

Fire Weather Index (FWI) i njegova primjena u procjeni potencijalne ugroženosti šuma od požara



Pula, 18.travnja 2012. godine

Sadržaj prezentacije:

Šumski požari

FWI

povijest razvoja

komponente FWI-a (FFMC, DMC, DC, ISI, BUI)

proračuni i formule

Požarna opasnost i GIS

Primjer iz prakse – otok Rab

ulazni podaci

metoda rada

dinamička karta FWI

**Šume i šumska zemljišta zauzimaju površinu od 2.688.687 ha ili 47% kopnenog područja RH
2.106. 917 ha u vlasništvu RH**

Funkcija šume:

- gospodarska**
- općekorisne (zaštita tla od erozije vodom i vjetrom, pročišćavanje vode i zraka, utjecaj na ljepotu krajobraza, stvaranje povoljnih uvjeta za ljudsko zdravlje, utjecaj na klimu i poljodjelsko djelatnost, očuvanje biološke raznolikosti, genofonda, ekosustava i krajobraza)**

Šumski požar je nekontrolirano, stihijsko kretanja vatre po šumskoj površini

Štete koje nastaju uslijed šumskih požara:

- stradanje ljudi
- uništavanje drveća
- erozija šumskog tla, oštećivanje fizičkih svojstava tla, smanjenje količine humusa i proizvodne sposobnosti tla
- narušavanje estetske vrijednosti okoliša
- štete od uginuća šumskih životinja
- uništavanje stambenih i gospodarskih objekata



Preventivne mjere u zaštiti šuma od požara (procjena požarne opasnosti)

Osnovna načela i metode primjenjive u prevenciji temeljene su na grupiranju gorivog materijala (živog i mrtvog) te određivanje sadržaja vlage u njemu

2 osnovne funkcije:

- procjena potencijalne ugroženosti šuma od požara te planiranje širenja i ponašanja šumskog požara
- obavješćavanje šire javnosti o opasnosti od nastanka požara

Fire Weather Index – povijest nastanka i razvoj

- Kanadske šumarske agencije započele su razvoj sustava za prevenciju od požara 20tih godina 20tog stoljeća
- u narednih 40 godina nastala su 4 posebna sustava ocjene opasnosti
- današnji CFFDRS Canadian Forest fire Danger Rating System počeo se uobličavati 1969. godine prihvaćanjem opsežnog modularnog pristupa
- od tada su se dijelovi sustava razvijali i poboljšavali neovisno
- prvi veći podsustav bio je FWI (u primjeni od 1971)
- nekoliko preinaka (1985. Van Wagner and Picket 1985 te Van Wagner 1987)

FWI – složeni index (5 komponenti)

- 3 indexa koja predstavljaju količinu vlage u šumskom gorivu

FFMC (Fine Fuel Moisture Code – pokazatelj vlažnosti finog goriva) – 2-3cm, 0,25kg/m²

DMC (Duff Moisture Code – pokazatelj vlažnosti srednjeg goriva) – 5-10cm, 5kg/m²

DC (Drough Moisture Code – pokazatelj vlažnosti krupnog goriva) – 20cm, 25kg/m²

- 2 indexa koja predstavljaju potencijalno ponašanje požara
ISI (Initial Spread index – indeks početnog širenja vatre)

BUI (BuildUp Index – indeks ukupnog goriva ili indeks prikladnosti materijala za gorenje)

Relativna zračna vlaga
Temperatura
Brzina vjetra
Oborine



Relativna zračna vlaga
Temperatura
Oborine



Temperatura
Oborine



Brzina vjetra



BUI



FWI



Indeksi količine vlage u šumskom gorivu

- Ne razlikuje vrstu goriva
- tzv standardno gorivo najviše odgovara kanadskim borovima: Pinus banxiana, Pinus contorta, Pinus resinisa, Pinus strobus

Kategorizacija goriva razvijana je u sklopu FBP (Fire Behaviour Prediction) sustava - Sustava predviđanja ponašanja šumskog požara

Prepoznate su dvije faze:

- faza **vlaženja** (oborine)
- faza **sušenja**



Areal Pinus banksiana Lamb.

Sve tri vrste goriva suše se eksponencijalno tj. sadržaj vlage u gorivu proporcionalna je sa duljinom vremena u kojem gorivo nije izloženo novoj vlazi

Kod izračuna DMC i DC vrijednosti zbog dužine dana o kojoj ovisi brzina sušenja uzima se u obzir i mjesec u kojem se proračun vrši

Index	Vremenski period (dani)	Parametri za izračun	dubina	masa (kg) / m ²
FFMC	2/3	T, H, W, r	1,2	0,25
DMC	12	T, H, r	7	5
DC	52	T, r	18	25

Broj dana potrebnih da određeni tip goriva otpusti 2/3 vlage (srpanj, 21°C, 45%,)

Fine Fuel Moisture Code (FFMC)

Gorivo koje brzo reagira na meteorološke pojave te kratkom vremenu prima i otpušta vlagu

nastao iz - Tracer indexa - dijela prvog sustava procjene opasnosti od požara (Wright 1937god) razvijenog za istočno kanadske borove šume

Razvijen korelacijom trenutne vlažnosti goriva sa meteorološkim parametrima i vlažnošću goriva prethodnog dana

Mjesto nastanka gotovo svih šumskih požara

Prognoza sadržaj vlažnost sloja listinca do 2-3 cm dubine za vrijeme popodnevnog maksimuma (14h – 16h)

Računanje FFMC-a, formule

$$F = 101 - m \quad (1)$$

$$k_o = 0.424[1 - (H/100)^{1.7}] + 0.0694 w^{0.5}[1 - (H/100)^8] \quad (2a)$$

$$k = k_o \times 0.463e^{0.0365T} \quad (2b)$$

$$E_d = 0.942H^{0.679} + 11e^{(H-100)/10} + 0.18(21.1-T)(1-e^{-0.115H}) \quad (3)$$

$$E_w = 0.618H^{0.753} + 10e^{(H-100)/10} + 0.18(21.1-T)(1-e^{-0.115H}) \quad (4)$$

$$m = E_d + (m_o - E_d)10^{-k} \quad (5)$$

$$m = E_w - (E_w - m_o)/1.9953 \quad (6)$$

Računanje FFMC-a, formule

$$F_r = (F_o/100) f(r_o) + 1 - C \quad (9)$$

$$f(r_o) = 123.85 - 55.6 \ln(r_o + 1.016) \quad , \quad 0.50 < r_o \leq 1.45 \quad (10a)$$

$$f(r_o) = 57.87 - 18.2 \ln(r_o - 1.016) \quad , \quad 1.45 < r_o \leq 5.75 \quad (10b)$$

$$f(r_o) = 40.69 - 8.25 \ln(r_o - 1.905) \quad , \quad r_o > 5.75 \quad (10c)$$

$$C = 8.73 e^{-0.1117F_o} \quad (11)$$

Računanje FFMC-a, postupak

- 1) Previous day's F becomes F_0 .
- 2a) If $r_0 > 0.50$, calculate $f(r_0)$ by one of Equations 10a, 10b, or 10c, according to value of r_0 .
 - b) Calculate C by Equation 11.
 - c) Calculate F_r by Equation 9.
- 3) Calculate m_0 from F_0 (or F_r if $r_0 > 0.50$) by Equation 1.
- 4) Calculate E_d by Equation 3.
- 5a) If $m_0 > E_d$, calculate k by Equations 2a and 2b.
 - b) Calculate m by Equation 5.
- 6a) If $m_0 < E_d$, calculate E_w by Equation 4.
 - b) If $m_0 < E_w$, calculate m by Equation 6.

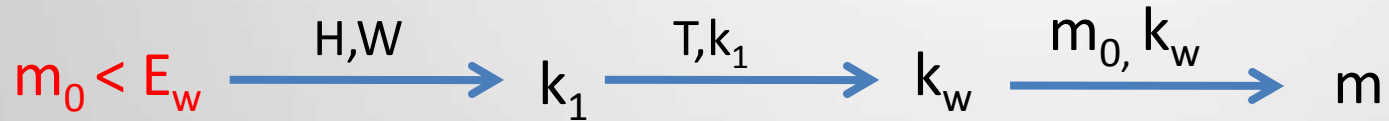
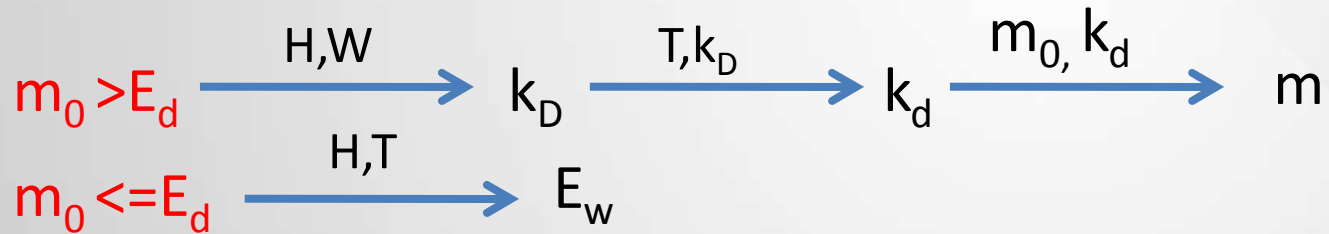
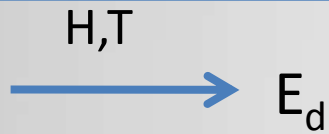
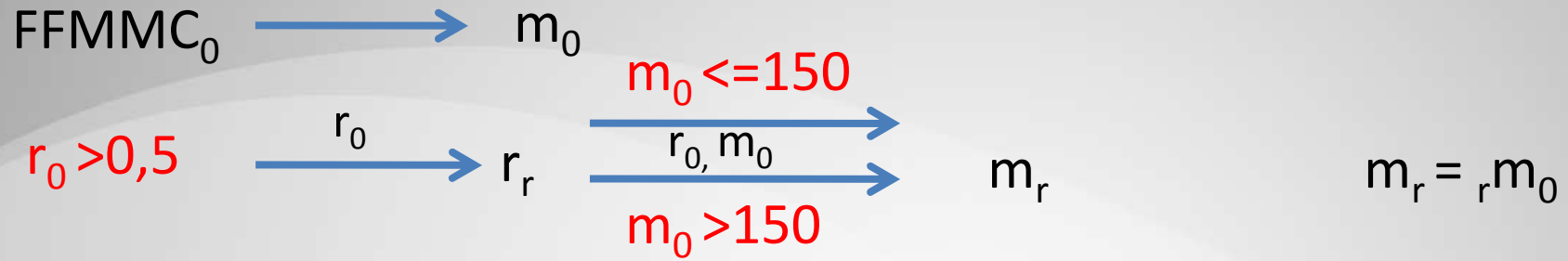
Računanje FFMC-a, postupak

- 7) If $E_d > m_0 > E_w$, let $m = m_0$.
- 8) Calculate F from m by Equation 1. This is today's FFMC.

2 uvjeta koja moraju biti zadovoljena

- 1) Equations 9 to 11 must not be used unless $r_0 > 0.50$; that is, in dry weather the rainfall routine must be skipped.
- 2) F_r cannot theoretically be less than zero. Negative results from Equation 9 must be raised to zero.

Dijagram toka izračuna FFMC indeksa



Duff moisture code

Početak razvoja kao Drought index 1939 godine, (Beall), meteorološki podaci zadnjih 25 dana

Istraživanje se baziralo na 4 godišnjem vaganju uzoraka 60 x 40 cm

Zbog kompliciranosti izračuna odustalo se od parametra vremenskog trajanja oborina

2 pravilnosti u fazi vlaženja (u obzir se uzimaju samo padaline veće od 1,5mm) :

- povećanje vlažnosti po jedinici količinr oborine obnuto je proporcionalno sa količinom oborina
- efekt vlaženja nakon oborina smanjuje se sa povećanjem početne vlažnosti goriva

Duff moisture code

Izračuni indeksa u fazi sušenja bazirani su na:

- uzastopno “dan za dan” sušenje u uvjetima stabilnog vremena je eksponencijalno
- efekt vlaženja nakon oborina smanjuje se sa povećanjem početne vlažnosti goriva
- iz praktičnih razloga uravnotežena količina vlažnosti goriva postavljena je na 20%
- stopa sušenja proporcionalna je sa temperaturom (pri temperaturi od -1 postaje neznatna)
- Stopa sušenja proporcionalna je sa smanjenjem vlažnosti

Računanje DMC-a, formule

$$P = 244.72 - 43.43 \ln (M - 20) \quad (12)$$

$$r_e = 0.92 r_o - 1.27 \quad , r > 1.5 \quad (13)$$

$$M_r = M_o + 1,000 r_e / (48.77 + br_e) \quad (14)$$

$$b = 100 / (0.5 + 0.3 P_o) \quad , P_o \leq 33 \quad (15a)$$

$$b = 14 - 1.3 \ln P_o \quad , 33 < P_o \leq 65 \quad (15b)$$

$$b = 6.2 \ln P_o - 17.2 \quad , P_o > 65 \quad (15c)$$

$$K = 1.894 (T + 1.1)(100 - H) L_e \times 10^{-6} \quad (16)$$

$$P = P_o \text{ (or } P_r) + 100K \quad (17)$$

Računanje DMC-a, postupak

- 1) Previous day's P becomes P_0 .
- 2a) If $r_0 > 1.5$, calculate r_e by Equation 13.
 - b) Calculate M_0 from P_0 by Equation 12.
 - c) Calculate b by the appropriate one of Equations 15a, 15b, or 15c.
 - d) Calculate M_r by Equation 14.
 - e) Convert M_r to P_r by Equation 12.
- 3) Take L_e from Table 2 in Pub. 1333.
- 4) Calculate K by Equation 16.
- 5) Calculate P from P_0 (or P_r if $r_0 > 1.5$) by Equation 17. This is today's DMC.

Računanje DMC-a, postupak

3 uvjeta koja moraju biti zadovoljena

- 1) Equations 13 to 15 must not be used unless $r_o > 1.5$; that is, the rainfall routine must be skipped in dry weather.
- 2) P_r cannot theoretically be less than zero. Negative values resulting from Step 2e above must be raised to zero.
- 3) Values of T less than -1.1 must not be used in Equation 16. If $T < -1.1$, let $T = -1.1$.

Dijagram toka izračuna DMC indeksa

$$P = P_0$$

$$r_0 > 1,5 \xrightarrow{r_0} r_e$$

$$\xrightarrow{P_0} M_0$$

$$P_0 \leq 33 \xrightarrow{P_0}$$

$$33 \leq P_0 \leq 65 \xrightarrow{P_0} b$$

$$P_0 > 65 \xrightarrow{P_0}$$

$$\xrightarrow{r_e, b, M_0} M_r \xrightarrow{M_r} P_r \longrightarrow P_r = P_0$$

$$\xrightarrow{T, H, L_e} K$$

$$\xrightarrow{K, P_0} P$$

Drought code DC

- Krupno gorivo do 20 cm dubine koje se iznimno sporo suši
- Požari koji zahvate ovaj sloj goriva vrlo se teško gase i kontroliraju
- istraživanj s namjerom računanja količine vlage u tlu, a ne u gorivu započeo je Turner 1966.
- rezultati su potvrđeni i u šumama crne smreke (*Picea mariana*) i balzamaste jele (*Abies balsamea*)
- može upozoriti da su donji slojevi goriva suši od gornjih što dovodi do konstantnog tinjanja iako vatra na površini ne izgleda opadno

Faza vlaženja

U obzir se uzimaju samo količine oborina veće od 2,8mm

Faza sušenja

Predstavlja potencijalnu evapotranspiraciju

Računanje DC-a, formule

$$Q = 800 e^{-D/400} \quad (18)$$

$$r_d = 0.83 r_o - 1.27 \quad , \quad r_o > 2.8 \quad (19)$$

$$Q_r = Q_o + 3.937 r_d \quad (20)$$

$$V = 0.36 (T + 2.8) + L_f \quad (21)$$

$$D = D_o \text{ (or } D_r) + 0.5 V \quad (22)$$

3 uvjeta koja moraju biti zadovoljena

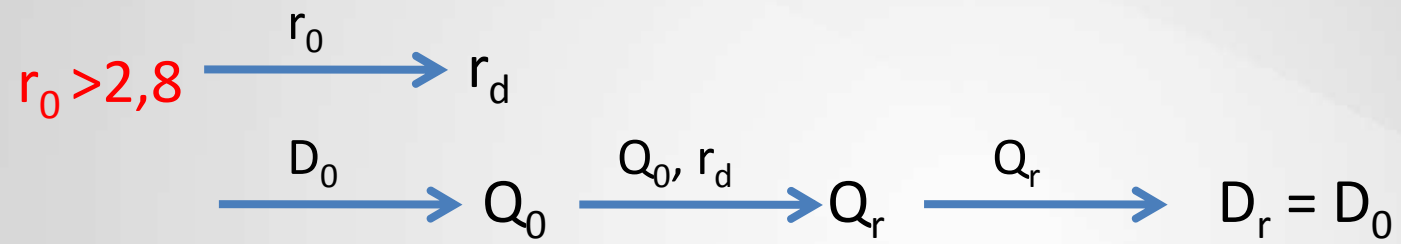
- 1) Equations 19 and 20 must not be used unless $r_o > 2.8$; that is, in dry weather the rainfall routine must be skipped.
- 2) D_r cannot theoretically be less than zero. Negative values resulting from Step 2d above must be raised to zero.
- 3) Values of T less than -2.8 must not be used in Equation 21. If $T < -2.8$, let $T = -2.8$.

Računanje DC-a, postupak

- 1) Previous day's D becomes D_0 .
- 2a) If $r_0 > 2.8$, calculate r_d by Equation 19.
 - b) Calculate Q_0 from D_0 by Equation 18.
 - c) Calculate Q_r by Equation 20.
 - d) Convert Q_r to D_r by Equation 18.
- 3) Take L_f from Table 3 in Pub. 1333.
- 4) Calculate V by Equation 21.
- 5) Calculate D from D_0 (or D_r if $r_0 > 2.8$) by Equation 22. This is today's DC.

Dijagram toka izračuna DC indeksa

$$D = D_0$$



$$T, L_f \rightarrow V$$

$$V, D_0 \rightarrow P$$

Zajedno sa funkcijom vjetra ova su se tri indeksa mogla uklopiti u složenu jedndžbu FWI ali je postupak podijeljen u 3 koraka

- složenosti jednadžbe
- međuindeksi i sami po sebi imaju važnost u procjeni opasnosti šuma od požara

Initial Spread Index

U početku nazvan indeks širenja vatre

Zbog činjenice da širenje vatre ovisi o ukupnoj količini gorivog materijala, a ne samo finog goriva definiran kao INITIAL

Posebno razvijene te kasnije objedinjene funkcija vjetra i funkcija FFMC-a

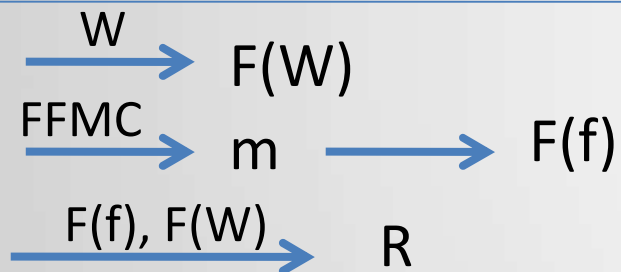
Formule i dijagram toka izračuna ISI

Initial Spread Index (ISI)

$$f(W) = e^{0.05039W} \quad (23)$$

$$f(F) = (91.9 e^{-0.1386m}) (1 + m^{4.65}/7,950,000) \quad (24)$$

$$R = 0.208 f(W) f(F) \quad (25)$$



Ocjena širenja vatre nakon zapaljenja

ISI	Klase brzine	Brzina	Opis
0 – 7	sporo	1.5 m/min	
8 – 12	umjereno	3.0 m/min	baklje
13 – 17	brzo	6.1 m/min	moguć požar u krošnjama
>18	vrlo brzo	18.3 m/min	požar u krošnjama, više fronti

BuildUp Index

Indeks prikladnosti materijala za gorenje ili indeks ukupnog goriva

Veličina BUI daje numeričku vrijednost suhoće šumskog goriva i njegovo stanje za prihvata vatre.

- Kombinacija DMC-a i DC-a bazirana na činjenici da DC u koliki god bio ne bi trebao utjecati na BUI ako je DMC izrazito nizak
- DC se povećava 2,5 puta sporije od DMC-a, DC se reducira sa 0,4

Pravilnosti odnosa DMC-a i reduciranog DC-a:

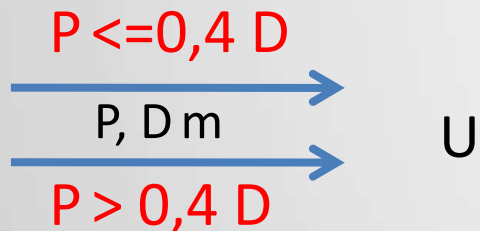
- U proljeće DMC i DC simultano rastu do prve kiše
- nakon svake kiše DC ostaje veći od DMC-a
- tijekom požarne sezone DMC varira, a DC sporo raste i sporo pada

Formule i dijagram toka izračuna BUI

Buildup Index (BUI)

$$U = 0.8 PD / (P + 0.4D) \quad , P \leq 0.4D \quad (26a)$$

$$U = P - [1 - 0.8D / (P + 0.4D)] [0.92 + (0.0114P)^{1.7}] \quad , P > 0.4D \quad (26b)$$



Za BUI = **119** gorivni materijal je dovoljno suh da prihvati vatru koja se dalje širi.

Fire Weather Index

- Indeks meteorološke opasnosti od požara
- Numerička procjena potencijalnog intenziteta požara za tzv. standardno gorivo
- relativna mjera očekivanog ponašanja požara
- relativna mjera dnevnih potreba za kontrolu požara

Da bi indeks predstavljao intenzitet vatre morao je obuhvatiti faktore širenja (**ISI**) i faktor potrošnje gorivog materijala (prilagođeni **BUI**)

Po kanadskim eksperimentalnim spoznajama vrijednost FWI od 23 odgovara jačini od 2.456kw po metru duljine vatrene linije

Formule i dijagram toka izračuna FWI

Fire Weather Index (FWI)

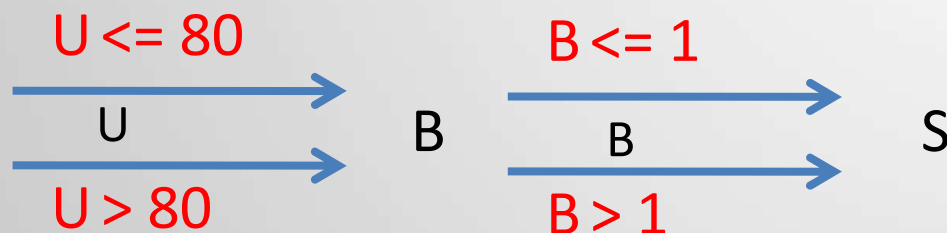
$$f(D) = 0.626U^{0.809} + 2 \quad , U \leq 80 \quad (27a)$$

$$f(D) = 1,000 / (25 + 108.64 e^{-0.023U}) \quad , U > 80 \quad (27b)$$

$$B = 0.1 R f(D) \quad (28)$$

$$\ln S = 2.72 (0.434 \ln B)^{0.647} \quad , B > 1 \quad (29a)$$

$$S = B \quad , B \leq 1 \quad (29b)$$



Zaključci

1. nastanak požara usko je vezan sa FFMC indeksom
2. područja nastanka požara u uskoj su vezi s ISI indeksom koji obuhvaća funkciju vjetra i funkciju FFMC-a
3. ostale komponente dobro pokazuju korelaciju sa ostalim elementima požara zbog čega je FWI koji ih obuhvaća kvalitetan podatak
4. BUI je relevantan podatak o potencijalnom širenju požara jer suhoća goriva u dubljim slojevima doprinosi održavanju vatre
5. Određene korelacije posebice DC i razmjera požara početkom požarne sezone neće odgovarati stvarnom stanju iz razloga izuzetne sporoće rasta odnosno pada indeks DC-a

Klasifikacija požarne opasnosti

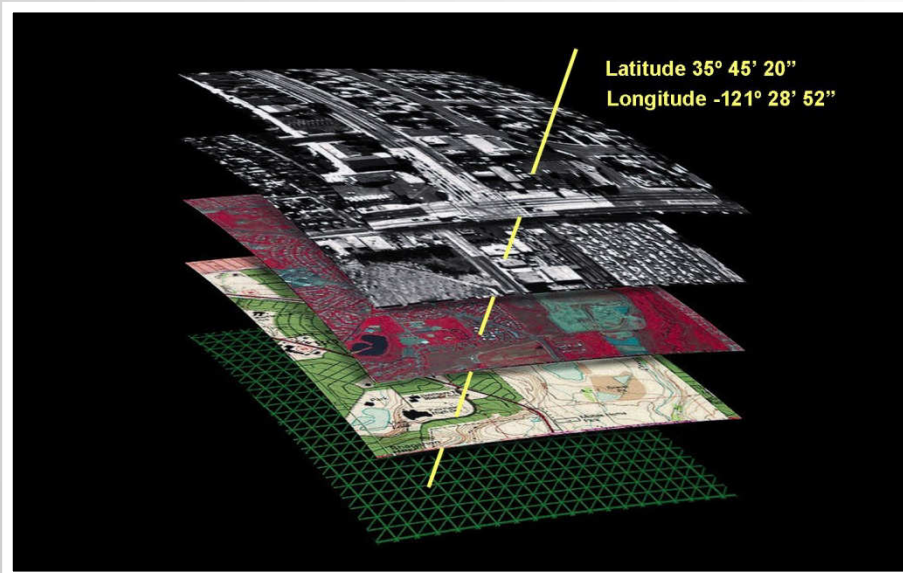
FWI <5	BUI < 49	vrlo mala
4 < FWI < 9	48 < BUI < 86	mala
8 < FWI < 17	85 < BUI < 119	umjerena
16 < FWI < 33	118 < BUI < 159	velika
32 < FWI	158 < BUI	vrlo velika

Tablica na osnovu 7 godišnje analize statističkih podataka za Jadran, Dimitrov T.

FWI i njegova primjena upotrebom GIS tehnologije

GIS sustavi – prostorne baze podataka

- Nastali krajem 70-tih godina prošlog stoljeća
- Informacijskim sustavima dodana je geografska komponenta
- Svaki podatak posjeduje i točnu geografsku lokaciju



Primjer GIS sustava

Čimbenici nastanka šumskih požara prema Pravilniku o zaštiti šuma od požara (NN 26/03):

- vegetacijski pokrov
- antropogeni čimbenici
- klima
- stanište, matični supstrat
- orografija
- šumski red

Procjenjivanje potencijalne ugroženosti šuma od požara uporabom relacijske GIS baze podataka (primjer otoka Raba)

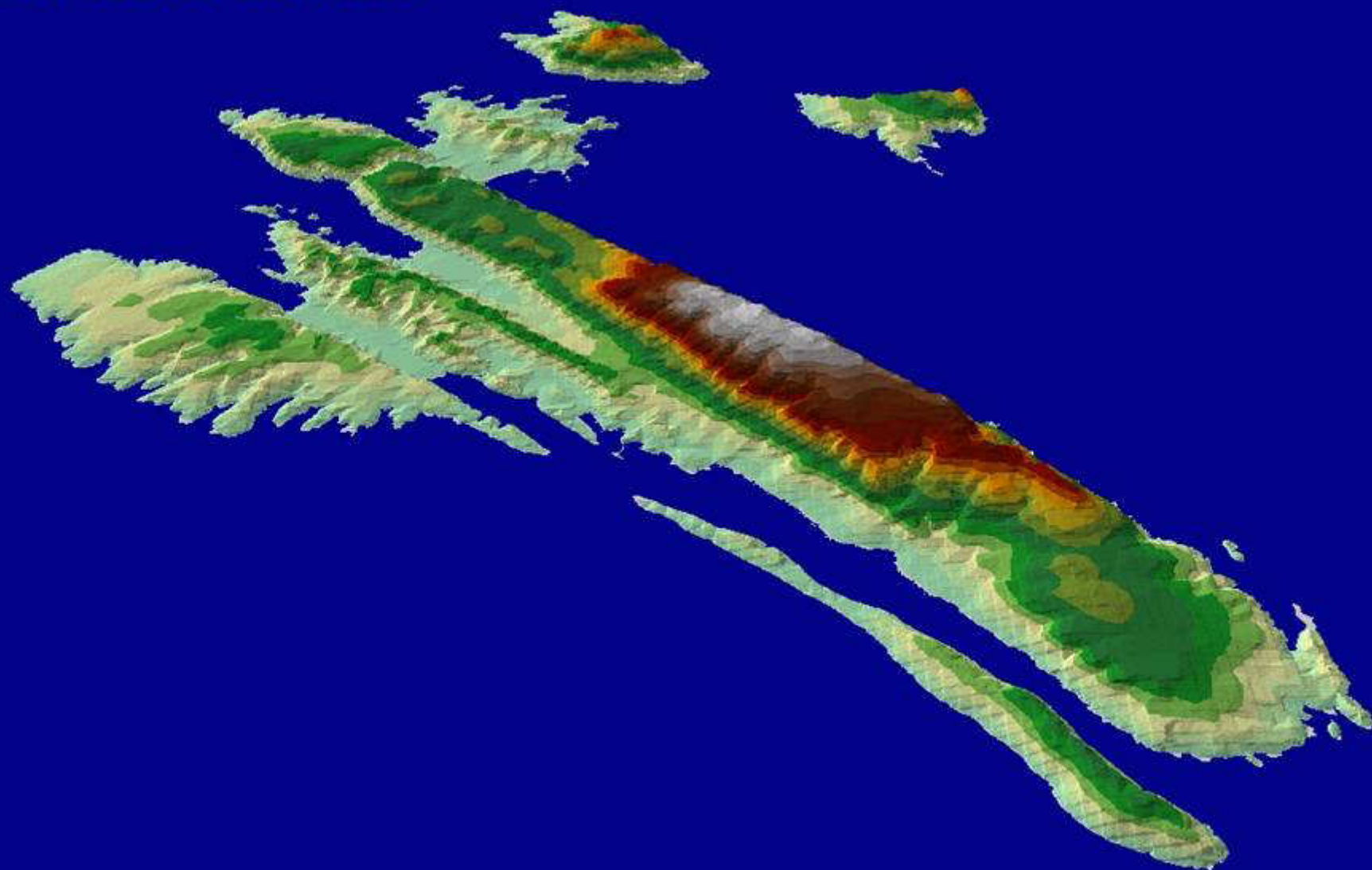
Prikupljanje podataka i izrada tematskih karata za područje otoka Raba

- topografske karte u mjerilu 1:25000 i 1:100000
- podaci o administrativnim granicama
- podaci o infrastrukturi (ceste, dalekovodi)
- podaci o vegetaciji
- podaci o pedologiji (vrste tla)

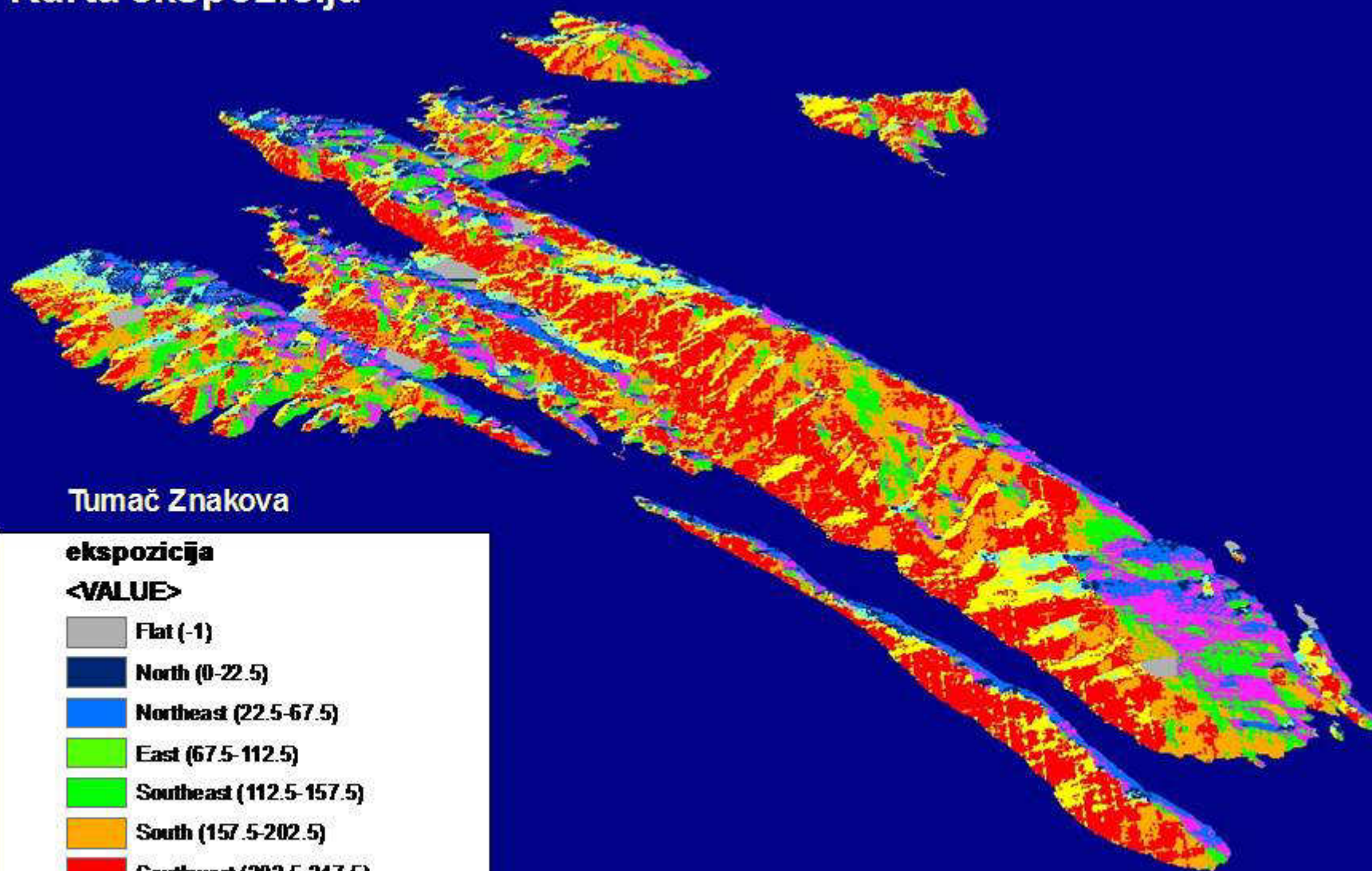
Obrada i analiza prikupljenih podataka

- geokodiranje (smještanje podataka u prostor)
- izrada i obrada digitalnog 3D modela reljefa

3D model otoka Raba



Karta ekspozicija



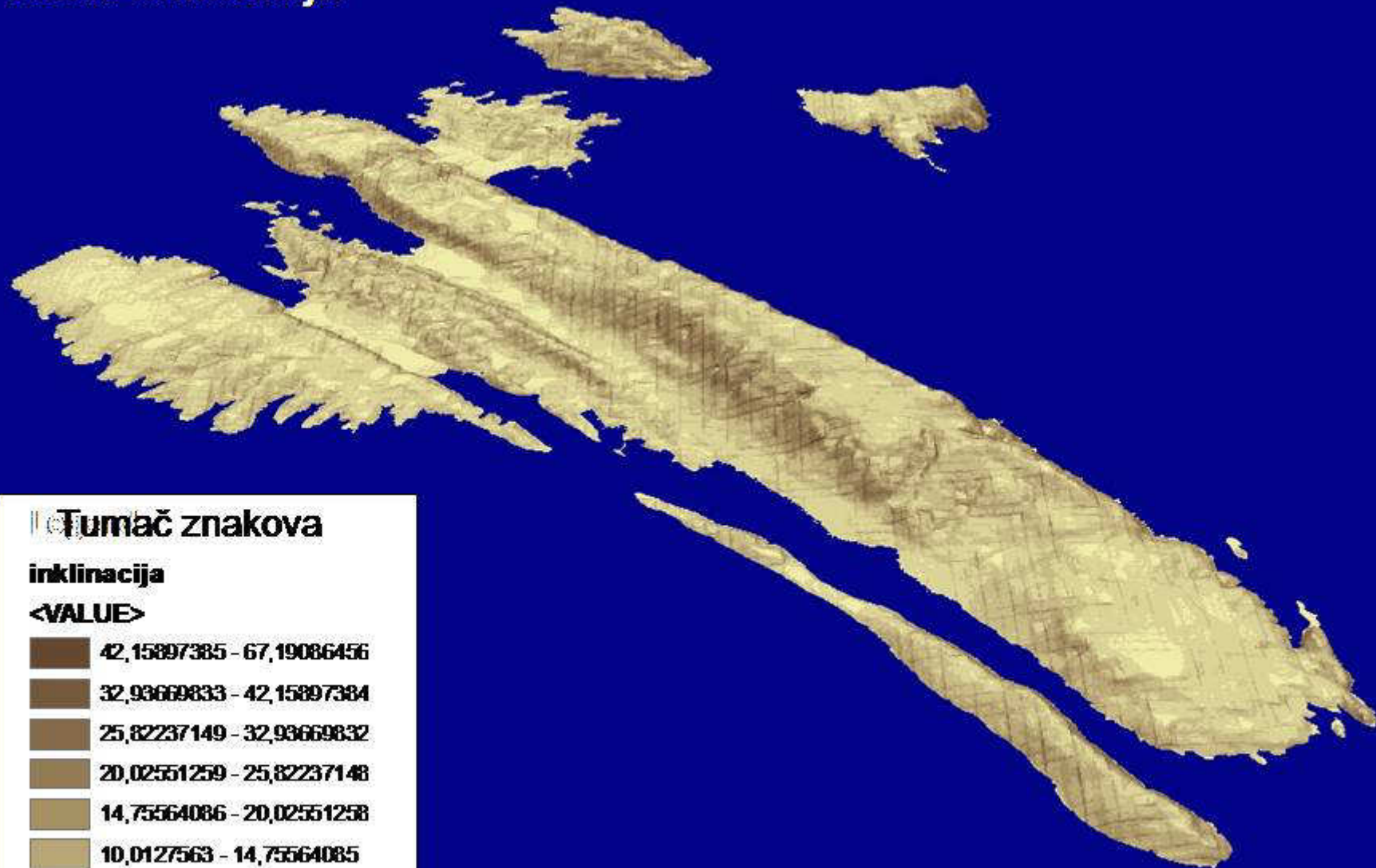
Tumač Znakova

ekspozicija

<VALUE>

Flat (-1)
North (0-22.5)
Northeast (22.5-67.5)
East (67.5-112.5)
Southeast (112.5-157.5)
South (157.5-202.5)
Southwest (202.5-247.5)
West(247.5-292.5)
Northwest (292.5-337.5)
North (337.5-360)

Karta inklinacija



Tumač znakova

inklinacija

<VALUE>

	42,15897385 - 67,19086456
	32,93669833 - 42,15897384
	25,82237149 - 32,93669832
	20,02551259 - 25,82237148
	14,75564086 - 20,02551258
	10,0127563 - 14,75564085
	5,796858904 - 10,01275629
	1,844455107 - 5,796858903
	0 - 1,844455106

Izvori meteoroloških podataka

DHMZ – državni hidrometeorološki zavod
- mreža meteoroloških stanica

ALADIN (**A**ire **L**imitée **A**daptation dynamique **D**éveloppement **I**nternational)

- 1990. pokrenut od strane Meteo France
- kontinuiran rad stručnjaka iz 15ak zemalja
- program oborina i program vjetra
- rezolucija 8 km

Pokretna meteorološka stanica – **Vaisala, MAWS 201**

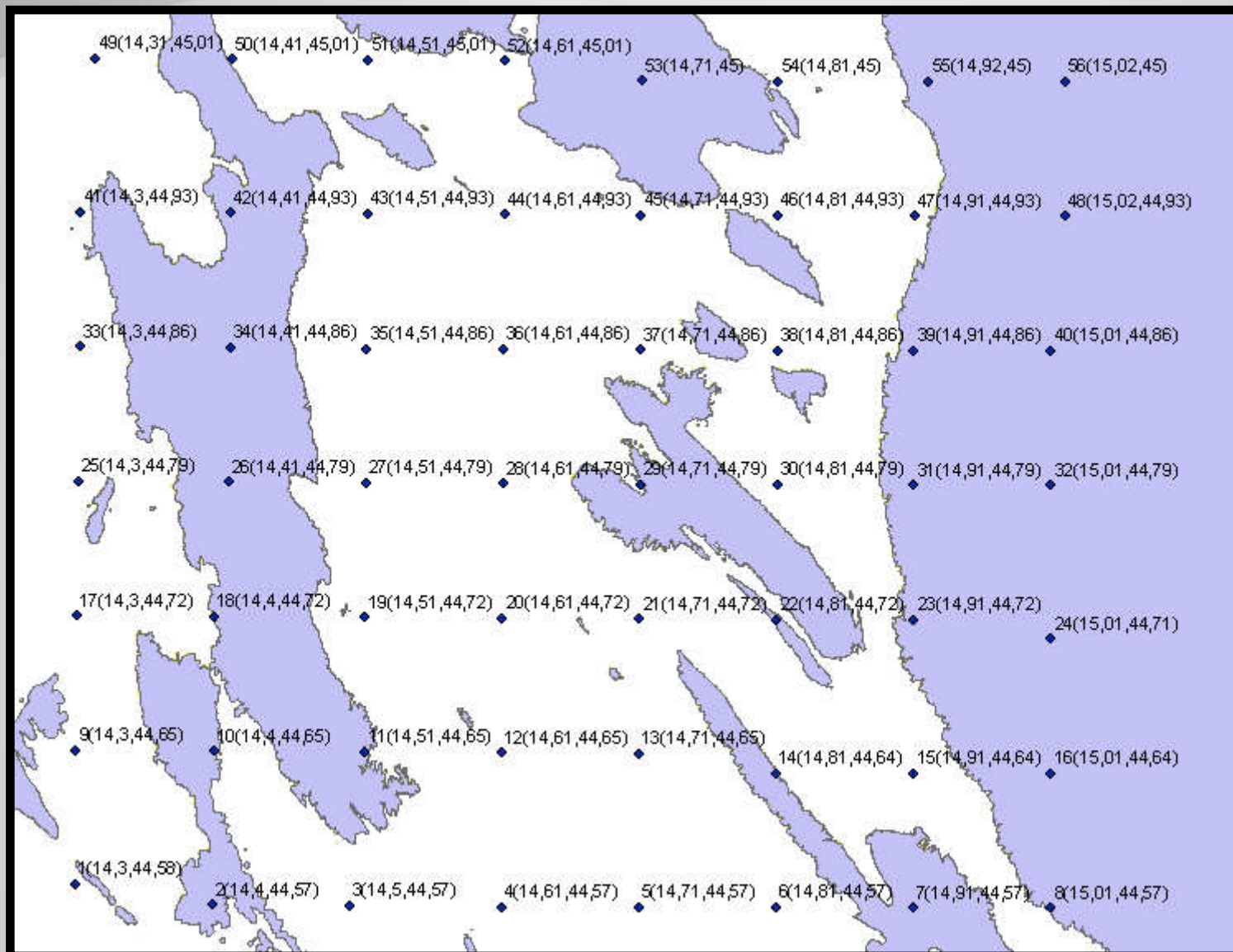
- nabavljena u sklopu projekta Biotehničke mjere u zaštiti i obnovi šuma od požara

Karakteristike

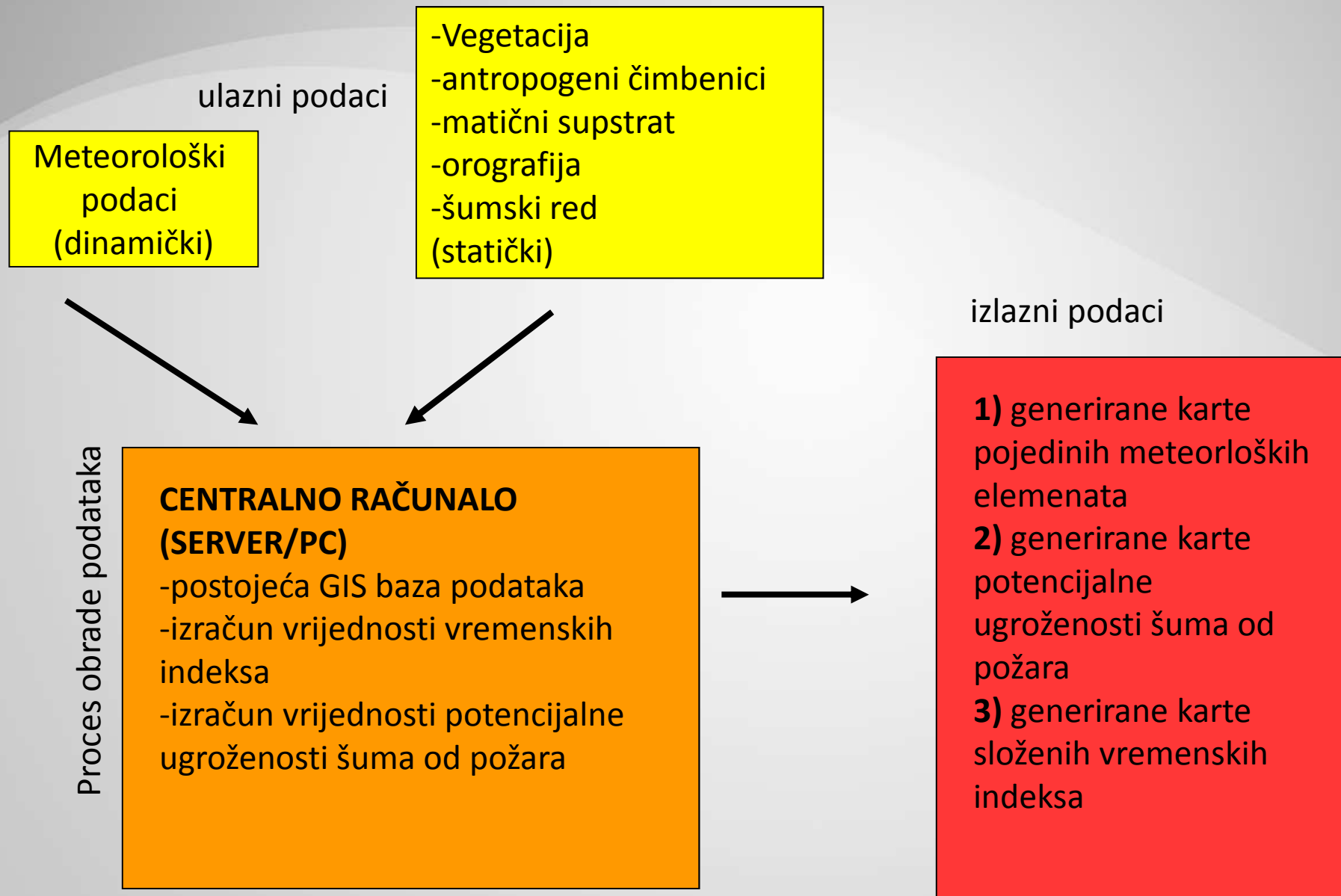
- preciznost
- mala težina
- dugoročnost baterije (mogućnost solarnog napajanja)
- jednostavan prijenos podataka na PC



ALADIN, (mreža točaka, rezolucija 8km)
(razdoblje od 25.08.2007-04.09.2007.



Model toka podataka

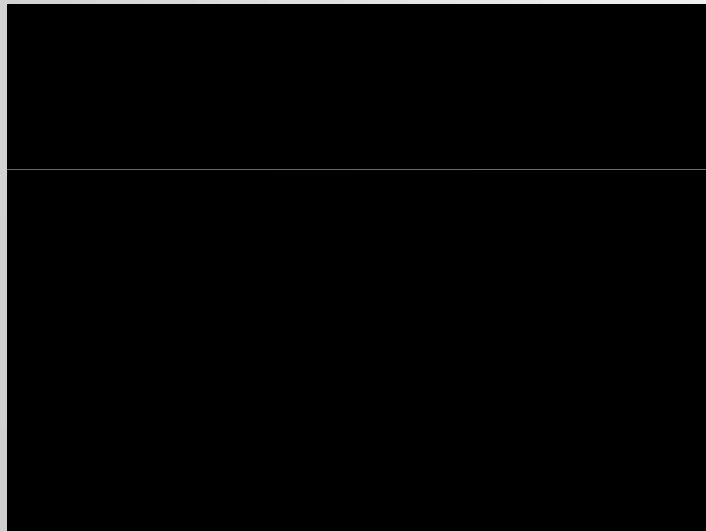
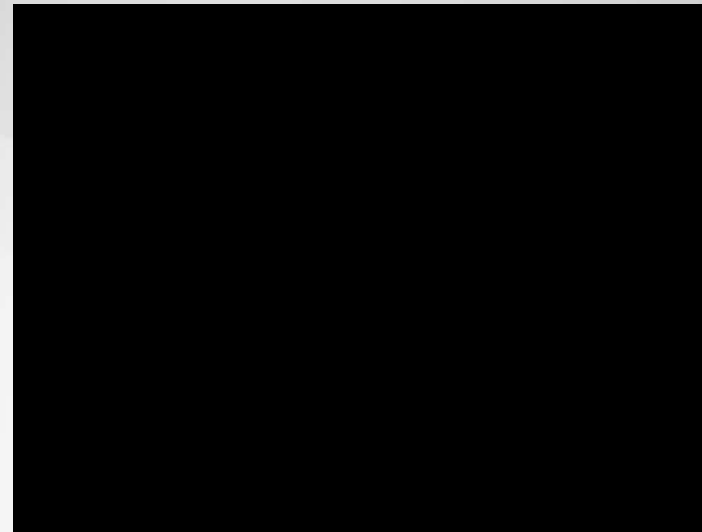
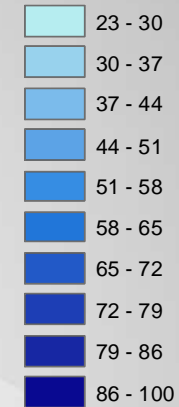


Dinamičke karte temperature, relativne zračne vlage i količine oborina u razdoblju od 25. kolovoza do 5. rujna 2007.godine

Relativna zračna vlaga

vl_08_25_m

<VALUE>



Tumač znakova

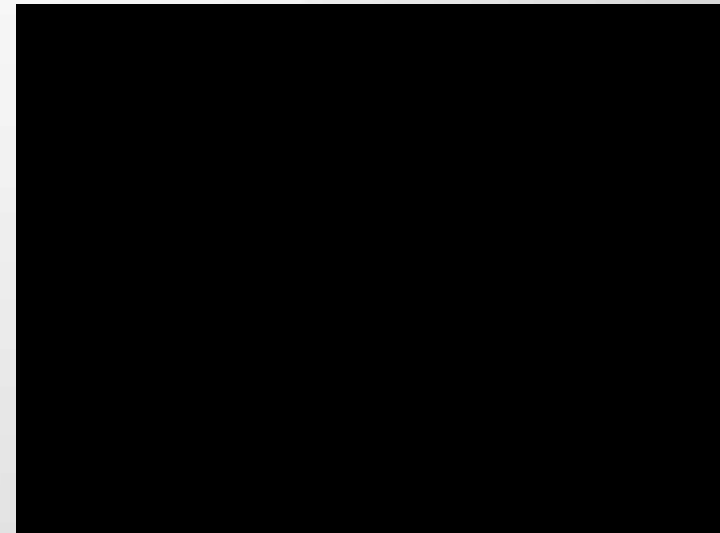
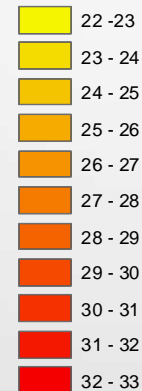
količina oborina u mm

<VALUE>



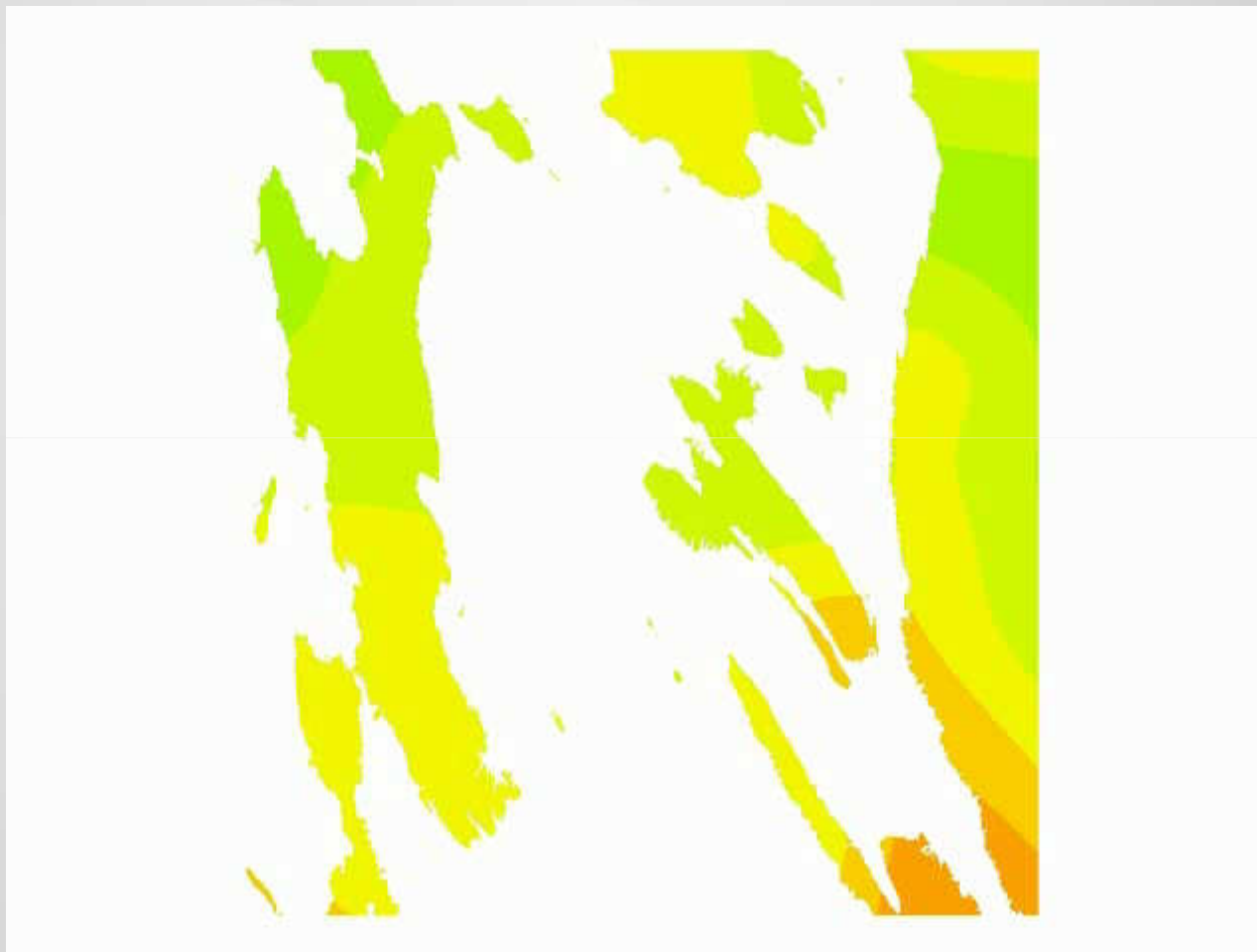
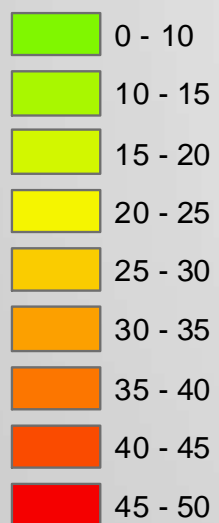
Vrijednost temperature

<VALUE>



Dinamička karte Fire Weather indexa u razdoblju od 25. kolovoza do 6. rujna 2007.godine

Tumač znakova





HVALA NA PAŽNJI