



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Југославија  
Деканат: 021 350-413; 021 450-810; Централа: 021 350-122  
Рачуноводство: 021 58-220; Студентска служба: 021 350-763  
Телефакс: 021 58-133; e-mail: [ftndean@uns.ns.ac.yu](mailto:ftndean@uns.ns.ac.yu)



Сертифициван  
систем  
квалитета



Студијски програм

Геодезија и геоматика

## СЕМИНАРСКИ РАД

Предмет: Интегрисани системи премјера

Тема: - Термални сензори за даљинску детекцију -

Професор: др Владимир Булатовић

Студент: Жељко Бугариновић, 396

**РЕЗИМЕ**

Инфрацрвено подручје електромагнетног спектра нашло је велику примјену у многим областима. У овом раду обрађен је посебан дио који се односи на употребу термалног ИЦ електромагнетног опсега. Поред саме структуре термалних сензора, акценат се ставио и на велику област примјене, попут: медицине, грађевинарства, машинству, затим у зградарству код испитивања квалитета изолације објекта, откривање пожара и проналажења особа у захваћеном пожару, хидрологија, енергетика, метеорологија.

**СКРАЋЕНИ ПОЈМОВИ**

Meteosat	- <i>Серија геостационарних сателита</i>
MODIS	- <i>(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), инструмент на покретним сателитима</i>
MSG	- <i>(Meteosat Second Generation), „Meteosat“ сателит друге генерације</i>
METOP	- <i>покретни сателит агенције „EUMETSAT“</i>
NOAA	- <i>(National Oceanic and Atmospheric Agency), Америчка агенција за океане и атмосферу која управља покретним сателитима</i>
Piksel	- <i>У рачунарској графици означава најмању јединицу слике</i>
RGB	- <i>(Red-Green-Blue), композит основних боја црвене, зелене и плаве у рачунарској обради слике</i>
SEVIRI	- <i>(Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), инструмент на „MSG“ сателитима којима се мјери зрачење</i>
WMO	- <i>(World Meteorological Organisation), Свјетска метеоролошка организација</i>

**КЉУЧНЕ РИЈЕЧИ**

*Температура, термовизија, инфрацрвена (ИЦ) термографија, ИЦ зрачење, електромагнетни (ЕМ) таласи*

## Садржај

1.	УВОД.....	5
2.	Основни појмови даљинске детекције и термалног зрачења.....	6
2.1	Начини аквизиције података и платформе .....	7
2.3	Сателитске платформе и термални сензори.....	7
2.3.1	AIRS (Atmosferic Onfrared Sounder).....	8
2.3.2	NOAA (National Oceanografhic and Atmosferic Administration).....	8
3.	Термално снимање.....	9
3.1	„IR” Термографија .....	11
3.2	Изотерме .....	13
3.3	Програмсак подршка.....	14
4.	Примјена термални сензора.....	15
4.1	Енергетика и електротехника.....	16
4.2	Грађевинарство .....	16
4.3	Заштита околине .....	17
4.4	Медицина и ветерина .....	18
4.5	Термална даљинска истраживања температуре воде.....	18
5.	Препознавање конвективних облака на снимцима.....	19
5.1	Конвекција.....	19
5.2	Примјена соларних канала .....	20
6.	Препознавање магле и ниских облака .....	22
6.1	Препознавање магле дању .....	22
7.	Откривање пожара .....	23
7.1	Особине канала 3.9 [μm] .....	23
7.2	Алгоритми за детекцију пожара .....	24
7.3	Пожари у Србији.....	25
8.	Закључак .....	26
9.	Литература .....	27
	Списак слика	

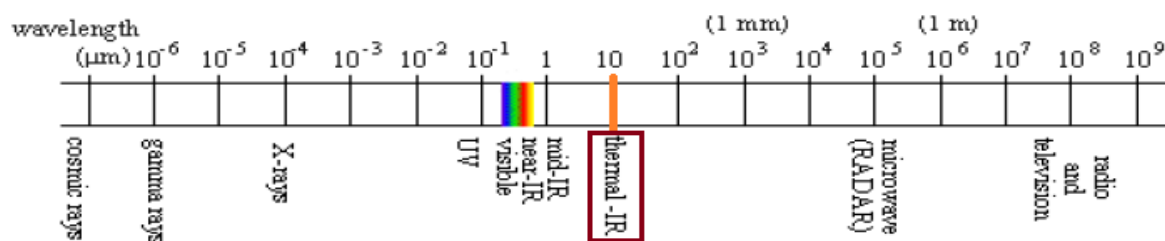
## 1. УВОД

Мјерење температуре представља честу потребу у различитим областима и гранама науке. Поред сателитских платформи, од којих већина има сензоре са термалним каналима, у овом раду су описане и термалне камере (терестрички начин снимања). Основна чињеница на којој се заснива рад ових сензора, огледа се у томе да сва тијела емитују електромагнетне таласе. Ови сензори омогућавају детекцију спектралних опсега, који нису видљиви људском оку, и трансформише их у разумљиве слике.

Термални сензори имају велику примјену, па се још увијек у појединим областима тек уводи њихово коришћење. Проналазе примјену и код детекције шумских пожара и магле, што ће детаљније бити описано кроз сам рад.

## 2. Основни појмови даљинске детекције и термалног зрачења

Даљинска детекција [Evelin Pruitt, 1960] представља метод прикупљања вјеродостојних информација посматраног објекта, без физичког контакта са њим. У том циљу користи се електромагнетно зрачење објекта. Да би се детектовала ова врста зрачења користе се сензори. Тренутно не постоји ни један сензор који може обухватити све регионе зрачења. Региони таласних дужина електромагнетног зрачења имају различита имена (Слика 2.1).



**Слика 2.1** Региони и називи таласних дужина електромагнетног зрачења

ИЦ спектар се дијели на [1]:

- NIR, 750-1400nm
- SWIR, 1400-3000nm
- MWIR, 3000-8000nm
- LWIR, 8000-15000nm
- FIR, 15000nm-1mm

Термално зрачење је електромагнетско зрачење које свако тијело емитује као резултат његове температуре. У термалној даљинској детекцији мјере се зрачења која емитују објекти на терену, у циљу квалитативних и квантитативних процјене температуре. Слика 2.2 приказује различите елементе који утичу на температуру зрачења.



**Слика 2.2** Елементи који утичу на температуру зрачења

## 2.1 Начини аквизиције података и платформе

Уређаји за откривање, регистрацију и мјерење зрачења електромагнетне енергије, сопствене (емитоване) или саопштене (рефлектоване), једним именом се називају сензори.

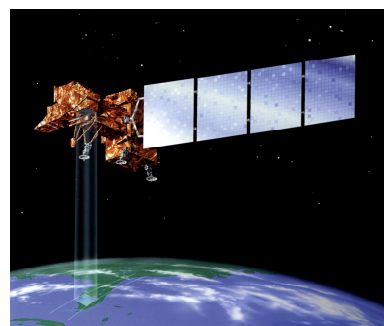
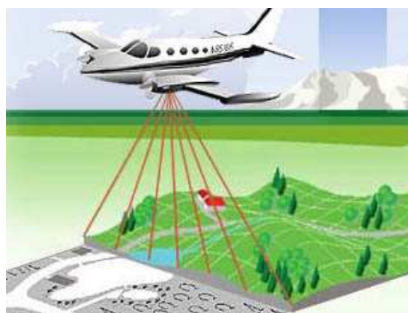
Код прикупљања података термалне даљинске детекције треба разликовати три основна аспекта:

- I. **Активни и пасивни сензори:** Већина термалних сензора добија податке пасивно, односно мјерењем емитованог зрачења посматраног објекта. Постоје и активни сензори који емитују зраке ка посматраном циљу и детектују количину рефлексије(радари), оvdје се често биљежи и количина емитованих зрака, али се ријетко користе код термалне даљинске детекције.
- II. **Широк појас у односу на мултиспектрални начин:** За широк појас термалних сензора, користи се размак од 8 - 14 [ $\mu\text{m}$ ]. Неки термални сензори примјењују таласну дужину од 10.4 – 12.6 [ $\mu\text{m}$ ], тиме се избјегава врх озонске апсорпције који се налази на 9.6 [ $\mu\text{m}$ ].
- III. **Дневна и ноћна аквизиција података:** Аквизиција термалних података може бити и ноћна и дневна. За неке апликације корисно је имати обе врсте података. За разне апликације чешће се користе ноћни подаци, тачније подаци пред зору јер је тад утицај сунчеве енергије сведен на минимум.

Платформа је покретни носач сензора, који региструје електромагнетну енергију на већој површини терена.

**Постоје три основне групе платформи које се користе за прикупљање термалних података:**

- терестричка платформа (може се кретати по копну или води - посебно опремљени аутомобили и бродови),
- у ваздуху (аеро платформе, на висинама од 30 м до 30 – 40 км, као што су беспилотне летјелице и авиони) и
- сателитске платформе (користе вјештачке Земљине сателите и свемирске бродове, на висинама од 150 – 36 000 км).



**2.1.1 Термална камера    2.1.2 Авионска платформа    2.1.3 Сателитска платформа L7 ETM+**

## 2.2 Сателитске платформе и термални сензори

### 2.2.1 AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)

Лансиран 2002 године. Основна функција јесте посматрање глобалних промјена климе и водених и енергетских циклуса. Креира 3Д карте ваздуха и површине температуре, као и особине облака и водене паре. Са великим бројем спектралних канала од 4.74 – 15.4 [μm] пружа тачне информације о вертикалним профилима температуре и влаге.



Слика 2.2.1.1 Различите сателитске платформе

### 2.2.2 NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration)



Слика 2.2.2.1 NOAA

Дизајниран за метеоролошке апликације. Примјењив и за упозоравање на сушне периоде, регионални и глобални мониторинг вегетације, картирање површина под снијегом и ледом, детекције шумских пожара, водено загађење, концентрацију и слично.



### 3. Термално снимање

Даљинско истраживање енергије емитовано са земљине површине у термалном инфрацрвеном подручју, разликује се од истраживања рефлектоване енергије. Термални сензори користе фото детекторе осјетљиве на контакте фотона на својој површини, да би открили емитовано термално зрачење. Како би се ограничила властита термална мисија, детектори се хладе на температури близу апсолутне нуле. За максималну осјетљивост, сензор се потапа у расхладну течност (смањује се властита термална мисија).

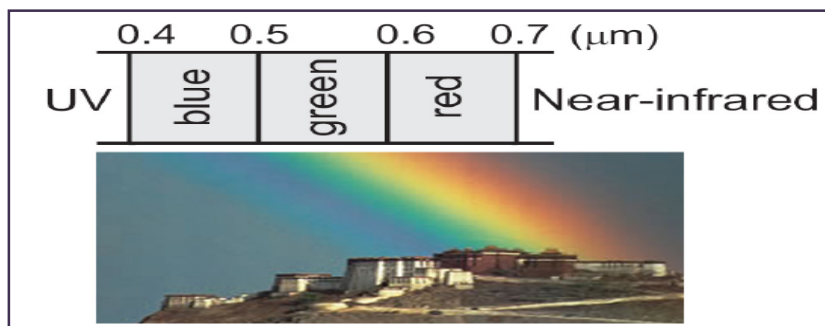
Подаци се углавном смијештају на магнетну траку или филм, а резолуција сензора може да достигне резолуцију температуре од 0.1 [C °]. Апсолутно мјерење температуре се може измјерити, али захтијева врло прецизну калибрацију и детаљно познавање термалних особина циља. Због релативно дуге таласне дужине термалног зрачења (у односу на видљиво), атмосферска дифракција је минимална, али је просторна резолуција прилично груба у односу на резолуцију видљивог и „IC“ спектра.

#### 3.1 Историја термалних сензора

До сазнања о термалном опсегу (3-14  $\mu\text{m}$ ) и другим каналима који су данас познати, људи су првенствено користили видљиви дио спектра (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ ). „Sir Frederick William Herschel“ (1738 - 1822) открио је 1800. године инфрацрвени електромагнетни спектар. Данас се користе веома брзи детектори ИЦ опсега. Треба истаћи да сви постојећи објекти и околина с којима се свакодневно сусрећемо, попут вегетације, људи, инфраструктуре и слично емитују термално инфрацрвено зрачење. Савремено хлађење детектора омогућило је да ИЦ камере буду покретне (попут класичне камере) и полако уђу у комерцијалну примјену.

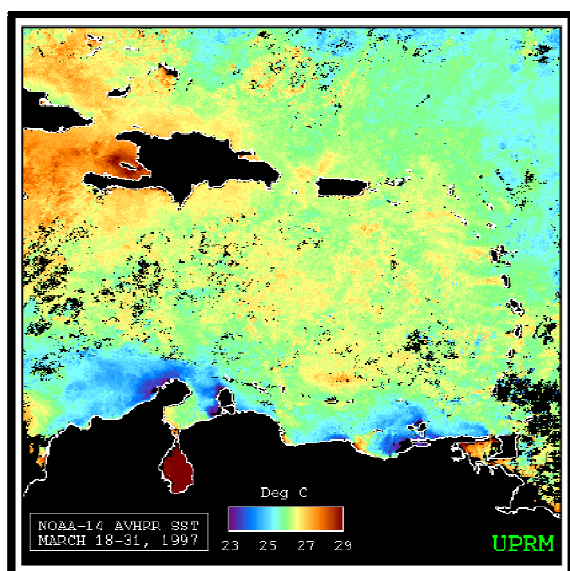
NASA је 26. априла 1978 године, лансирала платформу са термалним сензором (10.5 - 12.6  $\mu\text{m}$ ), резолуције 600 x 600 [m]. Ово је један од првих сусрета са научно орјентисаним термалним ИЦ опсегом (Геологија). Сензор за праћење температуре морске површине лансирани су 23. октобра 1978 године. (Landsat 4 и 5 сензори лансирани 1982 и 1984, респективно), прикупљали су и податке термаланог опсега 120 x 120 [m], (10.5 - 12.6  $\mu\text{m}$ ). Данас, НОАА геостационарни сателит, прикупља термалне податке са просторном резолуцијом 8 x 8 [km], која се користи у метеоролошке сврхе, и високе резолуције од 4 x 4 [km].

Унутрашња кинетичка топлота објекта се конвертује у енергију зрачења, што је веома битно за даљинску детекцију. Основна идеја огледа се у мјерењу зрачења, које се може конвертовати у кинетичку температуру објекта, самим тим и у обичним људима разумљиву мјерну јединицу (попут келвина). Нажалост, овај однос није савршен, тако да се често добије нешто мања температура од стварне температуре објекта.

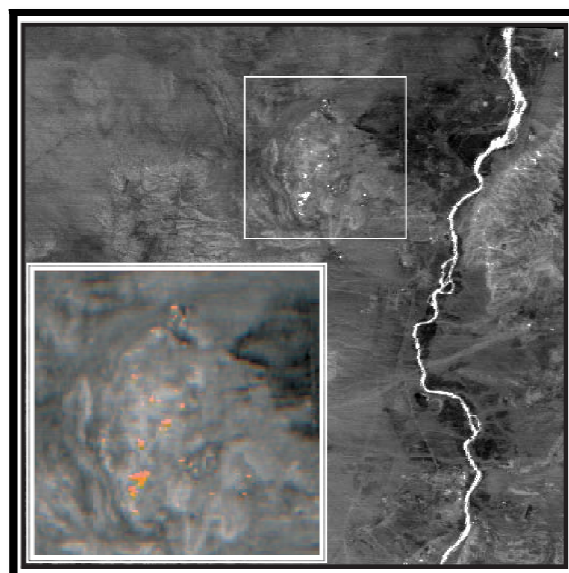


**Слика 3.1.1** Електромагнетни спектар

Тежња је да се постигну особине црног тјела (идеалан апсорбер), које не постоји у природи. На тај начин добили би се квалитетне информације о објекту од интереса. У том циљу врше се одговарајуће корекције, и алгоритми који на најбољи начин одређују вриједност кинетичке температуре. Важно је напоменути да различити материјали имају различиту емисију (од 0 - 1), дестилована вода има вриједност блиску 1, а алуминијум од полираног (0.08), не рђајућег челика (0.16) имају веома ниску емисију. Ако објекат садржи више влаге, већа је способност апсорпције. Руски физичар Кирхоф утврдио је следећу везу: "Добри апсорбери су добри емитери (Слика 3.1.2), а добри рефлектори су лоши емитери ". Дакле, метални предмети као што су аутомобили, лимени кровови готово увијек изгледају веома хладно на топлотним инфрацрвеним снимцима. Топлотна проводљивост је промјењива због влаге земљишта и величине честица, па су многе стијене и земљиште лоши проводници.



**Слика 3.1.2** Температура мора у распону 23 - 29 [ $^{\circ}\text{C}$ ]



**Слика 3.1.3** Свијетли пиксели у јутарњим часовима, указују на пожар.

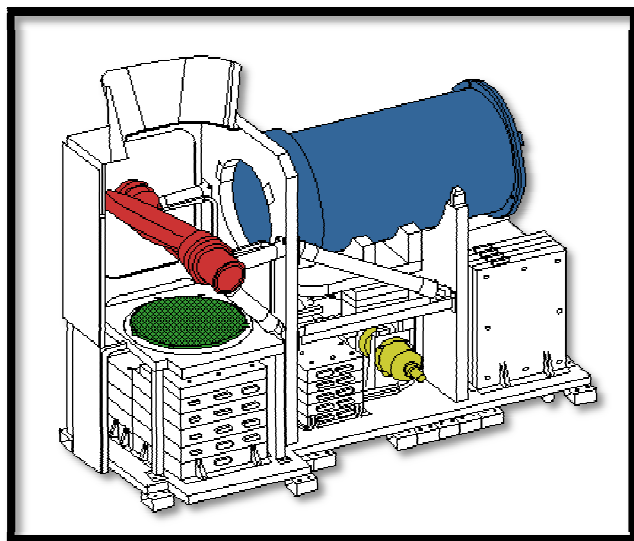
ASTER, Bend 10, China

### 3.2 Термални сензори

Термални ИЦ сензори се обично састоје од [5]:

- In:Sb (индијум, антимон)- са максималном осјетљивошћу до 5 [ $\mu\text{m}$ ],
- Gd:Hg (жива, германијум) - са осјетљивошћу до 10 [ $\mu\text{m}$ ],
- Hg:Cd (жива, кадмијум) - осјетљив у опсегу 8 - 14 [ $\mu\text{m}$ ].

Примјер сензора (Слика 3.1.1) уграђен је на „TERRA“ платформи. Систем је сачињен од сферичних огледала и сочива за корекцију **аберација**<sup>1</sup>.



Камера садржи ИЦ оптику, сензор ИЦ зрачења и конверторе и меморију за чување података. Оптика која се овдје користи мора бити пропусна за ИЦ зрачење. Сам сензор мјери количину енергије која одговара интензитету зрачења ИЦ спектра. Енергија коју сензор региструје једнака је суми енергија које долазе од посматраног објекта. На основу регистрованог интензитета рачења потребно је срачунати стварну вриједност температуре посматраног објекта.

**Слика 3.2.1** ASTER / NASA (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/tir.asp>)

При томе је потребно познавати неке од параметара, као што су: спољашња температура и влажност, температура околних објеката и особине површине објекта чија се температура мјери. За разлику од већине система, код ТИР подсистема телескоп је фиксиран. Сваки детектор има појачање сигнала на улазу и излазу.

Детектори се хладе на ниским температурама (око 73 К), користећи течни азот или течни хелијум. Уграђен је и кулер који одржава температуру детектора на 80 К. У овом случају кулер је такође фиксиран, а вишак топлоте се распоређује на метални тањир. Хлађење обезбјеђује да регистровано зрачење долази са терена, а не из температуре околине самог скенера. Ови сензори могу детектовати површине које емитују или рефлектују топлотно зрачење. Резултат овакве анализе није само потврда да нека површ одаје топлоту, већ постји могућност добијања информације о количини и температури емитоване топлоте.

<sup>1</sup> **Аберација** је појава привидне промјене положаја небеског тијела која настаје као посљедица транслаторног кретања Земље око Сунца, или ротације Земље и ограничене брзине свјетлости.

## Режим скенирања

У режиму скенирања огледало осцилује на око 7 [Hz]. За калибрацију огледало скенирања ротира за 180 степени. Огледало је дизајнирано тако да у једном тренутку врши калибрацију само једног дијела, не види остатак хладног простора. Обезбјеђен је и објекат за електричну калибрацију.

Један од изазова са којим се суочава АСТЕР тим јесте да се прије лета и пуштања система у рад, утврди да ли ће уграђени елементи и начин функционисања система омогућити квалитетну топлоту тачне радиометрије. ТИР систем може да врши испоручење корисних информација и дању и ноћу. Просторна резолуција термалних опсега је најчешће мања од осталих. Код Landsat платформе је 120 м, код АСТЕР 90 м. Разлог томе јесте да ће одговарајућом комбинацијом пиксел показати топлијим од осталих, ако је захваћен са само 10-ак посто од укупне површине пиксела.

### 3.3 „IR” Термографија

Ово је бесконтактна метода мјерења температуре и њене расподјеле на површини тијела [3]. Заснива се на мјерењу интензитета термалног инфрацрвеног зрачења с посматране површине. Резултат овог мјерења је термограм, који обично у сивим тоновима приказује температурне расподјеле посматраног објекта. Термографске камере опажају зрачење у инфрацрвеном појасу електромагнетног спектра и стварају снимке тог зрачења, који се називају термограми. Пошто зрачење емитују сва тијела, зависно о њиховој температури, термографија омогућава гледање околине без видљивог освјетљења. Топли предмети се добро истичу у односу на хладнију позадину. Људи и друга топла тијела постају лако видљиви у односу на околину, дању и ноћу. Управо наведене особине омогућују велику примјену ових уређаја.

Да би се температура уопште могла мјерити, потребна је нека информација о температури. Када се говори о тој информацији, она је садржана у физичком закону према којем сва тијела емитују енергију [6]:

$$W = f(\varepsilon, T),$$

гдје је:  $\varepsilon$  - коефицијент способности емисије, а зависи од хемијског састава материјала,  
 $T$  - је температура у °К

На температури апсолутне нуле од 0°К нема зрачења енергије и она одговара температури од -273.3 °С. Овако ниске температуре се налазе далеко у свемиру, па се може рећи да све што нас окружује одашиље енергију у облику топлоте (електромагнетних таласа). Да људско око примјећује све таласне дужине, укључујући и ИЦ спектар, били бисмо заслијепљени енергијом (обзиром да сва тијела емитују енергију). Из овог слиједи да ИЦ сензори служе да конвертују слику из невидљивог подручја (за људско око) у видљиву слику.

ИЦ мјерења се могу подијелити у двије групе: квалитативна и квантитативна.

Квантитативна анализа захтијева одређивање стварних вриједности температуре посматраног објекта. Осим квантитативне анализе термограма могуће је извршити и квалитативну анализу. Ова анализа се врши ако кориснику нису битне тачне нумеричке вриједности температура на појединим сегментима посматраног објекта. Код оваквих анализа пожељно је и одређено искуство оператера. Данашњи уређаји за детекцију ИЦ зрачења сврставају се у две категорије: оне за мјерење температуре (радиометрија) и оне за снимање расподеле температуре на површини објекта.

**Основни дијелови инфрацрвене камере су [4]:**

- објектив (сакупља зрачење), филтер (пропушта зрачење одређене таласне дужине), детектор (очитава зрачење и преводи га у електронски облик) и монитор (приказује слику - термограм).

Топлота коју површина објекта зрачи пролази кроз атмосферу, преко објектива камере стиже на детектор, гдје се преводи у електрични сигнал, који се приказује на екрану у боји.

### 3.3 Изотерме

Изотерме или еквитерме код термограма представљају еквивалент изохипсама код географских мапа. То су линије које повезују тачке са истом температуром на термограму. Помоћу њих се лакше прате градијенти температуре, а самим тим и брзина ширења топлоте у одређеном правцу. Што се температура брже шири кроз материјал, то ће еквитерме бити гушће.

#### Разлика између инфрацрвеног филма и термографије

Инфрацрвени филм је осјетљив на инфрацрвено зрачење између 250 [°C] и 500 [°C], док је распон термографа од -50 [°C] до преко 2000 [°C].

Предности термографије	Ограничења и мане
Приказује видљиву слику тако да се могу упоредити температуре на великој површини.	Снимци се тешко интерпретирају када се ради о објектима са хомогеним температурама.
Способна је хватати мете у покрету у реалном времену.	Термалне камере су скупе.
Може се користити на неприступачним и опасним мјестима.	Директно могу опажати само површинску температуру.
Може се такође користити за бољи вид у мрачним просторијама.	Већина камера има $\pm 2\%$ прецизност.

**Табела 3.2.1** Предности и мане термографије

### 3.4 Програмска подршка

Већина комерцијалних програма за приказ и обраду термограма посједује функције за рад са еквитермама. Међутим, како је резолуција термограма лоша, еквитерме су непрецизне. Ниједан од њих не омогућава детаљну анализу термичке слике, већ дају само њене основне карактеристике, као што су минимална и максимална температура, сјенчење дијела термограма за задати температурни опсег и сличне анализе.

Да би се приказале векторске еквитерме или генерисао 3Д приказ термограма потребно је користити сложенији математички алат, попут „MATLAB-а“. У овом програму слике у боји су представљене матрицама, по једна за сваку основну боју. У програмски пакет „MATLAB“, слика у „BMP“ формату учитава се директно у три матрице („R, G и B“ које чине компоненте слике). Затим се врши конверзија овог приказа у верзију колориметријског система „UVW“. Сјајност боје је сада у вектору опсега од 0-255 нијанси. На основу овог вектора генерише се приказ термовизијске слике у три димензије. Досадашња истраживања су показала да је најефективније приказивање еквитерми у виду затворене криве линије занемарљиве дебљине. Оваква линија би се могла интерполовати кроз тачке исте температуре, али настаје проблем ако су те тачке регион. У том случају код програмског пакета „MATLAB“ се може примјенити метода која се састоји од генерисања 3Д приказа слике, његове интерполације, а затим налажења еквитерми као пресјека новонастале фигуре и равни које су паралелне са „xOy“ равни. Добијене криве су погодне за визуелну анализу термограма, а њихова боја означава на коју се температуру односи. Могућа је и даља аналитичка обрада еквитерми, с обзиром да су оне у „MATLAB-у“, заправо вектори.

Дводимензионалне слике генерисане ИР камером могу се повезати са 3Д ГИС базом података. Могућа је и даља анализа укључујући информације и о геометрији објекта.

Директно геореференцирање фотографије неког дијела објекта могуће је извести употребом инерцијалног навигционог система (INS) и „GPS“. У том циљу, укључујући камеру, систем „GPS/INS“ мора бити калибрисан. Овдје треба водити рачуна о елементима унутрашње орјентације слике и елиминисања дисторзије.

Још један од коришћених софтвера за термограма јесте „ThermaCAM Researcher 2002“.

#### 4. Примјена термални сензора

Термални подаци се често комбинују са другим таласним дужинама, како би се што боље разумио посматрани објекат. Ови подаци имају велик потенцијал за различита истраживања, и временом се област примјене проширује.

Нека од подручја у којима се примјењују термални подаци су:

- хидрологија, температура воде,
- студије влажности тла,
- шумски пожари (детаљније ће бити објашњено),
- вулканске ерупције,
- метеорологија,
- медицина,
- војна примјена,
- губитак топлоте из зграде

Посебно важна примјена огледа се у раној детекцији шумских пожара, нарочито на заштићеним подручјима. Врло је погодан за велике шумске комплексе. Основно ограничење ове примјене јесте темпорална резолуција (податак о томе колико често сензор прикупља податке са датог подручја). Поред детекције шумских пожара, у даљем наставку рада детаљније ће бити објашњена и примјена у метеорологији.

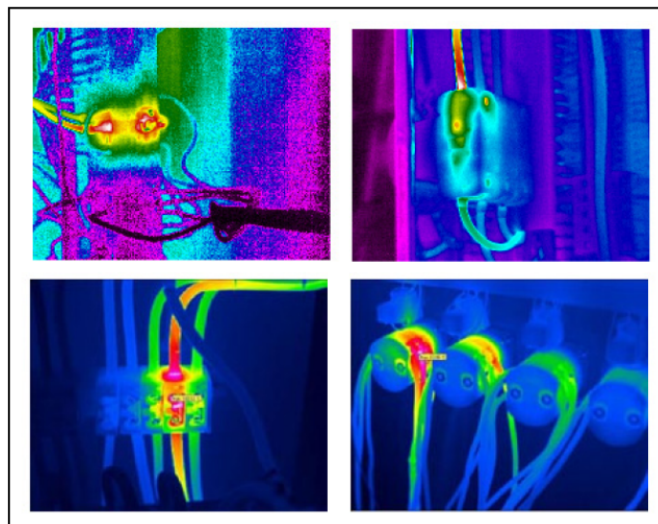
Код индустријских постројења, да би остварили циљеве производње, погони често раде без застоја. Како би се избјегли скупи кварови, који најчешће настају услед прегријавања појединих дијелова као и непредвиђено изгубљено вријеме, као превенција се користе термални сензори. Велика предност у овом начину откривања проблема огледа се у томе да људско око не може да детектује све те промјене, а овдје се јасно уочавају, без обзира да ли се ради о високонапонској опреми, разводним ормарима, моторима, пумпама или термалним губицима.

Када се у овако великим постројењима не би користиле ове превентивне мјере, често би осим губитака у производњи могле да избију и веће хаварије, попут пожара. Па се у неким случајевима топлота може подићи до те вриједности да се конектори и прикључци почињу топити, и појављују се искре које узрокују настанак ватре. Овдје треба нагласити да осим штете која је већ наведена може доћи и до људских жртава, тако да не треба занемарити све неопходне превентивне мјере.

Термографски сензори имају велику примјену. У наставку је наведена примјена у појединим областима попут: енергетике, електронике, машинства, грађевине, медицине, заштите околине.

#### 4.1 Енергетика и електротехника

Термографски уређаји се користе при контроли опреме: ниског, средњег и високог напона, те дистрибутивних, напојних и енергетских трансформатора. Појава загријавања у многим случајевима указује на новонастали квар. Велика предност термографских сензора јесте испитивање и мјерења док су електрични системи под напоном.



*Слика 4.1.1* Примјер употребе термографије у енергетици

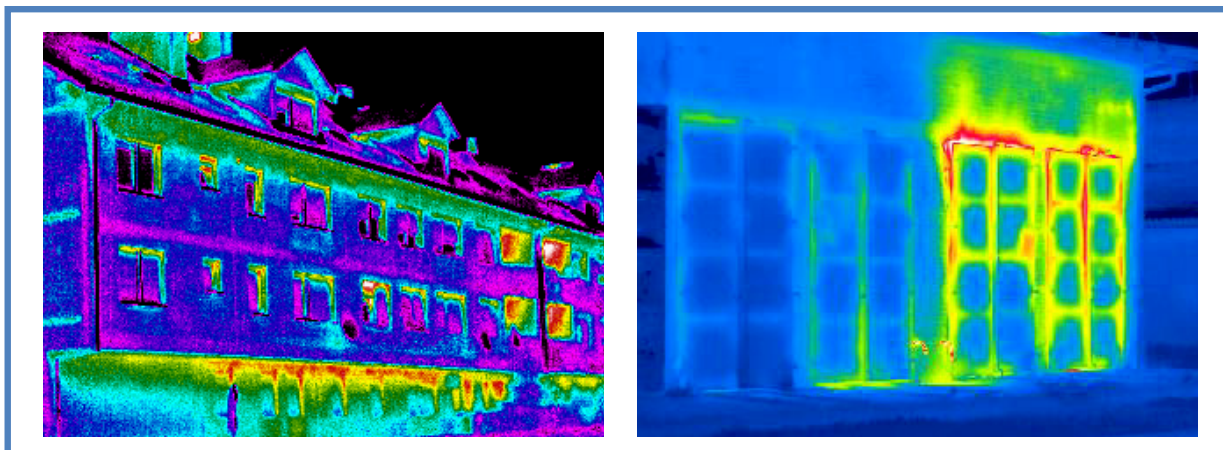
Када се говори о области машинства, термографски подаци могу бити непроцјенјив извор информација. Када се механичке компоненте истроше оне постају мање учинковите и температура почне да се повећава. Истощен лежај ће се јасно уочити на инфрацрвеном запису, па се његовом замјеном постиже уредно оперативно стање. Поред ове примјене, осигурава се и прецизна анализа при одржавању пећи, управљању ватросталним губицима и слично. Овим начином могу се открити и зачепљења цијеве.

**Важна напомена јесте да термалне камере имају способност мјерења температура и преко 2000 [°C].** Ова особина омогућује велику примјену у свим областима.

#### 4.2 Грађевинарство

У новије вријеме све више се обраћа пажња на енергетску ефикасност. Као главни циљ има трајно смањење енергетских потреба при пројектовању, изградњи и коришћењу нових објеката (нарочито зграда). Примјеном термалних сензора могу се врло брзо и једноставно препознати недостаци топлотне изолације, открити узроци и предложити рјешења санације. У развијеним земљама тенденција је све веће контроле и обавезног прилога термографских снимака приликом примопредаје објеката, као и у редовном надзору и одржавању објеката. Неке досадашње анализе показују да се уштеда енергетске ефикасности креће у распону од 50 – 80 [%].





**Слика 4.2.1** Лоша изолација, долази до кондензације и влажења

Препорука је да се користе термографски уређаји у зградарству са следећим карактеристикама [6]:

- мјерно подручје – 20 °C do + 80 °C
- подручје рада – 10 °C do + 40 °C
- температурна осјетљивост < 0,1 K
- резолуција камере > 320 x 240
- спектрално подручје 8 μm – 14 μm
- временски одзив < 1 s
- апсолутна тачност < ± 2 °C

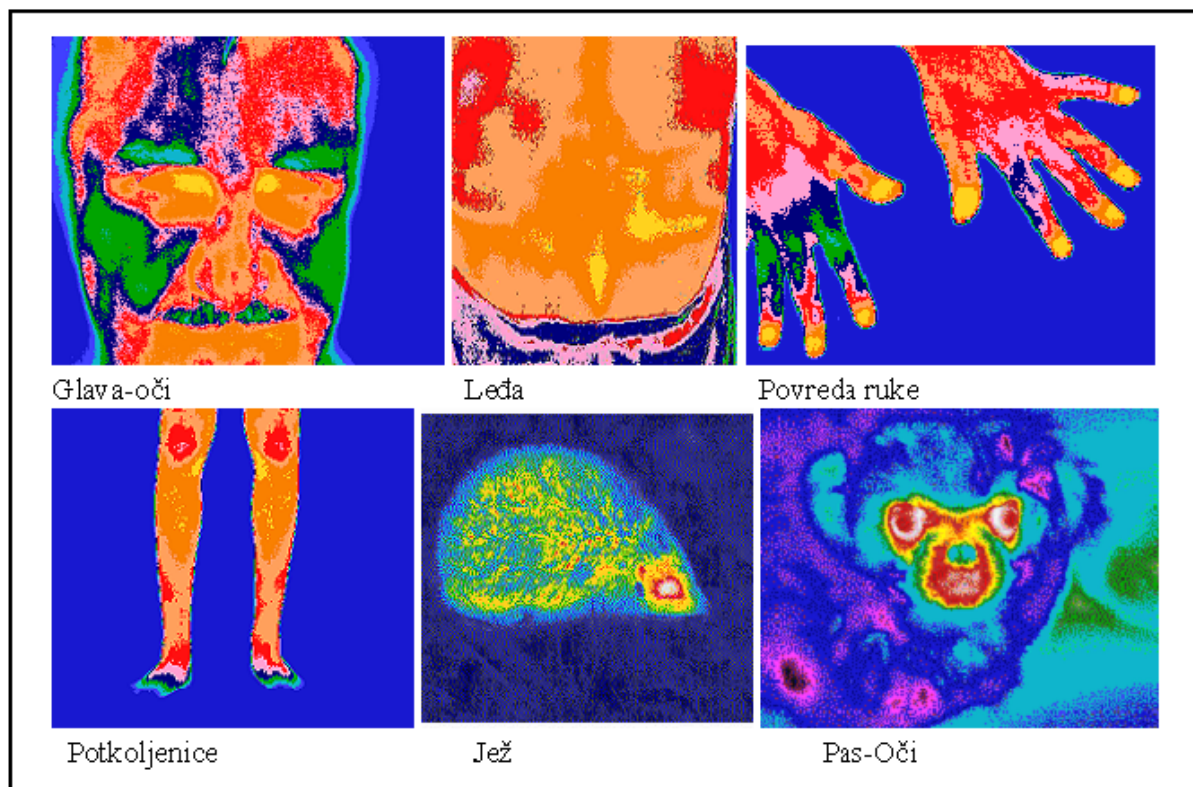
### 4.3 Заштита околине

Проблем околине у погледу енергетске ефикасности све више се глобализује. То произилази из чињенице да се смањење негативних посљедица, изазваних нерационалним искоришћењем енергије може смањити једино дјеловањем свих земаља. За очекивати је да ће енергенти у будућности бити све скупљи, и да ће се увести разне мјере, како по питању испуштања CO<sub>2</sub> у ваздух, тако и других начина загађења и глобалног загријавања планете. Велика концентрација CO<sub>2</sub>, због ефекта стаклене баште, значајно утиче на глобално загријавање. Та посљедица одавно је уочена и већ од 1992. године потписивањем UNFCCC (UN Framework convention on climate change), ради се на ублажавању човјековог утицаја на промјену климе.

Често се користи и **термовизија**. То је примјена „IC“ термографије, када није неопходно исказати саму вриједност температуре, већ се за циљ има приказ „IC“ слике. Нарочито се примјењује у војсци, полицији, ватрогасним постројењима. Термовизијом се прате пожари, особе заробљене у пожаром захваћеном објекту, контролира се сигурност државних граница и објеката.

#### 4.4 Медицина и ветерина

У области медицине и ветерине примјена термалних камера користи се још од 70их година прошлог вијека. Тада је откривено да се уз помоћ ове технике могу дијагностиковати тумори дојка, циста меких ткива, болести срца и сличне болести. Нарочито велику примјену поприма са развојем рачунара и пратећих софтверских програма, па се примјењује и код: процјене дебљине опекотина, у кардиохирургији (зацепљење вена), процјени здравља десни у стоматологији, синдрома напрезања код спортиста, као и у хирургији.



Слика 4.4.1 Примјена термалних камера у медицини и ветерини

#### 4.5 Термална даљинска истраживања температуре воде

Уз помоћ термалног зрачења може да се измјери и температура воде, користећи опсег таласних дужина од 3 – 5 и 8 – 14 [ $\mu\text{m}$ ]. Фактори који утичу на могућност мјерења температуре воде су: могућност емисије, атмосферска абсорпција, рефлексија и особине подлоге.

Атмосферски ефекти могу бити кориговани у зависности од садржаја водене паре, заједно са путањом циљног сензора. Емитована радијација шаље информације о температури са саме водене површине као и рефлектовану радијацију са ближе околине.

## 5. Препознавање конвективних облака на снимцима

### 5.1 Конвекција

Пренос топлоте или масе конвекцијом је појава до које долази када флуид (течност или гас) размењују топлоту (масу) унутар самог себе, простим мијешањем (конвекцијом) материје.

Основне претпоставке на којима се темељи алгоритам за препознавање конвективних облака су следеће [2]:

- конвективне станице на сателитској слици су округлог или елиптичног облика,
- конвективни облаци се разликују од своје околине по томе што су видљиво хладнији (температура на врху облака за одређени је износ нижа од темепературе околних пиксела),
- постоји ограничен распон температура и димензија које конвективни облаци могу примити тако да готово све конвективне станице могу бити препознате прегледавањем слика коначан број пута с различитим улазним параметрима.

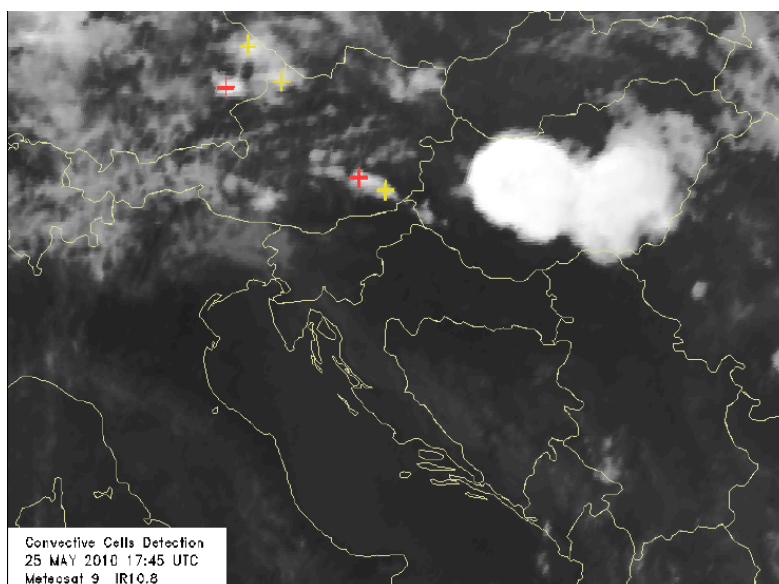
На примјер у хидрометеоролошком заводу за изучавања често се користи комбинација канала 0.6, 1.6 и 10.8 [ $\mu\text{m}$ ], како би се добиле што боље анализе и закључци. Тиме је омогућено препознавање различитих типова облака и разликовање облака од снијега на површини Земље.

Дакле, алгоритам се темељи на препознавању структура чија је температура нижа од заданог прага, а облик округао или елиптичан. Услов кружног или елиптичног облика представљен је како би се озбјегла погрешка препознавања фронталних система или већих подручја високих ледених облака (цируса) као конвекције.

Проблеми код ових алгоритама се најчешће јављају код великих конвективних станица. Алгоритам је осмишљен тако да за коначан број удаљености од најхладније тачке претражује околне пикселе, тражећи оне чија је температура за одређену вриједност виша од централне температуре. Тако да у случају великих конвективних станица алгоритам ће „потрошити“ сва претраживања у круг, прије него наиђе на пикселе који су довољно топлији од средине, па такав систем неће препознати као конвективну станицу. С друге стране, **цируси**<sup>2</sup> у неким ситуацијама бивају препознати као конвективни облаци, а понекад и читава фронтални системи или магла.

---

<sup>2</sup> **Цирус** (лат. *cirrus* — прамен) је врста високих облака. Настају смрзавањем водене паре и њиховим преласком у ледене кристале. Састоје се од крупних кристала леда. Цируси имају њежну влакнасту структуру, бијеле су боје и свиластог сјаја, не праве сјенку на Земљи



**Слика 5.1.1** Метеосат 9, сателитска слика у каналу 10,8 [ $\mu\text{m}$ ]. Крстићима су означене конвекционе станице које су аутоматски препознате, а највећи конвективни систем (изнад Мађарске) алгоритам није пронашао

Одговарајуће провјере и верификација су показале да постоје бројни проблеми када се у алгоритмима за конвекцију користе само подаци у једном спектралном подручју, у овом случају канал 10.8 [ $\mu\text{m}$ ]. Битно је нагласити да се код већине истраживања и алгоритама све ћешће се користе комбинације више канала. Па се често и термални канали комбинују са другима из широког спектра.

## 5.2 Примјена соларних канала

**Канал 1.6 [ $\mu\text{m}$ ]** примарно је уведен због лакшег препознавања снијега и леда на тлу или мору, затим разликовања облака од снијега и леда те разликовања ледених од водених површина. Разлог је јача апсорпција у леденим кристалићима и тиме мање рефлексиивност у овом каналу.

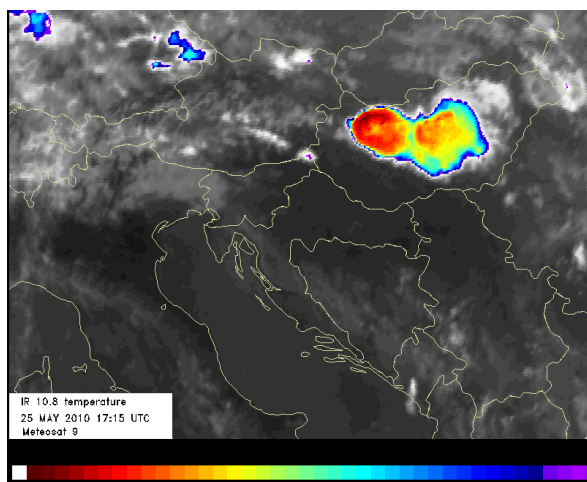
**Канал 3.9 [ $\mu\text{m}$ ]** има сличне особине каналу 1.6 [ $\mu\text{m}$ ]. Овај канал примарно је намјењен за препознавање ниских облака и магле ноћу, те проналажењу врућих тачака везаних за пожаре, али и код препознавања конвективних облака.

У наведеним каналима, лед се апсорбује јаче (двоструко више) од воде. С обзиром на ту особину оба канала су једнако погодна за разликовање водених од ледених облака. Укупно зрачење у подручја 3.9 [ $\mu\text{m}$ ] првенствено долази с врха облака и мање је присутно зрачење са Земље, док у подручју 1.6 [ $\mu\text{m}$ ] дио зрачења долази из нижих дијелова облака, па чак и са површине испод облака. Што је капљица већа рефлексија ће бити мања.

Пошто конвективни облаци имају велик садржај воде и најчешће имају на врху ледене кристалиће, ако би се посматрала са једним спектралним подручјем наишли би на бројне проблеме. Ако се посматра само канал 0,6 [μm], поред конвективних облака, велики алbedo имају и сви други густе водени облаци, магла и *стратус*<sup>3</sup>, па би се тешко препознали потенцијално опасни конвективни облаци. С друге стране ако би се у разматрање узео само канал 3.9 [μm], код кога конвективни облаци имају малу рефлексију, и када би се тај критеријум узео у обзир, тада би сва подручја са малом рефлексијом била препозната као конвекција. Па се из наведеног намеће комбиновање више канала.

Досадашње анализе и истраживања показала су да је јача рефлексија врхова конвективних станица који се формирају изнад планина или висоравни. Такође је повећана рефлексија у условима сразмјерно сувог атмосферског граничног слоја, великог вертикалног смицања вјетра и мале удаљености од базе облака до нивоа смрзавања. Из претходног се може закључити да рефлектована вриједност у каналу 3.9 [μm], може дати информације о структури конвективног облака и услова у којима је настао.

Подручја жуте и црвене боје представљају нестабилни и врло нестабилну атмосферу (Слика 5.1.2). Температура зрака на врху облака на мјестима је нижа од -70 [°C] (тамно црвена боја).



Потенцијално нестабилна мјеста атмосфере настају када се у горњим слојевима налази сув, а у доњим топлији и влажнији ваздух. Ако желимо добити информацију о просторној нестабилности потребно је располагати са спектралним опсезима који дају информације о садржају воде у атмосфери, (канал 7.3 [μm]).

Слика 5.1.2 „Нестабилна“ мјеста у атмосфери

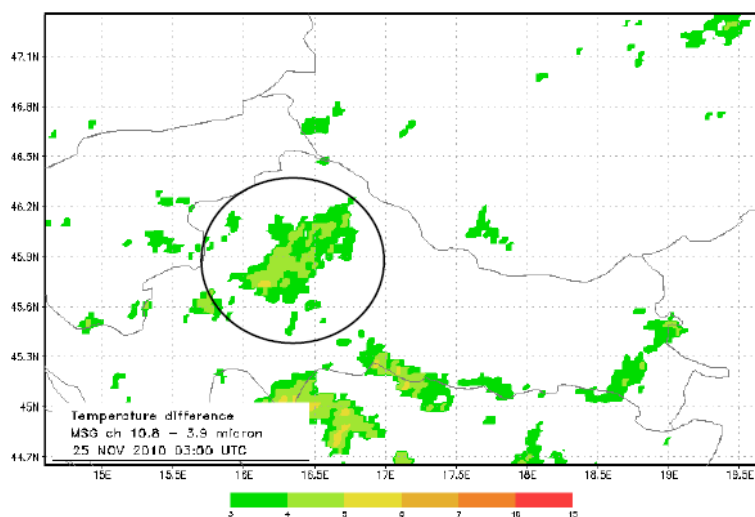
Анализа се обично заснива на поређењу температура сваког пиксела у појединачном каналу, тј. проналажењем разлике.

<sup>3</sup> *Стратус* (лат. *stratus* — слој) је врста ниских облака. Настају од водених капљица на додиру хладних и топлих ваздушних маса, због утицаја радијације. Састоје се од уједначених слојева без прецизно одређених контура. Веома су слични магли и најчешће покривају цијело небо. Развијају се на висини од 200—700 метара.

## 6. Препознавање магле и ниских облака

Према дефиницији Свјетске метеоролошке организације (WMO) магла је распршење ситних капљица воде у зраку, које смањују видљивост на мање од 1 км. Тешко ју је прогнозирати, а може имати нежељене друштвено-економске посљедице. Ниски облаци и смањена видљивост чест су узрок саобраћајних несрећа на копну, води и ваздуху.

Изнад Европе, прије појаве „MSG“ сателита, магла се препознавала са спектралним подручјем „NOAA“ сателита (неколико пута у току дана). Када се погледају канали у којима мјери инструмент „SEVIRI“, показује се да током ноћи магла може бити детектована једино коришћењем података са канала 3.9 [μm]. У каналу 10.7 [μm], магла није препознатљива, јер на њену температуру утиче и температура околног тла. Разлика у ова два канала даје најјаснији приказ магле. Помоћу ове разлике може се одредити да ли се детектована магла при површини Земље, која значајно смањује видљивост, или се ради о уздигнутој магли.



Ако је разлика између температуре 10.8 [μm] и површинске температуре измјерене у станицама мања од 4 K, у подручју гдје је на сателитским снимцима препознатљива магла/стратус, тада је велика вјероватноћа да се ради о магли.

**Слика 6.1** Разлика температура у каналима 10.8 и 3.9 [μm] указује на могућу маглу

### 6.1 Препознавање магле дању

Када се врши детекција по дану, у алгоритам за детекцију магле се могу уврстити и соларни канали. У соларним каналима до изражаја долази велики алbedo<sup>4</sup>, који има магла као густ водени облак. Осим тога магла на сликама у соларном дијелу спектра има глатку текстуру и оштре рубове, па се лако разликује од других водених облака и од површине Земље.

У препознавању магле помаже и низ узастопних слика, из којих се може уочити да се магла спорије развија од облака. Комбинација једног видљивог канала даје информације о фази и величини честица.

<sup>4</sup> **Алbedo** је мера рефлективности површине или тијела. Представља однос одбијеног електромагнетног зрачења и онога које пада на тијело.

## 7. Откривање пожара

Пожар представља неконтролисано сагоријевање материја, приликом чега су угрожени ресурси попут материјалног добра, људски животи, животна средина или само један од њих.

За процес сагоријевања потребна су три основна услова која морају бити испуњена, то су:

- ❖ Запаљива / сагорива материја,
- ❖ неометан приступ кисеоника и
- ❖ достигнута потребна температура запаљиве материје.

Уколико недостаје било који члан од три набројана неће бити сагоријевања.

Шумски пожари годишње направе велику штету и потпуно униште неколико стотина милиона хектара шума и друге вегетације широм свијета. Често пожари са собом носе и жртве, па је од велике важности привремено откривање и гашење пожара. Честа примјена даљинске детекције управо се огледа у раном откривању шумских пожара. У ове сврхе на глобалном нивоу се користе подаци са платформи „NOAA“ и „METOP“, са великом просторном резолуцијом. Нарочито корисним показали су се и „MODIS“ подаци са просторном резолуцијом 250 м. Важна особина сателитских платформи које се користе у ове сврхе, јесте и темпорална резолуција. „NOAA“ и „METOP“ сателити посјете наше подручје 2-3 пута дневно. У вријеме када нема прелета сателита једнини расположиви подаци су са геостационарних орбита, попут „MSG“ сателита (Meteosat 8, 9). Недостатак геостационарне орбите је велика просторна резолуција, која на подручју изнад Екватора износи 3 км и смањује се са повећањем географске ширине. Предност је стално присуство сателита изнад подручја, и временски размак од само 15 минута између два сукцесивна снимка.



Кључни канал за детекцију шумских пожара јесте канал таласне дужине 3.9 [μm], који омогућава препознавање врућих тачака, које представљају пожаре.

**Слика 7.1** Русија, далеки исток, 8 октобар 2011,

*Spectroradiometer (MODIS), Aqua сателит, извор NASA*

### 7.1 Особине канала 3.9 [μm]

Према „Wien-ovom“ закону помјерања, што је објекат топлији то је краћа таласна дужина на којој емитује већину свог зрачења. Максимална таласна дужина зрачења се рачуна по формули:

$$\lambda = k \cdot T^{-1}$$

гдје је:  $T$  – температура **црног тијела**<sup>5</sup>,

$k$  - константа пропорционалности која износи 2897.9 [μmK]

Пожари вегетације углавном развију температуру у распону 500 – 1000 К. Из „Wien-ovog“ закона се може закључити да максимална таласна дужина зрачења тијела температуре око 750 [K] износи 4 [μm]. Из овог се потвђује чињеница да је канал 3.9 најбољи за детекцију шумских пожара. Овај канал је изузетно осјетљив на промјене температуре. Омогућује детекцију врућих подручја чија је површина много мања од оне коју обухвата пиксел на слици [Kerkmann i sur., 2004]. Температура пиксела се не рачуна тако да се сумирају температуре појединих дијелова пиксела, већ се сумира зрачење. Довољно је да је око 5 % пиксела захваћено температуром од 500 [K] па да температура цијелог пиксела у каналу 3.9 [μm] буде 360 [K], док ће у истим условима температура пиксела у каналу 10.8 [μm] бити мања од 320 [K]. Та особина омогућава препознавање и врло малих пожара.

### 7.2 Алгоритми за детекцију пожара

У пракси се користи неколико алгоритама за детекцију пожара. Ови алгоритми осим температуре у подручју 3.9 [μm], укључују и температуру у подручју 10.8 [μm], те њихове стандардне девијације. Ако је цијели пиксел захваћен пожаром тада ће температура у каналу 10.8 [μm] детектовати пожар. У анализама се канал 3.9 [μm] приказује у црвеном дијелу спектра, канал 0.8 [μm] у зеленом и канал 0.6 [μm] у плавом. У овој комбинацији подручја високе температуре су црвене боје, копно је у зелено-смеђим нијансама, вода црна а облаци плави.

Анализом само канала 3.9 [μm] добија се податак о свим врућим тачкама, али многе од њих нису везане за пожаре. Да би се искључиле тачке у којима је температура висока из неког другог разлога, а не због присуства пожара, уводи се разлика температуре између канала 3.9 [μm] и 10.8 [μm]. Најчешћу препреку због које се не може уочити пожар представљају облаци изнад пожаришта. Такође, вриједности температуре у каналу 3.9 [μm] зависе и од доба дана. У неким од досадашњих анализа примјећено је да су током сумрака и ноћи тешко уочљиви и већи пожари. Претпоставка је и да код мањих пожара велику улогу има температура којом гори супстанца, јер то битно мијења укупну температуру пиксела.

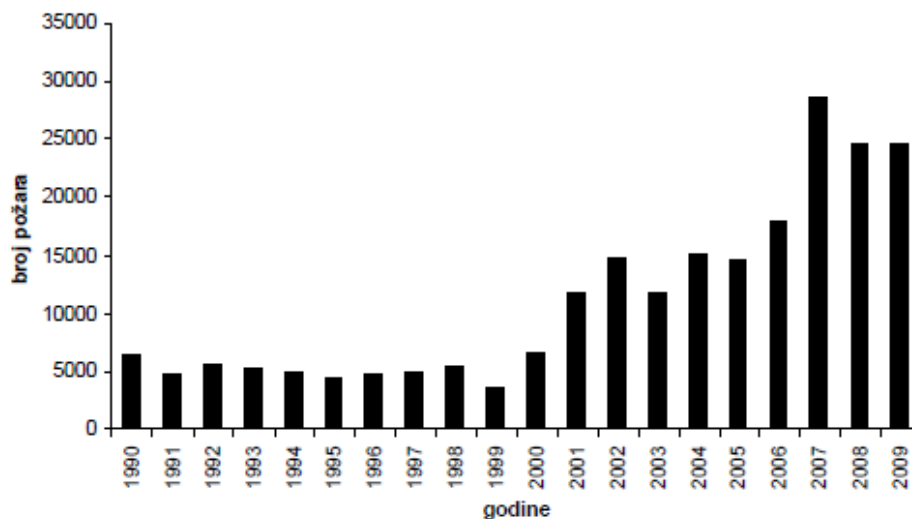
---

<sup>5</sup> **Црно тијело** - је идеалан физички систем чија је особина да упија сво електромагнетно зрачење које падне на његову површину - идеалан апсорбер



### 7.3 Пожари у Србији

У периоду од 1990 – 2009 у Србији се десило око 200.000 пожара. Укупан број пожара и експлозија повећан је 2007. године, када су избили бројни пожари на отвореном простору, углавном на неприступачним мјестима. Међутим врло је значајно да у овим пожарима није било погинулих лица.



**Графикон 7.2.1** Број пожара по годинама у периоду 1990-2003 године у Србији  
(Извор (С.Живковић и др. 2010))

Према досадашњим подацима највећи број пожара се дешава у марту и августу мјесецу. Висине штете пожара који се дешавају ноћу су двоструко веће од оних које се дешавају дању.

Основни узрочници пожара су људски нехат и непажња, који се у годишњим статистикама ријетко спушта испод 80 %.

## 8. Закључак

Термални сензори имају велику примјену. У раду су обрађене неке области примјене, али треба нагласити да се та област стално проширује. Од области које такође користе предности ових сензора а нису објашњене у овом раду, је свакако војна примјена.

Када је проблематика рано препознавање конвективних облака, велик потенцијал има коришћење слика у инфрацрвеном дијелу спектра, код којих је откривање конвекције везано уз температуру врхова облака. Међутим, само ова метода у неким ситуацијама не даје довољно прецизна рјешења. Због тога је у методу раног откривања конвективних облака пожељно укључити соларне канале од којих се најважнијим показао канал 3.9 [ $\mu\text{m}$ ], због особина разликовања воде у облаку као и величина честица врхова облака. Код разматрања разлике рефлектованих компоненти треба узети у обзир и сијенку, коју стварају врхови конвективних облака. Сијенка може значајно смањити вриједност рефлексије у каналу 3.9 [ $\mu\text{m}$ ]. Најактивнији дио облака је онај у коме је разлика рефлектованих канала 0.6 и 3.9 [ $\mu\text{m}$ ] између 60 и 80 [%].

Праћењем промјена у временском интервалу, могу се одредити фазе развоја и на тај начин препознати потенцијално опасне облаке. Такође рачунањем брзине и правца њиховог кретања, може се прогноzirати и очекиван положај у неком наредном периоду.

Када су у питању пожари, може се закључити да је највећи узрочник пожара људски нехат и непажња. Па би требало подићи људску свијест у том циљу. И поред свега врло је битно рано откривање и детекција пожара, како би била што мања материјална штета. Са аспекта сателитских платформи детекција пожара је могућа на отвореном подручју, попут шумских комплекса и слично. Досадашње анализе су показале да највећи проблем у детекцији пожара сателитским сензорима представља магла и облаци. Па се у алгоритмима за детекцију врућих тачака, прије детекције треба примјенити маска облака. Треба водити рачуна о систематским грешкама које се могу јавити на каменитим подручјима као и на мјестима суве запечене Земље. Такође, треба водити рачуна о препознавање пожара у вријеме сумрака и зоре кад се вриједности рефлексије у каналу 3.9 [ $\mu\text{m}$ ] нагло мијењају.

Уз све наведено треба имати на уму и анализе глобалног загријавања, које су од виталне важности за човјечанство у будућности.

## 9. Литература

- [1] Principles Of Remote Sensing; Klaus Tempfli, Norman Kerle, Gerrit C. Huurneman, Lucas L. F. Janssen  
[http://www.itc.nl/library/papers\\_2009/general/principlesremotesensing.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2009/general/principlesremotesensing.pdf)
- [2] Препознавање конвективних облака, магле и ниских облака те лоцирање шумских пожара мултиспектралном анализом сателитских снимака; *Наташа Стрелец Маховић, Загреб 2011*  
[http://bib.irb.hr/datoteka/505394.Strelec\\_Mahovic\\_Disertacija.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/505394.Strelec_Mahovic_Disertacija.pdf)
- [3] Savremene metode određivanja energetskih gubitaka objekata; *Toša Ninkov, Vladimir Bulatović, Milivoj Vulić*  
<http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/EnEfikasnost/Neke%20metode%20detekcije%20energetskih%20gubitaka%20objekata.pdf>
- [4] Примена ИР камера у индустријским апликацијама; група аутора: Зоран Сушић, Тоша Нинков, Владимир Булатовић, Дејан Васић; ФТН, Нови Сад  
<http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/EnEfikasnost/Primena%20IR%20kamera%20u%20industrijskim%20aplikacijama.pdf>
- [5] Remote Sensing of the Environment; John R. Jensen (2007) Second Edition Pearson Prentice Hall  
[http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/06\\_thermal\\_rs.pdf](http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/06_thermal_rs.pdf)
- [6] Термографија у зградарству - примјери детекције различитих типова грејака; *Срећко ШВАЏ, Ivanka BORAS i Mirela SUŠA*  
<http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fhrcak.srce.hr%2Ffile%2F77590&ei=Zdt8U9q1E-7CygP1k4FA&usq=AFOjCNEXwB7WiJUaM3L8zMem7w9sVAYkmQ&bvm=bv.67229260,d.bGO>
- [6] Инфрацрвена термографија (термовизија) прави избор за редовно одржавање; *Креšimir Petrović*  
<http://www.odrzavanje.unze.ba/zbornici/2010/047-O10-056.pdf>

### Попис Линкова

<http://gf-sa.com/clanci/SeminarSKI-rad-TERMALNA-DALJINSKA-ISTRA%C5%BDIVANJA-Haris-Ruznic.pdf>

<http://aliquantum.rs/wp-content/uploads/2012/02/Skripta-ispitnih-pitanja.pdf>

<http://www.termovizija.com/download/NEC%20Avio%20mesta%20primena%20termovizije%20srpski.pdf>

<http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>

<http://www.noaa.gov/>

<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>

[http://www.old.med.bg.ac.rs/dloads/nastavni\\_biofizika/emspektrar\\_5.pdf](http://www.old.med.bg.ac.rs/dloads/nastavni_biofizika/emspektrar_5.pdf)

<http://www.pfri.uniri.hr/~bonato/Fiz-pomorski=moderna.pdf>

[http://geography.tamu.edu/class/aklein/geog661/lecture\\_notes/lecture03/lecture03.pdf](http://geography.tamu.edu/class/aklein/geog661/lecture_notes/lecture03/lecture03.pdf)

## СПИСАК СЛИКА

Ознака слике	Назив	Страна
Слика 2.1	<i>Региони и називи таласних дужина електромагнетног зрачења</i>	6
Слика 2.2	<i>Елементи који утичу на температуру зрачења</i>	6
Слика 2.1.1	<i>Термална камера</i>	7
Слика 2.1.2	<i>Авионска платформа</i>	7
Слика 2.1.3	<i>Сателитска платформа Л7 ЕТМ+</i>	7
Слика 2.2.1.1	<i>Различите сателитске платформе</i>	8
Слика 2.2.2.1	<i>НОАА</i>	8
Слика 3.1.1	<i>Електромагнетни спектар</i>	10
Слика 3.1.2	<i>Температура мора у распону 23-29</i>	10
Слика 3.1.3	<i>Свијетли пиксели у јутарњим часовима - указују на пожар ASTER, Band 10, China</i>	10
Слика 3.2.1	<i>ASTER / NASA (<a href="http://asterweb.jpl.nasa.gov/tir.asp">http://asterweb.jpl.nasa.gov/tir.asp</a>)</i>	11
Слика 4.2.1	<i>Примјер употребе термографије у енергетици</i>	16
Слика 4.2.2	<i>Лоша изолација, долази до кондензације и влажења</i>	17
Слика 4.4.1	<i>Примјена термалних камера у медицини и ветерини</i>	18
Слика 5.1.1	<i>Метеосат 9, сателитска слика у каналу 10,8 [μm]. Крстићима су означене конвекционе станице које су аутоматски препознате, а највећи конвективни систем (изнад Мађарске) алгоритам није пронашао</i>	20
Слика 5.1.2	<i>„Нестабилна“ мјеста у атмосфери</i>	21
Слика 6.1	<i>Разлика температура у каналима 10.8 и 3.9 [μm] указује на могућу маглу</i>	22
Слика 7.1	<i>Русија, далеки исток, 8 октобар 2011, Spectroradiometer (MODIS), Aqua сателит, извор NASA</i>	23