

LÄMPÖKUVAUKSEN SOTILAALLISET SOVELLUTUKSET

Yleisesikuntamajuri Matti Vuolevi

I. JOHDANTO

Toisen Maailmansodan jälkeen alkanut lämpökuvauksen voimakas kehitys on johtanut 1970-luvulla huomattaviin sotilaallisiin sovellutuksiin, joista monet on otettu myöhemmin käyttöön usealla teollisella ja tieteellisellä alalla. Sotilaallisella sektorilla lämpökuvauksen ei ole pelkästään tiedustelukuvauksen muoto, vaan sitä käytetään paljon muuhunkin esimerkiksi asejärjestelmien osana.

Seuraavassa kirjoituksessa tarkastellaan aluksi infrapunasäteilyä sekä kuvanmuodostusta lämpökamerassa. Sen jälkeen tutkitaan sotilaallisia sovellutuksia eli, mihin laitteet kykenevät ja miten niitä käytetään.

2. INFRAPUNASÄTEILY

2.1. Lämpö- ja infrapunasäteily

Infrapunasäteily on elektromagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on noin 720 nm—1 mm. Koska infrapunasäteilyn aallonpituus rajoittuu alapäässä näkyvään valoon ja yläpäässä tutka-aaltoihin, sillä on eräitä valon ja eräitä tutka-aaltojen ominaisuuksia. Kaikki kohteet lähettävät IP-säteilyä ympäristönsä sekä yöllä että päivällä. Lähetetyn säteilyn määrä on riippuvainen säteilevän kappaleen materiaalin ominaisuuksista, kappaleen lämpötilasta sekä ympäristöstä.

Lämpö ja IP-säteily ovat keskenään hyvin läheisessä suhteessa, mutta kuitenkin ne ovat täydellisesti eri ilmiöt. Seuraava taulukko osoittanee niiden tärkeimmät erot:

IP-säteily
elektromagneettista energiaa
tietty aallonpituus
siirtyy tyhjiön läpi

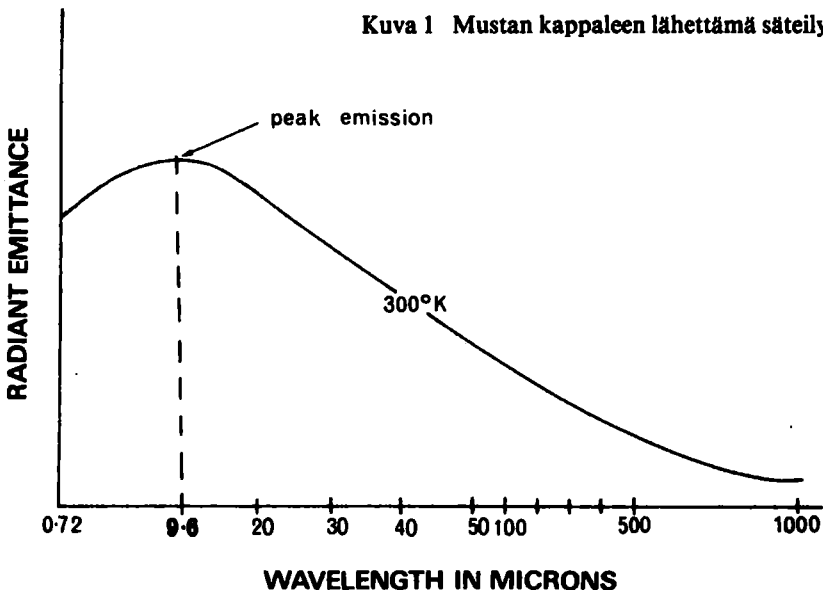
lämpö
mekaanista energiaa
ei aallonpituutta
tarvitsee väliaineen siirtyäkseen.

Kun aurinko lämmittää maan pinnalla olevan kappaleen, sen atomien ja molekyylien liike kasvaa aiheuttaen kappaleen lähettämän eli emittoiman säteilyn kasvun. Suurin osa maan pinnalla olevista kappaleista on noin 20 . . . 30°C:n lämpötilassa, jolloin valtaosa emittoidusta säteilystä on IP-säteilyä, kuten myöhemmin tullaan havaitsemaan.

Eri kappaleet lähettävät eri tavalla IP-säteilyä ja näin kappaleet voidaan erottaa IP-kuvauksella eli lämpökuvauksella, kuten sitä osuvasti kutsutaan. Erot lähetetyn IP-säteilyn määrässä johtuvat kappaleen absoluuttisesta lämpötilasta, pinnan muodosta, väristä, taustasta ja emissiokyvystä.

2.2. Infrapunäsäteilyyn vaikuttavia fysiikan lakeja

Kappaletta, joka absorboi kaiken pintaansa osuvan säteilyn, sanotaan mustaksi kappaleeksi. Tällaista kappaletta ei ole olemassa. Sen avulla kuitenkin useimmat kyseeseen tulevat fysiikan lait voidaan yksinkertaistaa.



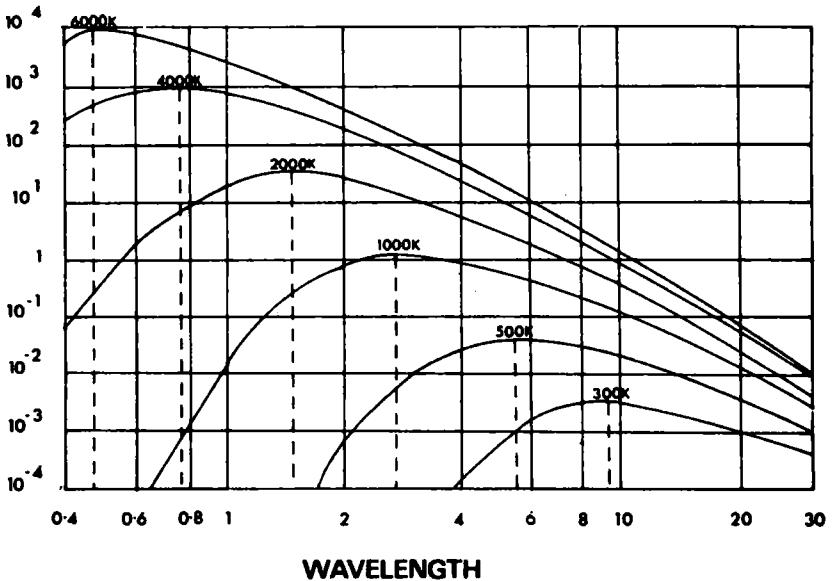
Mustalle kappaleelle on voimassa Planckin laki. Se osoittaa, että kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nolapisteen yläpuolella, lähettävät säteilyä eri tavalla eri aallonpituuksilla.

Musta kappale, jonka lämpötila on noin 27°C , lähettää säteilyä kuvan 1 osoittaman käyrän mukaisesti. Kuvasta havaitaan, että lähetetyn säteilyn huippu osuu kohdalle, jonka aallonpituus on $9,6\mu\text{m}$. Kuten aikaisemmin todettiin useimpien maan pinnalla olevien kappaleiden lämpötila on noin $20 \dots 30^{\circ}\text{C}$, eli ne lähettävät pääosan säteilystäään $9,6\mu\text{m}$:n aallonpituudelle.

Wienin siirtymälaki osoittaa, että kappaleen lähettämän säteilyn huipun aallonpituus pienenee ja säteilyn intensiteetti kasvaa, kun kappaleen lämpötila nousee. Kuvassa 2 on kaavio, joka osoittaa Wienin siirtymälain vaikutuksen. Havaitaan esimerkiksi, että kappale, jonka lämpötila on noin $6\,000^{\circ}\text{K}$, lähettää pääosan säteilystäään aallonpituudella $0,5\mu\text{m}$, joka on sinistä valoa.

Stefan-Boltzmannin laki osoittaa, että mustan kappaleen lähettämän säteilyn määrä on voimakkaasti riippuvainen kappaleen lämpötilasta. Kun ylläolevaa lakia sovelletaan käytäntöön eli harmaisiin kappaleisiin, saadaan

Kuva 2 Wienin siirtymälaki.



$W = eT^4$, jossa

W = kappaleen lähettämä säteily pinta-alayksikköä kohti,

e = kappaleen emissioikyky ja

T = kappaleen absoluuttinen lämpötila.

Esitetty laki selvittää, miksi lämpökuvaus on tehokas tiedustelumuoto. Jos kappaleen lämpötila nousee kaksinkertaiseksi, lähetetyn säteilyn määrä nousee 16-kertaiseksi. On havaittu, että tietyllä alueella luonnon kohteiden lämpötila on sama mutta ihmisten tekemien kohteiden lämpötila vaihtelee suurestikin, jolloin voidaan viimeksi mainitut helposti erottaa.

Käänteinen neliölaki osoittaa, että kappaleesta vastaanotetun säteilyn määrä on kääntäen verrannollinen havaitijan ja kappaleen väliseen etäisyyteen. Tämä laki rajoittaa suuresti lämpökuvauksen käyttöä, sillä jos esimerkiksi havainnoimisetäisyys kasvaa kolminkertaiseksi, niin saapuvan säteilyn määrä pienenee yhdeksänteen osaan. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että lämpökuvaus on, eräitä avaruuden sovellutuksia lukuunottamatta, esimerkiksi ilmakuvauksessa matalakuvausmenetelmä.

2.3. Ilmakehän vaikutus IP - kuvaukseen

Infrapunasäteily vaimenee ilmakehässä. Vaimenemisen aiheuttaa säteilyn törmääminen ilmakehässä oleviin molekyyliin. Suurimman vaimennuksen aiheuttavat vesi-, hiilidioksidi-, otsoni- ja typpidioksidimolekyylit. Kaikkia edellä mainittuja aineita esiintyy ilmakehässä. Onneksi vaimeneminen ei ole tasaista, vaan se riippuu aallonpituudesta. Tietty aine vaimentaa säteilyä vain kapealla tai kapeilla aallonpituusalueilla.

Vesihäyry on ilmakehän IP-säteilyä vaimentavista aineista tärkein. Erityisesti se vaimentaa eräillä alueilla 0,72 . . . 38 μm :n välillä, jättäen kuitenkin osalla em aluetta säteilyn vaimentamatta. Vaimennuksen suuruus riippuu suuresti useastakin eri tekijästä, kuten

- vuorokauden ajasta,
- vuodenajasta,
- suhteellisesta kosteudesta,
- maantieteellisestä sijainnista sekä
- paikallisista tekijöistä.

Hiilidioksidi on toiseksi suurin vaimentaja. Vaimennus osuu 0,72 . . . 6 μm :n alueelle. Hiilidioksidin osuus ilmakehässä voi vaihdella paikallisesti suurestikin johtuen kasvillisuudesta, autoilun määrästä tai teollisuuden prosesseista. On huomattava, että kuivilla vähäkasvuisilla alueilla ei öiseen aikaan ole ilmakehässä vesihöyry- ja hiilidioksidikerrosta, joka vähentäisi IP-säteilyä.

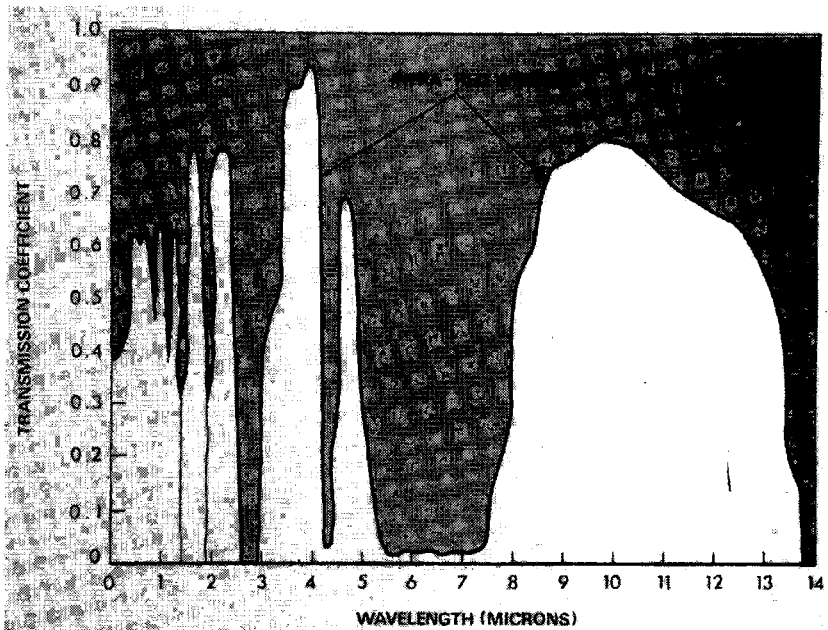
Otsonia esiintyy etupäässä vain ilmakehän ylemmissä kerroksissa, mutta sitä voi esiintyä myös alemmissa kerroksissa esimerkiksi ukkosmyrskyjen aikaan, suolaisen veden alueilla sekä alueilla, joissa käytetään sähköä runsaasti. Otsoni vähentää IP-säteilyä 8 . . . 14 μ m:n alueella.

Teollisuusalueilla saattaa esiintyä runsaasti typpidioksidia, joka vaikuttaa noin 4 μ m:n alueella sekä 4,8 . . . 7,4 μ m:n alueella.

Vaikka edellä mainitut aineet vaimentavatkin IP-säteilyä voimakkaastikin ilmakehässä estäen säteilyn kulun kohteesta kuvauslaitteelle, jää vaimennettujen alueiden ulkopuolelle useitakin käyttökelpoisia aallonpituusalueita. Näitä alueita kutsutaan ilmakehän ikkunoiksi. Niillä aallonpituusalueilla infrapunasäteily pääsee etenemään suhteellisen vapaasti mahdollistaen lämpökuvauksen. Tämä aiheuttaa kuvauslaitteiden rakentajille vaatimuksen löytää sellainen ilmaisim, joka reagoi juuri sille aallonpituudelle, joka pääsee vapaasti kulkemaan ilmakehässä.

Käyttökelpoiset kuvausikkunat ovat 1,4 . . . 6 μ m:n ja 7,5—14 μ m:n alueilla. Edellisessä ikkunassa on useitakin pienempiä ikkunoita. Kuten aikaisemmin on todettu, maan päällä olevat luonnolliset kohteet lähettävät säteilyä noin 9,6

Kuva 3 Ilmakehän ikkunat



μm :n alueella, joten jälkimmäinen ikkuna soveltuu hyvin näiden kohteiden kuvaamiseen. Edellinen ikkuna sopii paremmin toiminnan eli lämpimien kohteiden kuvaamiseen, kuten Wienin siirtymäläki selvästi osoittaa. Kuvassa 3 on esitetty ilmakehän ikkunat.

3. INFRAPUNASÄTEILYN TALLENTAMINEN KUVAKSI

3.1. Infrapunavalokuvaus

Infrapunaherkistettyjä filmejä on käytetty jo useita vuosia valokuvaukseen. Useimmin käytetty on nimeltään vääräväriefilmi, jota useissa kielissä kutsutaan myös naamioinnin paljastusfilmiksi. Kaikki infrapunaherkistetyt filmit kuvataan tavallisella kameralla lähes tavalliseen tapaan, eikä niillä ole lämpökuvauksen kanssa mitään yhteistä.

Vääräväriefilmi on herkistetty alueelle $400 \text{ nm} \dots 1,4 \mu\text{m}$, joten se kuvaa koko näkyvän valon alueen sekä niin kutsutun lähi-infra-alueen.

Vääräväriefilmi on tasapainotettu siten, että vain ne kohteet, joissa on paljon lehtivihreää, valottavat emulssion keltaisen ja cyanin kerroksen. Kun filmi kehitetään, em kerrokset tavallaan häipyvät ja jäljelle jää vain punaisen kerroksen väri. Näin kaikki elävä kasvillisuus kuvautuu kirkkaan punaisena. Väärävärikuvausella voidaan usein erottaa naamioverkot, naamioaalaukset ja naamiointiin käytetyt katkaistut oksat elävästä luonnosta. Väärävärikuvauselle on kuitenkin kehitetty vastatoimi käsittelemällä naamiovälineet siten, että ne kuvautuvat väärävärikuvalle lähes kuten elävä kasvillisuus.

Tällä hetkellä väärävärikuvausella on useitakin käytännön sovellutuksia siviilisektorilla. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi kasvitautilien toteamiseen sekä ympäristön saastumisen tutkimiseen.

3.2. L ä m p ö k a m e r a

Koska jokainen kohde lähettää lämpösäteilyä joka hetki, ei lämpökuvausta voida suorittaa tavallisella kameralla, vaikkakin olisi mahdollista kehittää filmi, joka olisi herkistetty $7 \dots 14 \mu\text{m}$:n alueelle. Lämpökuvauksessa käytetään useitakin hieman toisistaan poikkeavia kuvausmenetelmiä ja -laitteita. Seuravassa otetaan esimerkkinä ilmakuvauksessa käytetty infrapunajuovitin.

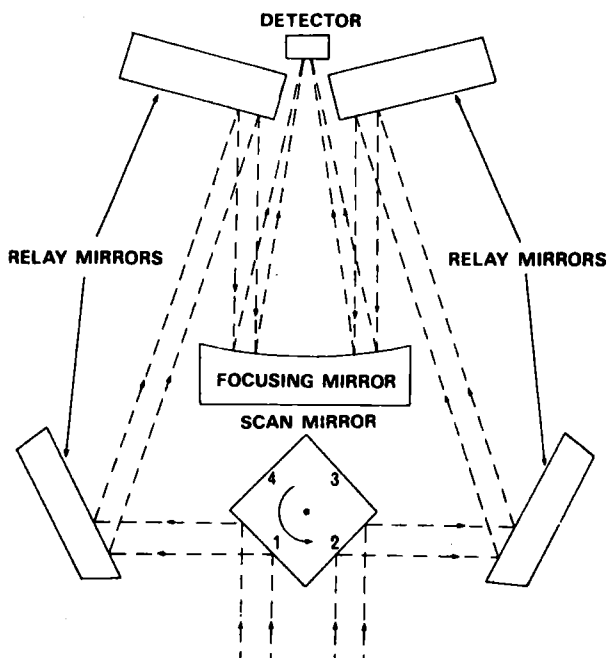
Infrapunajuovitin (Infra-Red Linescan = IRLS) pyyhkäisee maanpinnalla jatkuvan kapean juovan tietyin aikaväleihin. Kun lentokone etenee, kuva muodostuu peräkkäisistä juovista, kuten on laita televisiossa. Saapunut säteily joh-

detaan ilmaisimelle, joka reagoi siihen. Varsinainen näkyvä kuva muodostetaan filmille vasta toisiovaiheessa. Juovittimen pääosat ovat:

- optiikka,
- ilmaisin ja jäähdytysosa,
- signaalin prosessointiosa sekä
- näyttöyksikkö.

Juovittimen optiikka koostuu monitahoisesta, pyörivästä peilistä, useista säteilyä heijastavista peileistä sekä fokuoivasta peilistä. Pyörivä peili, johon säteily ensin kohteesta saapuu, rakentuu useista hopea-alumiiniseoksella päällystetyistä peileistä. Peili saattaa pyöriä 6 000—12 000 kierrosta minuutissa. Fokuoivan peilin tehtävänä on kohdistaa säteily ilmaisimelle. Kuvassa 4 on esitetty ilmaisimen optiikkaosan perusrakenne.

Kuva 4 Ilmaisimen optiikkaosan perusrakenne.



Ilmaisimen tehtävänä on reagoida optiikasta saapuvaan säteilyyn ja muuttaa se havainnoitavaan muotoon. Ilmaisimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, nimittäin termisiin ja kvantti-ilmaisimiin. Termiset ilmaisimet ovat herk-

kiä lähes koko IP-alueella ja niitä ei tarvitse jäähdyttää kovin paljon. Niiden käyttökelpoisuutta rajoittaa kuitenkin niiden hidas aikavakio. Se merkitsee, että ne vaativat tietyn ajan ennenkuin ne alkavat reagoida saapuvaan säteilyyn ja jatkavat reagoimista hetken säteilyn päättymisen jälkeenkin. Tämän vuoksi ne eivät ole käytössä ainakaan ilmasta suoritettavassa lämpökuvauksessa.

Kvantti-ilmaisimet ovat herkkiä vain tietyille hyvinkin kapealle aallonpituusalueelle. Kun ne jäähdytetään optimilämpötilaansa, niiden aikavakio on hyvin pieni. Tämän vuoksi ne sopivat erittäin hyvin ilmakuvauksiin. Kvantti-ilmaisimien heikkoutena on niiden alhainen käyttölämpötila, jopa 10 °K. Tämä vaatii tehokkaan jäähdytysjärjestelmän, joka puolestaan lisää laitteen painoa ja kustannuksia. Sopivia ilmaisimateriaaleja on teoriassa tuhansia, mutta käytännössä yleisimmät ovat eräät metalliseokset. Kuvassa 5 on esitetty eräitä yleisimpiä ilmaisimia ja niiden ominaisuuksia.

Prosessi- ja näyttöyksikössä ilmaisimesta tulevaa signaalia käsitellään ja muutetaan valoksi ja lopulta kuvaksi.

Kuva 5 Yleisimpiä ilmaisimia.

QUANTUM DETECTORS				
TYPE	OPERATING TEMPERATURE	MODE	WAVELENGTH RANGE (MICRONS)	COOLANT SYSTEM
Silicon (Si)	300°K	PV	0.5 – 1.0	Air
Indium arsenide (In As)	300°K	PV	0.5 – 4.0	Air
Indium antimonide (In Sb)	77°K	PV/PC	1.0 – 5.5	Liquid air
Mercury doped germanium (Ge Hg)	28°K	PC	2.0 – 15	Liquid helium
Copper doped germanium (Ge Cu)	10°K	PC	2.0 – 30	Liquid helium
Mercury cadmium telluride (Hg Cd Te)	77°K to 300°K	PC	1.0 – 30	Normal air or Liquid air
NOTE: PV = Photovoltaic PC = Photoconductive				

4. LÄMPÖKUVAUS TIEDUSTELUMUOTONA

4.1. L ä m p ö i l m a k u v a u s

Lämpökuvan erotuskyky koostuu kahdesta erilaisesta tekijästä, nimittäin lämpöerotuskyvystä sekä maaerotuskyvystä. Lämpöerotuskyky ilmoittaa laitteen mahdollisuuden erottaa pienet säteilyerot samassa kohteessa. Koska kohteen pinnalla emissiokyky pysyy vakiona, ero ilmoittaa itseasiassa lämpötilaeroja kohteessa. Nykyaikaisten laitteiden lämpöerotuskyky on $0,1^{\circ}\text{C}$ tai parempi. On huomattava, että lämpöerotuskyky ei suoraan ilmoita erilaisten kohteiden tulkittavuutta kuvalla, koska siihen vaikuttaa myös kohteiden emissiokyky.

Maaerotuskyky ilmaistaan usein systeemin kulmaerotuskykynä. Kulmaerotuskyky on pienin kahden kohteen välinen kulma, jotta kohteet voitaisiin erottaa toisistaan. Nykyaikaisten laitteiden kulmaerotuskyky on noin 1 mrad. Tämä merkitsee sitä, että lentokoneen lentäessä 1 000 m:n korkeudessa maaerotuskyvyksi tulee 1 m.

4.1.2. Lämpökuvan tulkinta

Luonnollisesti lämpökuvan tulkinnassa pätevät yleiset kuvantulkinnan periaatteet, mutta erojakin on. Ei ole olemassa kuvauslaitteita, jotka tuottaisivat lämpökuvia stereomalleina. Täten lämpökuvan tulkinta on aina yksikuvatulkintaa.

Kohteen todellista kokoa ei aina saada selville lämpökuvasta. Tämä johtuu lämpökuvan suhteellisen heikosta maarotuskyvystä sekä ilmaisimen toimintatavasta. Jos maaerotuskyky on 1 m, pienet kohteet eivät noudata geometrisiä lakeja, vaan kuvautuvat pieninä pisteinä, joiden koon määrittäminen kuvamittauksella on mahdotonta. Ilmaisimen aikavakion johdosta hyvin lämmin kohde kuvautuu huomattavasti suurempana kuin se on luonnossa. Edellä mainituista seikoista johtuen kuvamittaus antaa lämpökuvalta vain suuruusluokkaa ilmoittavia mittalukuja.

Kohteen muoto, joka on tunnistamisen eräs perustekijä, ei tule aina oikein lämpökuvalle. Tämä saattaa johtua kohteen pintamateriaalin pienistä eroavuuksista sekä lämpötilaeroista.

Tavallisen ilmakuvasuuren tulkinnassa kohteen luoma varjo on eräs tärkeä tunnistamisen osatekijä. Lämpökuvassakin esiintyy varjoja, mutta ne eivät ole varjoja tavanomaisessa muodossa vaan niin sanottuja lämpövarjoja. Ne voivat olla joko kuumia tai kylmiä. Esimerkkinä varjoista voidaan käsitellä lentoko-

netta, joka on seissyt seisontapaikalla ja sen jälkeen käynnistänyt suihkumootorinsa ja lähtenyt pois. Koneen rungon kohdalle on syntynyt kylmä varjo, koska runko on varjostanut alla olevaa alustaa estäen sitä lämpenemästä aurin gon paisteesta. Toisaalta koneen perään on syntynyt kuuma varjo, kun kone on käyttänyt suihkumootoreitaan, joiden pakokaasut ovat lämmittäneet takana olevaa aluetta. Riippuen tuuliolosuhteista edellä mainitut varjot saattavat säilyä jopa tunnin.

Sävy lämpökuvalla merkitsee eri asiaa kuin valokuvalla. Yleinen sääntö on, että positiivikuvalla vaalea sävy merkitsee lämmintä ja tumma viileää.

4.1.3. Esimerkkejä lämpökuvauksen kohteista

Koska kaikenlainen toiminta ja aktiviteetti synnyttää lämpöä, voidaan lämpökuvausta käyttää hyvin nimenomaan toiminnan etsimiseen. Tavallisella valokuvauksella voidaan kohteen geometrisista ominaisuuksista saada useimmiten parhaat tiedot, mutta toiminnan tulkitseminen valokuvasta on vaikeaa. Lämpökuvasta toiminnan etsiminen on usein helppoa, koska itse toiminta sekä sen aiheuttamat lämpövarjot voidaan helposti havaita. Kuitenkin lämpövarjojen merkityksen tulkinta vaatii usein itse kohteen sekä sen toiminnan ehkä tarkinkin tuntemisen.

Lentotukikohdat ovat erinomaisia lämpökuvauksen kohteita. Lentokoneet sekä niiden liikkeet ja siirrot voidaan helposti tulkita. Lentokoneiden moottoreiden lämpötila, joka on suora viittaus koneen valmiuteen, voidaan tulkita. Mikäli polttoainesäiliöt sijaitsevat koneen siivissä voidaan helposti tulkita, onko säiliöissä polttoainetta vai ei. Lämpökuvauksella saadaan lentokentästä ja sen toiminnasta huomattavasti enemmän tietoa kuin tavallisella valokuvauksella.

Maavoimien toimivat aseet, ajoneuvot sekä majoitusalueet on helppo etsiä ja paikantaa lämpökuvauksella. Kohteen laadusta ei kuitenkaan useimmiten saada yhtä paljon tietoa kuin valokuvauksella. Telttamajoituksessa olevan joukon paljastaa varmasti telttöjen kamiinoiden savutorvien suuri lämpötila. Toimivien aseiden putkien lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin ympäröivän luonnon, joten ne paljastuvat lämpökuvauksella. Ajoneuvojen kuumat moottorit kuvautuvat selvästi.

Laivaston tulkinnassa lämpökuvauus on erittäin käyttökelpoinen. Laivojen koneet synnyttävät paljon lämpöä, joka leviää ympäristöön. Naamioverkon alla oleva laiva voidaan helposti havaita lämpökuvauksella. Valealukset ja valelaitteet voidaan myös paljastaa.

4.1.4. Monikanavakuvaus

Monikanavakuvaus liittyy usein lämpökuvaukseen, vaikka siinä usein on muitakin aallonpituuksia mukana. Kuvauksen periaatteena on saada kohteesta samanaikaisesti tietoa usealla aallonpituusalueella.

Monikanavakuvaus edut ulottuvat kahdelle alueelle. Manuaalisessa tulkinnessa voidaan valita se kanava eli aallonpituusalue, jolta kohde tiedetään tai luullaan löytyvän parhaiten. Toisaalta monikanavakuvaus mahdollistaa siirtymisen automaattiseen kuvantulkintaan. Monikanavakuvaus saadaan aikaan kohteen heijastuskäyrä, tosin harvennettuna. Tämä on välttämätöntä heijastusarvoihin perustuvassa automaattisessa tulkinnessa.

4.1.5. Käytännön sovellutuksia

Lämpökamera kuuluu usean nykyaikaisen tiedusteluhävittäjän ja -lennokin varustuksiin. Kamera on useimmiten asennettu säiliöön, joka mahdollistaa sen, että kameran voidaan vaihdella käyttötarkoituksen ja olosuhteiden mukaan. Yleensä lämpökameraa käytetään yöllä kaikkeen kuvaukseen ja päivällä toiminnan etsimiseen sekä valelaitteiden paljastamiseen.

Esimerkkinä lämpökamerasta, joka sopii sekä tiedusteluhävittäjiin että tiedustelulennokkeihin, mainittakoon englantilainen Hawker Siddeleyn lämpökamera Type 401. Kameran ominaisuuksista mainittakoon seuraavaa:

- ilmaisoin on elohopea-Kadmium-Telluri,
- käytetty aallonpituus on 8 . . . 14 μm ,
- erotuskyky on 1,0 mrad,
- lämpöerotuskyky on 0,25°C,
- avauskulma on 120°,
- kameran paino on 39 kg sekä
- kameraan mahtuu noin 90 m filmiä, jonka leveys 70 mm.

Type 401 tai sitä lähellä olevat kamerat ovat käytössä useissa länsimaisissa tiedustelukoneissa. Näistä mainittakoon:

- kanadalainen lennokka AN/USD 501,
- amerikkalainen tiedusteluhävittäjä RF-4C sekä
- englantilainen Jaguar.

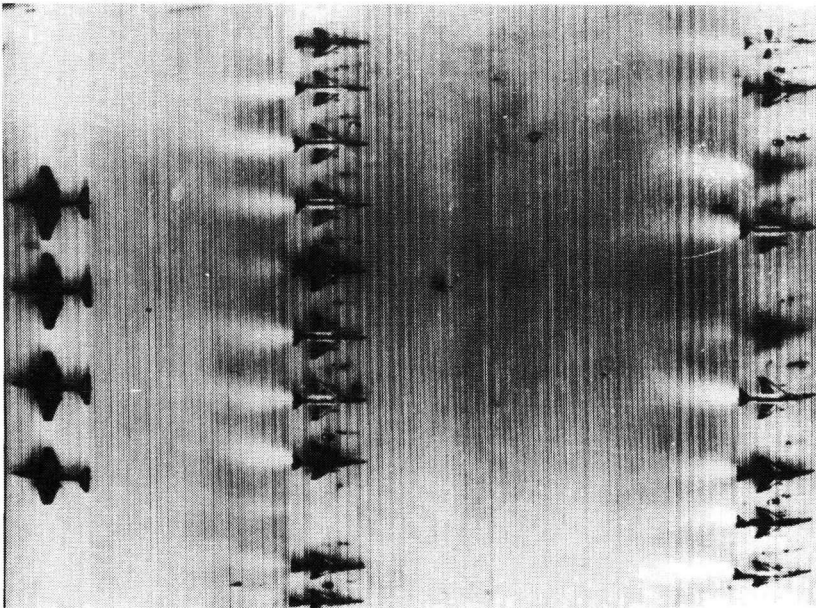
Neuvostoliittolaisessa Mig-21:n tiedustelumunnoksessa käytetään ilmeisesti myös lämpökameraa. Kameran tyypistä ei ole tietoa.

Ruotsalaiset ovat kehittäneet ja valmistaneet hyvän kameran säiliösarjan. Säiliöiden nimet ovat Blue Baron, Red Baron sekä Green Baron. Sekä Red että Green Baronissa voidaan käyttää lämpökameraa. Kamerana on ilmeisesti Te-

xas Instruments'n RD-702 IR-juovitin. Kamera lienee pääpiirtein edellä kuvattun Type 401:n kaltainen.

Kuvassa 6 on esimerkki lämpökuvasta, joka on otettu Type 401:n tapaisella kameralla. Kuva esittää lentokentän seisonta-aluetta. Koneiden moottorit ja polttoainesäiliöt ovat lämpimiä, josta voidaan tehdä johtopäätöksiä koneiden valmiudesta. Seisonta-alueella olleiden mutta siitä poistuneiden koneiden lämpövarjot ovat selvästi nähtävissä. Varjoista voidaan päätellä jopa lähteneiden koneiden tyypit. Kuvalta voidaan siis tulkita olemassa oleva tilanne, päätellä menneisyyttä ja arvioida tulevia tapahtumia.

Kuva 6 Esimerkki lämpökuvasta.



4.2. L ä m p ö m a a k u v a u s

4.2.1. Kuvauslaitteet

1970-luvun alussa USA kehitti helikoptereita ja lentokoneita varten pimeäsuunnistuslaitteet, jota kutsutaan FLIR:ksi (FLIR = Forward-Looking Infra-

Red). Laite oli koneesta etuviistoon alas kuvaava lämpökamera. Pian tekniikka otettiin käyttöön maasta tapahtuviin kuvauksiin. Laitteita kutsutaan termovisioiksi, lämpötähystimiksi jne. Laite on nykyään yleisessä käytössä pimeänäkölaitteena, pimeäkuvauslaitteena, automaattisissa maalinsintälaitteissa sekä varsinaisena lämpökuvauslaitteena.

Kamera toimii samanlaisella pyyhkäisymenetelmällä kuin varsinainen lämpökamerakin. Ilmaisimia on yleensä enemmän kuin yksi, yleensä muutaman ilmaisimen ryhmä, mutta ilmaisimia voi olla satojakin. Kuva muodostuu yleensä reaaliajassa TV-kuvan omaisesti kuvaputkelle, jossa se on välittömästi tarkasteltavissa. Laitteeseen voidaan liittää lisälaitteita, joilla kuva voidaan tallentaa joko filmille, videonauhalle tai digitaalisesti magneettinauhalle. Laitteiden paino vaihtelee muutamasta kilosta muutamaan kymmeneen kiloon.

4.2.2. Käytännön sovellutuksia

Texas Instruments valmistaa USA:n maavoimille lämpönäkölaitteita tyyppimerkinnältään AN/TAS-4, 5 ja 6. AN/TAS-4 on laite, joka on tarkoitettu TOW-panssarintorjuntaohjuksen ampujalle. AN/TAS-5 on kevyempi kuin edellinen ja se on asennettu Dragon-panssarintorjuntaohjuksen ampumalaitteeseen. AN/TAS-6 on suurin ja se on tarkoitettu tähystykseen ja kuvaukseen.¹⁾ Texas Instruments on valmistanut em laitteita useita tuhansia kappaleita USA:n maavoimille.

Kolme englantilaista yhtiötä on valmistanut lämpökameran, jonka tyyppimerkintä on TICM (= Thermal Imaging Common Module).²⁾ Laite soveltuu valvontaan, maalin paikantamiseen, ase- ja ajoneuvojen tähystyslaitteeksi. Laite toimii 8 . . . 13 μ m:n alueella, jossa savu ja sumu eivät suurestikaan haittaa tähystystä.

USA on parhaillaan varustamassa taistelupanssarivaununsa M-60 lämpökameralla, joka tunnetaan nimellä TINTS (= Turret Integrated Night Thermal Sight).³⁾ Laitteen on valmistanut Hughes Aircraft ja sitä käytetään todennäköisesti myös miehistönkuljetuspanssarivaunun M-113 tiedustelumunoksesta.

USA on varustamassa tällä hetkellä myös maavoimien yksiköt kevyellä käsin pideltävällä lämpötähystimellä. Laitteen tyyppimerkintä on AN/PAS-7²⁾ Laitteen paino on 2.6 kg ja akkuineen noin 5 kg. Laite toimii 3 . . . 5 μ m:n alusin pideltävällä lämpötähystimellä. Laitteen tyyppimerkintä on AN/PAS-7.³⁾ Laitteen hinta lienee noin 30 000 dollaria.

Liitteessä 1 on esitetty luettelo eräistä lämpökameroista sekä niitä valmistavista yhtiöistä.

5. LÄMPÖHAKUISET ASEJÄRJESTELMÄT

5.1. L ä m p ö h a u n p e r i a a t e

Useat sotilaalliset laitteet lähettävät IP-säteilyä enemmän kuin ympäristönsä. Tämä johtuu siitä, että ne ovat ympäristöönsä lämpimämpiä. Tätä voidaan käyttää hyväksi näitä vastaan suunnatuissa asejärjestelmissä, jotka yleensä ovat ohjuksia.

Ohjukseen on asennettu lämpökamera tai lämpötähystin, joka näkee kohteen ja välittää tarvittavat ohjaustiedot automaattisesti ohjauslaitteille. Tyypillisiä tällaisia ohjuksia ovat ilmatorjunta- ja panssarintorjuntaohjukset, sillä kummassakin tapauksessa maali on ympäristöönsä huomattavasti lämpimämpi.

Maali kuvataan optiikalla, joka on liikkeessä. Näin saadaan maalin paikasta näkökentässä tarkka tieto. Mikäli näkökentässä on useita lämpimiä kohteita, ohjus ohjautuu niiden painopisteeseen. Kun ohjaus lähestyy kohdettaan, laidoilla olevat pisteet katoavat näkökentästä, ja ohjaus ohjautuu maaliinsa.

Maalin taustan säteilyn vaikutus ohjaukseen on usein ongelmallinen. Ilma- maalien osalta taustan säteily on yleensä aika tasainen ja helposti hallittavissa. Panssarintorjuntaohjuksissa ongelma on vaikeampi ratkaista, sillä taisteluku- tällä olevan panssarivaunun ympäristö voi lähettää hyvinkin monen muotoista ja tehoista säteilyä. Ohjausta voidaan parantaa erilaisten suotimien avulla, jol- loin voidaan eliminoida pois häiritsevät säteilyt ja käyttää hyväksi vain koh- teesta lähtevä säteily. Suotimien valinnan edellytys on se, että tunnetaan koh- teen lämpösäteily mahdollisimman hyvin. Tämä on saatava selville jo rauhan aikana.

5.2. K ä y t ä n n ö n s o v e l l u t u k s i a

Ensimmäinen IP-hakuinen ohjus oli USA:n Sidewinder. Ohjus on yhden miehen olkapäältä ammuttava ilmatorjuntaohjus. Amerikkalaisista ilmasta il- maan ohjuksista otettakoon esimerkkinä Falcon-ohjus. Ohjusta valmistetaan lisenssillä myös muun muassa Ruotsissa, jossa sen tyyppimerkintä on Rb28.⁴⁾ Hakupää koostuu joko linssi- tai peiliobjektiivistä, IP-ilmaisimesta sekä vah- vistin- ja signaalinkäsittely-yksiköstä. Ilmaisimien toimii 4 . . . 5 μ m:n alueella. Il- maisimen jäähdytys tapahtuu Joule—Thomson-menetelmällä korkeapaineisel- la Argon-kaasulla.

Kuten edellä todettiin maamaalia vastaan IP-hakuisen ohjuksen käyttö on ongelmallisempaa. Useissa panssarintorjuntaohjuksissa käytetäänkin puoliau- tomaattista IP-ohjausta. Siinä hakupää on sijoitettu laukaisinlaitteen yhtey-

teen ja se seuraa ohjuksessa olevaa lämpölähdettä. Tällainen järjestelmä on käytössä esimerkiksi Milan panssarintorjuntaohjuksessa.⁹⁾ Koeammunnoissa on saavutettu 21 osumaa 24 laukauksella maksimiampumaetäisyyden ollessa 1 600 m.

Liitteessä 2 on esitetty eräitä lämpöhakuisia ohjuksia.

6. LÄMPÖKUVAUKSEN KÄYTTÖ AVARUUDESSA

6.1. Sä ä s a t e l l i i t i t

Sä ä s a t e l l i i t t i e n t ä r k e y t t ä o s o i t t a a s e , e t t ä U S A l ä h e t t i s ä ä s a t e l l i i t i n n o i n k a k s i v u o t t a e n s i m m ä i s e n o n n i s t u n e e n s a t e l l i i t t i l ä h d ö n j ä l k e e n . K y s e e s s ä o l i T I R O S 1 - s a t e l l i i t t i (T I R O S = T e l e v i s i o n I n f r a - r e d O b s e r v a t i o n S a t e l l i t e) . T I R O S - s a r j a n s a t e l l i i t t e j a l ä h e t e t t i i n y h t e e n s ä k a h d e k s a n k a p p a l e t t a . N i i s s ä o l i h a v a i n t o v ä l i n e e n ä T V - k a m e r a s e k ä e r i l a i s i a r a d i o m e t r e j ä .

S e u r a a v a k s i U S A l ä h e t t i E S S A - j a N O A A - s a t e l l i i t i t . V i i m e k s i m a i n i t u s s a o n t ä r k e ä n ä m i t t a u s l a i t t e e n ä V T P R - l a i t e , j o k a m i t t a a l ä m p ö t i l a p r o f i i l i a . L a i t e t o i m i i 11 . . 19 μ m : n a l u e e l l a , j o k a j a e t a a n 8 s u o t i m e l l a 8 o s a - a l u e e s e e n .⁴⁾

N i m b u s - s ä ä s a t e l l i i t t i s s a , j o i s t a e n s i m m ä i n e n l ä h e t e t t i i n 1964 , o l i h a v a i n n o i n t i v ä l i n e e n ä T V - k a m e r a , s e k ä n s H R I R - l a i t e (H i g h R e s o l u t i o n I n f r a r e d R a d i o m e t e r) . L a i t t e e l l a o t e t t i i n e n s i m m ä i s e n k e r r a n k u v a m a a n p i l v i p e i t t e e s t ä y ö l l ä .

V a r s i n a i s i s t a s o t i l a s s ä ä s a t e l l i i t t e i s t a e i o l e k o v i n k a a n p a l j o n t i e t o j a s a a t a v i l l a . T i e d e t ä ä n , e t t ä m o l e m m i l l a s u u r v a l l o i l l a o n s o t i l a s s ä ä t e k o k u u n s a . U S A : n s a t e l l i i t i t o v a t p r o j e k t i n 417 j a B l o c k - 5 D a l a i s i a t a i n i m i s i ä .⁵⁾ S o t i l a s s ä ä t e k o k u i d e n e r ä ä n ä t e h t ä v ä n ä o n s e l v i t t ä ä p i l v i p e i t t e e n o l e m a s s a o l o k u v a u s t e k o k u i t a v a r t e n .

6.2. V a r o i t u s s a t e l l i i t i t

K u t e n a i e m m i n o n t o d e t t u , i n f r a p u n a s ä t e i l y e i l ä p ä i s e k o v i n k a a n h e l p o s t i m a a n i l m a k e h ä ä . N ä i n o l l e n t u n t u i s i s i l t ä , e t t e i l ä m p ö k u v a u s t a v o i d a k ä y t t ä ä s a t e l l i i t t i s t a . K u i t e n k i n s e s o p i i e r i t t ä i n v o i m a k k a i d e n l ä m p ö l ä h t e i d e n e t s i n t ä ä n s e k ä i l m a k e h ä n u l k o p u o l i s t e n t a p a h t u m i e n k u v a a m i s e e n .

I n f r a p u n a i l m a i s i m e l l a v a r u s t e t u t s a t e l l i i t i t o v a t j o k o p a i k a l l a a n p y s y v i ä e l i s y n k r o n o i t u j a t a i k i e r t ä v i ä . K u n m a n n e r t e n v ä l i n e n o h j u s t u l e e i l m a k e h ä n u l k o p u o l e l l e , s a t e l l i i t i n i l m a i s i n r e a g o i p a k o k a a s u i h i n j a a n t a a v a r o i t u k s e n . N ä i n v a s t a p u o l e n o h j u s t e n l ä h d ö t v o i d a a n h a v a i t a j o n o u s u v a i h e e s s a . I l m a i s u a o n v a i k e u t t a n u t j o n k i n v e r r a n e s i m e r k i k s i a u r i n g o s t a t u l e v a v o i m a k a s s ä t e i l y .

Samoja tai samantyyppisiä satelliitteja käytetään toteamaan maanpinnalla tai ilmakehässä tapahtuvat ydinräjähdykset. Vaikka ilmiö ei tapahdukaan ilmakehän ulkopuolella, voidaan se hyvin rekisteröidä, koska tapahtumassa vapautuu erittäin runsaasti lämpöä.

YHDISTELMÄ

Lämpökuvaukseen eri sovellutuksineen on tunkeutunut erittäin monelle eri alueelle. Liitteessä 3 on esitetty luettelo tärkeimmistä sovellutusalueista.

Sotilaallisella sektorilla lämpökuvauksella on kaksi pääsovellutusaluetta, nimittäin pimeätiedustelu ja -tähtystys sekä toisena automaattinen ohjaus. Kuvaukseen ja tähtystysvälineinä ne ovat vieneet meiltä mahdollisuuden käyttää pimeää hyväksemme. Tämän on aiheutettava muutoksia taktiikkaamme, koulutukseemme sekä naamiointi- ja valelaitetoimintaamme. Pimeä ei ole enää "naamiövälina".

Ohjusten ohjausjärjestelmän osana infrapunahakujärjestelmät ovat parantaneet aseiden asumatodennäköisyyttä. Nykyaikaista vihollista vastaan taisteltaessa havaituksi tuleminen merkitsee tuhoutumista.

Lämpötähtystimet ja lämpökamerat eivät ole enää kokeilu- tai mallikappaleita, vaan ne kuuluvat organisaatioiden jakovahvuuksiin ja niitä tulee esiintymään taistelulentäillä jopa kivääriryhmän tasalla. Omien vastatoimien tutkiminen, kehittäminen ja kouluttaminen on aloitettava jo nyt rauhan aikana, tai muuten olemme myöhässä.

LÄHDEVIITTEET

- 1) *Elektronicwarfare 10/1978.*
Barry Miller: Thermal Imaging Sensor Advances Pushed.
- 2) *Armada 3/1979.*
TICM Programme.
- 3) *Wehrtechnik 8/75.*
Herbert Gaertner: Wärmebildtechnik und Entwicklungsziele.
- 4) *FOA orienterar om infrarödteknik, nummer 11.*
- 5) *Wehrtechnik 12/79.*
Milan mit Wärmebildkamera.
- 6) *Tiede ja Ase n:o 34, 1976.*
J Paulaharju: Sotilastekokuujärjestelmä.
- 7) *Nato's fifteen nations, Febr—March 78.*
Charles Latour: Night viewing devices.

LIITE 1

Luettelo lämpökameroita valmistavista yhtiöistä ja niiden tuotteista⁷⁾

Laite	Yhtiö	Status	Käyttö
IRS 700 Therma pointer	Saab-Scania Rank Pullin Controls	palv:ssa —''—	it:n käytössä käytetään paljastamaan valonvahvistimia
Therma Viewer	—''—	tuotannossa	käsinpideltävä pieni
Thermal Imager —''—	British Aerospace Marconi	kehitteillä —''—	—''—
TRAM	Hughes	palv:ssa	FLIR-systeemi USA:n A-6E-lentokoneeseen
AN/TAS-Y	—''—	kehitteillä	TOW-ohjukseen
Thermal Imager	—''—	—''—	AH-1S-helikopteriin
Thermal Imager	—''—	—''—	Leopard II psv:uun
Thermal Imager	Texas Instruments	—''—	—''—
Thermal Imager	—''—	—''—	TOW-ohjukseen
AN/PAS-7	Magnavox	palv:ssa	kts tekstiosia

LIITE 2

Luettelo lämpöhakuisista ohjuksista^o

Ilmasta ilmaan ohjukset

— R530, R550	Ranska
— AAM-1	Japani
— Anab, Ash	Neuvostoliitto
— Atoll	—”—
— Firestreak, Red Top	Englanti
— Sidewinder	USA
— Falcon	USA

Maasta ilmaan ohjukset

— Roland	Ranska, Saksan Liittotasavalta
— Grail	Neuvostoliitto
— Redeye, Chaparral	USA

Merimaaliohjukset

— Pingvin	Norja
— Kormoran	Ranska, Saksan Liittotasavalta
— Styx	Neuvostoliitto

Panssarintorjuntaohjukset

— Hot	Ranska, Saksan Liittotasavalta
— Milan	—”—
— Swatter	Neuvostoliitto
— Dragon	USA

LIITE 3**Lämpökuvauksen sovellutuksia****I Sotilaalliset sovellutukset****Ohjukset**

- maalinetsintä ja ohjaus

Tiedustelu

- taktinen lentotiedustelu
- strateginen satelliittitiedustelu
- ohjusten valvonta ja varoitus

Merivalvonta ja merenkulku

- alusten liikkeiden seuranta
- sukellusveneiden seuranta

Tulenjohto

- ohjukset ja tähytys

Pimeätoiminta

- liikenteen laskenta
- pimeätähytys
- pimeäammunta
- ajo ajoneuvolla pimeässä

II Siviilisovellutukset**Avaruus ja sääpalvelu**

- kartoitus
- pyörremyrskyvaroitus

Valvonta

- metsäpalojen valvonta ja etsintä
- voimajohtojen tarkastus
- tullin ja poliisin suorittama valvonta

Lääketiede

- rintasyövän etsintä
- palovammojen tutkiminen

Teollisuus

- hitsausaamujen tarkistus
- virheenetsintä virtapiireissä