

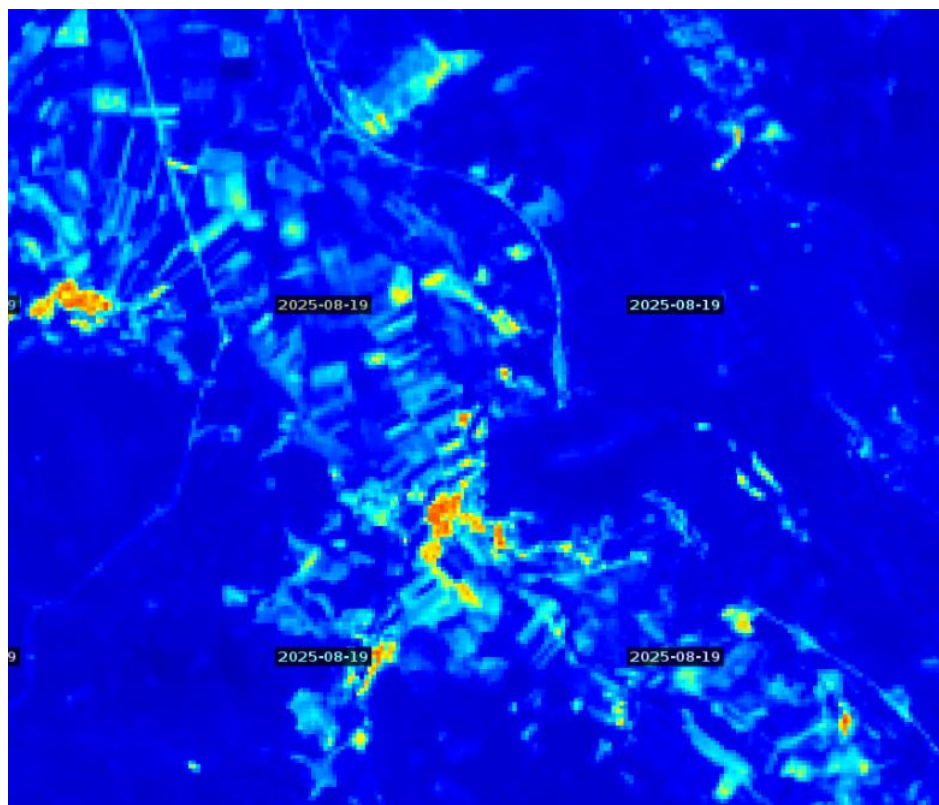
IRRIGAVIT - Irrigazione razionale e gestione del suolo in viticoltura
transfrontaliera

IRRIGAVIT - Racionalno namakanje in upravljanje tal v čezmejnem
vinogradništvu

D 2.1.1 Report degli indici multispettrali de satellite

D 2.1.1 Poročilo o multispektralnih indeksih

Foto rappresentativa / Predstavniška fotografija / slika



Numero progetto/Projektna številka	ITA-SI0100043
Acronimo/Akronim	IRRIGAVIT
Titolo Progetto/ Projektni naslov	Irrigazione razionale e gestione del suolo in viticoltura transfrontaliera / Racionalno namakanje in upravljanje tal v čezmejnem vinogradništvu
Budget totale/celotni znesek	€ 617.325,98
Di cui Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR)/ od tega Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR)	€ 493.860,78
Durata/Trajanje	01/10/2023 – 31/12/2025
WP e attività/DP in dejavnost	WP 2.2
Titolo Deliverable/ Naslov Dosežka	D 2.1.1 Report degli indici multispettrali da satellite Poročilo o satelitskih multispektralnih indeksih
WP leader /DP vodja	UNIUD
Autore/Autor	Marko Zore, Alen Mangafić, Blaž Barborič
Giorno di consegna/Dan izdaje	22/09/2025
Status/Status	Versione Finale/ Končna verzija
Partner/Partnerji:	
LP/VP- giver: Università degli studi di Udine -Di4A (UNIUD)	
Partner 2- giver: Università Ca' Foscari di Venezia (UNIVE)	
Partner 3- giver: Kmetijski Inštitut Slovenije (KIS)	
Partner 4- giver: Geodetski Inštitut Slovenije (GIS)	
Partner 5 - taker: Consorzio Tutela Vini Friuli Colli Orientali e Ramandolo (CON)	
Partner 6 - taker: RRA SEVERNE PRIMORSKE d.o.o. Nova Gorica (RAA)	

UVOD

Vinogradništvo na čezmejnem območju med Italijo in Slovenijo se vse pogostejše sooča s posledicami podnebnih sprememb: ponavljajoče se suše, dolgotrajen vodni stres in ekstremni vremenski pojavi ogrožajo količino in kakovost grozdja ter trajnost celotnega kmetijskega sistema. Projekt **IRRIGAVIT – Racionalno namakanje in upravljanje tal v čezmejnem vinogradništvu**, ki se je začel 1. oktobra 2023 in je sofinanciran v okviru programa Interreg VI-A Italija-Slovenija 2021–2027, ima cilj izboljšati učinkovitost rabe vode v vinogradih ter povečati odpornost vinarskega sektorja z uvajanjem dobrih kmetijskih praks in naprednih tehnoloških orodij. **IRRIGAVIT** nadgrajuje rezultate predhodnega projekta **“ACQUAVITIS - Inovativne rešitve za učinkovito rabo vode v čezmejnem vinogradništvu”**, ki je uvedel ekosistemski pristop k nujnemu namakanju in upravljanju tal v treh pilotnih območjih (**Vipavska dolina, Kras in Spodnja Furlanija**), z uporabo zelenih tehnologij, daljinskega zaznavanja, DSS ter praks upravljanja tal za optimizacijo vodne bilance v vinogradih. **IRRIGAVIT** razširja razvite protokole in prakse s pomočjo strokovne podpore na nova ključna območja – **Furlanski Vzhodni griči (Colli Orientali) in Brda** – z namenom prenosa inovacij na vinogradnike in javne ključne odločevalce.

Nosilec projekta je **Univerza v Vidmu** – Oddelek za agroživilstvo, okolje in živali (Di4A), projekt pa združuje **šest** partnerjev:

Univerza Ca' Foscari v Benetkah

Kmetijski inštitut Slovenije (KIS)

Geodetski inštitut Slovenije (GIS)

RRA SEVERNE PRIMORSKE d.o.o. Nova Gorica

Konzorcij za zaščito vin Furlanije – Colli Orientali in Ramandolo

In **enajst** pridruženih partnerjev:

- ARPA FVG - Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia
- Regione autonoma Friuli Venezia Giulia
- Veneto Agricoltura
- Consorzio Tutela Prosecco doc, Area tecnicoambientale
- ERS-Agenzia regionale per lo Sviluppo Rurale del Friuli Venezia Giulia
- Univerza v Novi Gorici
- Konzorcij Brda
- Regionalna razvojna agencija za Podravje – Maribor
- Università degli Studi di Padova
- Kohezijska regija Vzhodna Slovenija
- Center za podporo podjetjem pri razvijanju zelenih tehnologij d.o.o.

Projekt ima dva ključna cilja: validacija in prilagoditev tehničnih strategij za optimizirano upravljanje z vodo ter oblikovanje novih skupnih smernic za njihovo vključitev v vinarske pravilnike in kmetijske politike obeh držav ter promovirati nove smernice tudi na širša območja.

Projekt se bo zaključil 31. decembra 2025 s podpisom skupne zaveze partnerjev in oblikovalcev politik za sprejetje novih smernic **IRRIGAVIT**.

UPORABA PODATKOV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA

Pomemben vidik v boju proti sušam, dolgotrajnemu vodnemu stresu in ekstremnim vremenskim pojavom je reden nadzor in spremljanje agrometeoroloških vrednosti na vinogradniških površinah, ki tekom rasne dobe vplivajo na končni pridelek.

V sodobnem času se z razvojem tehnologije širi nabor možnih pristopov k reševanju te naloge. Med njimi je tudi uporaba satelitov oz. metoda daljinskega zaznavanja. Razvoj satelitov in hitra avtomatizirana obdelava in distribucija posnetkov preko cenovno dostopnih komercialnih servisov danes omogočata sprotno spremljanje ponetkov tudi v vinogradniške namene.

V našem primeru smo uporabili podatke Sentinel-2, ki ga upravlja Evropska vesoljska agencija (ESA) in Landsat 8 v upravljanju ameriške vesoljske agencije (NASA). Zakupiti je možno tudi cenovno dostopne storitve sicer kompleksne obdelave surovih podatkov, v našem primeru smo uporabili okolje Sentinel Hub storitev.

Pregled satelitskih meritev in njihovo interpretacijo omogočamo v okviru spletnega portala razvitega v okviru projekta - <https://www.acquavitis.eu/sl/prostorski-podatki/satelitski> V okviru projekta je bilo dodatno razvito PDF poročilo, ki omogoča izpis in shranjevanje prikazanih podatkov oz. rezultatov v obliki poročila za kasnejši pregled.

Pridobitev satelitskih podatkov in njihova interpretacija

Uporabljeni Sentinel Hub storitev omogoča premostitev med kompleksno obdelavo surovih podatkov satelitskih senzorjev, do uporabne in učinkovite uporabe za izvedbo konkretnih uporabnih meritev na zemeljskem površju v najrazličnejše namene. Osnovna naloga obdelave surovih podatkov je izmerjenim vrednostim satelitskih senzorjev dodati ustrezno prostorsko in časovno komponento.

Sama uporabniška storitev predstavlja spletni vmesnik, ki omogoča nadaljno manipulacijo z izmerjenimi vrednostmi satelitskih senzorjev v obliki izračuna različnih vsebinskih indeksov in ustvarjanja spletnih servisov za pridobivanje in poizvedovanje vnaprej definiranih podatkov.

Za potrebe projekta, smo v storitvi iz podatkov satelita Sentinel-2 definirali in izračunali naslednje indekse:

- Normalizirani sušni indeks (NMDI)
- Normalizirani diferencialni indeks vlažnosti (NDMI)
- Normalizirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI)

Iz vrednosti senzorjev Landsat 8 smo izračunali temperaturo površja v °C (LST).

Indeksi zavzamejo določen razpon vrednosti, pojav pa interpretiramo in opredeljujemo z razvrščanjem izmerjene vrednosti v vnaprej definirana območja vrednosti v tem razponu. Indeksi se glede na uporabljene senzorje ločijo tudi po ločljivosti. Za indekse so značilni naslednji razponi vrednosti in ločljivosti:

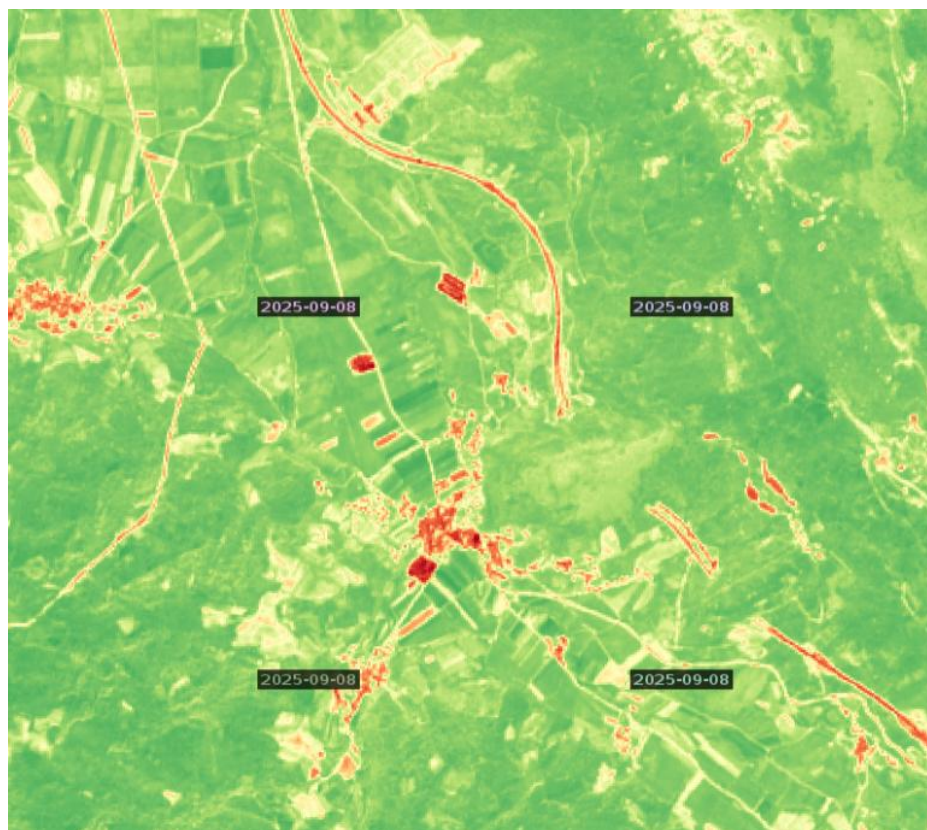
- NMDI -> razpon vrednosti od 0 do 1, ločljivost 20m x 20m
- NDMI -> razpon vrednosti od -1 do 1, ločljivost 20m x 20m
- NDVI -> razpon vrednosti od -1 do 1, ločljivost 10m x 10m
- LST -> razpon vrednosti od -50 °C do 90 °C, ločljivost 100m x 100m

V okviru storitve definiramo WMS in WFS servise za pripravljene indekse, ki omogočajo posredovanje podatkov portalu projekta, na katerem podatke satelita prikazujemo in interpretiramo.

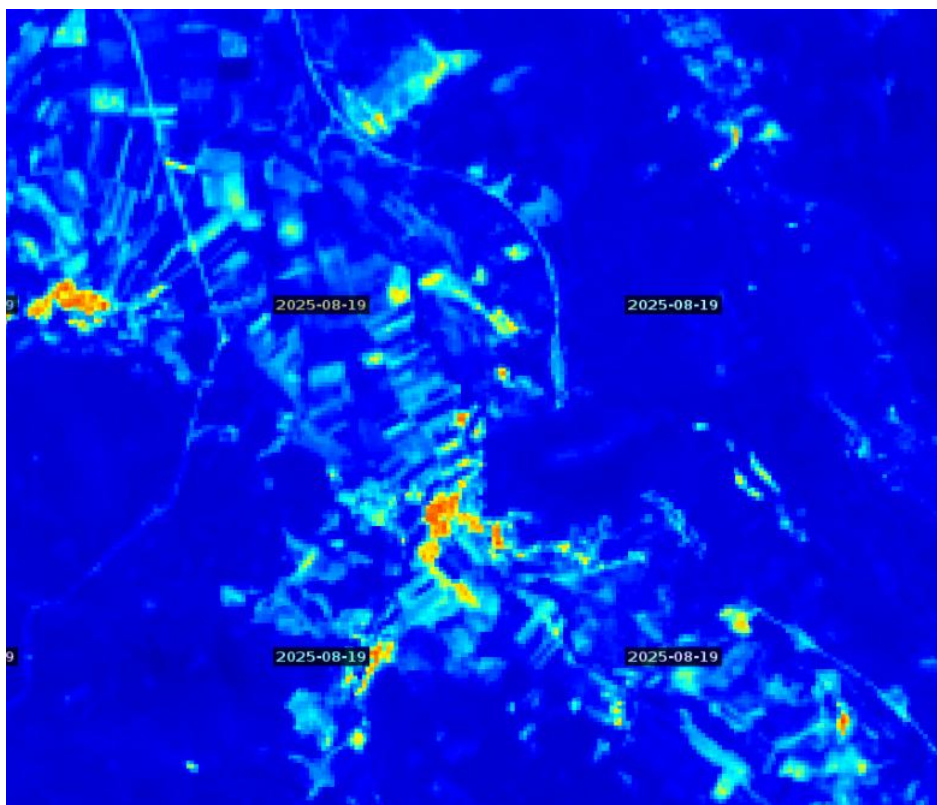
Za namene vizualizacije izmerjenih vrednosti indeksov v rastrski obliki razponom vrednosti pripišemo dogovorjeno barvno skalo. V našem primeru uporabimo barvne skale, ki so bile predhodno že uporabljene v okviru drugih projektov in so za uporabljene indekse najbolj značilne. Za namene vizualizacije se uporabijo naslednje barvne skale:

- NMDI -> barve prehajajo od temno rdeče (0), preko rumene (0.4) do temno zelene barve (1)
- NDMI -> barve prehajajo od temno rdeče (-1), preko rumene, (-0.3), zelene (0) do temno modre (1)
- NDVI -> barve prehajajo od temno rdeče (-0,2) preko rumene (0,4) do temno zelene (1)
- LST -> barve prehajajo od temno modre (-50 °C) preko bele (0 °C) do temno rdeče (90 °C)

Območja izmerjene vrednosti, ki jo opredeljuje ločljivost je geolocirana in jo lahko prikazujemo na kartografskih prikazih. Za obdobje, ko satelit preleti obravnavano območje, lahko izrišemo mrežo izmerjenih vrednosti, ki pokriva opazovano območje v dogovorjeni barvni skali.



Slika 1: Primer prikaza NDVI v izbrani barvni shemi. Vegetacija različne stopnje se odraža v zelenih odtenkih, odsotnost vegetacije pa v rdečih odtenkih.

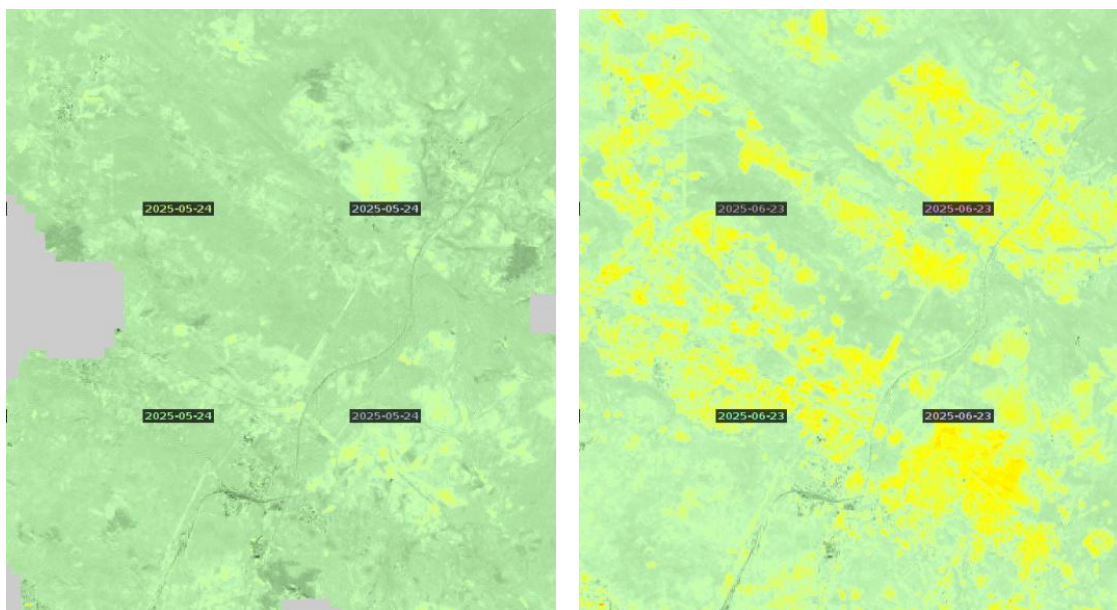


Slika 2: Primer prikaza NDMI v izbrani barvni shemi. Temno modri odtenki odražajo vegetacijo z nizkim vodnim stresom.

Uporaba časovnih vrst

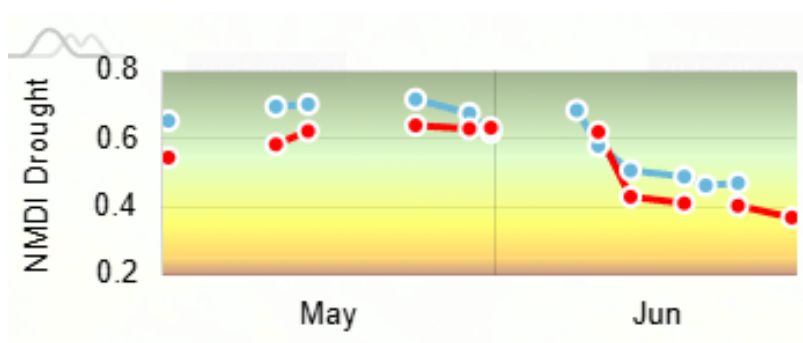
Podatki iz satelitov so na voljo za vsak prelet, ki se izvede vsaka dva do tri dni za isto območje na površju, v kolikor meritev ne zastirajo oblaki. Iz tako izvedenih nizov meritev lahko izdelamo časovno vrsto vrednosti za obravnavano območje ali lokacijo. Izjema so oblačni dnevni, uporabne so zgolj meritve zajete na jasne oz. delno oblačne dni. Pri zajemu vrednosti delno oblačnih dni je uporaben filter oblačnosti razvit s strani posrednika satelitskih podatkov »Sentinel Hub«, ki omogoča prepoznavo in izločanje vrednosti izmerjenih na oblakih. Na portalu je omogočen časovni trak, ki omogoča prehajanje med prikazi vrednosti na izbran dan z uporabnimi meritvami.

Razlike v času je možno analizirati za večja izbrana območja, kot je razvidno iz slike 3.



Slika 3: vrednosti NMDI na dan 24.5.2025 in 23.6.2025 na območju slovenskega krasa – po vrednostih, ki nakazujejo »Zelo mokro« stanje na območju v večinoma zelenih odtenkih so se vrednosti indeksa po sušnem juniju spustile na nivo »Mokro«, ki ga odražajo večinoma rumeni odtenki indeksnih vrednosti zaznanih na površju.

Razlike v času je možno preučevati tudi točkovno, za točno določeno izbrano lokacijo. Portal omogoča tudi medsebojno primerjavo dveh lokacij na karti, kar lahko prikažemo tudi v obliki grafikona (slika 4).

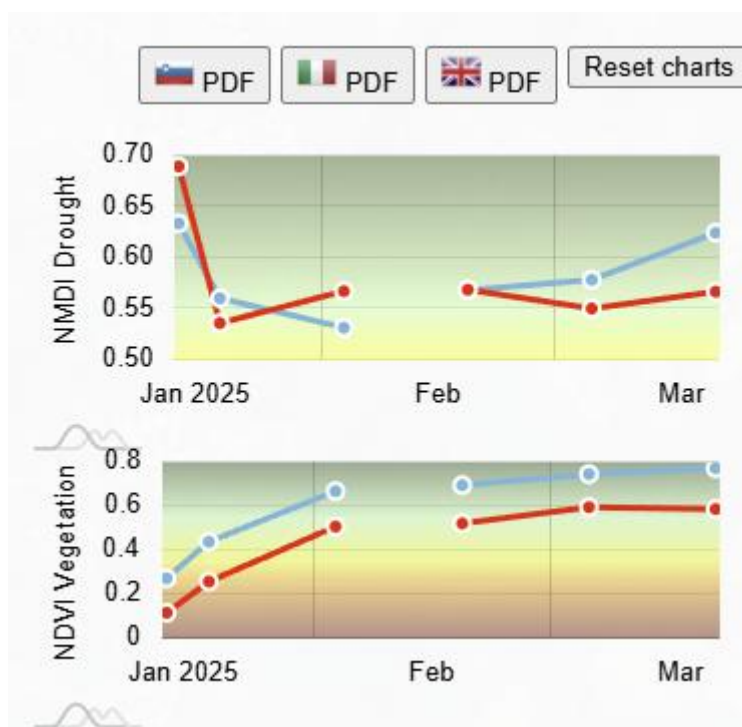


Slika 4: vrednosti NMDI v maju in juniju 2025 za dve izbrani lokaciji na slovenskem krasu. V maju so vrednosti indeksa znašale nekje 0,6 – 0,7 kar interpretiramo kot »Zelo mokro« stanje, v juniju pa so se vrednosti znižale na 0,4 – 0,5, kar interpretiramo kot »Mokro« stanje. Če bi se suh junij nadeljeval tudi v julij, bi vrednosti dosegle »Suho« stanje, kar bi nakazovalo sušo.

PDF poročilni del

Portal omogoča učinkovito analizo sušnih parametrov površja na zahtevo za poljubna obdobja v preteklosti, ki pa ne omogoča shranjevanja rezultatov za kasnejši ogled. V ta namen je bila razvita funkcionalnost izvoza poizvedbe v PDF dokument, ki pripravi rezultate poizvedbe v pregledni in razumljivi obliki.

Uporabnik lahko na portalu izbere preučevano časovno obdobje ter eno ali dve lokaciji na karti, za kateri želi pridobiti rezultate na zahtevo. Rezultat prikazan na zaslonu lahko s pritiskom na gumb izvozi v PDF dokument v Slovenskem, Italijanskem ali Angleškem jeziku, ter ga shrani na lastni računalnik.



Slika 5: Interaktivni grafi na portalu Irrigavit z vrednostmi indeksov z gumbi za izvoz PDF poročila v treh jezikih

Poročilni PDF dokument sestavljajo predstrani s kartografskim prikazom izbranih lokacij in prikaz vrednosti za tri indekse in temperaturo površja v obliki grafikonov z opisi za ustrezno interpretacijo vrednosti.

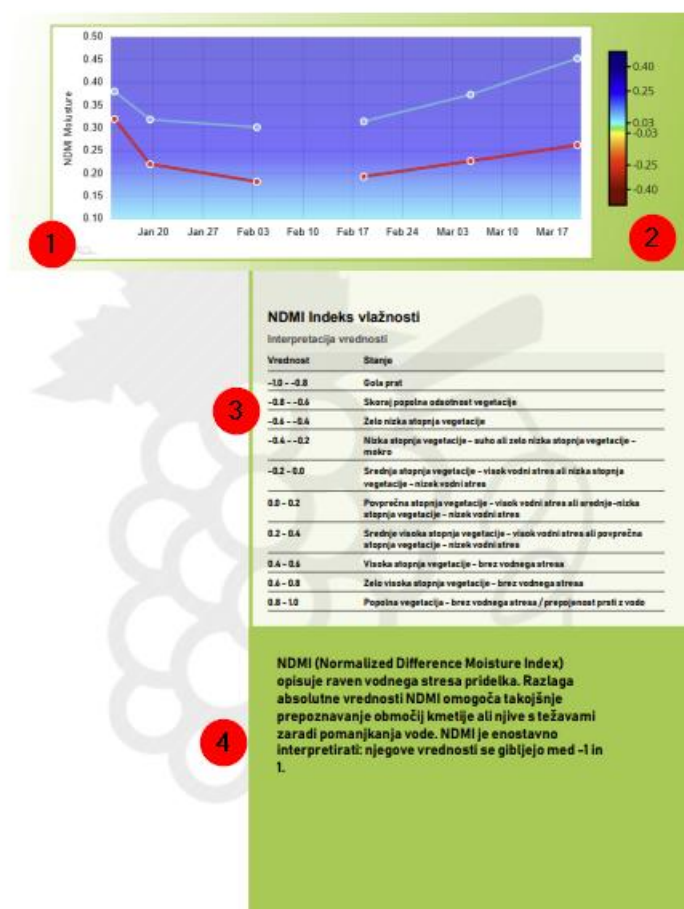
Stran z prikazom vrednosti vsakega od indeksov je sestavljena iz štirih vsebinskih elementov (Slika 6):

- 1 – vrednosti indeksa za izbrano časovno obdobje prikazano v obliki črtnega grafikona za eno ali dve izbrani lokaciji. Ozadje grafa je za lažjo interperacijo obarvano v skladu z barvno skalo opisano v točki 2
- 2 – teoretični obseg vrednosti indeksa prikazane na barvni skali. Razpon vrednosti je zvezno razdeljen med različne barvne odtenke, kar olajša interpretacijo vrednosti. Enake barve so

prikazane v ozadju grafikona (točka 1), pa tudi na interaktivni karti portala, kar omogoča neposredno primerjavo.

- 3 – tabelarični prikaz obsega vrednosti indeksa razdeljen na frekvenčne razrede z navedbo stanja pojava v naravi, ki ustreza posameznemu razredu. Uporabniku ta podatek pomaga razumeti stanje pojava v naravi oz. vpliv pojava na vinogradniško pridelavo.
- 4 – splošni opis vegetacijskega indeksa in njegovega pomena

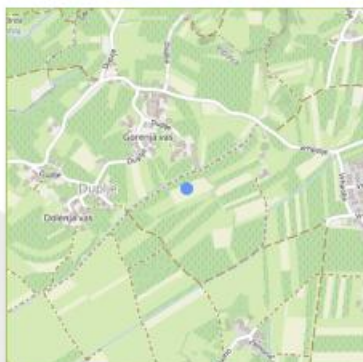
NDMI Indeks vlažnosti



Slika 6: Primer strani z predstavitvijo vrednosti enega od vegetacijskih indeksov.

Pred opisom vrednosti samih indeksov sta prikazani ena ali dve predstrani za orientacijo in prostorsko umestitev izbranih lokacij na katere se predstavljene vrednosti indeksov v nadeljevanju nanašajo. Uporabniku oz. bralcu dokumenta omogoča prostorsko umestitev izbranih lokacij v prostor. Prikazana sta odseka na dveh nivojih in sicer odsek s topografsko karto manjšega merila za grobo orientacijo in odsek z ortofoto podlago večjega merila za podrobnejšo orientacijo v prostoru (Slika 7). V primeru izbora dveh lokacij, se poleg kart posamične lokacije, prikaže tudi karta z obema lokacijama hkrati.

Položaj1



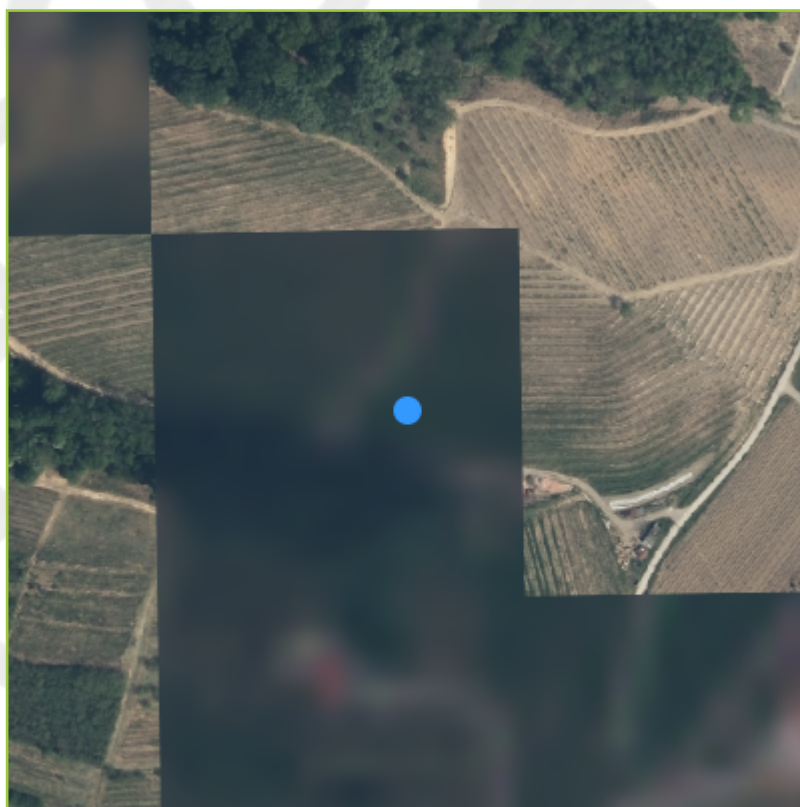
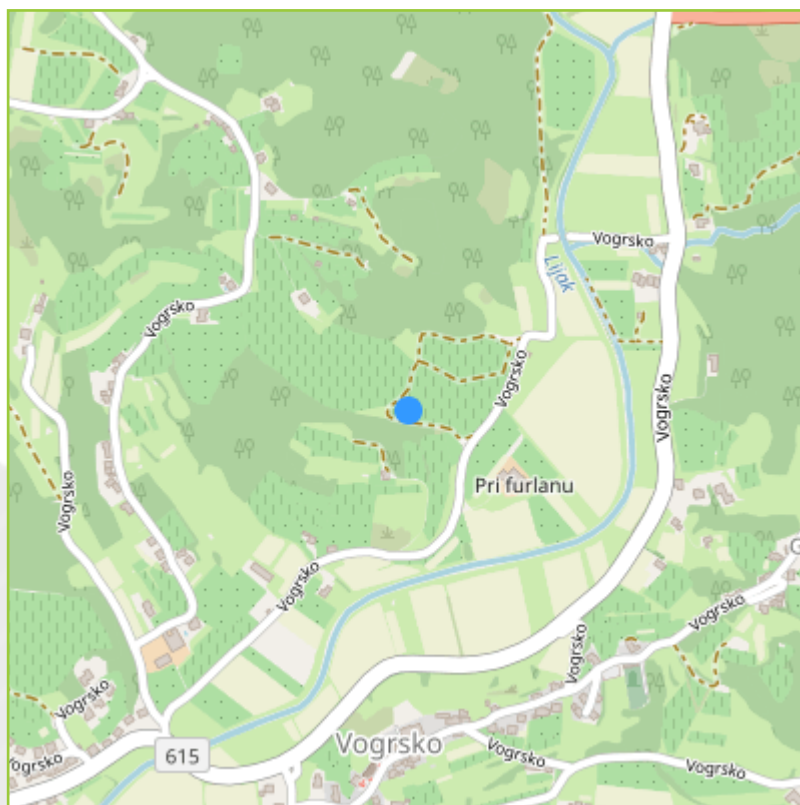
Slika 7: Predstran za orientacijo in prostorsko umestitev izbrane lokacije.



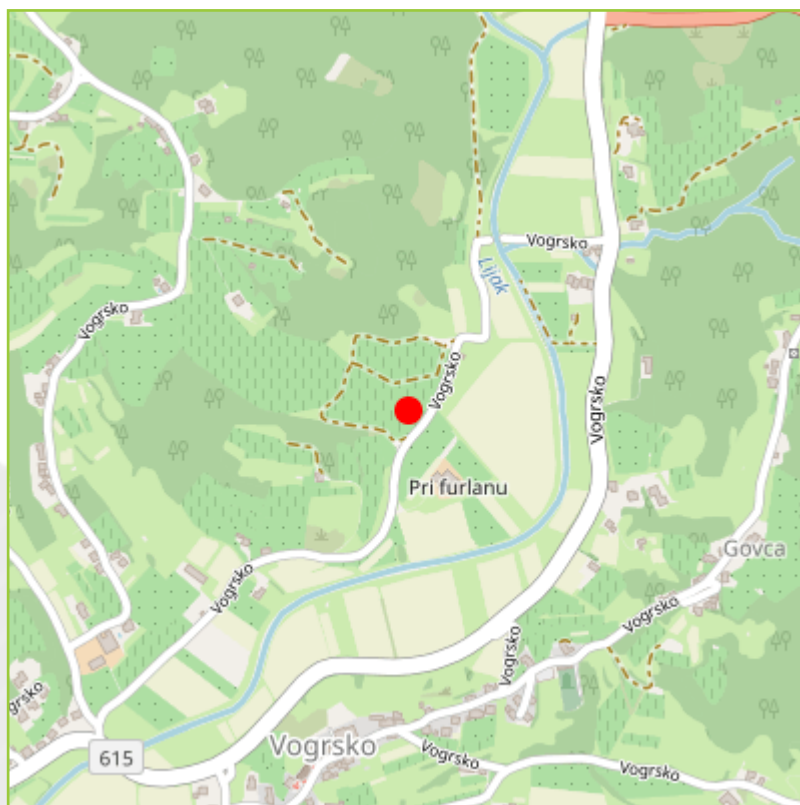
POROČILO o satelitskih vrednostih

*POROČILO O VREDNOSTIH AGROMETEOROLOŠKIH PARAMETROV V
OBDOBJU 11.2.2025 - 13.3.2025*

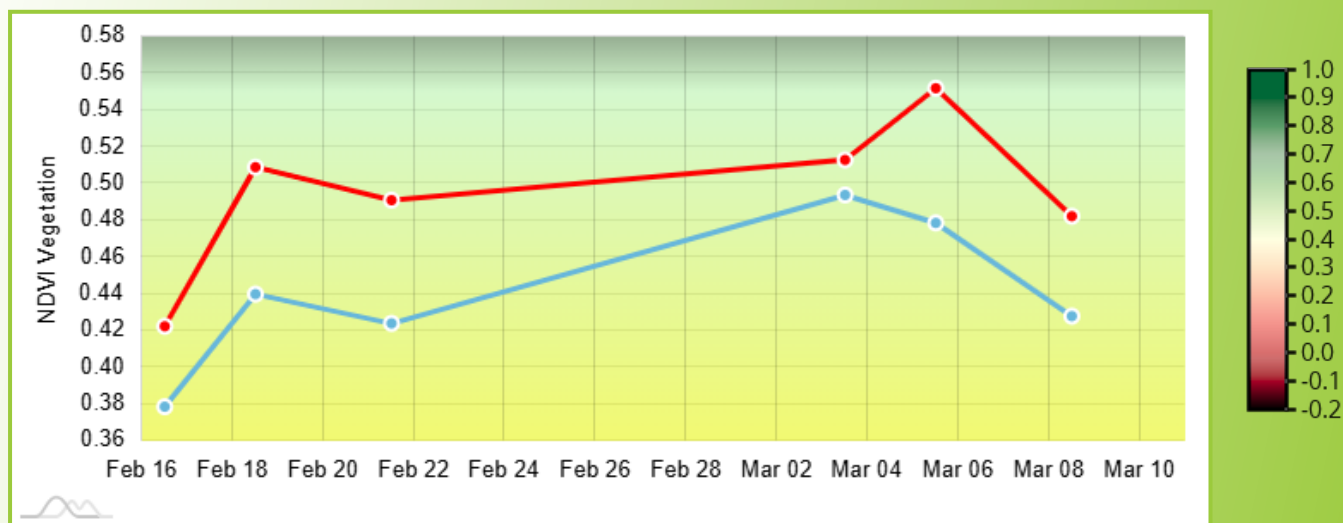
Položaj 1



Položaj 2



NDVI Indeks vegetacije



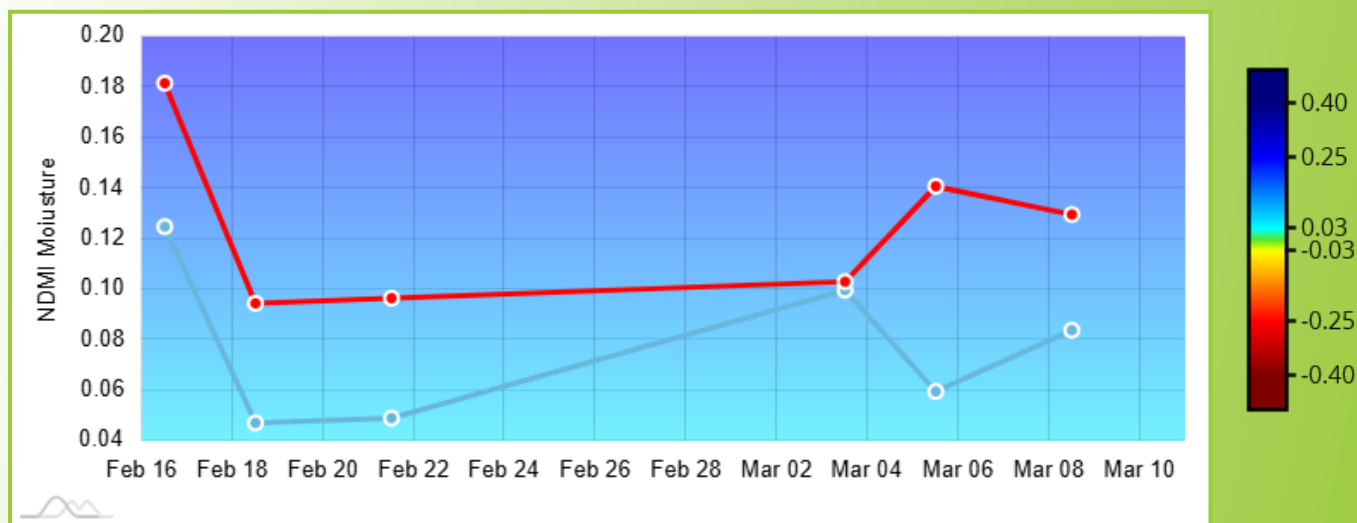
NDVI Indeks vegetacije

Interpretacija vrednosti

Vrednost	Stanje
0.0 - 0.1	Gola prst
0.1 - 0.2	Skoraj popolna odsotnost vegetacije
0.2 - 0.3	Zelo nizka stopnja vegetacije
0.3 - 0.4	Nizka stopnja vegetacije - nizki vigor ali zelo nizka stopnja vegetacije - visok vigor
0.4 - 0.5	Srednje nizka stopnja vegetacije - nizki vigor ali nizka stopnja vegetacije - visok vigor
0.5 - 0.6	Povprečna stopnja vegetacije - nizki vigor ali srednje nizka stopnja vegetacije - visok vigor
0.6 - 0.7	Srednje visoka stopnja vegetacije - nizki vigor ali povprečna stopnja vegetacije - visok vigor
0.7 - 0.8	Visoka stopnja vegetacije - visok vigor
0.8 - 0.9	Zelo visoka stopnja vegetacije - zelo visok vigor
0.9 - 1.0	Popolna vegetacija - zelo visok vigor

NDVI (normaliziran vegetacijski indeks razlike) opisuje stopnjo moči pridelka. Interpretacija absolutne vrednosti NDVI je zelo informativna, saj omogoča takojšnjo prepoznavo območij kmetije ali polja, ki imajo težave. NDVI je preprost indeks za razlago: njegove vrednosti se gibljejo med -1 in 1.

NDMI Indeks vlažnosti



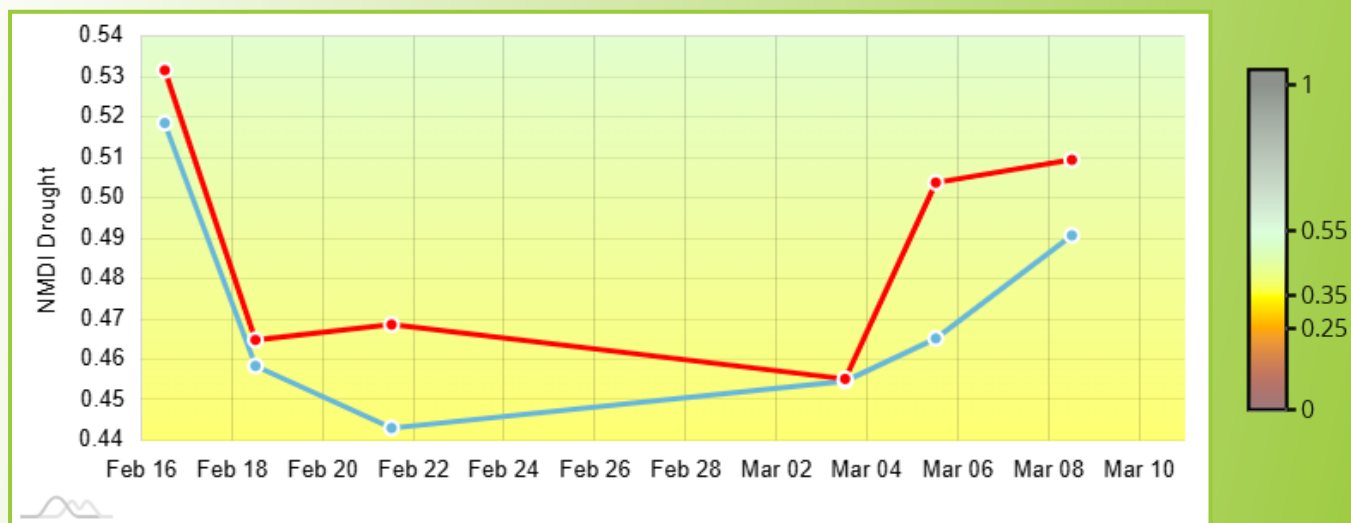
NDMI Indeks vlažnosti

Interpretacija vrednosti

Vrednost	Stanje
-1.0 - -0.8	Gola prst
-0.8 - -0.6	Skoraj popolna odsotnost vegetacije
-0.6 - -0.4	Zelo nizka stopnja vegetacije
-0.4 - -0.2	Nizka stopnja vegetacije - suho ali zelo nizka stopnja vegetacije - mokro
-0.2 - 0.0	Srednja stopnja vegetacije - visok vodni stres ali nizka stopnja vegetacije - nizek vodni stres
0.0 - 0.2	Povprečna stopnja vegetacije - visok vodni stres ali srednje-nizka stopnja vegetacije - nizek vodni stres
0.2 - 0.4	Srednje visoka stopnja vegetacije - visok vodni stres ali povprečna stopnja vegetacije - nizek vodni stres
0.4 - 0.6	Visoka stopnja vegetacije - brez vodnega stresa
0.6 - 0.8	Zelo visoka stopnja vegetacije - brez vodnega stresa
0.8 - 1.0	Popolna vegetacija - brez vodnega stresa / prepojenost prsti z vodo

NDMI (Normalized Difference Moisture Index) opisuje raven vodnega stresa pridelka. Razlaga absolutne vrednosti NDMI omogoča takojšnje prepoznavanje območij kmetije ali njive s težavami zaradi pomanjkanja vode. NDMI je enostavno interpretirati: njegove vrednosti se gibljejo med -1 in 1.

NMDI Sušni indeks



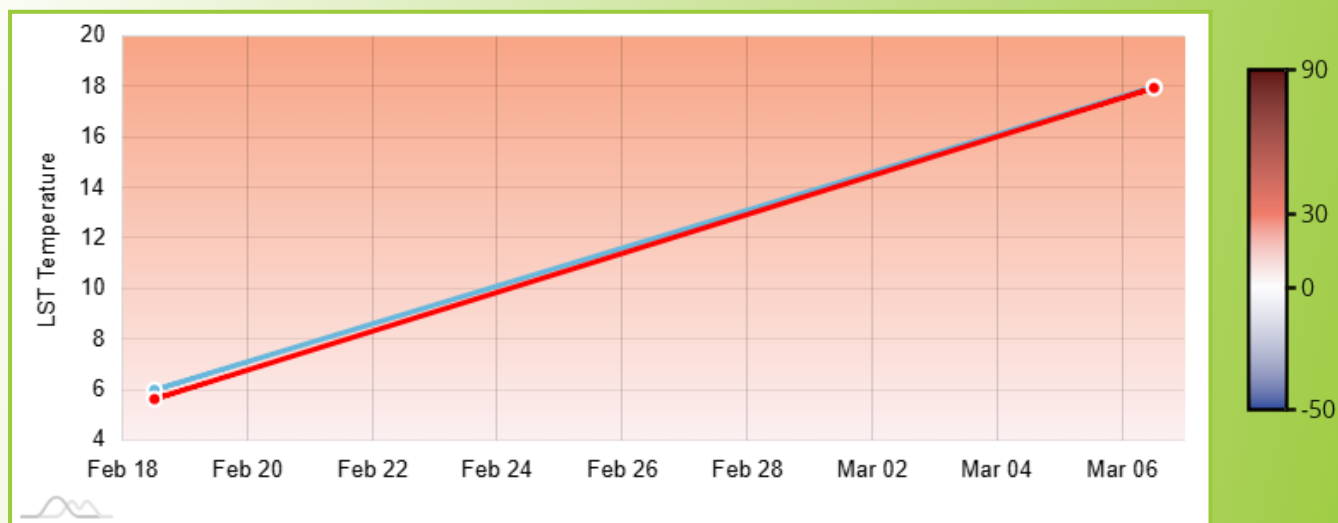
NMDI Sušni indeks

Interpretacija vrednosti

Vrednost	Stanje
> 0,7	Suha prst
0,6 - 0,7	Uravnoteženo stanje
< 0,6	Mokra prst

Nov indeks vlage, normalizirani večpasovni indeks suše (NMDI), je predlagan za daljinsko zaznavanje vsebnosti vode v tleh in vegetaciji iz vesolja. Predhodni rezultati kažejo, da bo za golo zemljo ali območja s šibko vegetacijo piksel označen kot stanje suhe zemlje, če je $NMDI \geq 0,7$, vmesna, če je NMDI v območju od 0,6 do 0,7, in mokra, če je $NMDI < 0,6$. Medtem ko je za močno poraščena območja z $LAI \geq 2$ učinkovitost NMDI podobna NDWI in NDII. Zato je NMDI z združevanjem informacij iz več kanalov NIR in SWIR povečal občutljivost na resnost suše in je zelo primeren za oceno vsebnosti vode v tleh in vegetaciji.

LST Temperaturni indeks



LST Temperaturni indeks

Interpretacija vrednosti

Vrednost	Stanje
> 35°C	Pregrevanje prsti - Negativni vpliv na korenine, lahko vodi v odmiranje korenin
~24°C	Segrevanje prsti - Spodbujena rast poganjkov s povečano porabo zalog škroba
~13°C	Ohlajanje prsti - Akumulacija škroba, razdelitev biomase na koreninski sistem

Ta toplotna vizualizacija temelji na pasu 10 (pas je območje elektromagnetnega spektra; satelitski senzor lahko Zemljo slika v različnih pasovih). Pri centralni valovni dolžini 10895 nm meri v toplotnem infrardečem sevanju ali TIR. Namesto merjenja temperature zraka, kot to počnejo vremenske postaje, pas 10 poroča o tleh, ki so pogosto veliko bolj vroča. Toplotni pas 10 je uporaben pri zagotavljanju površinskih temperatur in se zbira z ločljivostjo 100 metrov.