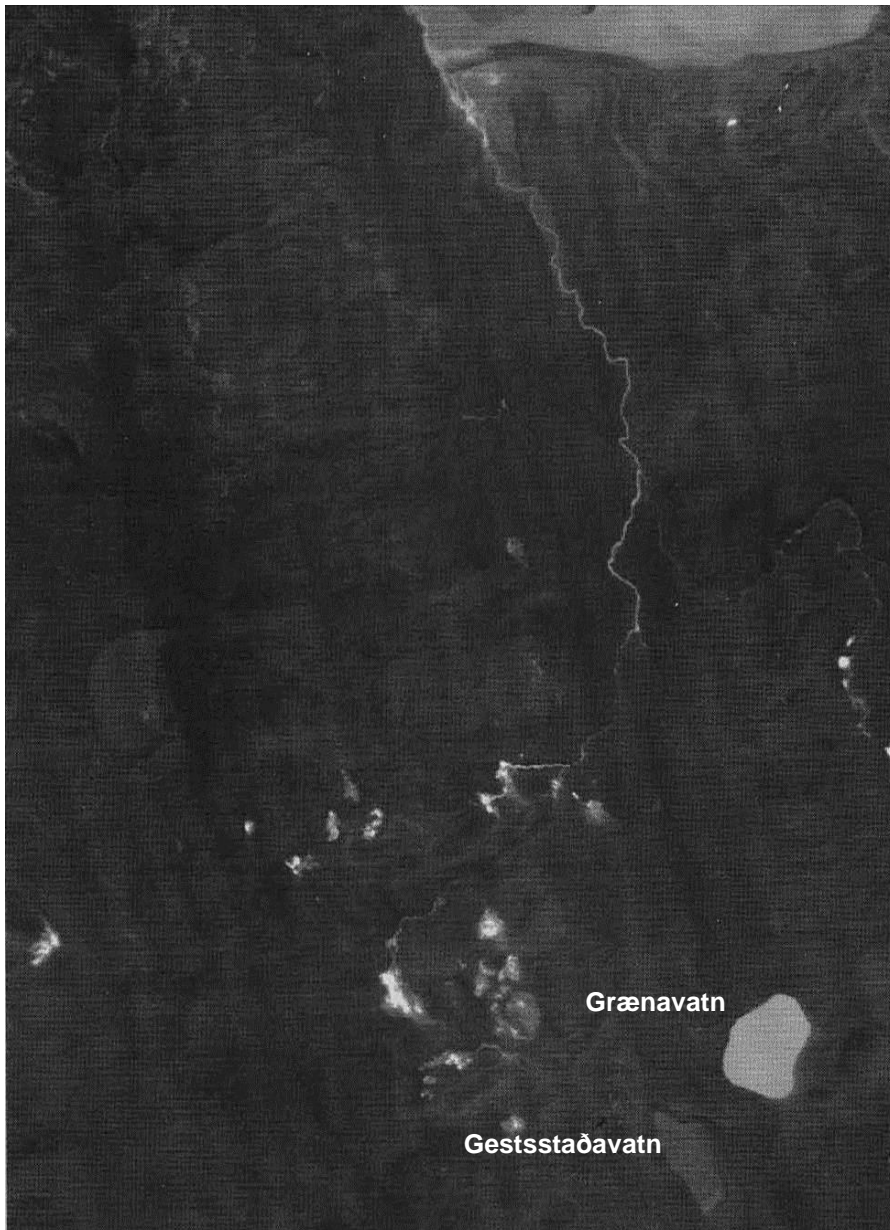
Mynd 10. Forvitnilegt er að bera saman mynd 9 og mynd 10 sem teknar voru við sama tækifæri af jarðhitasvæðinu á Reykjanesi, sú efri á fluglínu 2, en sú neðri á línu 1 (sjá kort á mynd 8). Aðstæður til myndatöku voru mjög góðar og lítil ókyrrð í lofti. Samt er munurinn á geómetríu myndanna mjög greinilegur (sjá til dæmis lögun gráa lónsins, sem er affallsvatnið frá virkjuninni). Hægt er að laga þennan mun að miklu leyti en aldrei þó þannig að allir punktar í annarri myndinni falli nákvæmlega ofan á samsvarandi punkta í hinni myndinni meðan núverandi festingar skannans eru notaðar.

5.2. Krýsuvík

Mynd 11 er nætur-hitamynd af jarðhitasvæðinu í Krýsuvík og næsta nágrenni þess. Jarðhitasvæðið í Krýsuvík er dæmigert fyrir mörg önnur jarðhitasvæði á Íslandi að því leyti að yfirborðshitinn er bundinn við litla afmarkaða bletti (hveru og gufuaugu), en á milli þeirra er yfirborðið jafn kalt og utan jarðhitasvæðisins sjálfs.

Yfirleitt er yfirborðshitinn bundinn við ákveðnar sprungur eða misgengi og hitamyndir sem teknar eru úr lofti auðveldar oft að koma auga á og teikna upp slíkar línur í landinu. Við staðsetningu borhola á jarðhitasvæðum er tekið mið af þeim misgengjum sem jarðhitinn er einkum bundinn við og reynt að skera þau á ákveðnum stað á ákveðnu dýpi til þess að auka líkur á árangri við borun.

Suðurströnd Kleifarvatns er efst á myndinni, Grænavatn og Gestsstaðavatn neðst til hægri. Grænavatn er aðeins um 1 – 2 °C heitara en Gestsstaðavatn, en vegna mikillar næmni skannans kemur þessi litli munur þó mjög vel fram á hitamyndinni.

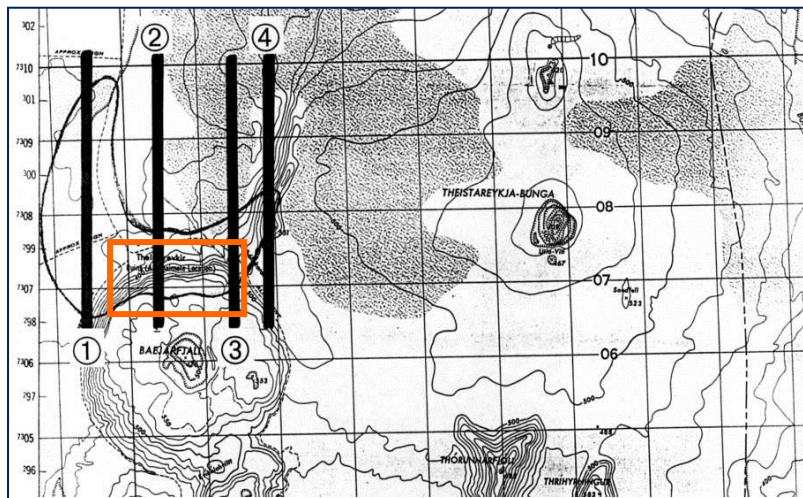


Mynd 11. Hitamynd af jarðhitasvæðinu í Krýsuvík. Jarðhitasvæðið í Krýsuvík er dæmigert fyrir mörg önnur jarðhitasvæði á Íslandi að því leyti að yfirborðshitinn er bundinn við litla afmarkaða bletti (hveru og gufuaugu) sem oftast eru bundnir við ákveðnar sprungur eða misgengi, en á milli þeirra er yfirborðið jafn kalt og utan jarðhitasvæðisins sjálfs. Myndin er ekki hnitsett; upp er til NA. Suðurströnd Kleifarvatns er efst á myndinni, Grænavatn og Gestsstaðavatn neðst til hægri. Grænavatn er aðeins um 1 – 2 °C heitara en Gestsstaðavatn, en þessi litli munur kemur þó vel fram á hitamyndinni.

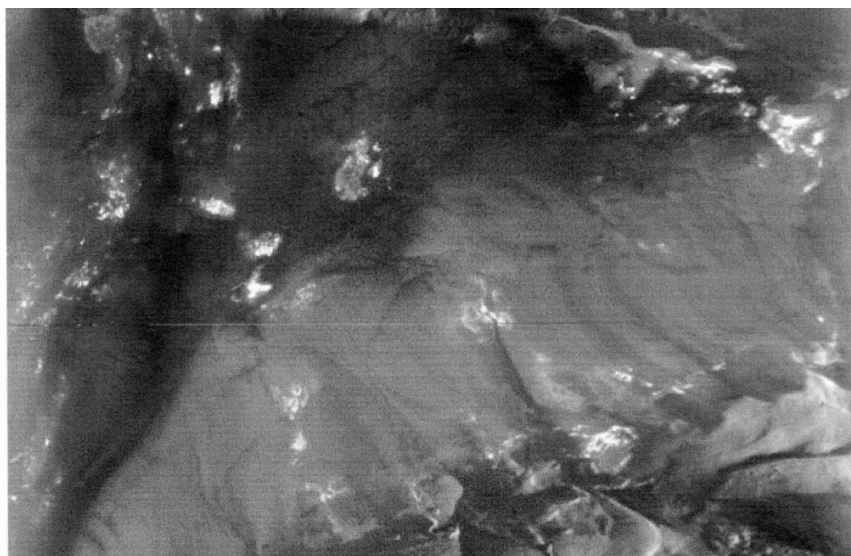
5.3. Þeistareykir

Kortið á mynd 12 sýnir fluglínur sem flognar voru yfir Þeistareyki 1993, 1994 og 1995, en haustið 2006 (17. okt.) var fluglína 2 endurtekin auk þess sem flogin var austur-vestur lína yfir jarðhitann rétt norðan Bæjarfjalls (sjá mynd 14 og viðhengi I.). Framkvæmdir voru ekki að ráði hafnar á þessu svæði þegar mynd 13 var tekin.

Mynd 13 er hitamynd af svæðinu rétt norðan Bæjarfjalls sem afmarkað er með rauðum ramma á mynd 12. Nyrsti hluti Bæjarfjalls er neðst á myndinni. Yfirborðshiti kemur vel fram á hitamyndinni og nær jarðhitinn geinilega upp á brúnir fjallsins. Myndin er tekin áður en vinnsluboranir og framkvæmdir hófust á svæðinu.



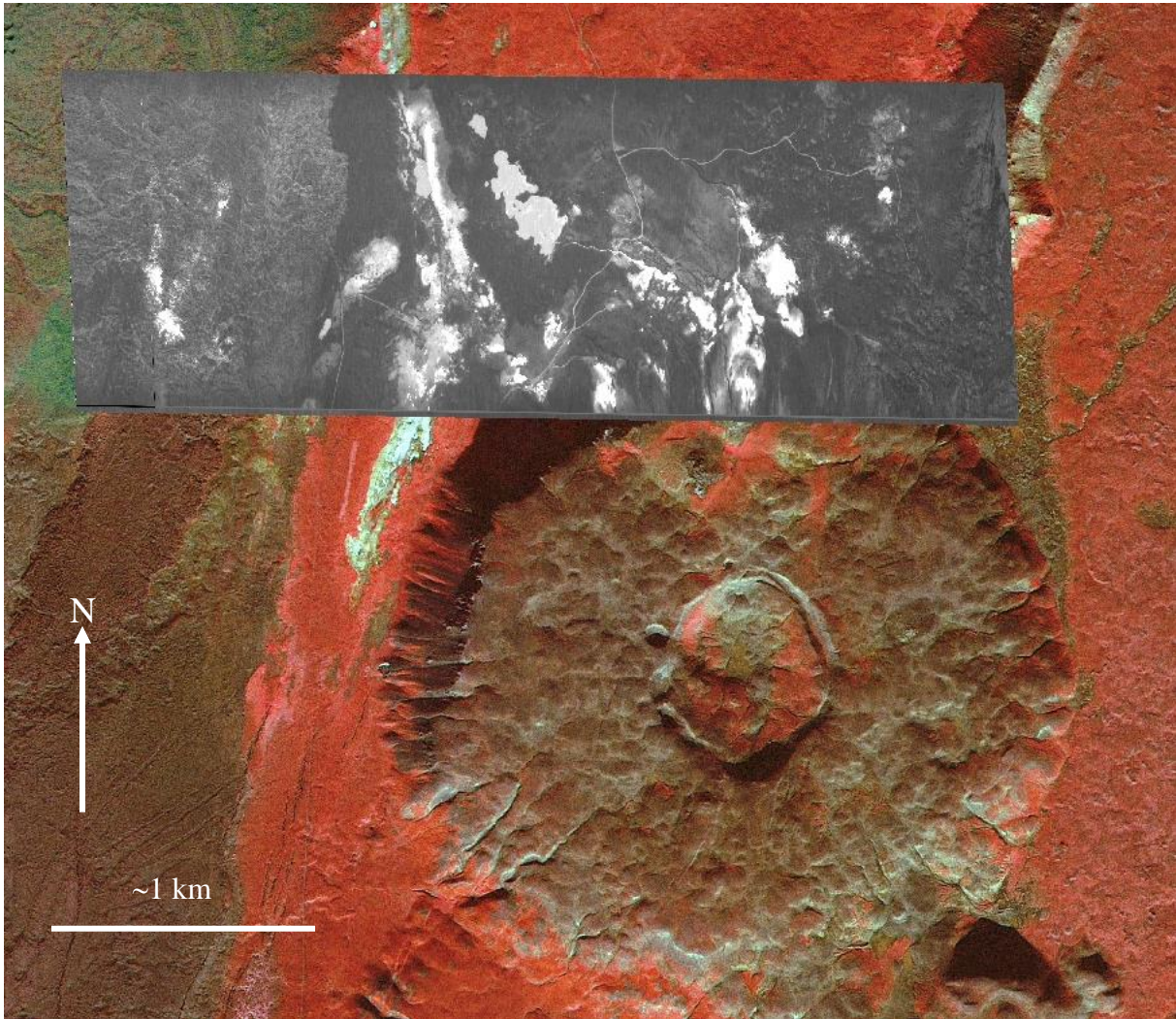
Mynd 12. Fluglínur sem flognar voru yfir Þeistareykjasvæðið 1993, 1994 og 1995. Þann 17. okt. 2006 var fluglína 2 endurtekin auk þess sem flogin var austur-vestur lína yfir jarðhitann rétt norðan Bæjarfjalls.



Mynd 13. Hitamynd af jarðhitasvæðinu rétt norðan Bæjarfjalls og í norðurhlíð fjallsins tekin 29. sept. 1995. Svæðið á myndinni er afmarkað með rauðum ramma á kortinu á mynd 12.

Nyrsti hluti Bæjarfjalls er neðst á myndinni og nær jarðhitinn greinilega upp á brúnir fjallsins. Myndin er tekin áður en vinnsluboranir og framkvæmdir hófust á svæðinu.

Á mynd 14 er innrauð hitamynd í svart-hvítu af jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum sem tekin var 17. október 2006 felld ofan í SPOT-gervitunglamynd með 2,5 m greinihæfni. Á SPOT myndinni kemur gróður fram í rauðum lit. Á innrauðu myndinni er hvítt heitast og svart kaldast eins og á öðrum hitamyndum í skýrslunni. Myndirnar eru felldar saman með því að festa nokkra sameiginlega auðþekkjjanlega punkta og teygja innrauðu myndina út frá þeim þannig að sem þær falli sem best hvor að annarri. Hitamyndin er því ekki alveg “geometriskt” rétt þar sem áhrif frá landslagi eru veruleg t.d. í norðurhlíðum fjallsins.



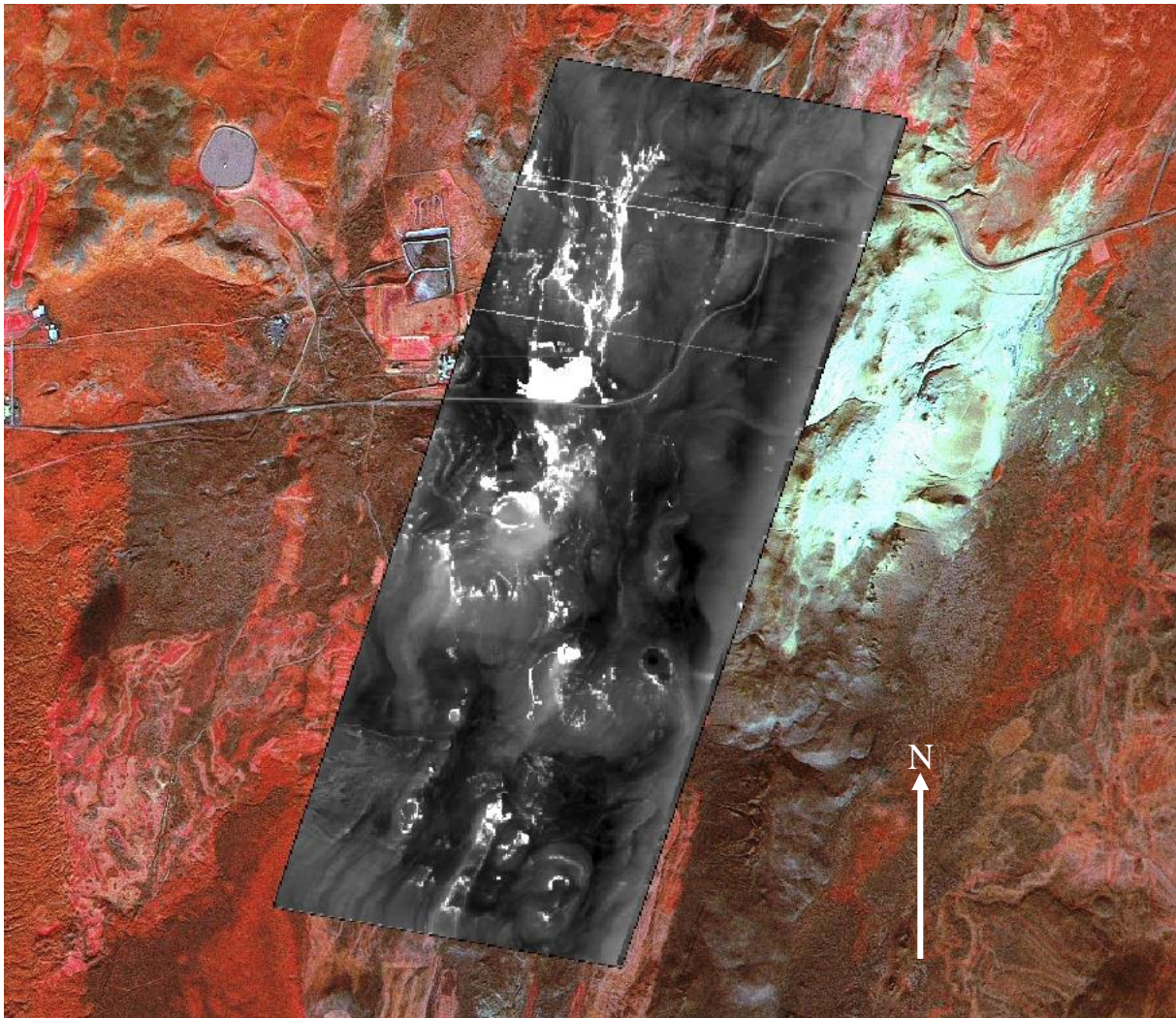
Mynd 14: *Innrauð hitamynd, sem er svart-hvít, af jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum felld ofan í SPOT gervitunglamynd. Hitamyndin sýnir vel útbreiðslu jarðhitans og er í góðu samræmi við kortlagningu hans með mælingum á yfirborði.*

Innrauða myndin á mynd 14 er tekin við frekar slæm veðurskilyrði og ókyrrð í lofti. Þess gætir ekki mikils í myndinni sem sýnir að upphengingin sem smíðuð var fyrir skannan er veruleg framför sem skilar mun betri myndum en áður fyrr þegar skanninn vas festur í vélina (mynd 7). Unnt er að fella myndirnar mun betur hvora að annarri og leiðréttta bjögun vegna landslags með til þess gerðum forritum. Þetta hefur ekki enn verið gert þar sem eftir er að laga forritin að nýjum tölvubúnaði. Þetta er næsta skrefið í úrvinnslunni og er ekki ýkja mikið

verk. Þessi mynd sýnir vel að það á að verða auðvelt að ná góðum innrauðum myndum af jarðhitasvæðum með mikilli upplausn með skannanum sem hér er notaður. Það ætti því að vera auðvelt að nota myndir frá mismunandi tímum til að fylgjast með breytingum vegna vinnslu eða af náttúrulegum ástæðum með verulega góðri nákvæmni á ódýran og fljótlegan hátt. Það var megintilgangurinn með þessu verkefni.

5.4. Bjarnarflag

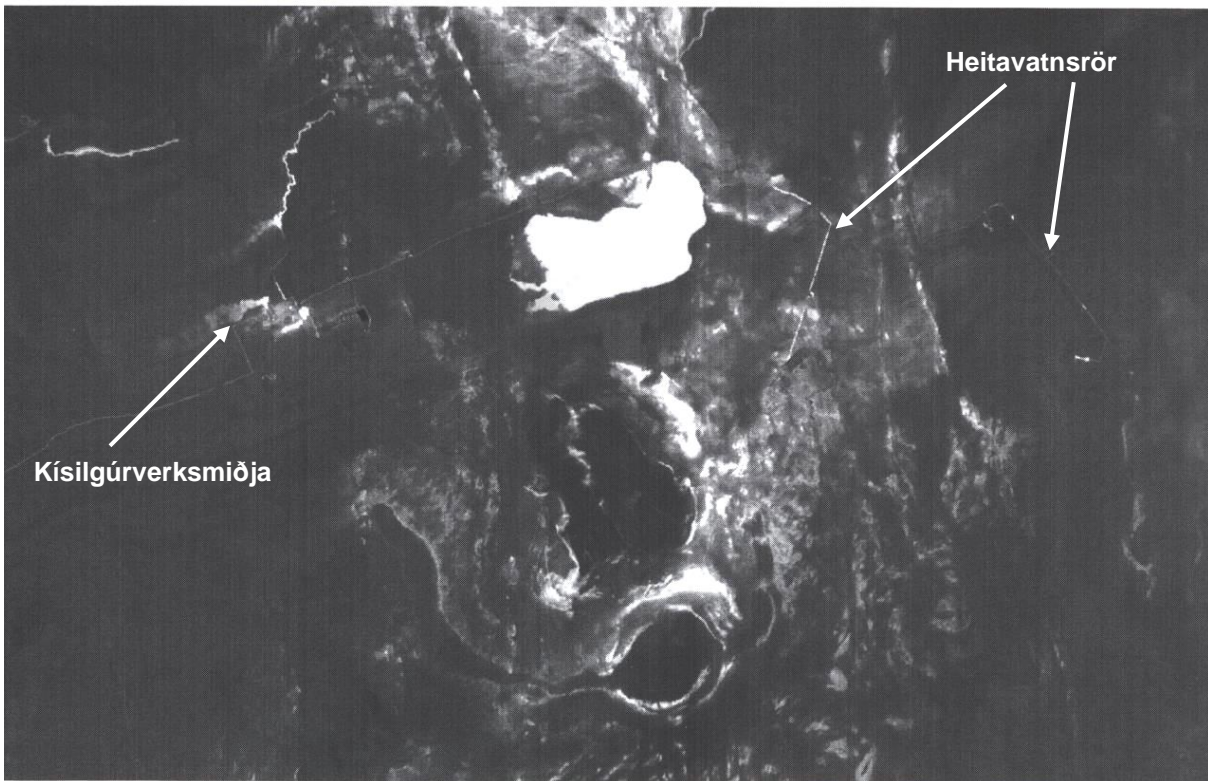
Tvisvar var flogið yfir jarðhitasvæðið í Bjarnarflagi 2004 og 2006. Flugskilyrði voru frekar óhagstæð í bæði skiptin.



Mynd 15. Þessi mynd af Bjarnarflagi er tekin 19. nóv. 2004 við frekar slæmar aðstæður. Ókyrrð var í lofti og þurfti að fljúga mun lægra en áætlað var vegna lítillar skýjahæðar og reyndar byrjaði fljótlega að snjóa og þurfti að hætta við frekari myndatöku. Hitamyndin hefur hér verið felld ofan í SPOT gervitunglamynd eins og í mynd 14 frá Þeistareykjum. Jarðhitinn kemur vel fram á myndinni og ber vel saman við kortlagningu á yfirborði. Í þessari mynd eru því miður 3 ónýtar myndlínur sem koma fram sem hvítar línur þvert yfir myndina. Þessar truflanir er auðvelt að laga og fjarlægja með viðeigandi endurbættum forritum.

Stærstu drættir í dreifingu yfirborðsvirkinnar á mynd 15 eru þeir sömu og í gamalli hitamynd

sem sýnd er á mynd 16. Mjög erfitt og kostnaðarsamt yrði að bera þessar tvær myndir nákvæmlega saman punkt fyrir punkt vegna mismunandi bjögunar í þeim hvorri fyrir sig.



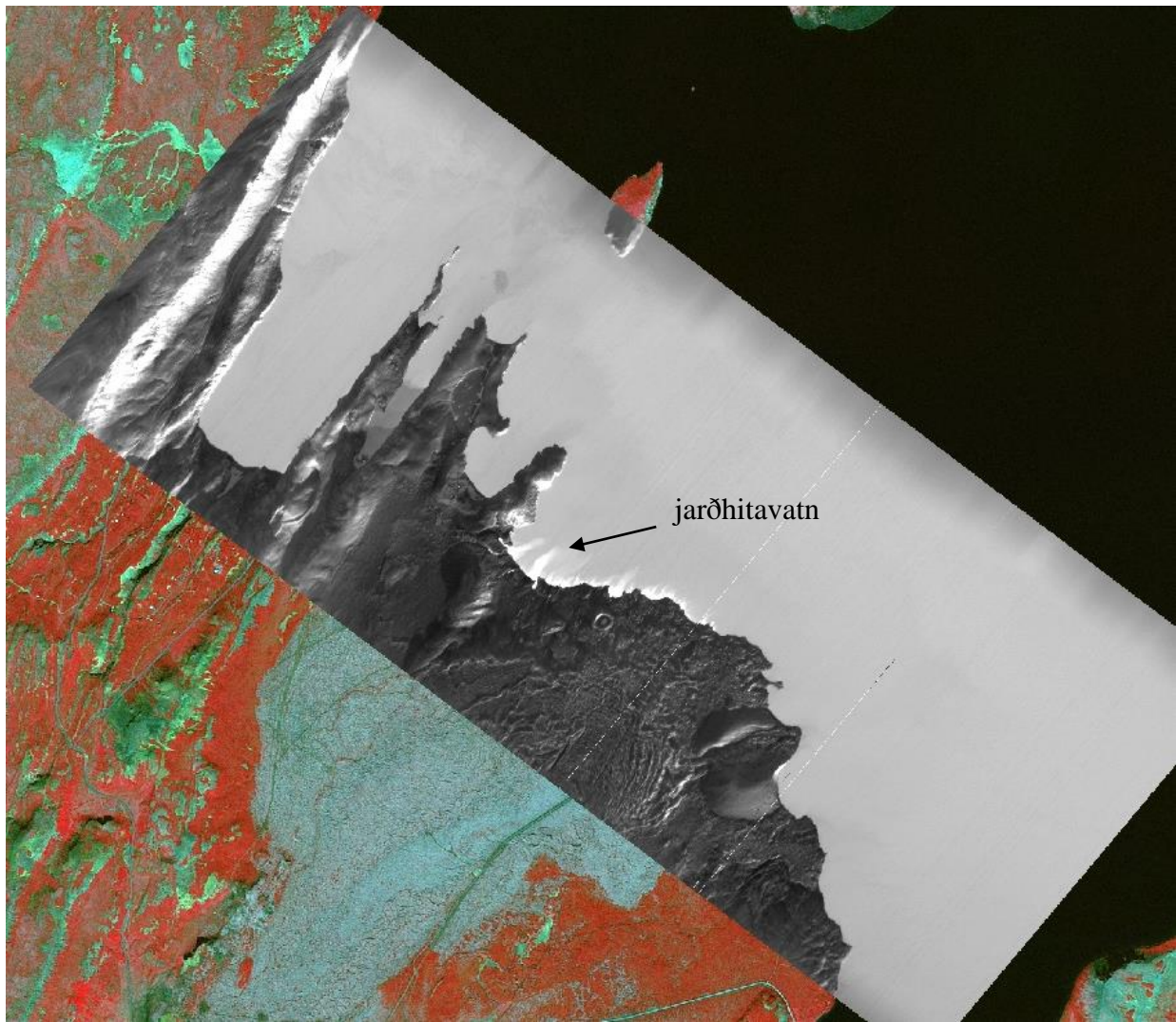
Mynd 16. Hitamynd af jarðhitnum í Bjarnarflagi tekin 1993. Lónið við virkjunina og náttúrulegi jarðhitinn við Jarðbaðshóla sunnan þess eru mjög áberandi á miðri myndinni. Gufurnar frá Kísilgúrverksmiðjunni, sem enn er í fullum gangi þegar myndin var tekin, sjást vel vinstra megin á myndinni, en á hægri helmimngi myndarinnar má t.d. tvö heitavatnsrör, annað einagrað en hitt ekki.

5. 5 Nesjavellir

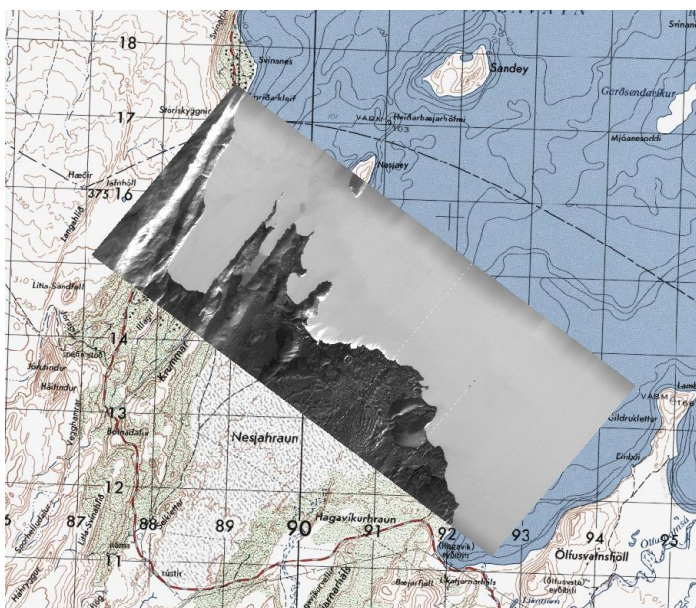
Í flugi sem farið var í þann 19. nóvember 2004 var á leiðinni úr myndatöku fyrir norðan tekin hitamynd af suðurströnd Þingvallavatns nokkra kílómetra norður af Nesjavallavirkjun. Þessi mynd er annars vegar felld ofan í SPOT gervitunglamynd á **mynd 17** og hins vegar ofan í kort í mælikvarða 1:50.000 á **mynd 18**.

Áhugavert er að sjá á **mynd 17** hvernig heitt grunnvatn frá Nesjavöllum streymir út í vatnið undan hrauninu. Þetta gæti bæði verið afrennsli frá náttúrulegum jarðhita á hverasvæðinu á Nesjavöllum en einnig afrennslisvatn frá jarðhitavirkjuninni. Líffræðingar hafa lengi sýnt því áhuga að kanna rennsli jarðhitavatns í Þingvallavatn og möguleg áhrif þess á lífríkið. Hér er komin ágæt aðferð til að fylgjast með þessu rennsli og hugsanlegum breytingum á því í framtíðinni.

Myndin var tekin klukkan 11:45 að morgni og sólin komin upp í austri (myndin er hnitsett og austur er til hægri) sem merkja má af aukinni varmageislun frá SA-hlíðum í landslaginu, þ.e. þeim hlíðum sem snúa á móti sólu. Í þessari mynd eru reyndar einnig gallaðar línur sem laga má með endurbættum forritum.



Mynd 17. Hitaskannamynd tekin 19. 11. 2004 af suðurströnd Þingvallavatns felld ofan í SPOT gervitunglamynd. Ljósu tungurnar sem teygja sig út í vatnið undan Nesjahrauni er rennslí jarðhitavatns frá jarðhitasvæðinu á Nesjavöllum og/eða frá jarðhitavirkjuninni. Mælikvarði og stefna er sýnd á mynd 18.



Mynd 18. Sama hitaskannamynd og á mynd 17 felld ofan í landakort í mælikvarða 1:50000. Ein rúða á kortinu er 1 km á hvora hlið. Nordur er upp, samsíða lengdar-baugunum.

6. Niðurstöður og tillögur um framhald verksins

6.1 Helstu niðurstöður

Árið 2003 veitti Orkusjóður 4,6 Mkr styrk til þess að gera einfaldar og ódýrar endurbætur á eina innrauða hitaskannann sem til er hér á landi. Í framhaldi af endurbótunum voru framkvæmdar nauðsynlegar tilraunamælingar með skannanum í því skyni að sannreyna notagildi endurbótanna. Þannig var stefnt að því að þróa fljótvirka aðferð til þess að fylgjast með breytingum á jarðhitasvæðum vegna vinnslu eða af náttúrunnar völdum. Endurbæturnar fólust í ýmsum lagfæringum á skannanum sjálfum og gagnasöfnun úr honum en auk þess í því að útbúa nýjar veltifestingar á skannann í flugvél til þess að gera hann óháðari óreglulegum hreyfingum flugvélarinnar. Veltifestingarnar sem smíðaðar voru eru svipaðar áttavita- festingum sem notaðar eru í skipum. Var þess vænst að þær gæfu viðunandi niðurstöður á ódýran hátt við hagstæðar veðuraðstæður í flugi. Yfirleitt eru flugmyndir teknar með myndavélum eða skönnum sem festir eru á sérstakt fjaðrandi borð sem haldið er stöðugu með „gyroáttavitum“. Slík borð kosta hins vegar um tug milljóna og því var ekki kostur á slíkri lausn í þessu verkefni. Einnig eru notuð tölvustýrð borð eða myndavélasæti sem bregðast við hallabreytingum flugvélarinnar, en ekki var kostur á slíku á viðráðanlegu verði.

Eftir endurbætur á skannanum voru teknar hitamyndir af jarðhitasvæðum á suðvesturhorni landsins, en einnig var farið í tvær ferðir norður í land og flogið yfir jarðhitavæði á Norðurlandi. Eftir þessar mælingar er ljóst að endurbæturnar sem gerðar voru á skannanum eru veruleg framför frá því að skrófa skannann fastan í flugvél, en vart fullnægjandi til að viðunandi árangur náist við reglubundið eftirlit með jarðhitasvæðum nema við ákjósanleg veðurskilyrði.

6.2 Tillögur um framhald verksins

Þó tilraunamyndirnar séu ekki fullunnar og sumar nokkuð truflaðar er ljóst að skanninn sjálfur er í besta lagi og með góða upplausn, eins og vel sést á tilraunamyndunum. Það er því tilvinnandi að gera frekari lagfæringar á festingum tækisins og gagnavinnslunni og gera það þannig úr garði að það nýtist við reglubundið eftirlit á háhitasvæðum og í öðrum skyldum verkefnum.

Mögulegt er að endurbæta veltifestingarnar sem smíðaðar voru. Bæði er unnt að endurbæta dempun tækisins og breyta upphengingu þannig að tekið sé tillit til snúnings flugvélarinnar. Einnig má leita annarra leiða til þess að koma skannanum fyrir í flugvél. Sá möguleiki sem einna helst kemur til greina er að tryggja aðgang að gyroáttavitaborði eða myndavélasæti fyrir loftmyndavélar. Kannaðir verða möguleikar á að kaupa eða leigja notaðar festingar á viðráðanlegu verði.

Einnig er nauðsynlegt að endurnýja gagnasöfnunarbúnaðinn, losa sig við úr sér gengið og úrelt segulband og tengja skannann beint við tölvu sem safnar gögnunum stafrænt beint inn í tölvuminni. Samhliða þessu þarf að umrita og endurbæta hugbúnað sem notaður er við gagnasöfnunina og við úrvinnslu myndanna sem teknar eru.

Óskað er eftir greiðslu er nemur 2,0 Mkr í annan áfanga verksins samkvæmt ofangreindri lýsingu á framhaldi verkefnisins. Fyrir þessa upphæð teljum við að unnt verði að gera frekari endurbætur á festingu skannans, koma gagnasöfnuninni á tölvutækt form, endurbæta allan hugbúnað og fljúga stutt tilraunaflug.

Í lokaáfanganum yrði síðan valin nokkur háhitasvæði og þau mynduð nákvæmlega og þannig lagður grunnur að reglubundnu efirliti á komandi árum.

Heimildir

Axel Björnsson, 2002. Hveravirkni í Jarðbaðshólum og Hverarönd - áhrif virkjunar á jarðhitasvæðin. Háskólinn á Akureyri, skýrsla: 2002:01, ISBN 9979 834 331.

Axel Björnsson, 2008. Jarðhiti á Þeistareykjum – Möguleg áhrif virkjunar á jarðhitasvæðið. Háskólinn á Akureyri, Skýrsla TS08:04 – Raunvísindaskor.

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Helgi Torfason og Magnús Ólafsson, 2000. natural changes in unexploited high-temperature geothermal areas in Iceland. Proc. World Geothermal Congress 2000, Japan, 521-526.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1997. Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Uppgjör verksins. Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjunar og Umhverfisráðuneytisins. Orkustofnun, OS-97074, 44s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson og Kolbeinn Árnason, 2000. An enforcement project on environmental impact of geothermal exploration in Iceland. Proc. World Geothermal Congress 2000, Japan, 633-638.

Kolbeinn Árnason, Ásmundur Eiríksson, Jón Atli Benediktsson og Vilhjálmur Þorvaldsson, 1994. Þróun mæliaðferða fyrir reglubundnar fjarkönnunarrannsóknir á Íslandi. Styrkur nr. 93027. Framvinduskýrsla til Rannsóknarráðs ríkisins. Upplýsinga og merkjafræðistofa Háskólans 1994, F94121, 53 s.

Kolbeinn Árnason, 1994. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 1993. I. Reykjanes, Eldvörp, Svartsengi, Kleifarvatn og Hengill. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1994. UMH F941001, 48s.

Kolbeinn Árnason, 1994. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 1993. II. Námafjall, Krafla og Þeistareykir. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F941001, 38s.

Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 10. nóv.1995. I. Reykjanes, Eldvörp, Svartsengi og Sandfell-Trölladyngja. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F951201, 19s.

Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 10. nóv.1995. II. Krýsuvík, Brennisteinsfjöll og Hengill. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F951202, 38s.

Kolbeinn Árnason, 1996. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 29. sept.1995. III. Námafjall og Krafla. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F960101, 30s.

Kolbeinn Árnason, 1996. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 29.sept.1995. IV. Askja, Fremrinámur og Þeistareykir. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F950102, 34s.

Kolbeinn Árnason, 1996. Hitamyndir af sprungukerfum í Flóa. Myndir teknar með hitaskanna
Upplýsinga- og merkjafræðistofu Háskólans 3. júlí 1996. Upplýsinga- og merkjafræðistofa
Háskólans, júlí 1996, UMH F96071.

Kolbeinn Árnason, 1997. Kortlagning hitabreytinga á jarðhitasvæðum með fjarkönnun úr
flugvél. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1997. UMH F97091.

Viðauki I.

Dagbókarfærslur úr tilraunaflugum eftir endurbætur á hitaskanna

1. flug

5. apríl 2004

Í Reykjavík: N-15, 7 m/sek, 0 °C, -7 °C í daggarmarki.

Tilraunafug eftir endurbætur á festum hitaskannans (kompásupphenging).

TF-BMW, Úlfar Henningsson, Ásmundur Eiríksson, Kolbeinn Árnason

Flugplan:

**Þingvallavatn,
jarðhiti í Hengli,
jarðhitasvæðið á Reykjanesi.**

Tilbúnir á Reykjavíkurlugvelli kl. 20:35 (sólsetur)

Í loftið kl. 20:45.

Ófært til Þingvalla vegna skýja, allt Hengilssvæðið á kafi í skýjum. Þess í stað flogið beint á Reykjanes.
Rólegt veður og lítil ókyrrð í lofti.

Reykjanes

Í 1800 fetum:

1. Lína 1 til V
2. Lína 1 til A
3. Lína 2 til NA
4. Lína 2 til NA
5. Lína 1 til A

Í 1200 fetum:

6. Lína 2 til NA

Svartsengi, Bláa lónið

Flogið yfir Svartsengi og bláa lónið á leiðinni heim aftur.

7. Svartsengi til A, 1800 fet.

Segulband í gangi allan tímann. Heildartími á bandi um 35 mín.

Skanninn sveiflast til hliðanna (“dinglar”) um of í nýju festingunni.

2. flug

Föstudagur 19. nóv. 2004

Mættir á flugvellið kl. 7: 00. Búið að tanka daginn áður.

Flugplan: **Jarðhitasvæði á Norðurlandi**

Flugvél TF-BMW komin í gang kl. 7: 45, komnir í loftið 8:05

Úlfar Henningsson, Ásmundur Eiríksson, Kolbeinn Árnason

Hringur suður fyrir Rvík, yfir Straumsvík, stefnt á Þingvallavatn

Veður ískalt og heiðskírt, Útihitastig -16°C í 7000 fetum yfir Rvík. Aldimmi en himinn farinn að roðna/blána í austri.

Yfir Þingvallavatni kl. 8: 25

Við Kerlingafjöll kl. 8: 50

Við austurjaðar Hofsjökuls kl. 9: 00, T = -21°C í 10.000 ft.

Allt klárt fyrir mælingu kl. 9: 15, orðið bjart

Alsýjað, þurftum að sleppa Öskju kl. 9: 25.

12 mín flug til Fremrináma, komnir þangað kl. 9: 37

Fremrinámum sleppt vegna skýja. Flogið til Námafjalls.

Námafjall, í 3500 ft.

Lína 7 – 8: 9: 43: 01 – 9: 44: 22 flogin N

Lína 9 – 10: 9: 47: 52 – 9: 49: 00 flogin S

Ókyrrð, hækkað í 4000 ft, millilínan 109 – 110 flogin N

Lína 109 – 110: 9: 54: 54 – 9: 56: 27 flughæð í N-enda ekki nema 3800 ft vegna skýjamóðu

Ókyrrð minnkar ekki.

Sundlaug í Reykjahlíð kl. 10: 01: 33

Mývatn, Ytrifló, kl. 10: 02: 04, 3200 fet, T = -12°C

Lína 7 – 8 endurtekin S – N

Lína 7 – 8: 10: 05: 20 – 10: 06: 52 flogin S – N, flughæð: 3300 – 3200 ft, eins ofarlega of hægt var

Lína 9 – 10: 10: 09: 33 – 10: 10: 40 flogin N – S

Lína 109 – 110: ? – ? flogin S – N, hætt við frekari mælingar, Mugga.

Stöðugt þyknaði meira upp, ekki gerlegt að fara í Kröflu eða Þeystareyki

Stop á segulbandi við 33:10 mín.

Fremrinámar

Línan flogin NA – SV í 4200 ft

? – 10:22:40

Línan flogin til baka SV – NA í 5000ft. Sólin komin upp, skín á fjallatoppa

10: 25: 58 – 10: 27: 06 í 5000ft.

Endurtekin í 5500 ft. 10: 29: 29 – 10: 30: 29

Komin snjócoma og því sjálfgert að hætta!!

Flogið í Öskju, ský yfir jarðhitnum, héngu í fjöllum S og A við vatnið. Engin myndataka.

Þingvallavatn – ströndin undan Nesjavöllum

Flogið þrisvar sinnum fram og til baka í 5000ft.

Lína 3 – 4, 11: 45: 20 – 11: 47: 00

Sá ekki myndina vegna þess hversu illa stillt grágildin voru á skjánum. Myndin kom aftur inn á Mosfellsheiðinni þannig að Þingvallalínan ætti að vera í lagi.

3. flug

Föstudagur 6. október, 2006

TF-BMW, Úlfar Henningsson, Ásmundur Eiríksson, Kolbeinn Árnason

Flugplan: **Jarðhitasvæði á Reykjaneskaga, frá Hengli að Reykjanesi.**

Sólarlag kl. 18:40.

Allt tilbúið kl. 19:00, í loftið kl. 19:05

Ský á Esjunni, stíf norðanátt 13 m/sek.

Flogið að Þingvallavatni og Hengli, flughæð 3000 fet.

Hengilssvæðið

Flughæð 3000 fet:

1. Lína T4 - T3 flogin til S. Byrjar 19:16:30, lokið 19:18:20, vinstri beygja yfir á T1.

2. Lína T1 – T2 frá Þingvallavatni að Nesjavöllum. Byrjar 19:22:14, lokið 19:23:22

3. H19 – H20, upphafspunkturinn fannst ekki strax, segulband sett á pásu

Lína byrjar kl. 19:28:36, lokið 19:31:04

4. Flogið á A – V línu yfir Ölkelduháls.

Lína byrjar kl. 19:35:30, lokið 19:37:00

Flughæð aukin í 3500 fet.

5. VR3 – VR4, 19:40:13 – 19:41:20

6. VR1 – VR2, 19:43:30 – 19:44:40.

Greinilega byrjað að þykka upp og ákveðið að fara beint á Reykjanes til þess að tryggja að góðar myndir náist af jarðhitasvæðinu þar, en taka svo önnur jarðhitasvæði á Reykjaneskaga á leiðinni austur aftur eins og hægt væri.

Reykjanes

Tími á segulbandi: 26:51

Flughæð 1500 fet

Lína 3 – 4, 20:04:53 – 20:06:13, flogin SA

Lína 5 – 6, 20:11:30 – 20:12:34. tími á segulbandi: 35:45.

Eldvörp

Flughæð 1500 fet

H5 – H6, flogin til NA, 20:17:00 – 20:19:00, Segulband í 42:00

Svartsengi

Hækkað í 2000 fet

SVA1 – SVA2, flogið V - A, 20:22:40 – 20:23:35.

Trölladyngja

Hækkað í 3000 fet

JAR1 – JAR2, 20:29:11 – 20:30:25, band í 53:35

Útihiti +2 °C.

JAR4 – JAR3, 20:33:27 – 20:34:17. V – A lína, band í 57:20.

Kleifarvatn

Flughæð 3000 fet

Austasta línan flogin SV – NA.

Lína 11 – 12. 20:37:59 – 20:40:56, segulband í 1:04:00

Krýsuvík

Flughæð 3000 fet,

Miðlínan flogin í SV

20:43:25 – 20:44:42, segulband í 1:07:50.

Austasta línan flogin til NA (H15 – H16)

20:47:50 – 20:50:00, segulband í 1:13:10.

Brennisteinsfjöll

Flughæð 3500 fet

T3 – T4, flogin NA, 20:56:04 – 20:57:30, segulband í 1:20:45

Haldið til Reykjavíkur og lent þar kl. ??

4. flug

Þriðjudagur, 17. október 2006

Flugplan: **Jarðhitasvæði á Norðurlandi**

TF-BMW, Úlfar Henningsson, Ásmundur Eiríksson, Kolbeinn Árnason

Tilbúnir og búnir að tanka kl. 16:25

Í loftið kl. 16:40 (tafir vegna umferðar á vellinum!!)

17. okt. er sólarlag kl. 18:01 og myrkur kl. 18:50

Hvítárvatn kl. 17:15.

Skýjafar hefur breyst, alskýjað er yfir öllu landinu! Hvergi gat. Fljúgum í átt að Öxarfirði til þess að kanna hvort eitthvað sé betra þar og hvort hægt sé að komast niður úr skýjahulunni þar. Förum í gegn yfir Skjálfanda.

1. lína, Kelduhverfi, flughæð 2500 fet (ekki hægt að vera ofar vegna skýja).

Stop í 5:49 mín. á bandi

2. lína, Þeistareykir N-S, 3000 fet,
byrjar í 5:12, lokið í 7:50 mín.

3. lína, Þeistareykir V-A, 3000 fet. Kl. 18:40
Byrjar í 8:20, stop í 9:43 í 3200 fet kl. 18:44

4. lína, Gjástykki
Byrjar ??, lokið 12:25, 3200 fet, kl. 18:48

5. lína, Krafla, vestasta línan
Byrjar 14:10, lokið í 15:30, ekki hægt að halda áfram með aðrar línur vegna ókyrrðar og lélegs skyggis.

Aðstæður versna stöðugt. Flogið yfir Reykjahlíð og sundlaugina, Útihitastig -8 °C.

Aðstæður orðnar vonlausar. Hætt við og flogið til Reykjavíkur kl. 19:00, orðið aldimmt.

Mikil ókyrrð meðan á mælingum stóð, mótvindur á leiðinni norður, meðvindur á leiðinni heim.

Viðauki II. Festingar eða sæti fyrir loftmyndavél

Besta lausnin á festingamáli skannans væri að tryggja aðgang að myndavélarsæti eins og nú eru notuð fyrir loftmyndavélar. Nemar sem mæla hreyfingar flugvélarinnar (pitch, roll, yaw) sjá um að halda myndavélinni í sömu stöðu þannig að hún tekur alltaf myndir lóðrétt niður hvernig svo sem flugvélin hreyfist.

Þessi sæti hafa hingað til verið dýr, en ætla má að verð á notuðum sætum hafi lækkað á allra seinustu árum vegna tækniframfara í sambandi við stafrænar loftmyndavélar. Nokkuð framboð er alltaf á gömlum loftmyndavélum og sætum fyrir myndavélar á netinu.

Technical Description

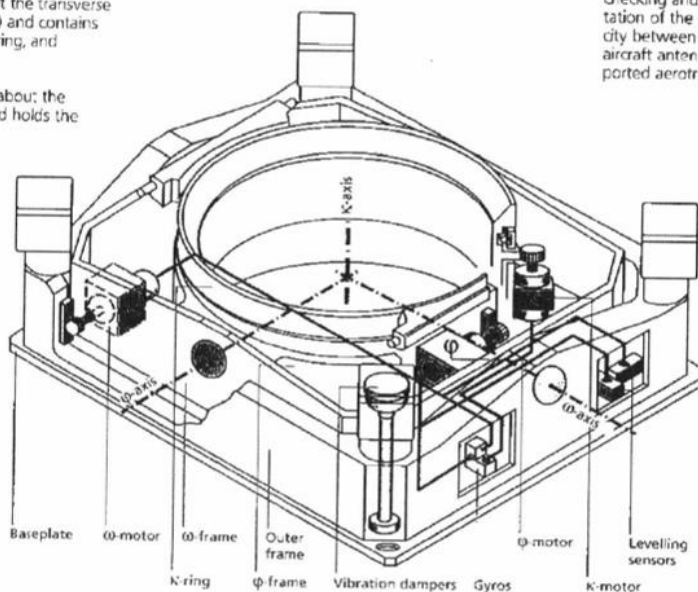
The suspension mount connects the camera body and the floor of the aircraft. Its primary function is to ensure vibration-free vertical photography. The T-AS suspension mount consists of:

- a **base plate** which forms the link with the floor of the aircraft and is equipped with 4 vibration dampers for the elimination of high-frequency vibrations. The vibration dampers are located in the same plane as the centroid of the camera, which ensures that translational travel does not cause any rotational movement.
- an **external frame** with the ω journal bearing, suspended from the vibration dampers of the base plate
- the **ω frame** rotateable about the longitudinal aircraft axis (ω) and provided with the ϕ journal bearing
- the **ϕ frame** which performs additional rotations about the transverse aircraft axis (ϕ) and contains the κ ring bearing, and
- the **κ ring** which rotates about the vertical axis and holds the camera body.

The pitch, roll and drift movements of the aircraft are measured by the three gyros and are continuously transferred in the form of correction data to the ω , ϕ and κ control loops. The precision gyros are mounted on the base plate. The drive assemblies move the ω and ϕ frames and the κ ring in such a way that the rotary movements of the aircraft are compensated and the camera body is stabilized. Levelling sensors for ω and ϕ have been integrated into the control loops for the vertical alignment of the camera axis. For drift compensation in the camera, the signal of the drift transmitter (e.g. T-NT navigation telescope) is superimposed on the signal of the κ gyro and then fed to the control loop. The control loops and servo systems feature a maximum speed of $10^\circ/s$ and an acceleration of $20^\circ/s^2$.

Despite its considerable technical complexity, the T-AS is just as compact as other suspension mounts without stabilization.

If the T-AS is used together with RMK TOP, the pitch, roll and drift angles can be both exposed in the data annotation field and recorded in the T-TL terminal for output in the flight report. The data can be used for continuous checking and for the computation of the actual eccentricity between the camera and aircraft antenna for GPS-supported aerotriangulation.



Practical Use

The use of a stabilized suspension mount must be geared to the overall implementation of the photoflight.

The T-AS can be operated in two different modes:

• In the **automatic mode**, the camera is automatically set to the vertical position in a rapid setting run prior to the beginning of serial photography on a flight strip, and the stabilization then activated.

After the last exposure of the strip, the stabilization is automatically deactivated, the camera remains in the zero position while the turn is flown, and the stabilization is reactivated at the beginning of the next strip. This ensures that the suspension mount remains within its limit positions.

• In the **manual mode**, the rapid setting run and stabilization are started by the photoflight operator on the T-TL terminal.

FMC and the stabilized suspension mount markedly extend the limits of performance in photoflights. Stabilization provides the last link in the quality chain – FMC by itself only offers a partial solution.

Experience has shown that the T-AS ensures a degree of stabilization between 1:10

and 1:30, depending on the flight conditions involved. This means that stabilization permits considerably longer exposure times even in medium turbulences. And good results can be obtained in rough conditions.

The vertical alignment of the camera within a standard deviation of $\pm 0.5^\circ$ ensures a significant increase both in the overlap accuracy and in the precision of pin-point photography.

Despite the optimum technical configuration of the T-AS, allowance should be made for the performance limits set by the weather conditions and the aircraft. In rough flight conditions, for example, exposure times of more than 1/100 s should be avoided.

If these limits are taken into account, stabilization helps to achieve an unprecedented level of perfection in aerial photography.

Technical Data

| | |
|--|--|
| Range of stabilization | $\omega \pm 5^\circ$ $\phi \pm 5^\circ$ $\kappa \pm 6.5^\circ$ based on the drift setting |
| Drift range | $\kappa \pm 30^\circ$ |
| Rotary movement max. speed max. acceleration | 10°/s 20°/s ² |
| Degree of stabilization | 1.10 – 1.30 |
| Vertical position | < 0.5° standard deviation |
| Temperature range | - 40 °C to + 50 °C |
| Dimensions (W/D/H) | 620 mm x 540 mm x 230 mm |
| Weight | 48 kg |
| Electrical power | 28 V DC 140 VA average power consumption |
| Operation with RMK TOP | firmware (T-CU) revision 7 software (T-TL) revision 3.0 |
| Operation with RMK A | distributor unit with remote control for activation/deactivation of stabilization |

The TOP TEN Performance Features of RMK TOP

- 1 Comprehensive image motion compensation by FMC (Forward Motion Compensation) and gyro-stabilized suspension mount in 3 axes
- 2 Further improved high-performance lenses with 4 internal filters
- 3 Sturdy compact computer as the central control station for the operator
- 4 Menu-guided user interface, logging of all mission data and data interchange with the PC
- 5 Pulsed rotary shutter with a constant access time of 50 ms
- 6 Precise overlap control and pin-point photography
- 7 Exposure control based on the principle of image quality priority
- 8 Optimum suitability for GPS-supported navigation and aerotriangulation
- 9 Integration into the GPS-supported T-FLIGHT photoflight management system
- 10 Compatibility with components of the RMK A family

For more information, please contact:



Subject to change

Útgefandi:

Háskólinn á Akureyri, Viðskipta- og raunvísindadeild, Raunvísindaskor

Útgáfuár: 2008

ISSN: 1670-7931

Vefútgáfa: www.unak.is/taekniskeyrslur