

Sistem za podporo pri odločanju pri zimskem vzdrževanju avtocest (DARS MDSS)

dr. **Rok Kršmanc**¹, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Marko Korošec²

Andrej Sever²

dr. **Alenka Šajn Slak**¹, univ. dipl. biol.

Samo Čarman¹, mag. inž. str.

¹CGS plus, d.o.o.

²DARS, d.d., Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji

Povzetek

Vreme pomembno vpliva na varnost na cestah, kar so pokazali tudi neljubi dogodki v pretekli zimi. Vremenski sistemi lahko nudijo pomembne informacije za voznike in vzdrževalce cest, ter povečajo varnost na cestah in znižajo stroške zimskega vzdrževanja.

Pozimi 2015/2016 smo obstoječi cestnovremenski informacijski sistem (CVIS DARS) nadgradili z dodatnimi pomembnimi funkcionalnostmi, ki so sistem CVIS pripeljale v sistem MDSS (Maintenance Decision Support System). Na slovenskih avtocestah smo opravili analizo cestnega omrežja s termalnim kartiranjem. Podatki termalnih kartiranj so bili v prvi vrsti uporabljeni pri izračunu visokoločljivostne linijske napovedi temperature in stanja cestišča na celotnem avtocestnem omrežju. Sistem tudi na podlagi teh napovedi predlaga ukrepe za izvajanje zimske službe (pluženje/posipanje, posipni material, čas in lokacijo ...) in predvidi njihov vpliv glede na izračunane napovedi temperature in stanje cestišča.

DARS MDSS temelji na naj sodobnejših računalniških tehnologijah in vključuje znanje in izkušnje stroke in uporabnikov.

Abstract

Weather has a significant impact on road safety, as evidenced by the unfortunate events of the past winter in Slovenia. Weather information systems provide important support to drivers and road maintenance services, increase road safety and reduce the cost of winter maintenance.

In winter 2015/2016, the Slovenian Motorway Company's Road Weather Information System (RWIS DARS) was upgraded with additional relevant functionalities that promoted the existing RWIS into the Maintenance Decision Support System (MDSS). A thermal mapping of the road network was conducted on Slovenian motorways. The thermal mapping data were primarily used in calculating the high-resolution route-based forecasts of road temperature and road conditions throughout the motorway network. On the basis of these forecasts, the system proposes treatments for the implementation of winter service (i.e. ploughing/gritting, gritting materials, time and location) and anticipates their impacts according to the forecasted road temperature and road conditions.

DARS MDSS is developed on the latest technologies and it incorporates the knowledge and experience of the profession and users.

1 Uvod

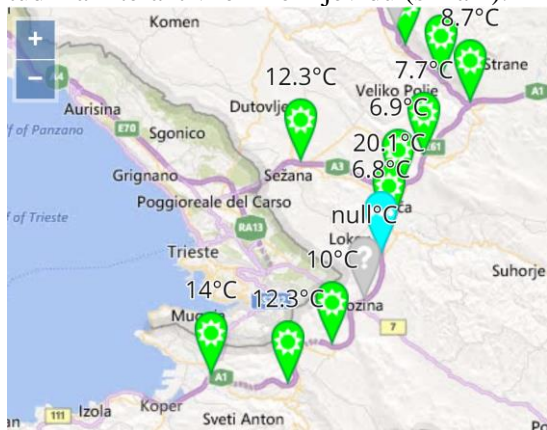
Na prejšnjih Slovenskih kongresih o cestah in prometu smo že predstavili cestnovremenski informacijski sistem — CVIS (Šajn Slak *et al.*, 2010), ki so ga leta 2007 vpeljali na DARS-u in ga pri svojem delu redno uporabljajo za spremljanje vremenskih razmer na slovenskih avtocestah. Pomembnejša nadgradnja se je zgodila v zimi 2011/2012, ko je bila v sistem dodana dvanajsturna točkovna napoved temperature in stanja cestišča (Kršmanec *et al.*, 2012).

V zimi 2015/2016 pa smo z dodatnimi pomembnimi nadgradnjami sistem CVIS pripeljali v sistem MDSS (*Maintenance Decision Support System*), ki vzdrževalcem predlaga ukrepe, jih vrednoti in jim tako pomaga pri pomembnih odločitvah v zimskem vzdrževanju cest. Razvoj je potekal na modernem MVC (*model – view – controller*) PHP ogrodju Laravel (<https://laravel.com/>). DARS MDSS, ki bo predstavljen v nadaljevanju, temelji na naj sodobnejših računalniških tehnologijah in vključuje znanje in izkušnje stroke in uporabnikov.

2 DARS MDSS

2.1 Pregled osnovnih podatkov

Izdelani so uporabniški vmesniki, ki zagotavljajo pregled nad vsemi pomembnimi trenutnimi podatki (npr. pregled cestnovremenskih postaj, pregled točkovnih napovedi temperature in stanja cestišča na lokaciji posamezne cestnovremenske postaje, pregled alarmov in opozoril, pregled video-nadzornih kamer, pregled radarske slike padavin in vremenskih napovedi). Podatki so na voljo v tabelarni in grafični obliki, poleg tega pa tudi na interaktivnem zemljevidu (slika 1).



Slika 1: Uporabniški vmesnik, ki zagotavljajo pregled nad vsemi pomembnimi podatki, ki so povezani z izvajanjem zimske službe

Sistem omogoča izdelavo različnih poročil v standardnih formatih s podatki in osnovnih statistik preteklih meritev po posameznih območjih oz. cestnovremenskih postajah tako v tabelarni kot v grafični obliki.

2.2 Termalno kartiranje

Slovensko avtocestno omrežje poteka po zelo razgibanem terenu in v zahtevnem klimatskem območju. Vremenske razmere se vzdolž avtocestnega omrežja drastično spreminjajo. Zaradi tega smo na celotnem avtocestnem omrežju (vključno z uvozi in izvozi) opravili analizo cestnega omrežja s termalnim kartiranjem. Gre za postopek, kjer se z natančnimi meritvami temperature cestišča ugotovi prostorska spremenljivost temperature vzdolž trase avtoceste.

Meritve smo opravljali v nočnem času, ko je bila temperatura cestišča 5 °C ali manj (oziroma, ko temperatura okolice ni presegala 8 °C) in ko so bile vremenske razmere vzdolž posameznih odsekov čim bolj enotne in brez padavin. Meritve smo izvajali z do petimi avtomobili hkrati (slika 2). Na njih je bila nameščena strojna in programska oprema, razvita prav za ta namen. Meritve so bile izvedene v več različnih vremenskih situacijah na obeh polovinah avtocestnega omrežja.



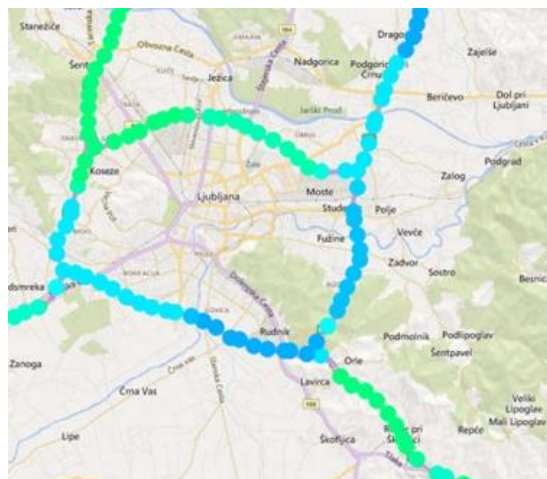
Slika 2: Skupinska fotografija ekipe pred izvedbo termalnega kartiranja avtocestnega omrežja

2.3 Visokoločljivostna linijska napoved temperature in stanja cestišča

Podatki termalnih kartiranj so bili v prvi vrsti uporabljeni pri izračunu visokoločljivostne linijske napovedi temperature in stanja cestišča na celotnem avtocestnem omrežju s prostorsko ločljivostjo 30 m in časovno ločljivostjo 1 ure. Končni rezultat je linijska napoved temperature in stanja cestišča, ki je prikazana na interaktivnem zemljevidu (slika 3). Izračun napovedi temelji na kompleksnem fizikalnem in statističnem modelu, ki upošteva meritve obstoječih cestnovremenskih postaj (kjer mora biti zagotovljeno kvalitetno redno vzdrževanje in periodične kalibracije merilne opreme), meritve termalnih kartiranj, sestavo cestnega telesa, vremenske napovedi, ki jih izračunava ARSO ipd. Njegovo osrčje predstavlja fizikalni model METRo (Crevier in Delage, 2001), ki temelji na bilančni enačbi energijskih tokov:

$$R = (1 - \alpha)S + \varepsilon I - \varepsilon \sigma T_s^4 - H - L_a E \pm L_f P + A,$$

kjer je R energijski tok, ki ga cestišče dobi nad površjem, α albedo, S vpadno sončno sevanje, ε emisivnost, I vpadno infrardeče sevanje, σ Stefan-Boltzmannova konstanta, T_s temperatura cestišča, H tok zaznavne toplote, L_a izparilna toplota vode, E tok izhlapevanja, L_f talilna toplota vode, P intenziteta padavin, A antropogeni toplotni tok.

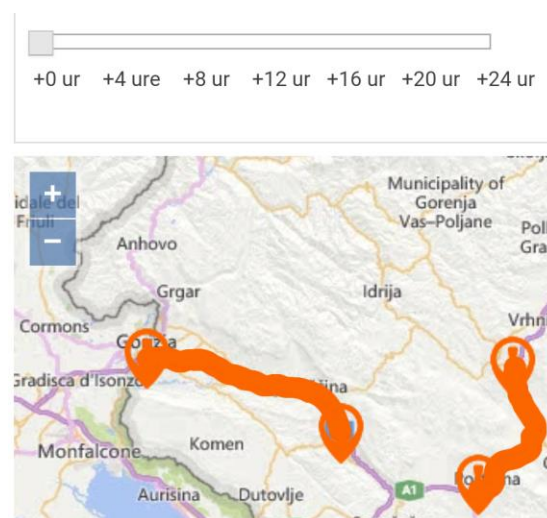


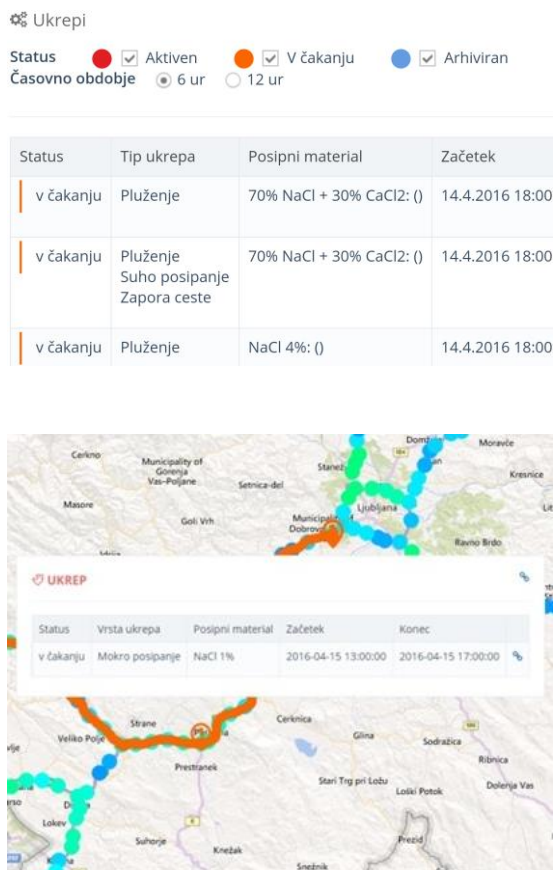
Slika 3: Visokoločljivostna linijska napoved temperature in stanja cestišča na celotnem avtocestnem omrežju s prostorsko ločljivostjo 30 m in časovno ločljivostjo ene ure

2.4 Ukrepi

Visokoločljivostna linijska napoved je predstavljala osnovo za izdelavo modula za upravljanje z ukrepi in vrednotenje njihove učinkovitosti. Modul avtomatično predlaga ukrepe za izvajanje zimske službe (pluženje/posipanje, količina in vrsta posipnega materiala, začetek in konec ukrepa, lokacija, nabor vozil in voznikov ...) in predvidi njihov vpliv glede na izračunane napovedi temperature in stanja cestišča (slika 4). Uporabniki lahko te ukrepe spreminjajo in združujejo, prav tako pa lahko tudi sami predlagajo svoje ukrepe.

Vsi ukrepi in posegi se arhivirajo, tako je možna njihova naknadna analiza. Uporabnikom je na voljo tudi enostaven vmesnik za komunikacijo z vzdrževalnimi ekipami.





Slika 4: MDSS avtomatično predlaga ukrepe za izvajanje zimske službe (čas in lokacija ukrepa, tip in količino posipnega materiala ipd.)

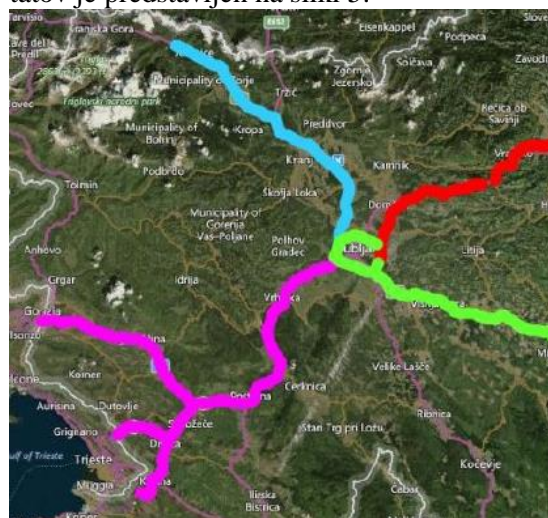
Ko je ukrep zaključen modul izračuna analizo učinkovitosti (Jensen *et al.*, 2013) na vseh cestnovremenskih postajah, ki se nahajajo na območju izvedenega ukrepa. Pri tem upošteva: najvišjo hitrost vetra, največjo debelino ledu/snega/vodnega filma na cestišču in najnižjo temperaturo cestišča. Namen izračuna je ovrednotenje izvajanja ukrepov posipanja in pluženja na posameznih avtocestnih odsekih.

Modul omogoča tudi nadzor nad posipnimi materiali v skladiščih in silosih (poraba posameznih materialov, število izvedenih ukrepov iz posameznega skladišča ipd.).

3 Študije

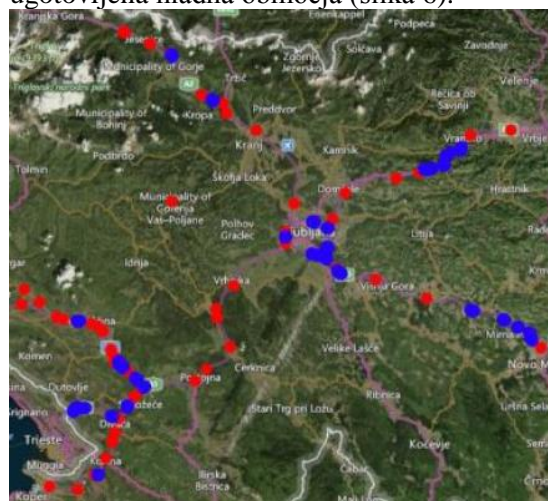
Podatki termalnih kartiranj so bili uporabljeni tudi pri različnih študijah. V eni izmed njih smo se ukvarjali z določitvijo klimatskih domen — območij, kjer so temperature cestišča podobne njihovi bližnji okolici. Te smo določili s pomočjo algoritma premikajočega povprečja (Dodge, 2010) in hierarhičnega gručenja (Nacher *et al.*, 2004). Pri tem smo upoštevali tudi različne vremenske situacije.

Algoritem je v splošnem prepoznal naslednja geografska območja: Gorenjska (odsek Ljubljana–Karavanke), osrednja Slovenija in Dolenjska, Štajerska in Primorska. Del rezultatov je predstavljen na sliki 5.



Slika 5: Določitev klimatskih domen na slovenskem avtocestnem omrežju

V okviru druge študije smo pripravili analizo postavitve obstoječih cestnovremenskih postaj. V ta namen smo razvili algoritem za iskanje hladnih območij, ki deluje na podatkih termalnih kartiranj. Ideja algoritma je razdelitev manjšega območja termalnih kartiranj na tri sosednje rezine, kjer se za vsako rezino izračunava povprečje vseh temperatur v tej rezini. Ko se temperatura srednje (druge) rezine dovolj razlikuje od prve in tretje rezine, algoritem določi hladno območje. Algoritem pri izračunavanju drsi po celotnem območju termalnih kartiranj, njegov rezultat pa so na zemljevidu prikazana tista mesta, kjer so bila ugotovljena hladna območja (slika 6).



Slika 6: Eden izmed rezultatov algoritma za zaznavanje hladnih območij na slovenskem avtocestnem omrežju (modre točke)

Zanimiva je še študija, kjer smo analizirali meritve vidljivosti na najbolj kritičnih odsekih avtocest, kjer so bile zabeležene povečane nevarne vremenske razmere. Na podoben način kot pri meritvah vidljivosti smo pripravili analizo meritev hitrost vetra na območju Vipavske doline (odsek Razcep Nanos–Vrtojba) ter na odseku Postojna–Koper. Rezultati analiz, ki so temeljili na večletnih zgodovinskih meritvah, so eden izmed pomembnih dejavnikov pri razumevanju nevarnih vremenskih situacij na slovenskih avtocestah.

4 Zaključek

DARS razpolaga z modernim MDSS sistemom, ki mu bo v pomoč pri izvajanju zahtevnega in odgovornega sprejemanja odločitev. MDSS omogoča optimizacijo in nadzor nad izvajanjem zimske službe, povečanje varnosti voznikov, racionalizacijo rabe posipnih materialov in zmanjšanje škodljivih vplivov na okolje.

Sistem je tehnološko pripravljen na enostavno izvedbo nadgradenj, ki bi jih bilo smiselno izvesti v prihodnosti:

- Vključitev ansambelske meteorološke napovedi, ki vsebuje tudi podatek o verjetnosti za pojav vremenskega dogodka.
- Vključitev visokoločljivostne napovedi smeri/hitrosti vetra in napovedi poslabšanja vidljivosti za prihodnjih nekaj ur.
- Vključitev modula selektivnega posipanja na podlagi modela soljenja in ostalih podatkov.
- Vključitev krmilnih naprav v plušna/posipalna vozila: navodila za pot, krmiljenje količine in vrste posipnega materiala ter uporabe pluga (glede na rezultate modula selektivnega posipanja).
- Vključevanje interneta stvari (*Internet of Things*): visokoločljivostne in nizkocevnove meritve meteoroloških paramet-

rov v vozilih in na avtocestni infrastrukturi.

- Združevanje in povezovanje z obstoječimi inteligentnimi transportnimi sistemi (C-ITS).

Zahvala

DARS MDSS je izdelalo podjetje CGS plus d.o.o. Ekipo so sestavljali (navedeni po abecednem vrstnem redu): Samo Čarman, Jaka Dirnbek, Žan Dogar, Abdelhamid Elazem, Dev Kordeš, Rok Kršmanc, Barbara Novak, Alenka Šajn Slak in Tomaž Tomažič. Kot podizvajalca sta sodelovali podjetji GeoCodis d.o.o. iz Slovenije in Klimator AB iz Švedske.

Viri in literatura

- Crevier L.P. in Delage Y. 2001. METRo: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada. *Journal of Applied Meteorology*, 40:2026-2037.
- Dodge Y. 2010. *The Concise Encyclopedia of Statistics (Moving Average)*. Springer.
- Jensen D., Koeberlein B., Bala E. in Bridge P. Ensuring and Quantifying ITS Return on Investment through the Development of Winter Maintenance Performance Measures. 20th ITS World Congress, Tokio, Japonska, oktober 2013.
- Kršmanc R., Ivačič M., Šajn Slak A. in Korošec P. Zniževanje stroškov zimskega vzdrževanja avtocest z nadgradnjo DARS cestnovremenskega informacijskega sistema z napovedjo temperature in stanja cestišča. 11. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, Slovenija, oktober 2012.
- Nacher J.C., Ueda N., Yamada T., Kanehisa M. in Akutsu T. 2004. Clustering under the line graph transformation: application to reaction network. *BMC Bioinformatics*, 5:207.
- Šajn Slak T., Čarman S., Kršmanc R., Ivačič M., Černivec R. in Herga L. Vidiki razvoja cestnovremenskega informacijskega sistema. 10. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, Slovenija, oktober 2010.