

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Možnosti termálního mapování silnic pro optimalizaci zimní údržby

Bc. Marian Cvrkal

Diplomová práce

2014

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marian Cvrkal**
Osobní číslo: **D12851**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Možnosti termálního mapování silnic pro optimalizaci zimní
údržby**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

ÚVOD

ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ ÚDAJE A ZDROJOVÁ DATA

Legislativa, silniční síť, statistika spotřeby chemických posypových látek, termální měření (historie, vývoj, popis principu), stanovení a popis úseků pro měření.

VLASTNÍ MĚŘENÍ TEPLOT POVRCHU VOZOVKY

Měření termokamerou, měření IR teploměry a silniční meteostanicí.

ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT A NÁVRH ŘEŠENÍ

Zpracování dat (tabulková databáze, vizualizace v GIS prostředí, lokalizace na konkrétní úseky silnic).

Nalezení odlehlých hodnot pro optimalizaci zimní údržby (návrh).

ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Stanovení a popis výsledného návrhu optimalizace zimní údržby silnic.

Výpočet předpokládaných změn spotřeby posypového materiálu.

ZÁVĚR

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

GUSTAVSON, R: Thermography, A practical approach, NORBO KraftTechnik AB, 2009

TESTO AG: Firemní literatura, Kapesní průvodce termografie, Praha, 2008

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika, BEN, Praha 2006

KREIDL, M.: Měření teploty, BEN, Praha 2005

LYSENKO, V.: Detektory pro bezdotykové měření teplot, BEN, 2005

SPRÁVA A ÚDRŽBA SILNIC PARDUBICKÉHO KRAJE: Plán zimní údržby silnic v Pardubickém kraji pro zimní sezónu 2013-2014, 6.9.2013

Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, prováděcí vyhláška č. 104/1997 Sb.

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR: Databanka majetkových správců silnic, ŘSD ČR, Odbor silniční databanky, GIS prohlížeč LGDMS verze 13.01

VAISALA Ltd: Termální mapování Česká republika 2007, Souhrnná zpráva, Verze 1.0, Vaisala Ltd, Birmingham B5 7SW, United Kingdom, Srpen 2007

BOGREN Jörgen , GUSTAVSSON Torbjörn: Termální mapování silnic I. třídy v ČR 2008, Klimator AB, Goteborg, Sweden, 1. září 2008,

GUSTAVSSON Torbjörn, Thermal mapping a technique for road climatological studies, Laboratory of Klimatology, Department of Earth Sciences, University of Goteborg, Sweden, 1999

Numerický předpovědní modul ALADIN (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Kukla, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 21. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 23. května 2014

prof. Ing. Bohumil Čulek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2014

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 27.11.2014

Bc. Marian Cvrkal

Tato diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu „Podpora stáží a odborných aktivit při inovaci oblasti terciárního vzdělávání na DFJP a FEI Univerzity Pardubice, reg. č.: CZ.1.07/2.4.00/17.0107“, v týmu zabývajícím se „Problematikou možností technické diagnostiky“.

Děkuji zejména vedoucímu práce Ing. Pavlovi Kuklovi, Ph.D. za cenné rady, odborné připomínky, metodické vedení práce, zajištění zapůjčení termokamery a aktivní účast při realizaci měření.

Infra kamera FLIR T335 byla zapůjčena z Pracoviště zpracování obrazu (Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.) Fakulty elektrotechniky a informatiky, Univerzity Pardubice.

Dále bych rád poděkoval Ing. Miroslavu Němcovi, řediteli Správy a údržby silnic Pardubického kraje, za technickou podporu pro měřící práce a za zpřístupnění statistických dat zimní údržby silnic.

ANOTACE

Práce popisuje a hledá další možnosti optimalizace dávkování chemických posypových materiálů při provádění zimní údržby silnic zavedením a použitím nových technologií (měření teploty povrchu vozovky termokamerou, bezkontaktními teploměry a využití matematických modelů zaměřených na výpočet předpovědi teploty povrchu vozovky).

V práci je na základě vlastních termálních měření zpracován výpočet a kalkulace možných úspor posypu na konkrétním úseku silnice za jedno zimní období při respektování a využití zjištěných termálních diferencí povrchu komunikace jednotlivých dílčích úseků od průměrné referenční hodnoty v rámci údržbového okruhu (oblasti). Návrh optimalizace posypových dávek chemických rozmrazovacích prostředků zimní údržby silnic není cílen pouze na ekonomický a kvalitativní přínos, ale významnou měrou také na hledisko environmentální.

Pro reálné využití v praxi je výsledný návrh zpracován nejen v tabulkové databázi, ale i v geografickém informačním systému (GIS) v podobě mapového výstupu, za použití GPS lokalizace a liniového provozního staničení příslušné komunikace.

KLÍČOVÁ SLOVA

zimní údržba, termální mapování, termokamera, termogram, systém GPS, numerický modul ALADIN, MDSS (Maintenance Decision Support System)

TITLE

Possibilities of the thermal road's mapping for optimization of the winter maintenance.

ANNOTATION

The work describes and looking for other options to optimize the dosing of chemical spreading materials in the implementation of winter maintenance of roads, the introduction and using of new technologies (measurement of the temperature of the road surface by thermovision, non-contact thermometers and use mathematical models of calculation of temperature forecasts aimed at the surface of the ground).

The work is based on its own calculation of thermal measurement and calculation of possible processed savings gritting on the particular stretch of road for one winter when respect for and using of thermal difference of surface sections from the average of the reference value in the framework of maintenance circuit (area). Design optimization of spreading doses of chemical means of winter maintenance of roads gritting is not targeted only at the economic and qualitative benefits, but also to a significant degree on the environmental aspect.

For real using in practice, the resulting proposal is processed not only in the product database, but also in the geographic information system (GIS) in the form of the output of the map using GPS location and appropriate communication of the liner service station.

KEYWORDS

winter road maintenance, thermal mapping, thermal imaging camera, thermogram, GPS system, numerical model ALADIN, MDSS (Maintenance Decision Support System)

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

1. TECHNICKÁ ČÁST

AUTOR PRÁCE: Bc. Marian Cvrkal
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Pavel Kukla, Ph.D.

Obsah

0	ÚVOD	11
1	ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ ÚDAJE A DATA	14
1.1	Legislativa pro zimní údržbu silnic	14
1.2	Silniční síť Pardubického kraje	18
1.3	Rozsah a technologie zimní údržby silnic v Pardubickém kraji	19
1.4	Spotřeby posypových hmot a náklady zimní údržby silnic v Pardubickém kraji	20
1.5	Termální mapování silnic (popis, stav měření do roku 2010 a výhled)	24
1.6	Vlastní termální měření (popis, realizace a využití)	28
1.6.1	Bezkontaktní měření teploty (teorie)	29
1.6.2	Měření vozidlovým teploměrem s GPS lokalizací	33
1.6.3	Měření infrakamerou	36
1.6.4	Měření ručními teploměry	38
1.7	Systém GPS monitoringu vozidel údržby (Fleetware)	40
1.8	Systém MDSS (Maintenance Decision Support System - Dispečerský předpovědní modul zimní údržby)	43
1.8.1	Numerický předpovědní model ALADIN	47
1.9	Vybavení údržbových vozidel (pro aplikaci návrhu a další měření)	48
1.10	Stanovení referenčního úseku pro vlastní termální měření a návrh optimalizace posypů	51
2	VLASTNÍ MĚŘENÍ TEPLOT POVRCHU VOZOVKY	53
2.1	Měření teploty povrchu vozidlovým teploměrem s GPS lokalizací	54
2.2	Měření teploty povrchu stabilními silničními meteostanicemi	56
2.3	Ověření měření teploty povrchu infrakamerou a ručními infrateploměry	60
3	ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT A NÁVRH ŘEŠENÍ	61
3.1	Databáze z vlastních termálních měření	61
3.2	Zpracování zjištěných hodnot v grafické podobě (GIS)	66
3.3	Doplnění naměřených hodnot o data z ručních měření (infrakamerou a ručním infrateploměrem)	67

4	ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ.....	71
4.1	Stanovení a popis výsledného návrhu optimalizace posypových dávek zimní údržby silnic.....	71
4.2	Výpočet předpokládaných změn spotřeby posypového materiálu na referenčním úseku zimní údržby.....	78
5	ZÁVĚR.....	82
6	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	85
7	PŘÍLOHY.....	86

0 ÚVOD

Zajištění a provádění zimní údržby silnic je bez pochyby zásadním prvkem běžné údržby silniční sítě, který neustále nabývá na významu z důvodu stále se zvyšující intenzity silniční dopravy. Toto je zřejmé jak po stránce společenského významu k zajištění sjízdnosti pozemních komunikací pro individuálně cestující veřejnost, přepravu zboží, výkon služeb a hromadnou přepravu osob v zimním období, ale také z pohledu příslušných vlastníků a správců komunikací. Právě z důvodu stále stoupající intenzity provozu na pozemních komunikacích jsou na tuto činnost kladeny stále větší kvalitativní požadavky pro zajištění bezporuchovosti (pohotovosti) sjízdnosti dopravní cesty i v zimním období, které zákonitě vyvolávají stále vyšší finanční náklady. V podmínkách silniční sítě jednotlivých krajů dosahují náklady za tuto činnost běžně i polovinu jejich celkového ročního příspěvku na veškeré práce údržby (letní i zimní). Je tedy zřejmé, že jakákoli další vhodná optimalizace procesu zimní údržby silnic a následně uspořené prostředky za zimní období lze využít efektivněji a to pro činnosti údržby letní.

Výsledný efekt provedené zimní údržby silnic spočívající ve zmírnění následků povětrnostní situace je totiž v porovnání s činnostmi letní údržby silnic zřejmý jen ve velmi krátkém časovém intervalu v řádu hodin či dní a silniční majetek nijak nezhodnocuje, ale právě naopak. Aplikací chemických rozmrazovacích materiálů se negativní účinky chloridů projevují zejména na vlastním krytu vozovky ale mnohdy i na dalších konstrukčních vrstvách, dále také na součástech a příslušenství komunikace (mosty, propustky). V neposlední řadě samozřejmě i na silniční vegetaci a životním prostředí v okolí vlastní komunikace.

Při aplikaci inertních zdrsňovacích materiálů je z pohledu vlivu na pozemní komunikaci značným negativem znečišťování odvodňovacích systémů, zanášení krajnic a příkopů a ve vztahu k širšímu okolí i zvýšená prašnost, která je nežádoucí zejména v intravilánu obcí. Z hlediska obecného pohledu na ochranu životního prostředí se jedná o spotřebovávání a znehodnocování nerostných surovin (písků a drtí) v nezanedbatelných objemech, další upotřebení či recyklace pro opětovné použití je jen velmi těžko realizovatelná.

Mechanické odklízení sněhu pluhováním poškozuje zejména vodorovné dopravní značení, povrch krytu vozovky a v případě nesprávného provádění i příslušenství komunikací např. směrové sloupky, dopravní značení a silniční vegetaci (nejvíce novou výsadbu).

Cílem této práce je konkrétní návrh optimalizace dávkování chemických posypových materiálů, selektivním principem úpravy dávkování dle výsledků termálního měření povrchu

komunikace. Tato diplomová práce navazuje na závěry a výsledky bakalářské práce téhož autora, která byla zpracována v roce 2011 na téma „Zavedení termálního mapování silnic a údržbového modulu předpovídajícího teplotu a stav povrchu vozovky pro výkon zimní údržby silnic v Pardubickém kraji“. Závěry z této práce poukázaly na skutečnost, že by bylo vhodné provádět přesnější termální popis povrchu komunikací podrobnějším měřením, protože byly použity pouze měření z vozidlových teploměrů sypačů pouze v pevné časové periodě 30 vteřin, které však nebyly mnohdy kompletní a data pro vyhodnocení nebyla v dostatečném počtu a kvalitě. Navíc bylo měření limitováno na data z „ostrých výjezdů“ techniky údržby, kdy již byl povrch mnohdy pokrytý sněhem nebo vrstvou námrazy a tímto u výsledků docházelo k jejich částečnému zkreslení. Pro zajištění dostatečně vypovídajícího termálního popisu povrchu komunikace bylo na základě těchto závěrů nyní navrženo využití vlastních měření vozidlovým teploměrem a termokamerou, tak aby bylo možno provádět měření nezávisle na činnosti vozidel údržby a ve vhodných klimatických podmínkách.

Pro získání dostatečného počtu dat, které by v maximální možné míře stanovily dostatečně vypovídající termální popis chování povrchu komunikace za klíčových povětrnostních podmínek, bylo zamýšleno provést co největší počet možných měření s využitím měření vozidlovým teploměrem (bezkontaktně infračervenou technologií) a dále ve větší míře zkusit využít měření z termokamery.

Použitím kamery by bylo možné zajistit popis termálních odchylek v celé šířce příčného průběhu komunikace a v případě použití kamery umožňující spojitě snímání v čase s nahráváním videosekvence i ve směru podélném za delší úseky než jen ze statického lokálního termosnímku (s hodnocením jednotlivých lokálních termogramů). Tento původní záměr však zásadním způsobem ovlivnil zcela atypický a nečekaný průběh klimatických podmínek s extrémně mírným charakterem, kdy teploty vzduchu klesaly pod 0°C pouze ojediněle a po kratší časové období bez dostatečného efektu ochlazení povrchu komunikací. Další dílčí limitující faktor byl z důvodu omezených možností termínů zapůjčení infrakamery FLIR T335, které bylo zajištěno z Pracoviště zpracování obrazu Fakulty elektrotechniky a informatiky, Univerzity Pardubice.

Chemické rozmrazovací prostředky (zejména chlorid sodný NaCl) tvoří jednu z nejvýznamnějších položek zimní údržby silnic. Na území silniční sítě Pardubického kraje oscilují celkové spotřeby chemických rozmrazovacích materiálů za jedno zimní období kolem hranice 20.000 tun chloridu sodného a to v závislosti na průběhu klimatických podmínek (tvrdosti zimy). Při aktuálních průměrných cenách tohoto posypového materiálu se jedná o částku přibližně 50 milionů Kč.

V současné době je úroveň a dostupnost informačních systémů a technologií pro zpracování popisu termálního chování povrchu vozovky, prognózu vývoje klimatických podmínek a následnou predikci teploty povrchu vozovky již na takové úrovni, aby je bylo možné využít ke zpracování návrhu úpravy posypových dávek chemických rozmrazovacích materiálů (jejich optimalizaci). Pro zajištění jejich automatizované aplikace lze využít systém GPS s vhodnou řídicí jednotkou umístěnou přímo ve vozidlech údržby. Zavedením této automatické dynamické úpravy posypové dávky lze zajistit změnu při dávkování posypového materiálu ze stávajícího subjektivního rozhodnutí řidiče vozidla údržby, na automatizovanou předvolbu dle objektivních kritérií a to zejména na základě výsledků termálního mapování silnic, které by bylo možné doplnit i o predikci vývoje klimatických podmínek ze speciálních předpovědních modelů. Touto úpravou by bylo obsluze vozidla údržby automaticky předvolováno na ovládacím panelu sypače nastavení vhodné posypové dávky pro konkrétní úsek silnice. Tímto bude možné dosáhnout větší efektivity vlastního výkonu zimní údržby (zejména eliminací chyb rozhodovacího procesu lidského faktoru).

Zlepšení procesu zimní údržby silnic by pak mělo být zřejmé nejen v oblasti kvality a ekonomiky, ale nepochybně také ve vztahu k životnímu prostředí a technickému stavu vlastní dopravní cesty a jejímu okolí.

1 ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ ÚDAJE A DATA

Pro úvod do problematiky a vstupních parametrů práce je v této kapitole zpracován popis zásadních aspektů a podmínek pro provádění zimní údržby silnic s přehledem konkrétních údajů tohoto procesu realizovaného na silniční síti v rámci území Pardubického kraje. Dále je zde uveden popis dostupných technologií a aplikací na základě kterých lze zpracovat návrh zamýšlené optimalizace k efektivnějšímu provádění zimní údržby silnic, zejména při aplikaci preventivních i likvidačních posypů chemickými rozmrazovacími materiály (chloridem sodným NaCl).

1.1 Legislativa pro zimní údržbu silnic

Provádění zimní údržby silnic se řídí dle platného znění zákona č. 13/1997 Sb. (Zákon o pozemních komunikacích) a jeho prováděcí vyhlášky č. 104/1997 Sb. Na základě ustanovení těchto zcela zásadních legislativních předpisů a dalších aktuálních pokynů Ministerstva dopravy ČR zpracovávají příslušní vlastníci nebo pověření správci komunikací každý rok Plán zimní údržby dálnic, silnic nebo místních komunikací. Tyto plány se pro jednotlivé typy komunikací odlišují zejména způsobem a časovými lhůtami pro zmírňování závad ve sjízdnosti způsobených povětrnostními vlivy.

Zimní období, které je stanoveno zákonem č. 13/1997 Sb., a to na období od 1.11. do 31.3., stanovuje pro příslušné správce komunikací závazné časové lhůty pro zajištění sjízdnosti konkrétních úseků dle plánem zimní údržby stanovených pořadí důležitosti. Doba od zjištění vzniku závady ve sjízdnosti dálnice nebo silnice do doby výjezdu prvních mechanismů ke zmírnění této závady nesmí být v zimním období delší než 30 minut. Mimo toto zimní období se závady ve sjízdnosti zmírňují bez průtahů (zákonem ani vyhláškou není stanoven konkrétní čas). Touto legislativou je ustanoveno, že správce komunikace závady ve sjízdnosti vzniklé povětrnostními vlivy neodstraňuje, ale pouze zmírňuje přiměřeně vzniklé situaci. Toto je všeobecně málo známá skutečnost mezi veřejností, jejíž společenská objednávka na tuto službu očekává úplné odstranění stavů zhoršujících adhezi na povrchu komunikací, povětrnostní situací v zimním období. V reálných podmínkách zimního období nelze projevy povětrnostních vlivů odstranit beze zbytku resp. bez vynaložení nepřiměřených finančních a neadekvátních technických prostředků.

Pro potřeby této práce byl použit schválený Plán zimní údržby silnic v Pardubickém kraji pro zimní sezónu 2013-2014 který byl zpracován na základě výše uvedených legislativních předpisů a dále dle Pokynu Ředitelství silnic a dálnic ČR č.j. 14/2013-120-SS/1 ze dne 27.9.2013. Tento Plán zimní údržby silnic byl dne 3.9.2013 projednán pro celé správní území Pardubického kraje se složkami v celokrajské působnosti Pardubického kraje (Krajský úřad Pardubického kraje, Ředitelství silnic a dálnic správa Pardubice, Policie ČR Krajské ředitelství Pardubického kraje). Dále s dotčenými složkami a příslušnými správními úřady v působnosti území okresů Pardubice a Chrudim. Dne 5.9.2013 byl projednán se složkami a příslušnými správními úřady pro území okresů Ústí nad Orlicí a Svitavy.

Po tomto projednání na základě požadavků platné legislativy byl Správou a údržbou silnic Pardubického kraje předložen ke schválení Radou Pardubického kraje, která jej schválila na svém zasedání dne 19.9.2013. Následně byl odeslán ke schválení pověřenému pracovišti Ministerstvem dopravy. Pro tento úkon je jím Generální ředitelství Ředitelství silnic a dálnic ČR. Po této kontrole byl dne 24.10.2013 schválen vydáním schvalovací doložky Ministerstva dopravy ČR č.j. 14/2013-120-SS/20 a Ředitelství silnic a dálnic ČR č.j. 280-12110/2013.

Konkrétní legislativní požadavky k vlastní technologii a provádění zimní údržby jsou stanoveny ve Vyhlášce č. 104/1997 Sb. v Příloze č. 7. Protože se práce zabývá optimalizací úseků udržovaných chemickými rozmrazovacími materiály jsou základní z těchto požadavků dále uvedeny pouze ve vztahu k technologiím odklizení sněhu s použitím chemických rozmrazovacích materiálů a odstraňování náledí nebo ujetých sněhových vrstev za pomoci chemických rozmrazovacích materiálů.

Technologii odklizení sněhu s použitím chemických rozmrazovacích materiálů je možno použít pouze na úsecích komunikací určených plánem zimní údržby. Posyp těmito materiály se provádí jen v případech, kdy výška sněhové vrstvy nepřesahuje 3 cm. Do sněhové vrstvy vyšší než 3 cm není dovoleno posyp provádět. Vlastní dávkování se provádí v závislosti na intenzitě sněžení. Při intenzitě spadu sněhu do 1,5 cm za hodinu se aplikuje dávka 10 g.m^{-2} , při větší intenzitě 20 g.m^{-2} . Použití větších dávek již způsobuje vznik sněhové břečky. Při mimořádně dlouhém sněžení nebo při mimořádné intenzitě spadu lze v průběhu sněžení posyp dávkou 10 g.m^{-2} opakovat, ale vždy až po provedeném pluhování, aby se sůl dostala na povrch vozovky.

U technologie odstraňování náledí nebo ujetých sněhových vrstev za pomoci chemických rozmrazovacích materiálů je výše uvedeným předpisem stanoveno, že se rozmrazovací materiály aplikují zásadně až na zbytkovou vrstvu sněhu, kterou již nelze odstranit nebo dále snížit mechanickými prostředky. Odstraňují se takto vrstvy ujetého sněhu do 2 cm nebo náledí do 2 mm. Na vyšší vrstvy se použije opakovaný postup a součinnost mechanických prostředků. Při teplotách kolem -5°C se použije chlorid sodný, při teplotách kolem -15°C chlorid vápenatý. V mezilehlém intervalu teplot může být použita směs obou chloridů. Níže uvedené dávkování platí pro oba druhy chloridů a uvedené maximální dávky nesmí být překročeny.

Minimální technologicky dostačující dávka pro tento druh posypu je $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Při likvidaci vyšších vrstev náledí je zpravidla nutno použít dávek vyšších. Celková spotřeba posypových chloridů při jednom zásahovém dni nemá překročit $60\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Ve zcela výjimečných případech, kdy je nezbytné rychle obnovit úplnou sjízdnost komunikace, lze použít dávku vyšší než $60\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Dávky vyšší než $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ se nesmí používat na úsecích silnic vystavených silným větrům, pokud není na sypači použito skrápěcí zařízení.

Na tenké vrstvy náledí se nechá posyp působit cca 2 hodiny, na silnější vrstvy náledí 2 až 5 hodin. Pokud se za tuto dobu vrstva od povrchu zcela neuvolní, zpluhuje se uvolněná povrchová vrstva radlicí s ocelovým břitem a celý postup se opakuje. Celková spotřeba posypových chloridů přitom nesmí překročit výše uvedené povolené dávky. Vzniklou sněhovou břečku nebo ledovou tříšť je nutno z vozovky neprodleně mechanicky odstranit.

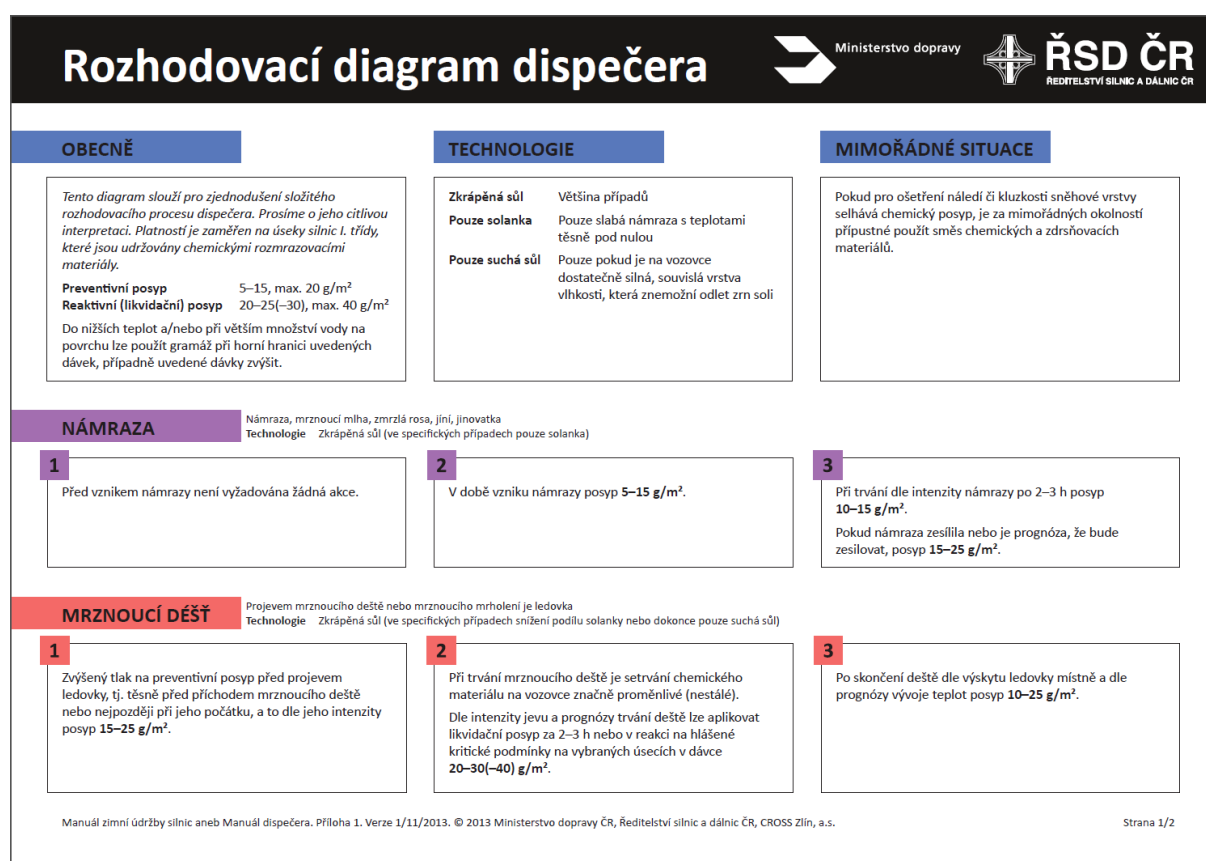
V mimořádných případech (při mrznoucím dešti nebo mrznoucím mrholení) lze výjimečně použít posypu směsí zdršňovacího a chemického materiálu. Dávka se přitom volí tak, aby celkové množství chemické složky nepřesáhlo výše uvedenou maximální dávku např. maximálně $240\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ směsi s poměrem 1:5.

U obou výše zmíněných technologií pro provádění chemických posypů jsou stanoveny stejným předpisem také požadavky na mechanizaci. Pro sypače chemických rozmrazovacích prostředků jsou stanoveny požadavky pro nastavitelnost dávky posypu v rozmezí od $10\text{--}60\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ na pruhu požadované šířky, kterou musí být možné nastavit v rozmezí minimálně 2 až 9 m. Nastavené dávkování musí být automaticky dodržováno i při změnách pracovní rychlosti sypače v mezích $10\text{ až }60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Sypače vybavené skrápěcím zařízením mají umožňovat dodržení poměru suchého materiálu k solance 7:3 při dávkování $5\text{ až }20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Doporučená koncentrace chloridu

sodného v solance je 18 až 21%. Před zimním obdobím musí být přezkoušeno skutečné dávkování v $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ s používaným materiálem dle technických podmínek Ministerstva dopravy (TP 127 Přezkoušení dávkování sypačů chemických materiálů s automatikou dávkování). Dle výsledků následně korigovat nastavení dávkovacího ústrojí tak, aby skutečně aplikované dávky byly v souladu s požadovanými hodnotami.

Výše uvedené legislativní požadavky k vlastní technologii a provádění zimní údržby stanovené ve Vyhlášce č. 104/1997 Sb. v Příloze č. 7 byly v roce 2013 doplněny a podrobněji upřesněny Rozhodovacím diagramem dispečera, který je přílohou č. 1 Manuálu zimní údržby verze 1/11/2013 zpracovaným Ministerstvem dopravy ČR, Ředitelstvím silnic a dálnic ČR a společností CROSS Zlín a.s. V tomto diagramu je uveden popis možných stavů povětrnostní situace v zimním období a doporučená technologie zimní údržby s upřesněním posypové dávky chemického posypu (NaCl).



Obrázek č. 1 – Rozhodovací diagram dispečera (Strana 1), přístupný pro dispečery zimní údržby v meteosystému METIS4 provozovaném společností CROSS Zlín a.s.

Rozhodovací diagram dispečera



Ministerstvo dopravy



ŘSD ČR
ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

SNĚŽENÍ

Mokro při sněžení, snih na vozovce, sněhové jazyky, návěje, závěje, ujetý snih
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech snížení podílu solanky nebo dokonce pouze suchá sůl)

1

Pokud hrozí ujetí či mrznutí a délka sněžení bude delší nebo intenzita bude významná.
První dávka před ujetím / zmrznutím na počátku sněžení dle intenzity sněžení a předpokládané délky trvání 10–25 g/m².

2

Při trvání sněžení odpluhování + dle intenzity sněžení a předpokládané délky trvání opakovaný posyp po 2–3 h v dávce 10–25 g/m².

3

Při ujetí nebo zmrznutí po 2–3 h odpluhování + posyp 20–40 g/m².

4

Při velké intenzitě sněžení lze nasadit pomocné pluhy (radlice) nebo se organizačně zaměřit na kritické úseky s opakovaným pluhováním + posypem po 1–2 h s dávkou 15–25 g/m².

5

Pokud nehrozí ujetí / zmrznutí a snih se významně neukládá na povrchu vozovky a teploty jsou příznivé, jako i trend jejich vývoje dle prognózy, pak není vyžadována žádná akce.

6

Po skončení sněžení dle stavu silnic odpluhovat.
Dle prognózy vývoje teplot a dle zbytkové sněhové vrstvy buď neprovádět žádnou akci, nebo dle místní potřeby odpluhovat + posyp 5–15 g/m².

NÁLEDÍ

Náledí, led, zmrazky, zmrzlé mokro (zmrznutí mokrého povrchu po dešti nebo tání, tj. bez srážek). Ujetý snih až od bodu 3.
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech snížení podílu solanky nebo dokonce pouze suchá sůl)

1

První posyp před zmrznutím dle množství vody na vozovce v dávce 10–20 g/m².

2

Další posyp lze opakovat při trvání podmínek na hranici mrznutí po 3 h s dávkou 10–20 g/m².

3

Pro odstraňování již vzniklého náledí dle intenzity (mocnosti) náledí posyp 20–40 g/m².

4

Po uvolnění zmrzlé vrstvy nebo její části (zpravidla za 2–4 h dle mocnosti náledí) se tato vrstva odpluhuje. Pokud na povrchu vozovky zůstává určitá vrstva náledí, opakuje se posyp v dávce dle mocnosti vrstvy, zpravidla 10–25 g/m².

Manuál zimní údržby silnic aneb Manuál dispečera. Příloha 1. Verze 1/11/2013. © 2013 Ministerstvo dopravy ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR, CROSS Zlín, a.s.

Strana 2/2

Obrázek č. 2 – Rozhodovací diagram dispečera (Strana 2), přístupný pro dispečery zimní údržby v meteosystému METIS4 provozovaném společností CROSS Zlín a.s.

Informace v této kapitole byly čerpány ze zdrojů [1] Zákon č. 13/1997 Sb., O pozemních komunikacích a [2] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 104/1997 Sb.

1.2 Silniční síť Pardubického kraje

K realizaci této diplomové práce byla použita oficiální databáze silniční sítě zpracovaná Ředitelstvím silnic a dálnic Odborem silniční databanky Ostrava s aktualizací k 1.1.2013 a evidenci silničního majetku Správy a údržby silnic Pardubického kraje (dále jen SÚS Pk).

Celkový přehled této silniční sítě je zpracován v přehledové mapě silniční sítě Pardubického kraje, která je přiložena v Grafické části práce a je označena názvem Mapa č. 1.

Dle těchto poskytovaných údajů ze silniční databanky Ostrava jsou dále v práci specifikovány konkrétní úseky silnic a to popisem příslušným číselným kódem a veškerá liniová lokalizace je jednoznačně identifikována provozním staničením (dle názvosloví dat silniční databanky jsou to položky v databázi s označením Staničení1, Staničení2).

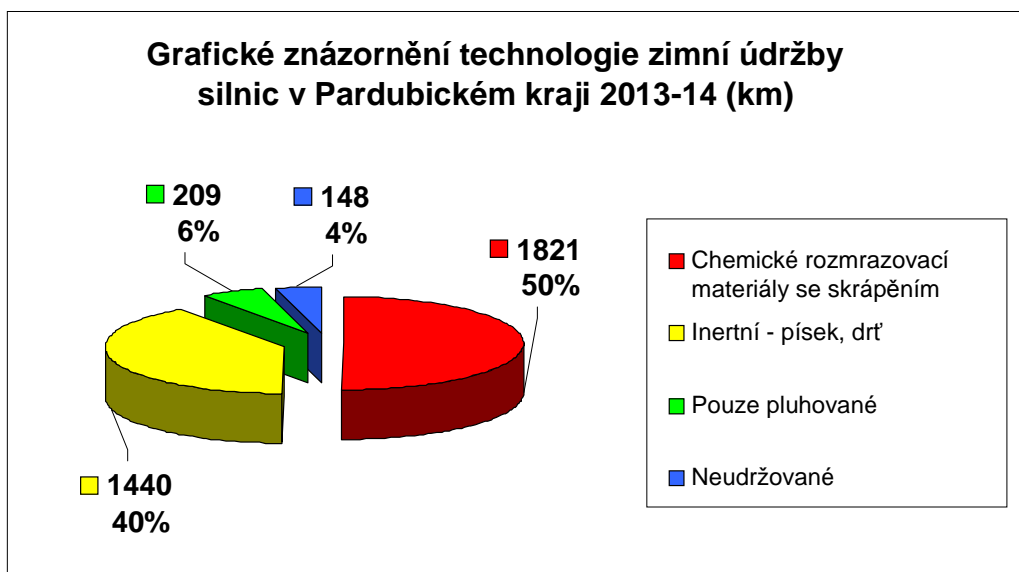
Tato databáze silniční databanky Ostrava zahrnuje pouze aktuálně evidovanou silniční síť. Nejsou v ní uvedeny úseky, které jsou již vyjmuty ze silniční sítě, ale zatím majetkově nepřevezeny do vlastnictví obcí. To znamená, že jsou stále ve vlastnictví Pardubického kraje a ve správě Správy a údržby silnic Pardubického kraje. Jedná se zejména o úseky za které jsou již vybudovány nové přeložky a obchvaty. Původní trasy se nachází v režimu převodu na nové vlastníky (převážně na místně příslušné obce). Po tuto dobu převodu jsou však dále v režimu údržby dle Plánu zimní údržby silnic v Pardubickém kraji a zahrnuty do níže uvedeného přehledu spravované silniční sítě pro zimní období 2013-2014.

Třída silnice	Délka (km)
I.	484,524
II.	914,687
III.	2 218,540
Celkem (km)	3 617,751

Tabulka č.1 – Přehled silniční sítě Pardubického kraje - stav k 1.1.2013 (data SÚS Pk, tabulka autor)

1.3 Rozsah a technologie zimní údržby silnic v Pardubickém kraji

Základní parametry rozsah a technologie zimní údržby jsou striktně definovány schváleným Plánem zimní údržby silnic v Pardubickém kraji pro zimní sezónu 2013-2014. Tento plán je zpracován jako jednotný pro údržbu celé krajské silniční sítě, bez ohledu na skutečnost, že silnice I. tříd jsou ve vlastnictví státu a II. a III. tříd ve vlastnictví kraj, protože údržbu všech tříd zajišťuje jedna organizace (SÚS Pk). Toto je výhodné z mnoha důvodů např. minimalizace technologických přejezdů, protože okruhy údržby na sebe přímo navazují bez zbytečného pojíždění silniční sítě ve správě jiným subjektem. Další zjevnou výhodou je okamžitá návaznost provedené údržby dle pořadí důležitosti (tříd silnic). Na základě tohoto Plánu, lze tak specifikovat členění jednotlivých technologií zimní údržby na celkové spravované silniční síti (I., II. a III. třídy) v rámci kraje. Tyto technologie jsou znázorněny graficky v níže uvedeném výsečovém grafu.



Graf č.1 – Přehled technologie zimní údržby silnic v Pardubickém kraji (data SÚS Pk, graf autor)

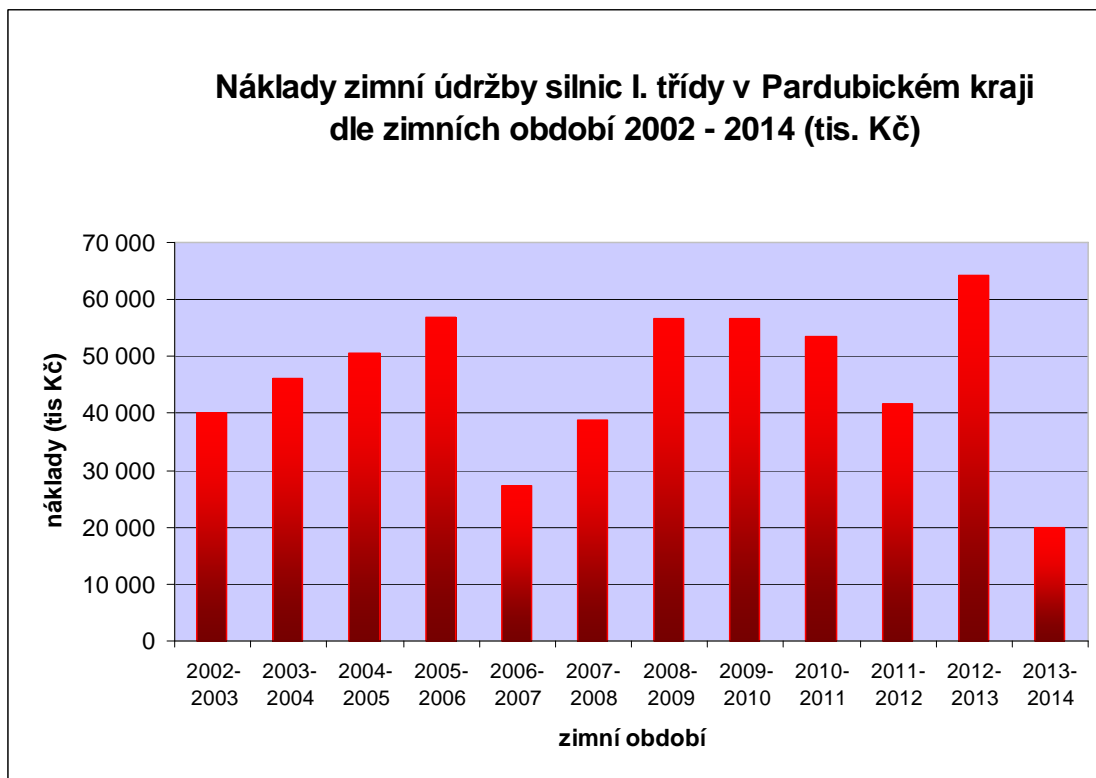
1.4 Spotřeby posypových hmot a náklady zimní údržby silnic v Pardubickém kraji

Spotřeba posypových materiálů a výše finančních nákladů za zajištění sjízdnosti silniční sítě v zimním období na území Pardubického kraje odpovídá náročnosti klimatických podmínek jednotlivých zimních období. Konkrétní hodnoty byly poskytnuty Správou a údržbou silnic Pardubického kraje a to za období od roku 2001 pro sil. II. a III. tříd a od roku 2002 pro sil. I. tříd (v této době již byla zimní údržba organizována v rámci nově vzniklých krajských územních celků).

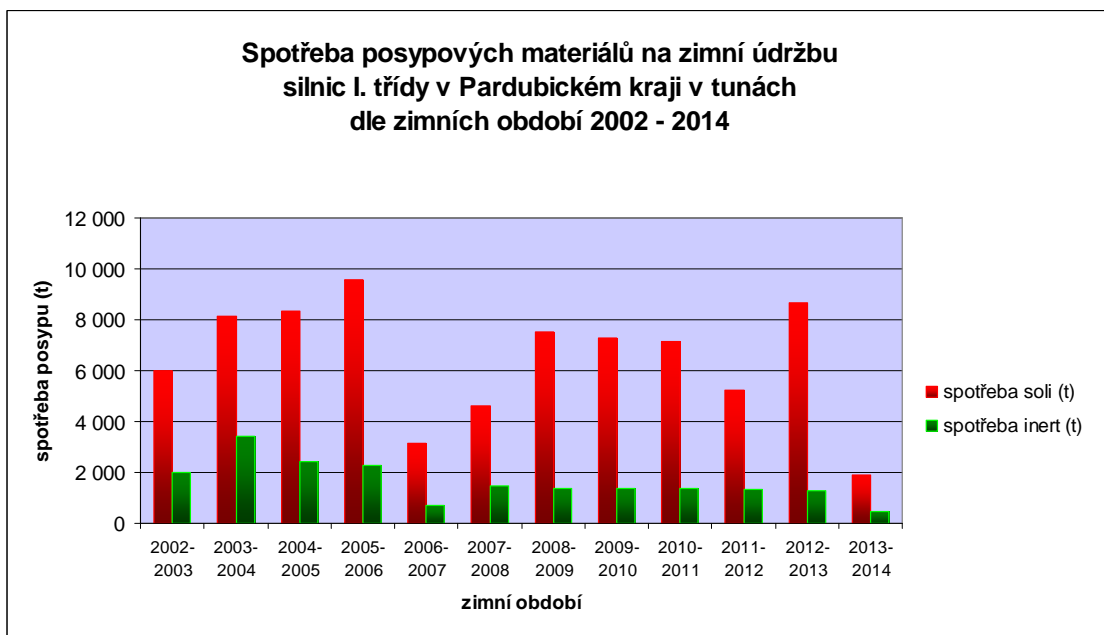
Nezávislé hodnocení výkonu zimní údržby včetně hodnocení spotřeby posypových materiálů ve vztahu k počasí, provádí pro silnice I. tříd Český hydrometeorologický ústav. Na základě dlouhodobé statistiky průběhu počasí a výkonů zimní údržby stanovuje normovanou hodnotu v závislosti na skutečném průběhu povětrnostní situace vypočtenou do čtverců o velikosti stran 4x4 km. Tento systém monitorování výkonů zimní údržby ve vztahu k počasí se nazývá WMI (z anglického překladu Winter Maintenance Index), česky Index zimní údržby. Pro hodnocení náročnosti zimní údržby je v tomto systému zavedena hodnota tvrdosti zimy vyjadřující číselnou bezrozměrnou hodnotu náročnosti klimatických podmínek ve vztahu k zimní údržbě pro příslušný kalendářní týden.

Přehled konkrétních nákladů zimní údržby a spotřeby posypových materiálů je uveden v následujících grafech a tabulkách. Ty jsou zpracovány na základě údajů poskytnutých od SÚS Pardubického kraje za období posledních deseti zimních sezón resp. devíti za silnice I. tříd. Pro přehlednost jsou rozčleněny na údaje za silnice I. tříd a II. a III. tříd (dle vlastnictví).

1.4.1 Silnice I. třídy (vlastník stát):



Graf č.2 – Přehled nákladů zimní údržby silnic I. třídy v Pardubickém kraji (data SÚS Pk, graf autor)

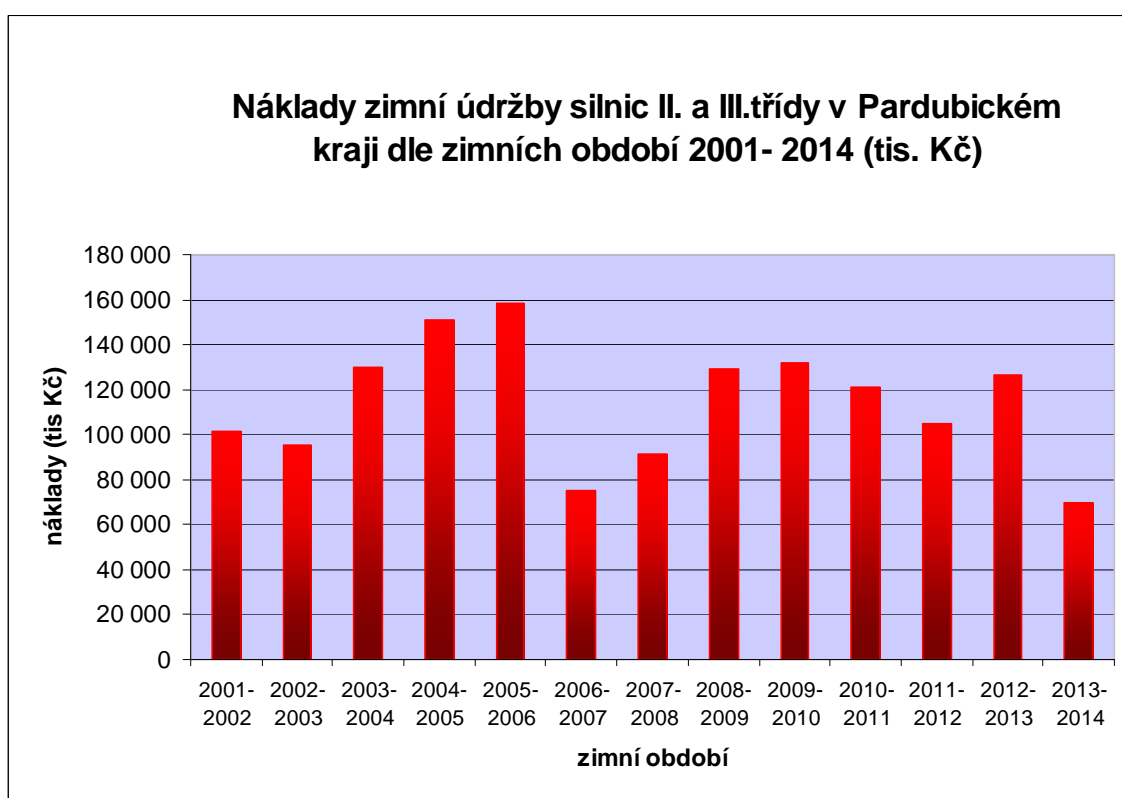


Graf č.3 – Přehled spotřeb posypových materiálů silnic I. třídy v Pardubickém kraji (data SÚSPk, graf autor)

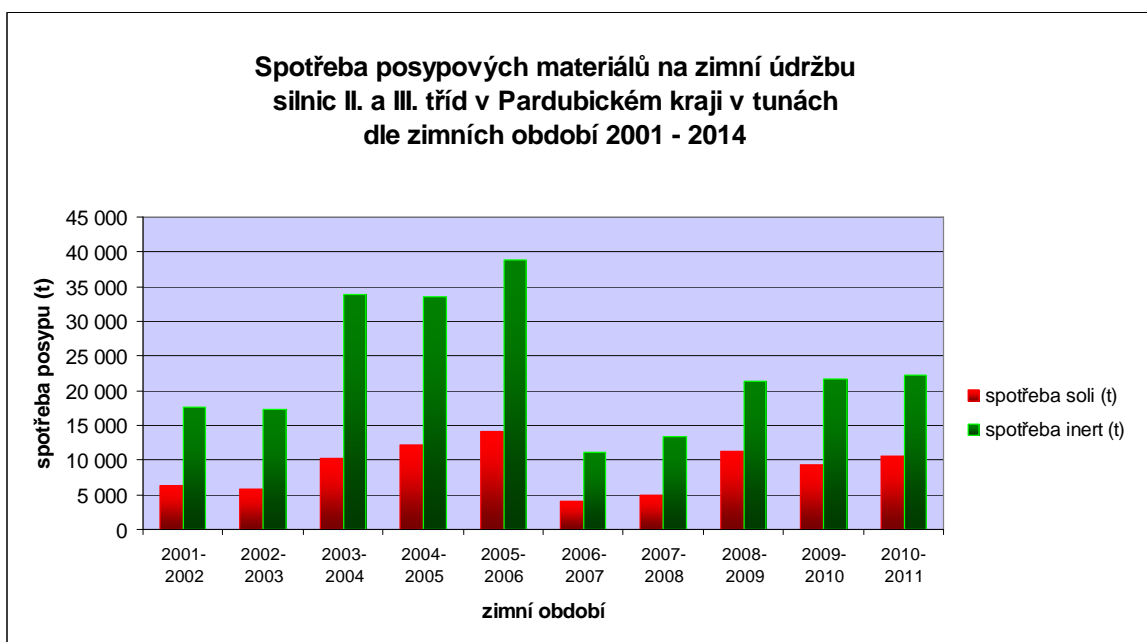
Položka	Minimum (ZÚ 2013-14)	Maximum náklady (ZÚ 2012-13) materiály (ZÚ 2005-06)	Průměr za období 2002-2014
Celkové náklady (tis. Kč)	19 817	64 242	47 447
Náklady tis Kč/km	40,9	133,4	98
Spotřeba soli (t)	1 902	9 571	6 868
Spotřeba inertu (t)	455	2 300	1 838
Počet posypových dnů	76	132	109

Tabulka č.2 – Přehled extrémních a průměrných statistických údajů zimní údržby silnic I. třídy (data SÚS Pk, tabulka autor)

1.4.2 Silnice II. a III. třídy (vlastník Pardubický kraj):



Graf č.4 - Přehled nákladů zimní údržby sil. II. a III. třídy v Pardubickém kraji (data SÚS Pk, graf autor)



Graf č.5 – Přehled spotřeb posypových materiálů silnic II. a III. třídy v Pk (data SÚS Pk, graf autor)

Položka	Minimum (ZÚ 2013-14)	Maximum (ZÚ 2005-6)	Průměr za období 2001-2014
Celkové náklady (tis. Kč)	74 862	158 455	114 250
Náklady tis Kč/km	23,87	50,5	34,38
Spotřeba soli (t)	4 087	14 109	8 688
Spotřeba inertu (t)	11 059	38 736	22 212
Počet posypových dnů	72	134	107

Tabulka č.3 – Přehled limitních a průměrných statistických údajů zimní údržby silnic II. a III. třídy (data SÚS Pk, tabulka autor)

Z výše uvedených statistických přehledů finančních nákladů a spotřeby posypových materiálů je zřejmý výrazný rozdíl u většiny položek mezi silnicemi I. třídy a ostatní silniční sítí Pardubického kraje. Je to způsobeno několika aspekty, zejména technologií posypu, kdy u silnic I. třídy je chemický posyp prováděn na téměř 96% a u silnic II. a III. tříd pouze na necelých 50% jejich celkové délky v rámci kraje. Dalším aspektem je samozřejmě pořadí důležitosti zimní údržby konkrétní silnice vycházejícím hlavně z hodnot intenzity dopravy, tranzitní osobní i nákladní dopravy a provozu hromadné přepravy osob linkovými autobusy.

Z těchto hledisek je zřejmé, že návrh případné úpravy posypových dávek se výrazněji projeví právě na okruzích zimní údržby silnic zařazených v I. pořadí důležitosti, ve kterých jsou zpravidla zahrnuty téměř všechny úseky právě silnice I. tříd, na kterých je nutná vyšší četnost jízd zimní údržby.

1.5 Termální mapování silnic (popis, stav měření do roku 2010 a výhled)

Jedná se o základní a nejvýznamnější parametr celé práce. Je to poměrně nová technologie, kterou lze popsat chování pozemní komunikace. Dosud však v rámci České republiky není zcela dostatečně využívána ve všech aspektech provádění zimní údržby silnic. Termální mapování povrchu vozovek je technika, kterou se zjišťuje prostorová variabilita teploty povrchu vozovek za charakteristických (klíčových) zimních povětrnostních podmínek.

Dosavadní mapování probíhá prozatím pouze dle jedné metodiky měřením při jízdě speciálně vybaveného vozidla předem určenou trasou v průběhu vybraných nocí a to pouze na některých úsecích silnic I. tříd. Aktuálně je v rámci republiky prováděno pouze společností CROSS Zlín a.s. pro Ředitelství silnic a dálnic ČR. Vozidlo má instalovány snímače teploty vzduchu a teploty povrchu vozovky. Vlastní měření teploty povrchu je prováděno v rastru přibližně 15 až 20 metrů. V průběhu jízdy se ukládají měřená data do počítače a do přídatných a zároveň záložních pamětí přímo ve vozidle kterým se měření provádí. Výsledná kvalita a přesnost získaných výsledků měření závisí na dodržení vhodné doby měření za co nejpodobnějších klimatických podmínek (významný vliv mají zejména náhlé změny oblačnosti, intenzita a směr větru a samozřejmě sluneční svit). Zásadním parametrem před vlastní realizací je tedy nutné dokonalé naplánování termínů měření s ohledem na prognózu počasí (problém je zejména s úseky měření ve vzdálenějších oblastech od výjezdového stanoviště měřicího vozidla, kdy při až dojezdu do zájmové lokality lze ověřit skutečný stav povětrnostních podmínek).

S ohledem na již realizovaný rozsah měření na základě objednávky Ředitelství silnic a dálnic pro vybrané úseky dálnic a silnic I. tříd byla realizace vlastních měření pro účely této práce cílena na získání výsledků za obdobných povětrnostních podmínek (stupňů pokrytí oblohy oblačností).

K popisu stávajícího stavu termálního mapování v této kapitole 2.5. jsou použity následující zdroje [4] *Termální mapování Česká republika 2007*, [5] *Termální mapování Česká republika 2008-2010* a [6] *Termální mapování povrchu vozovek, spol. CROSS Zlín a.s.*



Obrázek č. 3 – Vybavení vozidla pro provádění termálního mapování spol. CROSS Zlín a.s., střešní senzor teploty vzduchu, GPS antény, počítač se SW pro měření (foto autor)



Obrázek č. 4 – Vybavení vozidla pro provádění termálního mapování spol. CROSS Zlín a.s., detail snímače teploty vzduchu nad vozovkou, trubice s infrateploměrem pro měření teploty povrchu (foto autor)

Dle stávající metodiky měření jsou výstupem provedeného termálního mapování tzv. termální fingerprinty a termální mapy. Termální fingerprinty graficky vyjadřují naměřené teploty. Jedná se o grafy průběhu naměřené teploty v závislosti na délkovém průběhu silnic (resp. pasportní kilometrů). Následnou analýzou termálních fingerprintů a dalších důležitých podkladů (zejména geografických údajů o území) postupně vznikají termální mapy.

Termální mapy s vysokým detailem rozlišují teplotní charakteristiky jednotlivých úseků silnic za klíčových zimních povětrnostních podmínek. Termální mapy v barevných kódech po 1 °C zobrazují relativní odchylku teploty povrchu vozovky jednotlivých úseků od teplotního průměru. Teplotním průměrem je průměrná teplota povrchu vozovky naměřená při termálním mapování v rámci homogenní klimatické oblasti, která zpravidla odpovídá minimálně jednomu okruhu zimní údržby. Na základě toho je možné provést návrh úpravy posypové dávky s výpočtem předpokládaných změn spotřeby materiálu v rámci příslušného okruhu nebo případně konkrétní silnice či jejího dílčího úseku.

Klíčové zimní povětrnostní podmínky jsou rozděleny do tří základních charakteristik. Zjednodušeně popsatečných stupněm pokrytí oblohy oblaky (v meteorologii dle osmin):

- **jasná noc** (0 až 2 osminy pokrytí oblohy oblaky)
- **proměnlivo** (3 až 5 osmin pokrytí oblohy oblaky)
- **zatažená noc** (6 až 8 osmin pokrytí oblohy oblaky)

Primárně jsou mapovány noci. Po západu Slunce se povrch vozovky postupně ochlazuje, což v zimním období může vést k nebezpečí mrznutí (termální mapování tak lze využít v systému informační podpory zimní údržby komunikací). Termálním mapováním je možno lokalizovat, na kterých konkrétních úsecích silnic obvykle dochází k největšímu (nebo naopak nejmenšímu) ochlazování. Vše se snahou podchytit i rychlost tohoto ochlazování. Jedním z hlavních vlivů na toto rozložení teploty je právě aktuální meteorologická situace v regionu. Rozdíly teplot povrchu jednotlivých úseků silnic jsou dále ovlivněny např. geografickými faktory (zeměpisná šířka, nadmožská výška), topografií (konfigurace terénu, blízkost vodních těles a tzv. skyview faktor - míra otevřenosti terénu) a dalšími vlivy prostředí (konstrukce vozovky, mosty, tepelné ostrovy měst, intenzita dopravy).

Stávající využití termálního mapování je především k analýze rozmístění silničních meteorologických stanic a také jako datový vstup výpočtu pro předpovědní modely používané pro podporu zimní údržby komunikací (systém MDSS). V případě dalšího využití právě jako vstupu pro automatickou úpravu (optimalizaci) posypové dávky vozidel zimní údržby by zcela jistě došlo k dalšímu rozvoji měření a masivnějšímu využívání tohoto parametru.

Termální mapování silnic lze tedy označit jako zásadní a významný nástroj pro sofistikovanou klimatologickou analýzu a popis silniční sítě. V případě analýzy pro potřeby rozmístění silničních meteostanic jde o identifikaci jak reprezentativních lokalit, tak lokalit rizikového charakteru. Meteostanice umístěná v reprezentativní lokalitě obvykle popisuje meteorologickou situaci v rámci širšího okolí. Naopak meteostanice v rizikové lokalitě může s předstihem varovat před vznikajícím nebezpečím v rámci malého území resp. úseku silnice (např. mostní objekt, vrcholový oblouk výrazného stoupání, atd.).

Termální mapování je tedy možné použít jako datový vstup pro touto prací navrhovanou optimalizaci úpravy posypové dávky vozidel zimní údržby, ale je již také částečně využíváno do modelů předpovídajících teplotu (a případně i stav) povrchu vozovek. Je tedy důležitým prvkem parametrizace jednotlivých úseků silnic – tzn. jejich vzájemného rozlišení na základě jejich teplotních charakteristik. K tomuto účelu je však vždy třeba doplnit informaci o aktuálních teplotách povrchu vozovky v reálném čase, např. ze silničních meteostanic nebo z dostatečně kvalitních mobilních senzorů teploty povrchu (vozidlových teploměrů). Nejlépe kombinací měření z obou typů zařízení.

Technika termálního mapování pochází ze Švédska 80. let 20. století. Mobilní měření byla však pro místní klimatologické studie používána již na konci 20. let 20. století. Tradičními zeměmi, ve kterých se provádí toto měření jsou např. Švédsko, Velká Británie, USA, Finsko a Japonsko. V České republice probíhá termální mapování povrchu vozovek od roku 1997 dle jednotlivých objednávek Ředitelství silnic a dálnic ČR a je prováděno společností CROSS Zlín. Postupně jsou mapovány vybrané úseky dálnic, rychlostních silnic a ostatních silnic I. třídy. S ohledem na náročnost vlastního provádění se jedná o poměrně nákladnou záležitost, a proto není měření na této silniční síti ještě zcela dokončeno. I z tohoto důvodu hledá tato práce možnosti doplnění termálního popisu komunikací méně nákladným způsobem, kterým by bylo možné za dodržení určitých zásad a požadavků na technické měřicí vybavení realizovat přímo jednotlivými vlastníky nebo správci komunikací. Pro aktivní zapojení správců komunikací je však třeba najít vhodný motivační stimul, jelikož v případě provádění zimní údržby silnic správcem na komerční bázi pro vlastníka, k tomu nemají žádný důvod (protože je jim hrazena skutečná spotřeba posypových materiálů).

Stav termálně zmapované silniční sítě v České republice do roku 2010 je zakreslen na mapách č. 2.1 až 2.3 v Grafické části práce – zpracování v Pardubickém kraji. Dále je uveden i plánovaný výhled na rozšíření a doplnění měření silniční sítě dle objednávky Ředitelství silnic a dálnic ČR z roku 2014 (viz. mapa č. 2.4).

1.6 Vlastní termální měření (popis, realizace a využití)

Provedení vlastních termálních měření pro potřeby této práce bylo nutné na základě dvou zásadních důvodů. Jednak není silniční síť Pardubického kraje dostatečně termálně zmapována a to ani u silnic I. třídy a dále proto, že tato práce má za cíl ověřit možnost využití vlastních měření pro potřeby optimalizace zimní údržby. Proto bylo nutné dosavadní zcela nedostatečný rozsah měření (pro návrh optimalizace automatické posypové dávky) vhodným způsobem doplnit. Záměrem této práce bylo ověřit možnosti využití popisu teplotních polí na povrchu komunikace s využitím infrakamery. Pro provedení měření k tématu vlastního řešení diplomové práce byla díky vedoucímu práce (Ing. Pavel Kukla, Ph.D.) zapůjčena infrakamera FLIR T335 z Pracoviště zpracování obrazu (Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.) Fakulty elektrotechniky a informatiky, Univerzity Pardubice.

V podmínkách krajských správců silnic, kteří provádějí běžnou letní a zimní údržbu silnic na vybraných silnicích I. třídy na základě smluvního vztahu s Ředitelstvím silnic a dálnic nebo přímo s Ministerstvem dopravy, by bylo teoreticky možné použít pro tento účel měření z vozidlových teploměrů. Ty musí mít dodavatelé na údržbových vozidlech nainstalovány dle smluvních podmínek zmíněné smlouvy (příloha s požadavky na technické vybavení). Nutno ale konstatovat, že úroveň a technický stav těchto vozidlových teploměrů jsou v rámci ČR velmi různorodé. V Pardubickém kraji byl na SÚS Pk velmi zodpovědně a systémově vybrán speciální typ teploměru Surface Patrol, který je sice nákladnější, ale zřejmě zatím jako jediný dostupný na trhu i pro koncové uživatele, který je vhodný nejen pro okamžitou informaci řidiči vozidla, ale i pro účely termálního mapingu.

Další možností termálního popisu vozovky je realizace měření přenosnými bezkontaktními snímači typu infrakamera a ruční infrateploměr. U těchto zařízení je možné v závislosti na kvalitě zařízení dosáhnout přijatelné hodnoty přesnosti měření. Pro praktické provedení zmapování konkrétního uceleného úseku údržby v řádu desítek km jsou ale nevhodná. Důvod je zřejmý a to velmi náročná realizace (jak po stránce vlastního provedení, tak i z hlediska použití získaných dat). Protože je měření nutno provést v ucelené klimatické oblasti v řádu několika málo hodin, je tak reálně nepoužitelné. Naopak jsou tato zařízení vhodná pro použití k měření lokálních upřesnění konkrétních specifických úseků, které kontinuálním měřením vozidlem lze popsat jen velmi povrchně. Jedná se zejména o mostní a jiné objekty na pozemní komunikaci a dále pro přeměření nezvykle velkých odchylek, které se tímto přeměřením verifikují a upřesní nebo opraví.

Velmi důležitým faktorem pro realizaci a kvalitu vlastních měření je metodika měření, resp. stanovení podmínek za kterých budou měření prováděna. Jelikož se práce zaměřuje na vlastní termální měření a měla by doplnit a rozšířit měření již provedená, tak musí být zcela logicky zvoleny shodné podmínky oblačnosti. Pro jednotlivá měření v průběhu nocí byl s ohledem na předem zvolené měsíce zimního období stanoven časový interval s mezními hodnotami od 22 do 07 hod. V této časové periodě je již dostatečně vyloučen vliv přisvitu Slunce s tím, že zejména ranní měření v případě vyjasnění budou vykazovat největší teplotní odchylky. Bohužel zcela nezvykle mírný průběh zimního období s výrazně nadprůměrnými teplotami citelně omezil možné termíny měření jen na několik málo dní, které mohlo být fakticky realizováno pouze v měsíci březen 2014. Dalším problémem byla skutečnost, že teplota klesala k bodu mrazu a níže jen na krátkou dobu a to pouze v časných ranních hodinách před východem slunce. Těchto několik málo dní bylo nutné dále vždy posoudit dle omezujících podmínek oblačnosti, stavu beze srážek a za suchého povrchu vozovky a harmonizovat s možností zapůjčení infrakamery. Na základě uvedených omezujících faktorů bylo nutné přistoupit k omezení možných měření infrakamerou a zajistit alespoň dostatečný počet měření liniovým měřením zájmových úseků vozidlovým infrateploměrem ve spojení s GPS lokalizací jednotlivých bodů měření.

1.6.1 Bezkontaktní měření teploty (teorie)

Bezdotykové měření teploty povrchu je rychlý a přesný způsob určení teploty, ale k přesnému a správnému určení měřené veličiny je třeba respektovat základní zásady a fyzikální zákony.

Podstata elektromagnetické záření je proces při kterém dochází k přenosu energie a to ve formě elektromagnetických vln s vektory intenzit elektrického a magnetického pole, které kmitají kolmo ke směru šíření záření. Energie je přenášena důsledkem vyvolání příjmu nebo excitace částic a jejich následné migraci. Migrující částice se nazývají fotony a mají různou energii. Jeden z typů záření označovaného jako tepelné, vzniká srážkou molekul charakterizující teplotu. Jedná se v podstatě o proces ve kterém každé těleso buď záření přijímá (je-li teplota jeho povrchu nižší než teplota jiného tělesa) nebo naopak vyzařuje elektromagnetické vlnění úměrné své povrchové teplotě. Pokud se teplota zvyšuje, dochází tím zároveň i k vyššímu vyzařování energie.

Každé těleso o povrchové teplotě vyšší než je absolutní nula ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) vyzařuje elektromagnetické záření (sálání) odpovídající jeho teplotě (Planckův zákon).

Planckův zákon udává závislost generované intenzity infračerveného záření černého tělesa na teplotě tělesa a vlnové délce vztahem:

$$H_{0\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_0}} - 1 \right)}$$

kde:

$H_{0\lambda}$ - spektrální hustota intenzity záření černého tělesa ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

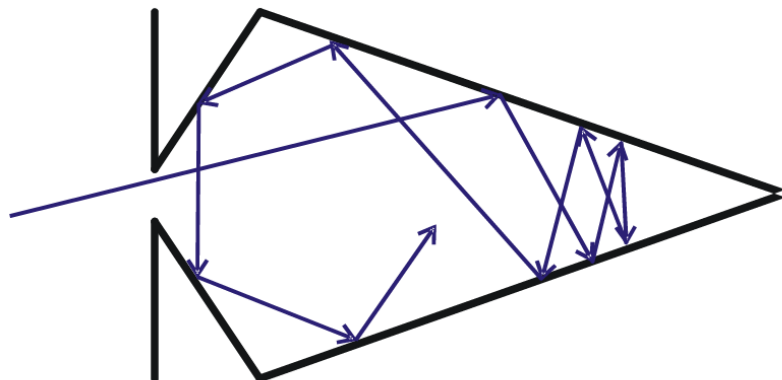
$c_1 = 3,741832 \cdot 10^{-16}$ ($\text{W} \cdot \text{m}^2$) je první vyzařovací konstanta

$c_2 = 1,438786 \cdot 10^{-2}$ ($\text{m} \cdot \text{K}$) je druhá vyzařovací konstanta

λ - vlnová délka záření (m)

T – teplota povrchu tělesa (K)

Tento vztah byl definován pro absolutně černé těleso (ideální) těleso, které pohlcuje veškerou radiaci (záření) na něj dopadající, bez ohledu na vlnovou délku a úhel pod kterým je povrch tělesa ozářen. Současně ale absolutně černé těleso vyzařuje ve všech vlnových délkách za dané teploty maximální dosažitelnou energii toku záření (pokud je jeho zdrojem). V reálných podmínkách neexistuje žádný takový materiál s vlastností absolutně černého tělesa, protože se vyzařovací schopnosti materiálů mění s vlnovou délkou záření (v určitém rozsahu vln. délek).



Obrázek č. 5 – Znárodnění absolutně černého tělesa – představuje ho vlastní dutina (zdroj [10] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně)

Poměr celkového zářivého toku daného tělesa k zářivému toku absolutně černého tělesa se nazývá emisivita ε . Emisivita tedy může nabývat hodnot od 0 do 1 (absolutně černé těleso má hodnotu $\varepsilon = 1$). Vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje oproti absolutně černému tělesu. V rámci měření použitých v této práci byla nastavena hodnota emisivity na 0,95 což odpovídá materiálům pro asfaltový beton.

Základním vztahem pro bezkontaktní měření teploty infrasnímači je **Stefan-Boltzmannův zákon**, který získáme integrací Planckova zákona. Ten říká, že hustota zářivého toku H ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) generovaná z jednotky plochy zdroje záření je na všech vlnových délkách úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa (absolutně černého tělesa):

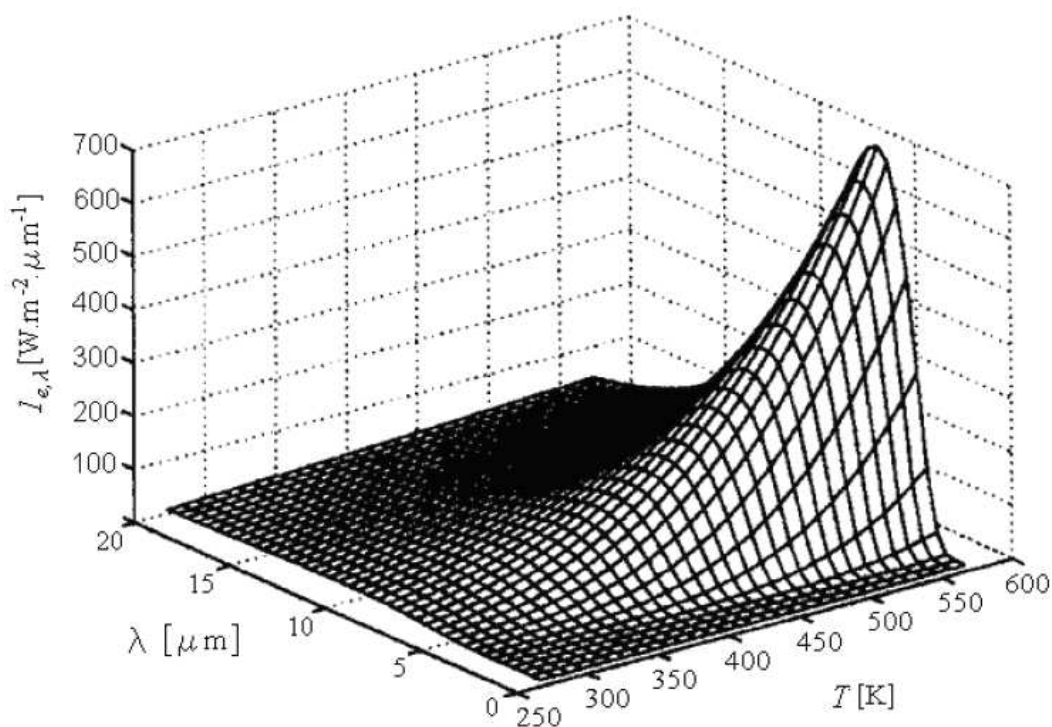
$$H_0 = \delta_0 \cdot T^4$$

kde:

H_0 – je celková intenzita záření ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$),

$\delta_0 = 5,67032 \cdot 10^{-8}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$) - je Stefan-Boltzmannova konstanta,

T - absolutní teplota tělesa (K).



Obrázek č. 6 – Znáznornění Planckova vyzařovacího zákona v energetickém tvaru – teplotní závislost vyzařovaného spektra infračerveného záření na teplotě tělesa a vlnové délce (zdroj [11] Bezdotykové měření teploty, Ing. Vavříčka, ČVUT.)

Dalším ze základních zákonů popisující elektromagnetické záření je Lambertův zákon, který platí i pro reálná tělesa a popisuje závislost zářivosti na úhlu záření φ :

$$I_{\varphi} = \frac{d^2\phi}{dS \cdot \cos\varphi} = I_N \cdot \cos\varphi$$

kde:

I_N – je zářivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$) při 0° úhlu a (sr) je steradián,

φ - je úhel sklonu záření (sr)

Na základě výše uvedených základních zákonů a jejich implementace do praxe lze měřit teplotu povrchu těles bezdotykovým způsobem (infrateploměrem-pyrometrem, infrakamerou) v různých pásmech záření.

Pro rozsah vysokých teplot se snímá oblast viditelného záření. Tělesa o teplotě pod 3440°C až do hodnot záporných teplot, které září již v oblasti neviditelného infračerveného záření.

Tuto oblast elektromagnetického záření lze dále rozdělit do několika pásem záření:

- viditelné světelné záření o vlnové délce $0,4 - 0,78 \mu\text{m}$ (záření tělesa např. slunce s teplotou povrchu od 6970 do 3440°C)
- blízké infračervené záření o vlnové délce $0,78 - 1 \mu\text{m}$ (záření tělesa s teplotou povrchu od 3440 do 2620°C)
- krátkovlnné infračervené záření o vlnové délce $1 - 3 \mu\text{m}$ (záření tělesa s teplotou povrchu od 2620 do 690°C)
- středovlnné infračervené záření o vlnové délce $3 - 5 \mu\text{m}$ (záření tělesa s teplotou povrchu od 690 do 305°C)
- dlouhovlnné infračervené záření o vlnové délce $5 - 25 \mu\text{m}$ (záření tělesa s teplotou povrchu od 305 do -160°C , např. lidské tělo o teplotě povrchu 36°C má záření o vlnové délce $9,32 \mu\text{m}$) – v této vlnové délce byla realizována i měření pro potřeby této diplomové práce (použitá infrakamera FLIR 335 pracuje v pásmu $7,5 - 13 \mu\text{m}$)

Bezdotykové měření teploty má své výhody, které jsou dány již svým principem měření (bezkontaktně), kdy je lze použít i na pohybující se objekty a součástky a lze s nimi měřit i objekty velmi vysokých teplot. Na druhé straně ale také představuje určité nevýhody (rizika) zejména ve vztahu ke správnému stanovení emisivity a okrajových podmínek měření.

1.6.2 Měření vozidlovým teploměrem s GPS lokalizací

Tato metoda vlastní tvorby termálních map a doplnění stávajících profesionálních termálních map je z hlediska přesnosti, rychlosti i finanční náročnosti nejvhodnější, což je zřejmé i na faktu, že jsou tímto způsobem prozatím vytvářeny i doposud. Předpokladem pro realizaci je použití vhodného měřicího zařízení, které musí mít dostatečnou přesnost měření s možností automatického ukládání snímaných teplot povrchu vozovky a vzduchu do paměťové jednotky se záznamem času a místa měření. Ještě vhodnějším způsobem měření pro následné zpracování dat je jejich automatické doplnění informací o GPS souřadnicích každého konkrétního bodu měření. Následný přenos naměřených dat ke zpracování do počítače je možné realizovat nejen dávkově po skončení měření, ale i pomocí bezdrátového datového přenosu (např. GPRS) v reálném čase přímo do databáze na příslušný server. K tomuto účelu lze velmi dobře využít již běžně používaných systémů GPS lokalizace vozidel a jejich technologických činností (tak jako je tomu v případě této práce). K tomuto účelu vlastního termálního měření byl Správou a údržbou silnic Pardubického kraje zapůjčen jeden nový kus vozidlového teploměru Surface Patrol typ 999J, který byl po provedené kalibraci od dodavatele. Tyto teploměry jsou na Správě a údržbě silnic Pardubického kraje instalovány pro měření teploty povrchu vozovky a vzduchu u všech vozidel provádějících zimní údržbu silnic I. třídy (požadavek dle smluvního vztahu na tyto činnosti), tak aby měl řidič přehled o aktuálních teplotách. Tento typ teploměru umožňuje přenos měřených dat pomocí rozhraní RS 232 do kompatibilních zařízení, takže bylo dodavatelem systému GPS monitoringu vozidel SÚS Pk (spol. RADIUM Praha s.r.o.) provedeno po úpravě (HW i SW) propojení těchto teploměrů přímo s vozidlovou jednotkou systému GPS. Jednotky systému GPS monitoringu jsou neustále připojeny do datové sítě. Díky tomu probíhá i přenos měřených hodnot společně s lokalizací záznamu pomocí systému GPS, ale doposud pouze v intervalu po 30 vteřinách (využití pouze pro orientační zpětné doložení teploty povrchu vozovky a vzduchu při výjezdu na provádění zimní údržby).

Pro potřeby této práce byla dále Správou a údržbou silnic Pardubického kraje zapůjčena přenosná GPS vozidlová jednotka typu CP EASY (výrobce spol. RADIUM Praha s.r.o.) s datovou SIM kartou pro okamžitý přenos dat měření na server. Jelikož bylo cílem práce zjistit možnosti termálního popisu komunikace s dostatečnou vypovídající schopností, tak byla na základě požadavku autora práce upravena přímo výrobcem vozidlová přenosná jednotka CP EASY po stránce hardwarové (konektory pro uživatelské připojení vozidlového teploměru a jeho napájení, dále instalace tlačítka pro možné manuální označení teplotní

značky měření). Dále musela být upravena i po stránce softwarové, tak aby měřená data z vozidlového teploměru byla jednotkou vzorkována v co nejkratším možném intervalu, což bylo po jedné vteřině a průběžně odesílána na server SÚS Pk.

V případě ověření použitelnosti této metody měření s úpravou intervalu měření po jedné vteřině, by bylo možné pořizovat termální mapy s minimálními náklady na provádění vlastních měření. Využila by se měření vozidly údržby, která měří teplotu povrchu i vzduchu okamžitě po nastartování motoru. Měřením při veškerých jízdách vozidel údržby (v režimech posypu, pluhování, kontrolních jízd i jakýchkoliv technologických přejezdech) by vznikla stále větší databáze záznamů měření při různých klimatických podmínkách, vše bez dalších nákladů na provádění měření (pouze za cenu investice do nákupu a instalace vhodného vozidlového teploměru).

Na SÚS Pk byly zakoupeny teploměry Surface Patrol typ 999J amerického výrobce QTT Inc., mají přesnost měření do 0,28°C (při 0°C) s možností uživatelské kalibrace a nastavení hodnoty emisivity pro měření teploty povrchu.



Obrázek č. 7 – použitý vozidlový teploměr Surface Patrol 999J před montáží (foto autor)



Obrázek č. 8 – vozidlový teploměr Surface Patrol 999J po napojení na GPS jednotku CP EASY před montáží snímačů na vozidlo(foto autor)



Obrázek č. 9 – vozidlový teploměr Surface Patrol 999J po napojení na GPS jednotku CP EASY a instalaci snímačů na vozidlo(foto autor)

1.6.3 Měření infракamerou

Tato měřicí technika byla zamýšlena jako jeden ze základních vstupů termálního popisu komunikace s využitím co nejkvalitnější infракamery, která by umožnila provádět spojitá termovizní měření v rámci liniového průběhu komunikace. K dispozici byla zapůjčena infракamera FLIR typ T335 z Pracoviště zpracování obrazu (Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.) Fakulty elektrotechniky a informatiky, Univerzity Pardubice. Tato technologie byla použita k měření teplot povrchu v rámci zkušebních měření k již zmíněné bakalářské práci, kdy byl zkoumán možný popis teplotních rozdílů v přechodových oblastech před a za mostním objektem na vlastním mostním objektu a ke zjištění teplotních charakteristik některých jeho částí (např. dilatačního uzávěru). Výsledky byly natolik vypovídající, že by bylo možné použít tento způsob měření k tvorbě a zejména doplnění databáze měření teploty povrchu vozidlovými teploměry, pokud by byla zpracována a to právě o měření teploty komunikace na významných mostních objektech (s délkami přemostění více jak 50 metrů).

Touto technologií měření se obecně detekují a zobrazují rozložení teplotních polí na površích těles s využitím infračervené termografie. Snímá se infračervené záření vyzařované každým objektem a převádí jej na obraz. Zjednodušeně lze říci, že se infракamerou teplota povrchů nikoli měří, ale podle intenzity infračerveného záření vypočítává.

Základním parametrem přesnosti měření a jeho vyhodnocení je emisivita sledovaného povrchu. Emisivita (ϵ) je bezrozměrná veličina charakterizující schopnost tělesa emitovat infračervené záření. Je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Emisivita závisí na kvalitě povrchu, vlastním materiálu a v některých případech i na teplotě objektu. Emisivita absolutně černého tělesa se rovná hodnotě 1. Emisivita reálných měřených těles je vždy menší než emisivita absolutně černého tělesa (např. pro asfaltový beton nabývá hodnot zpravidla 0,95).

Pro měření byla použita infракamera výrobce FLIR typ T335 a pro zpracování vlastních měření programy Flir Tools verze 5.0. 14283.1002 a Testo IRSofT verze 2.3.

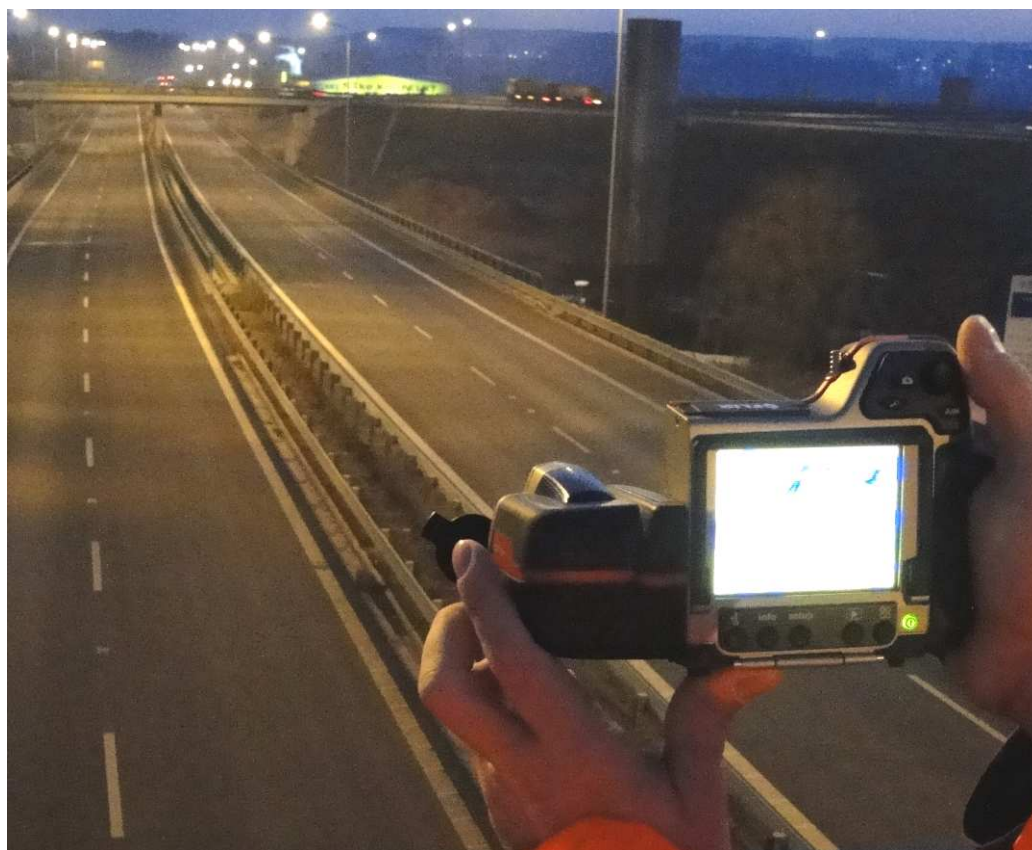
Jedná se o termovizní kameru, která spadá do kategorie střední profesionální třídy produktů v této oblasti. Je to plně přenosná kamera, která díky své hmotnosti (< 880g včetně vyjímatelného akumulátoru – výdrž na jedno nabití jsou 4 hodiny provozu) a ergonomii (která je patentována společností FLIR Systems AB), umožňuje provádět dlouhodobá měření v terénu. Díky vysokému stupni krytí IP54, rozsahem pracovních teplot -15°C až $+50^{\circ}\text{C}$ a odolnému tělu kamery z hořčíku, je tato kamera plně určena pro měření jak ve vnitřním, tak i venkovním prostředí. Kamera je vybavena nechlazeným maticovým detektorem o rozlišení 320x240 bodů. Další předností této kamery je vestavěná digitální videokamera

(3,1Mpix), která umožňuje automatické prolínání termovizního obrazu spolu s video obrazem přímo v kameře, což usnadňuje práci. Dotykový displej umožňuje rychlý přístup do menu, včetně možností editace vlastních poznámek (text, náčrtek atd.). Kamera dále disponuje širokým množstvím měřicích a vyhodnocovacích funkcí (5 pohyblivých bodů, 5 oblastí se zobrazením MAX/MIN, alarmy atd.), které umožňují rychlé a jednoduché měření povrchových teplot. Dále je kamera vybavena vestavěným laserovým zaměřovačem pro označení měřeného místa nebo možností zvukových poznámek ke každému termogramu. Tento typ kamery dosahuje hodnoty přesnosti $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$.

Pomocí infrakamery se pořizují termovizní snímky (tzv. termogramy), které znázorňují složitá teplotní pole s volitelnou stupnicí barev. Již samotné termogramy bez podrobnější programové analýzy jsou pro některé účely dostatečně přehledné a názorné.

Přehled dalších základních parametrů použité termokamery Flir typ T335:

- teplotní citlivost detektoru $< 0.05^{\circ}\text{C}$
- teplotní rozsahy: -20°C až $+120^{\circ}\text{C}$, 0°C až $+350^{\circ}\text{C}$, $+200^{\circ}\text{C}$ až $+650^{\circ}\text{C}$
- frekvence snímkování 9Hz nebo 30Hz
- přesnost měření $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$



Obrázek č. 10 – infrakamera FLIR T335 při měření 12.3.2014 mostu č. 37-014 Opatovice/L. (foto autor)

Na základě již uvedených omezujících faktorů pro provádění měření touto technologií (klimatické podmínky, dostupnost měřícího zařízení) bylo možné realizovat měření pouze dne 12.3.2014. A to na okruhu údržby číslo 45/1 na silnici číslo I/36 a I/37 v úseku Pardubice – Opatovice na Labem. S ohledem na pouze krátkou dobu, kdy se teploty povrchu pohybovaly pod hodnotou 0°C bylo nutné pořídit co nejvíce termogramů v rámci zájmového území. Výsledné vyhodnocení termogramů, které je doložené v grafické části práce potvrdilo rozdílné rozložení teplotních polí v úsecích na mostních objektech a mimo ně, čímž byly ověřeny výsledky z liniových měření vozidlovým teploměrem. Maximální rozdíl teplot povrchu byl naměřen 12.3. při porovnání teploty povrchu na mostním objektu číslo 37-014 a mimo něj a činil 4,1 °C (viz. kapitola 7 Přílohy, Termogram č. 1).

1.6.4 Měření ručními teploměry

Tento způsob měření lze využít k ověření zjištěných odlehlostí v liniových měřeních (vozidlovým teploměrem) a dále pro případná srovnávací měření v místech silničních meteostanic. Jedná se vždy jen o lokální bodová měření, která jsou poměrně časově náročná i z důvodu nutnosti průběžné lokalizace měřených míst a zpracování výsledků.

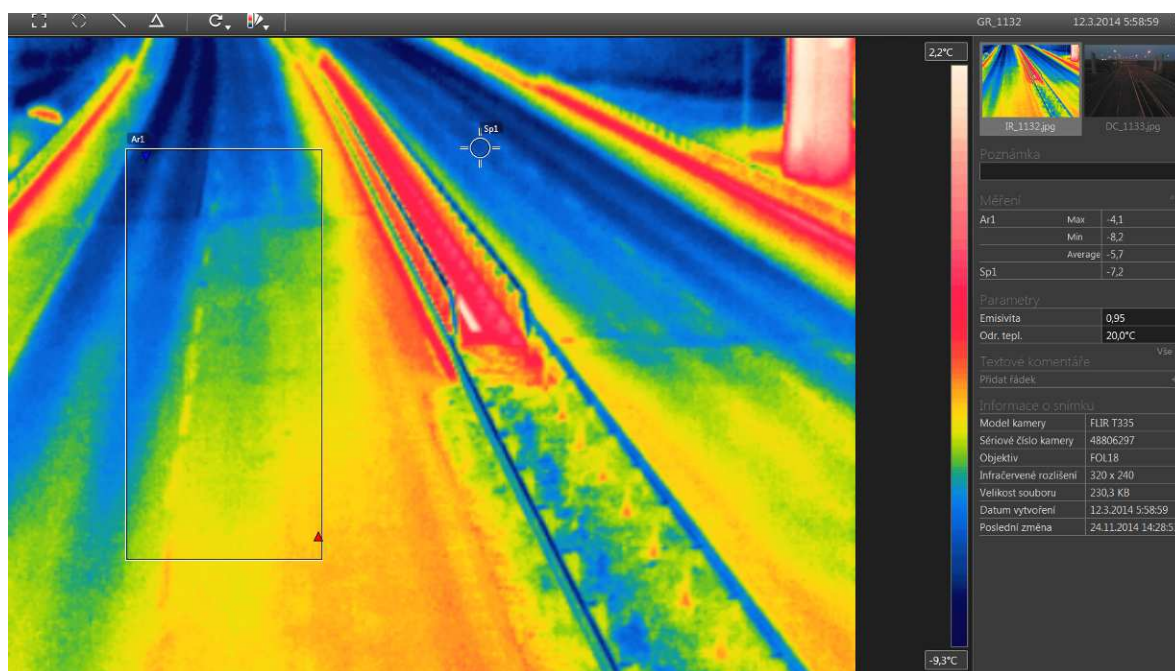
Pro tuto možnost měření bylo zajištěno zapůjčení dvou typů teploměrů a to:

- **Comet Commeter D3631 s externí kontaktní sondou pro měření teploty povrchu:** rozlišení měření po 0,1°C, přesnost na 0,4°C (při 0°C), s ohledem na venkovním prostředí a proudění vzduchu kolem externího snímače není ale možné dosáhnout objektivních výsledků měření teploty povrchu vozovky (vyrovnávání teploty snímače senzoru a povrchu vozovky je velmi zdlouhavé, taže bez omezení běžného provozu vozidel, by bylo možné dosáhnout kvalitního výsledku), přístroj vhodný pro případné měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu
- **Infrateploměr GMTL 1826 MT4:** teploměr s jednopaprskovou technologií, osvětlení středu měřené plochy led diodou, poměrně kvalitní provedení přístroje s dobrými výsledky měření, rozlišení měření po 0,1°C, přesnost na 0,5°C (při 0°C), nevýhodou pro širší použití je pevně nastavená hodnota emisivity na hodnotu 0,95 (beton a asfaltový beton)



Obrázek č. 11 – ruční teploměr Comet CommeterD3631 a infrateploměr GMTL 1826MT4 (foto autor)

Na základě výše uvedených skutečností se jako vhodnější nástroj pro pro potřeby termálního měření povrchu vozovky jeví použití vozidlového teploměru a případně infrakamery, kterou lze popsat pomocí termosnímků (tzv. termogramů) průběh teploty povrchu komunikace v celé její šířce.



Obrázek č. 12 – termogram z FLIR T335, měření 12.3.2014 mostu č. 37-014 Opatovice nad Labem (autor)

1.7 Systém GPS monitoringu vozidel údržby (Fleetware)

V současné době je pro potřeby správců komunikací dostupných několik systémů GPS monitoringu údržbových vozidel se sledováním výkonu jejich technologických činností a parametrů provozu. Pro krajské správy silnic, které zajišťují provádění běžné letní a zimní údržby silnic I. tříd je používání tohoto systému povinné, protože provedené výkony údržby musí být pro fakturaci doloženy elektronickým výpisem jízd s lokalizací pomocí GPS. Úroveň, kvalita a spolehlivost je u těchto lokalizačních systémů napříč trhem v ČR velmi rozdílná. Zásadními měřítky kvality jsou přesnost vykazovaných výkonů, možný počet sledovaných vstupů technologických činností vozidla a v neposlední řadě také provozní spolehlivost. Od ní se odvíjí související náklady na údržbu systému v bezporuchovém stavu. Kvalitativní přínos systému provozovaného u Správy a údržby silnic Pardubického kraje je mimo jiné zřejmý právě i z možnosti dodatečného zapojení vozidlových teploměrů a realizace úpravy přenosu měřených dat pro potřeby této práce.

Ve vozidlech Správy a údržby silnic Pardubického kraje je instalován systém GPS monitoringu Fleetware (výrobce a dodavatel RADIUM Praha s.r.o.) s mapovým prostředím NaviGate (výrobce a dodavatel POSITION s.r.o. Praha). Jelikož je hardwarové i softwarové řešení dodáno přímo výrobcem, tak jsou eliminovány problémy s požadavky na servisní práce a možné úpravy na základě rozvojových požadavků lze řešit pružně bez zbytečných průtahů a mimo dealerské a distribuční mezičlánky. Systém slouží k monitorování polohy, jízdy a prováděné činnosti vozidla jak v reálném čase (automatický přenos dat z vozidla na server v periodě 30 sekund), tak také k záloze a zpětnému zobrazení historie jízd. Tyto lze dodatečně přehrát v režimu historie jízd včetně zobrazení všech snímaných činností vozidla. Všechny tyto informace lze interpretovat v předem definovaných tiskových sestavách, které lze částečně uživatelsky měnit. Dále může být proveden export požadovaných dat v několika datových formátech (např. csv jako pro potřeby této práce).

Personifikovaný přístup do této aplikace mají nezávisle na sobě všechna dispečerská pracoviště (zřízená na každém organizačním středisku - cestmistrovství SÚS Pk) a samozřejmě také vybraní pracovníci managementu provozního úseku na ředitelství SÚS Pk. Na každém pracovišti (dispečinku) je provedena instalace klientské aplikace, která zrychluje práci se systémem zejména z důvodu kapacitních nároků na mapové podklady.

Každé vozidlo je vybaveno GPS jednotkou pro potřeby zimní údržby typu CPRT-E (Car Position Real Time – Expandet), ke které jsou připojeny vstupy z jednotlivých priferií (indikace pluhu, posypu včetně dávky, šířky a spotřeby materiálu, sepnutí majáků,

průtokoměru či poměrové sondy PHM a nově také data z vozidlových teploměrů). Pro vlastní lokalizaci a přenos dat je použita duální anténa pro signál GPS a GSM (pro přenos pomocí GPRS dat poskytovatele mobilní datové služby). Vozidlové jednotky typu *Car Position Real Time* se provedením liší dle účelu použití. Pro vozidla zimní údržby se používají jednotky označené názvem *Expanded* které mají větší množství vstupů (v základní konfiguraci šest) pro připojení všech hlavních typů technologických, údržbových a provozních činností. Pro případ požadavku na rozšíření počtu vstupů monitoringu z více periférií, lze tyto jednotky doplnit o další základní desku (rozšiřovací).

Na základě pokročilé technické úrovně tohoto systému je již možné díky realizaci datového propojení do ovládacího a řídicího panelu posypové nástavby (a po jeho dílčí úpravě), aplikovat výsledky této práce a ověřit je v praxi. Touto cestou by mělo být možné přímo ovládat nastavení posypové dávky (nabízet řidiči automatizovaně optimální dávku), dle přesné lokalizace, výsledků termálního měření a aktuální a predikované teploty (z vozidlového teploměru, silničních meteostanic a výpočtů předpovědních modelů).

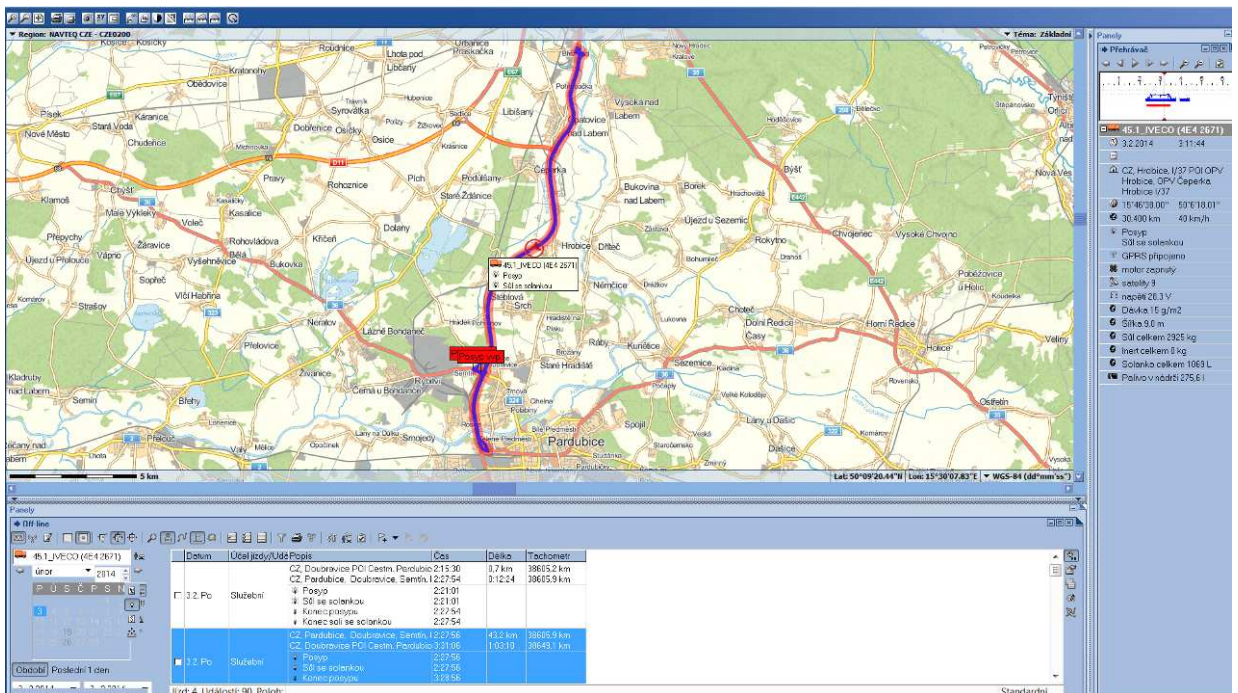
Propojení datové komunikace systému GPS monitoringu Fleetware je již technicky vyřešeno se všemi typy chemických posypových nástaveb používaných u Správy a údržby silnic Pardubického kraje (skladba zastoupení odpovídá všem běžně používaným typům v rámci ČR).

Omezující aspekt je pouze jeden a to dosavadní pouze jednocestná komunikace směrem z ovládacího panelu posypové nástavby do GPS jednotky a to pouze pro účely monitorování posypové dávky a šířky, kterou nyní manuálně nastavuje řidič. Zavedení automatické úpravy posypové dávky pomocí GPS jednotky je dle vyjádření výrobce GPS systému Fleetware spol. RADIUM již technicky řešitelné po drobné úpravě stávajících jednotek a ovládacích panelů posypových nástaveb. V závěru roku 2013 byla již pro tento účel připravena úprava obousměrné komunikace u nového typu posypové nástavby SYKO největším výrobcem komunálních nástaveb v ČR, kterým je společnost KOBIT Jičín. Tuto úpravu komunikačního protokolu na obousměrnou komunikaci mezi ovládacím panelem posypové nástavby a GPS vozidlovou jednotkou již spol. RADIUM má k dispozici s cílem zapracovat ji pro použití v programu Fleetware. Jakmile bude tento krok dokončen, tak lze na ovládací panely posypových nástaveb automatizovaně zasílat optimální nastavení posypové dávky pro danou lokalitu a úsek silnice. Tímto bude eliminován vliv chybovosti řidiče (jeho pasivity) při nastavení posypové dávky, která je nyní pouze na jeho subjektivním posouzení a rozhodnutí.

Analýzou dosavadních výstupů z jízd s prováděným posypem vozovek je jasně doložitelné, že vozidla zimní údržby v rámci celého okruhu údržby posypovou dávkou nemění resp. jen velmi výjimečně.

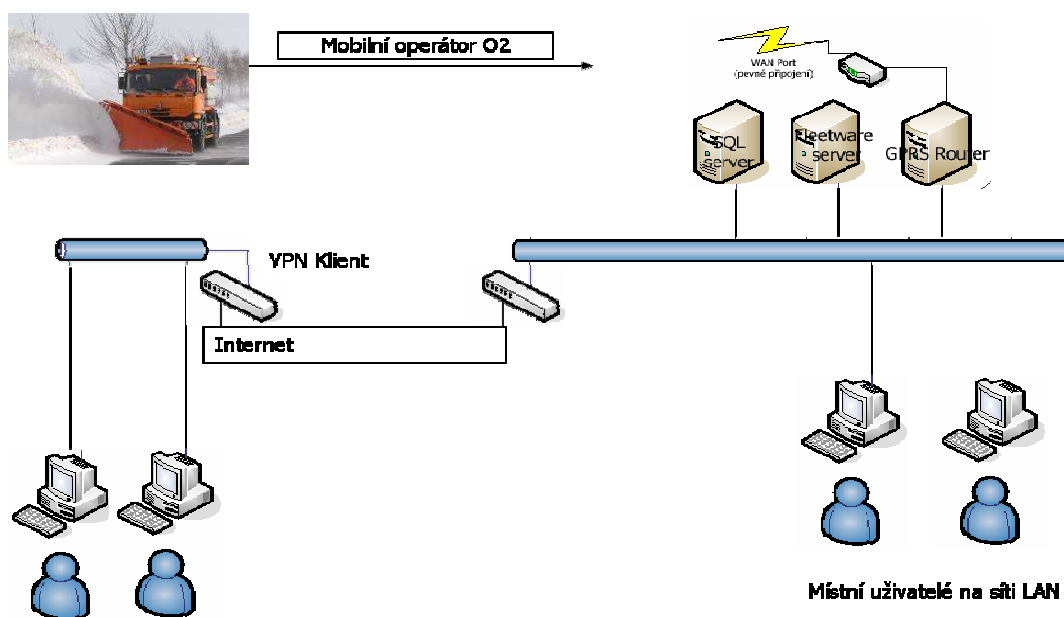


Obrázek č. 13 – Vozidlová GPS jednotka systému Fleetware typ CP Real Time Expanded (foto autor)



Obrázek č. 14 – Systém GPS monitoringu Fleetware v mapovém prostředí NaviGate, záznam jízdy a činnosti vstupů (posyp) vozidla údržby ze dne 3.2.2014 – IVECO RZ: 4E4 2671 (zdroj SÚS Pardubického kraje)

Na následujícím obrázku je zřejmá cesta snímaných dat z údržbového vozidla až k oprávněným uživatelům. Pokud není možnost přístupu všech uživatelů prostřednictvím datové místní sítě LAN, tak lze využít internet s aplikací pro klientský zabezpečený přístup. Pak jde o řešení typu server-klient s databází typu SQL, které je použito i u SÚS Pk, protože v rámci vlastní místní sítě nejsou prozatím plně integrována všechna pracoviště.



Obrázek č. 15 – Schéma systému GPS monitoringu Fleetware na SÚS Pk (informační zdroj SÚS Pardubického kraje, zpracování autor)

1.8 Systém MDSS (Maintenance Decision Support System - Dispečerský předpovědní modul zimní údržby)

Popis tohoto modulu je zde uveden z důvodu jeho možného použití jako dalšího možného vstupu pro dynamickou úpravu posypové dávky, která by byla optimalizována nejen na základě termálního popisu komunikace, ale také predikovaného vývoje teplot a srážek. Jedná se o nový předpovědní matematický modul, který byl již v zimním období 2010 – 2011 provozován ve zkušebním režimu pro území Pardubického kraje, kde byl již v předchozích dvou zimních obdobích vyvíjen a testován. Jeho výpočty jsou jednou z dalších možných významných vstupních podmínek pro zavedení komplexní automatické úpravy posypové dávky. Díky predikci teploty a stavu srážek by bylo možno aktuálně prováděnou údržbu zohlednit dle vývoje těchto podmínek, které jsou vypočteny až 12 hodin dopředu.

Tento dispečerský předpovědní modul zimní údržby komunikací, nazvaný MDSS podle anglického *Maintenance Decision Support System*, je sofistikovaný výpočetní systém, který na základě analýzy informací o místních a aktuálních meteorologických podmínkách poskytuje přesnou lokální krátkodobou předpověď počasí na silnicích v zimním období. Zásadním aspektem v podpoře zimní údržby je poskytnout dispečerům kvalitní přehled o aktuálním a bezprostředně následujícím vývoji počasí a místních podmínek ovlivňujících stav sjízdnosti komunikací. MDSS při svém výpočtu zohledňuje všechny tyto složky. Představuje tak nezastupitelnou aplikovanou předpověď, která je založena na odborné znalosti procesů probíhajících mezi tělesem vozovky a okolní atmosférou.

Podstatnou výhodou systému je integrace všech důležitých dílčích zdrojů informací a následné maximální zjednodušení (syntéza) informace potřebné v rozhodovacím procesu dispečera. Díky tomu se i méně zkušení dispečeré mohou fundovaně rozhodnout, kam a kdy vyslat vozidla zimní údržby k zásahu.

Každou hodinu jsou všechna aktualizovaná vstupní data přepočtena a je vydána nová, upřesněná grafická předpověď. Systém MDSS předpovídá s hodinovým krokem pro nadcházejících 12 hodin tyto parametry:

- Stav povrchu vozovky
 - Suchý
 - Vlhký, mokrý
 - Sníh
 - Sněhové jazyky – varování
 - Sněhové jazyky – výstraha
 - Námraza
 - Náledí
- Teplota povrchu vozovky
- Množství sněhu na vozovce
- Bod mrznutí

Předpovědi jsou počítány pro jednotlivé úseky silniční sítě o přibližné délce **1 km**. Tato vlastnost umožňuje lokální předpověď kluzkosti vozovek v rámci spravované oblasti údržby, a tedy i přesně cílený zásah zimní údržby na konkrétní rizikové místo silniční sítě (tzv. selektivní solení).

Výpočty a předpovědi MDSS jsou dispečerům interpretovány formou animace dvojice map v rámci silničního meteorologického informačního systému METIS 4. Předpověď pro

jednotlivé kilometrové úseky silnic je barevně kódována do kategorií podle předpovídaného statusu nebezpečí. Datová základna numerického modelu se rozděluje na dvě základní části – místní geografickou databázi a online data.

Místní geografická databáze představuje skupinu podkladových dat potřebných k vybudování a nastavení modelu popisujícího vybranou silniční síť a její blízké okolí. Databáze je použita k definování počátečního stavu studované oblasti, klimatických podmínek a odchylek a obsahuje následující položky:

- Geografická data:
 - Silniční síť, lokalizace meteostanic, digitální model terénu, využití území (zastavěné plochy, řeky a vodní plochy, lesní porosty).
- Termální mapování: (viz. výše kapitola 1.5.)
- Expertní informace:
 - Expertní (znalostní) informace jsou založené na dlouholetých zkušenostech personálu zimní údržby a identifikují a popisují kritické úseky silnic.
- Intenzita dopravy: Vstup dat z celostátního sčítání dopravy.
- Konstrukce vozovek:
 - Konstrukční materiály včetně tloušťky jednotlivých stavebních vrstev, identifikace mostních konstrukcí.

Databáze **online dat** je nutná pro popis současné a budoucí situace v dané oblasti a obsahuje (resp. může obsahovat) konkrétní položky:

- Numerický předpovědní model počasí:
 - Primární zdroj, který poskytuje výhled budoucích podmínek.
 - ALADIN poskytovaný ČHMÚ, 4x denně aktualizace, s hodinovým rastrem na 24 hodin dopředu.
- Meteorologické stanice:
 - Silniční meteostanice (i profesionální a automatické stanice ČHMÚ).
- Údaje o zimní údržbě silnic:
 - GPS data z vozidel údržby, informace o prováděném pluhování a posypu (včetně druhu materiálu, gramáže a šířky posypu).
- Mobilní data:
 - Data z mobilních zařízení jako např. mobilních senzorů teploty povrchu vozovky či mobilních meteostanic.

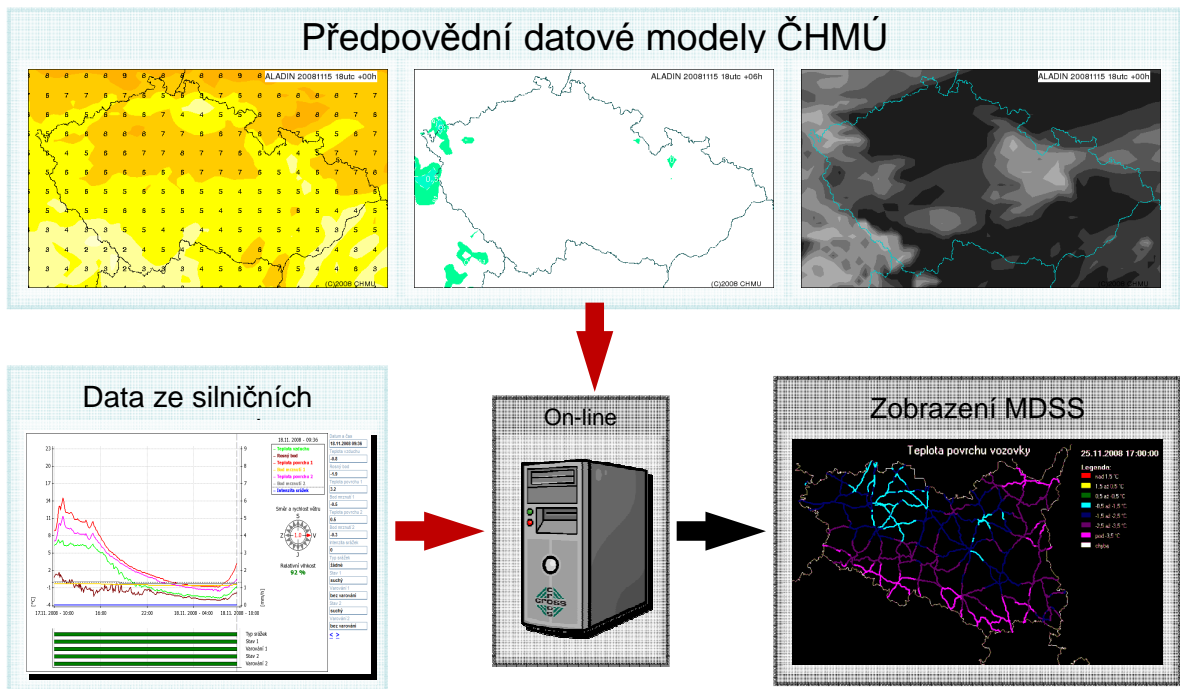
- Intenzita dopravy: Z automatických sčítačů dopravy.

System MDSS je produktem dlouhodobé spolupráce mezi společnostmi CROSS Zlín a.s. a Klimator Göteborg (Švédsko). V zimní sezóně 2007/2008 byl systém ještě ve fázi vývoje uveden do testovacího provozu v Pardubickém kraji. Ten se tak stal nepochybně průkopníkem komplexní informační podpory zimní údržby komunikací i díky investicím do potřebného vybavení (zejména velmi kvalitních vozidlových teploměřů a systému GPS monitoringu vozidel a jejich činností). I proto je zde nyní možno řešit touto prací návrh optimalizace posypových dávek. V lednu 2010 následovalo spuštění testovacího provozu pro Olomoucký kraj a od ledna 2011 pro kraje Liberecký a Vysočina. V následujících letech probíhal rozvoj systému a postupné spouštění pro další kraje. Za zmínku stojí skutečnost, že jádro předpovědního modelu je již od začátku roku 2011 implementováno také v Norsku (na instituci Statens vegvesen, ředitelství v Oslo – instituce spravující státní silniční síť, obdoba ŘSD ČR). V rámci dalších úprav a rozvoje tvůrci řeší přesnější výpočty zejména v oblasti očekávané teploty povrchu vozovky, která je nyní interpretuje výsledky spíše v pesimistické rovině (což je způsobeno zejména vstupními daty z modelu Aladin a nastavenou mezí bezpečnosti o kterou se upravují výsledné hodnoty).

Popis systému ze zdroje [7] *Systém MDSS, (spol. CROSS Zlín a.s.)*.



Obrázek č. 16 – Vstupy do systému MDSS „Dispečerský předpovědní modul“ (zdroj CROSS Zlín a.s.)



Obrázek č. 17 – Vstupy do systému MDSS „Dispečerský předpovědní modul“ (zdroj CROSS Zlín a.s.)

1.8.1 Numerický předpovědní model ALADIN

Model Aladin je nejvýznamnější vstup pro systém MDSS. Předpovědní matematický model Model ALADIN (**A**ire **L**imitée, **A**daptation **D**ynamique, **D**evelopment **I**nternational) je vyvíjen od roku 1991 v mezinárodní spolupráci vedené francouzskou povětrnostní službou Météo-France. Jde o numerický předpovědní model počasí na omezené oblasti určený pro krátkodobou předpověď (dva dny) atmosférických procesů. Původně byl koncipován jako dynamická adaptace výsledků předpovědi globálního modelu ARPEGE na vyšší rozlišení, při kterém dochází jednak ke zpřesnění popisu intenzivních atmosférických procesů s velkou prostorovou proměnlivostí, tak procesů vázaných na detailní popis parametrů zemského povrchu (výška terénu, půdní a vegetační parametry apod.).

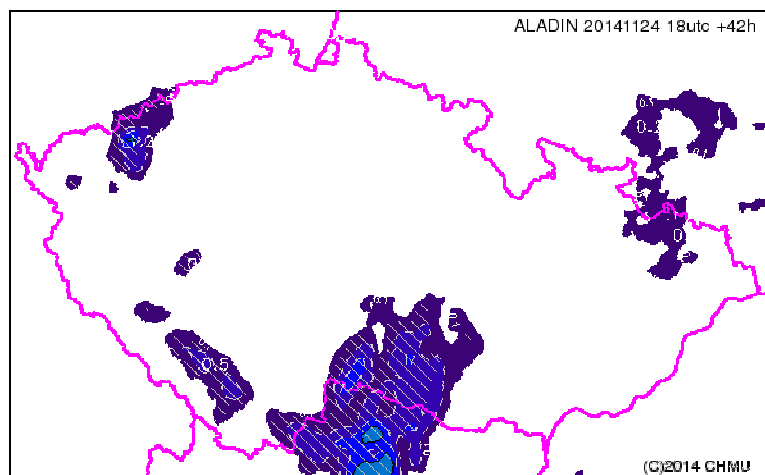
V posledních letech jsou v modelu rovněž intenzivně vyvíjeny metody zpřesnění počátečních podmínek asimilací pozorování i sofistikovanou kombinací globální analýzy a simulace mezoměřítkových struktur (metody míchání - blending).

Integrační oblast modelu je vytyčena na mapě v konformní projekci. Ve vertikále je použit hybridní souřadnicový systém. Procesy, které nejsou popisovány základním dynamickým jádrem modelu, jsou simulovány v soustavě fyzikálních parametrizací.

Předpověď je v grafickém výstupu a je poskytována na základní klimatické jevy (srážky a jejich druh, teplota vzduchu ve 2 m nad zemí, oblačnost, směr a intenzita větru). Doposud se do vývoje zapojilo celkem patnáct evropských a afrických států. Model je v provozu v řadě členských zemí konsorcia ALADIN a jeho vývoj probíhá v rámci řady národních a evropských projektů. Aktuálně probíhá v rámci projektu ALADIN-2 zkušební režim nové generace modelu pro předpovídání v mezo-gamma měřítku (s prostorovým krokem okolo 2 km).

Numerické předpovědní modely jsou v podstatě vůbec nejsložitějšími počítačovými programy na světě. Proto jsou řešeny na takzvaných superpočítačích - nejvýkonnější počítače, které byly člověkem dosud vyvinuty.

Popis na základě zdroje [8] *Numerický model ALADIN*, ČHMÚ Praha



Obrázek č. 18 – Modul ALADIN předpověď srážek na 42 hodin dopředu (zdroj ČHMÚ Praha)

1.9 Vybavení údržbových vozidel (pro aplikaci návrhu a další měření)

Stávající vybavení vozidel zimní údržby na SÚS Pk je již částečně osazeno vozidlovými teploměry, které už byly propojeny s jednotkou GPS monitoringu pro lokalizaci a přenos naměřených hodnot. Realizace provedena servisní organizací systému GPS na SÚS Pk spol. s r.o. RADIUM Praha.

Nutným předpokladem pro realizaci přenosu a nastavení optimalizované posypové dávky je revize a případná úprava nevyhovujících ovládacích panelů sypacích nástaveb, které již byly upraveny v době instalace GPS lokalizačního systému RADIUM Fleetware pro výstup o režimu posypu včetně nastavené gramáže, šířky a spotřeby ve formě datového toku do vozidlové GPS jednotky.

U nástaveb typu **SYKO** resp. jejich ovládacích panelů nebyl zásadnější problém, protože jsou od nejvýznamnějšího českého výrobce spol. KOBIT Jičín s velmi kvalitním servisním a vývojovým oddělením. Obdobně byla nyní provedena úprava uvedených ovládacích panelů pro obousměrnou komunikaci s GPS vozidlovou jednotkou. Nově vyráběné posypové nastavby dodávané na trh v roce 2014 mají již tuto úpravu připraveny a lze ji v případě požadavku zákazníka individuálně nakonfigurovat pro zasílání dat o navrhované posypové dávce (zatím ale stále jen v režimu přípravy a testování).

U nástaveb typu **SCHMIDT SAB** německého výrobce spol. CROY lze uvažovat pro možnou optimalizaci posypové dávky v kombinaci s jejich novým systémem Thermologic. Tento systém lze zakoupit s nově dodávanými nastavbami a umožňuje úpravu posypové dávky na základě aktuální teploty povrchu a vlhkosti, které jsou měřeny přímo zařízením na nastavbě. Zde by bylo vhodné doplnit o databázi z termálních měření, protože aktuální podmínky mohou být krátkodobě zkresleny a ovlivněny např. změnou režimu provozu, dopravní nehodou apod. Pro posypové nastavby tohoto výrobce starší 10 let a více již není možné provádět úpravu řídicí elektroniky ve větším rozsahu. Vývoj této úpravy není pro výrobce rentabilní a je naopak velice náročný s ohledem na malý počet případných úprav. V Německu jsou takto staré nastavby již vyřazovány z provozu, ale v podmínkách ČR jsou běžně používány chemické posypové nastavby ve stáří i více jak 15 let. Zde lze využít řešení spol. KomTeS Chrudim, která vyvinula vlastními silami elektronický čip EPROM a vyměnila ho ve spolupráci se servisním zastoupením spol. CROY za koncepčně zastaralý a nevyhovujících v ovládacích panelech typu NU 314.

U posledního, v Pardubickém kraji používaného, typu nastavby **EPOKE** (výroba v Nizozemí, zastoupení v ČR společností Unikomt Praha) byla u všech zařízení datová komunikace s GPS jednotkou funkční bez nutnosti úprav (výstup). Obousměrná komunikace bude možná s využitím nového systému EPOSAT vyvinutým přímo výrobcem nastavby.

Návrh aplikace provedeního návrhu úpravy posypové dávky lze tedy realizovat právě přes propojení stávající vozidlové GPS jednotky s ovládacím panelem posypové nastavby.

Právě přes toto datové propojení se dostane ze serveru z databáze termálního popisu komunikace do vozidla informace o optimální dávce ve vztahu k aktuální poloze GPS a termálnímu vývoji konkrétního úseku.



Obrázek č. 19 – Montáž vozidlového teploměru Surface Patrol do vozidel typů T-815, detail umístění infratrubice pro měření teploty povrchu vozovky vždy před levým předním kolem (foto autor)



Obrázek č. 20, 21 – Montáž vozidlového teploměru Surface Patrol do vozidel typu T-815, detail umístění senzoru teploty vzduchu v clonícím krytu, umístění displeje v zorném poli řidiče (foto autor)



Obrázek č. 22 – Ovládací panel posypové nástavby SYKO (výrobce KOBIT Jičín) s doplněným aktivním výstupem technologických dat posypu (foto autor)

1.10 Stanovení referenčního úseku pro vlastní termální měření a návrh optimalizace posypů

Výběr referenčního úseku pro realizaci vlastního termálního měření a následného návrhu úpravy posypové dávky bylo nutné stanovit základní kritéria návrhu, která byla konzultována se zástupci SÚS Pardubického kraje.

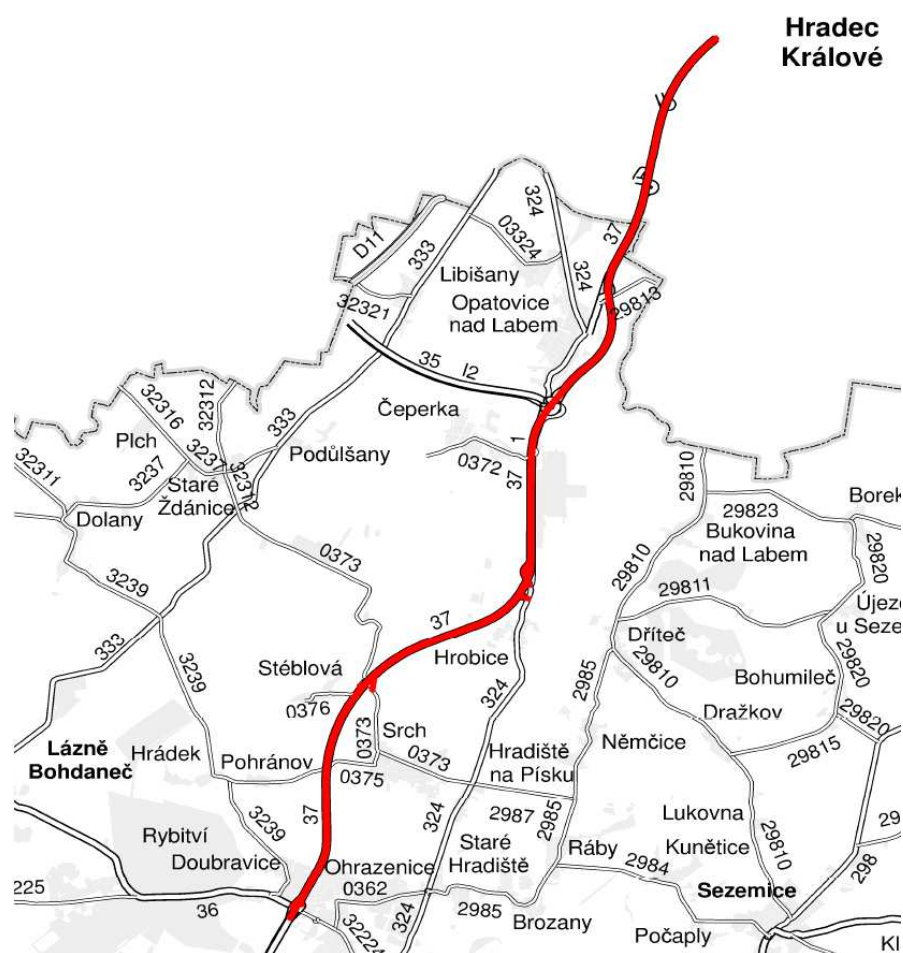
Výsledné základní požadavky na referenční úsek:

- údržba chemickým rozmrazovacím materiálem
- silnice s větší intenzitou provozu a větších šířkových parametřů
- výskyt mostních objektů v rámci trasy
- minimální převýšení (pro omezení vlivu nadmořské výšky)
- údržba bude prováděna kvalitním vozidlem s dostatečnou výbavou

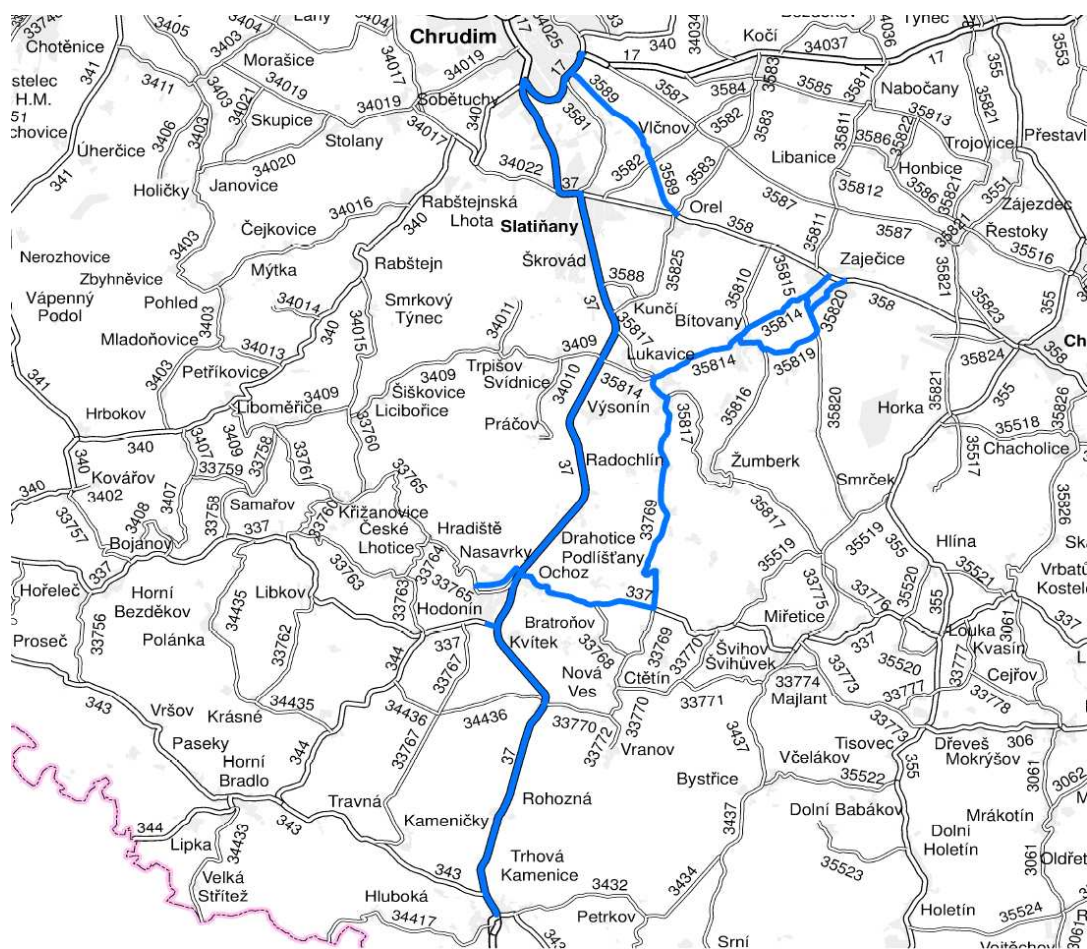
Na základě zhodnocení výše uvedených a dalších hledisek byl společně s SÚS Pardubického kraje vybrán úsek v okrese Pardubice, na cestmistrovství Pardubice číslo 45/1 CHV (označení dle Plánu ZÚ). Jedná se o údržbovou trasu zahrnující část silnice č. I/36 od mimoúrovňové křižovatky se silnicí č. I/37 u místní části Doubravice po mimoúrovňové křížení s ul. Palackého, dále pokračuje po silnici č. I/36 zpět směrem na Hradec Králové a po silnici č. I/37 až na hranice kraje Královéhradeckého u obce Březhrad. Na trase jsou mostní objekty jak nad vodotečí (Labe) tak i nad volným terénem.

Pro případné ověření výsledků vlastních měření zpracovaných v této práci s již provedeným profesionálním termálním mapováním byla vybrána další trasa silnice č. I/37, která pokračuje od obce Dražkovice, Chrudim, Trhová Kamenice až na hranice kraje Vysočina. Ve větší části tohoto úseku bylo již termální mapování provedeno a proto by bylo vhodné ověřit a porovnat výsledky alespoň s jedním vlastním měřením (s ohledem na nedostatek intervalů s vhodnými podmínkami). Celý tento úsek v sobě nyní zahrnuje údržbové okruhy cestmistrovství Chrudim č. 41/1 - CHV, č. 41/2 - CHV a dále cestmistrovství Hlinsko okruh č. 43/2 - CHV. Z nich je délkovým rozsahem nejvýznamnější okruh č. 41/2, který zahrnuje úsek silnice I/37 v délce 16,335 km a proto je nejvhodnější pro realizaci vlastního měření a hodnocení.

Mapy okruhů (dle Plánu zimní údržby) č. 45/1-CHV a 41/2-CHV jsou zobrazeny níže (Obrázky č. 18, 19), textový itinerář obou tras v kapitole 7. Přílohy.



Obrázek č. 23 – Mapa okruhu ZÚ č. 45/1 - CHV (zdroj SÚS Pardubického kraje)



Obrázek č. 24 – Mapa okruhu ZÚ č. 41/2 - CHV (zdroj SÚS Pardubického kraje)

2 VLASTNÍ MĚŘENÍ TEPLOT POVRCHU VOZOVKY

V této kapitole jsou uvedena všechna realizovaná a dostupná měření, měřící zařízení a další podklady pro potřeby práce, dále použité zdroje a měřící techniky ke zjištění teploty povrchu vozovky.

Jak již bylo zmíněno výše, musel být původní plán a cíl práce se zpracováním termálních měření převážně s využitím infrakamery přehodnocen. Zapůjčení přístroje standardních parametrů, který neumožňoval spojitou termovizi mělo své omezující limity a bylo nutné ho zajistit ve vazbě na vhodné klimatické podmínky, které nelze předem nijak naplánovat ani ovlivnit. V kombinaci se zcela výjimečným nezvykle mírným průběhem zimního období 2013-2014 za několik desítek let, kdy teploty klesaly pod bod mrazu jen několik málo dní a to ještě jen na několik hodin a přesnosti měření $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ infrakamery, bylo nutné zvolit k termálnímu popisu komunikací měření vozidlovým teploměrem Surface Patrol typ 999J amerického výrobce QTT Inc., s přesností měření do $0,28^{\circ}\text{C}$ (při 0°C).

Tento byl pro účely práce zapůjčen od SÚS Pk na delší období (2 měsíců), takže limitujícím faktorem pro realizaci měření byly jen vhodné klimatické podmínky s dodržением metodiky pro podmínky měření obdobných jako u profesionálních termálních map (v mezích oblačnosti).

2.1 Měření teploty povrchu vozidlovým teploměrem s GPS lokalizací

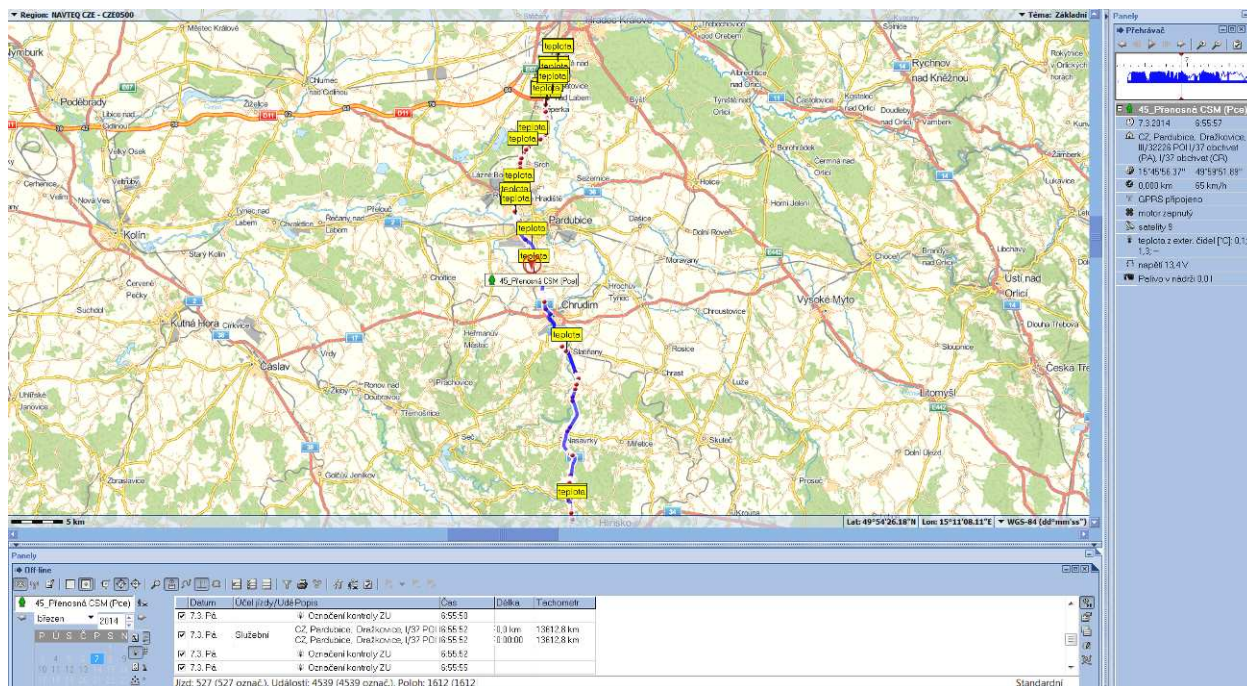
Realizované intervaly měření:

Okruh 45/1 (Pardubice)			Okruh 43/2 (Hlinsko)		
Datum	časový interval	oblačnost	datum	časový interval	oblačnost
7.3.2014	6:17 – 6:51	oblačno, zataženo	7.3.2014	7:01 – 7:24	oblačno
9.3.2014	5:40 – 6:23	oblačno, mlha	9.3.2014	6:33 – 6:54	proměnlivo
10.3.2014	6:17 – 6:52	jasno	10.3.2014	7:02 – 7:25	jasno
11.3.2014	6:09 – 6:30	jasno, kouřmo	11.3.2014	6:40 – 7:01	jasno, kouřmo
12.3.2014	5:16 – 6:42	jasno, kouřmo		neměřeno	
13.3.2014	6:41 – 7:03	jasno		neměřeno	
26.3.2014	5:47 – 6:10	polojasno, mlha		neměřeno	

Tabulka č.4 – Přehled intervalů měření vozidlovým teploměrem Surface Patrol (zdroj autor)

Zcela zásadní problém u tohoto typu měření byly vhodné klimatické podmínky dle metodiky profesionálního termálního mapování uvedené v kapitole 1.5 a současný pohyb vozidel na trase. Limitujícím faktorem byl nedostatek mrazivých nocí (resp. časných ranních hodin), tak aby se alespoň teplota vzduchu dostala pod bod mrazu a setrvala zde minimálně 2 hodiny nejlépe po celou noc. Jelikož byly měsíce leden i únor výrazně teplotně nadprůměrné a nebylo možné dále vyčkávat na výraznější ochlazení, tak bylo nutné realizovat měření ve všech zbývajících dne zimního období. Další selekce a filtrování výběru termínů s odkládáním realizace měření až dle vhodných podmínek oblačnosti při režimu jasno, proměnlivo, zataženo, nebylo již možné a prognóza předpovědi počasí žádný takový příslib neavizovala. V případě podmínek zatažené oblačnosti nedocházelo k tak výraznému ochlazení a teploty se pohybovaly nad 0°C. Absencí déletrvajících mrazů nebyly zaznamenány výrazné teplotní rozdíly (o více jak 5°C), běžně jinak pozorovaných zejména na úsecích mrazových kotlin. Měření tedy muselo být realizováno v měsíci březnu 2014 kdy nastaly alespoň částečně vhodné podmínky (termíny viz. tabulka č. 4 – grafické průběhy teplot z uvedených dnů měření zaznamenaných silniční meteostanicí na silnici I/37 Dražkovice doloženy v kapitole 7 Přílohy, z nich je patrný čas v rámci 24 hod záznamu s teplotami kolem 0°C).

Všechna měření vozidlovým teploměrem byla lokalizována v systému GPS monitoringu Fleetware a technologií GPRS přenášena v reálném čase do databáze na server SÚS Pk. V případě výpadku tohoto přenosu dat, byly záznamy automaticky ukládány do paměti vozidlové GPS jednotky, ze které byl spuštěn přenos opět po navázání komunikace, v krajním případě bylo možné data přenést přímo připojením GPS jednotky k počítači.



Obrázek č. 25 – Vizualizace jízdy termálního měření 7.3.2014 v prostředí systému Fleetware (zpracování autor)

Ze všech dní měření (uvedených v tabulce č. 4) byla zpracována celková databáze v rozsahu téměř 60 tisíc pozicních záznamů, kdy každý z nich obsahoval mimo další údaje i informaci o teplotě povrchu a vzduchu. Z důvodu záložních byla každá poloha ukládána ve vzorku 1 vteřiny a to v podobě trojitého záznamu. Toto bylo možné z důvodu úpravy konfigurace vozidlové jednotky, tak že se každý záznam ukládal označený jako začátek jízdy, konec jízdy a černá skříňka. Po zpracování celkové databáze bylo pomocí tabulkového procesoru Excel provedeno protřídění a odstranění duplicitních záznamů a až následně byly zbylé verifikované použity ke zpracování v geografickém informačním systému (dále jen GIS) software ArcGIS verze 9.1. Náhled na formát databáze je v kapitole 7 Přílohy.

Pro potřeby možnosti změření vybraného bodu na komunikaci, který by bylo nutné v databázi nebo v mapovém podkladu zvýraznit, byla GPS jednotka upravena doplněním o hardwarové tlačítko, jehož stisknutím dojde k označení záznamu o informaci „teplotní bod“ (viz. žluté značky na obrázku č. 20 výše). Zájmový bod případně body, pak lze rychleji nalézt

bez zdlouhavého procházení celé databáze. Toto označování vybraných bodů (mostních objektů) bylo využito jen u prvních 3 měření, protože po importu první databáze a jejím zpracování v prostředí GIS aplikace se ukázalo, že lze využít lokalizaci mostů dle jejich souřadnic na základě údajů ze Silniční databanky Ostrava a doplnit je do databáze souřadnic i grafického výstupu dodatečně, nezávisle na realizaci měření.



Obrázek č. 26 – Foto z jízdy termálního měření 26.3.2014, konec měření s východem slunce, lokalita nadjezd nad silnicí č. I/37 Dražkovice (autor)

2.2 Měření teploty povrchu stabilními silničními meteostanicemi

Měření teploty povrchu vozovky je v tomto případě prováděno pevným, trvale instalovaným zařízením což je silniční meteostanice. Měření probíhá zcela automatizovaně v pevných intervalech (zpravidla každých 5 min), ale v případě nutnosti může být zřízeno i v periodě kratší či na dotaz dálkovým ovládním (což technicky umožňují jen některé typy meteostanic). Zařízení dle stupně vybavení měří teplotu povrchu komunikace, teplotu vzduchu ve 2 m nad zemí, relativní vlhkost vzduchu, intenzitu a druh srážek, směr a sílu větru. Na základě typu vozovkového senzoru podává informaci i o stavu povrchu komunikace (suchý, mokrá, sníh, led a stupeň nasolení hodnotou bodu mrznutí).

Meteostanici je možné vybavit kamerou s infra přísvitem pro osvětlení expozice v noci a v nastavené periodě provádět snímkování vhodné výšece vozovky.



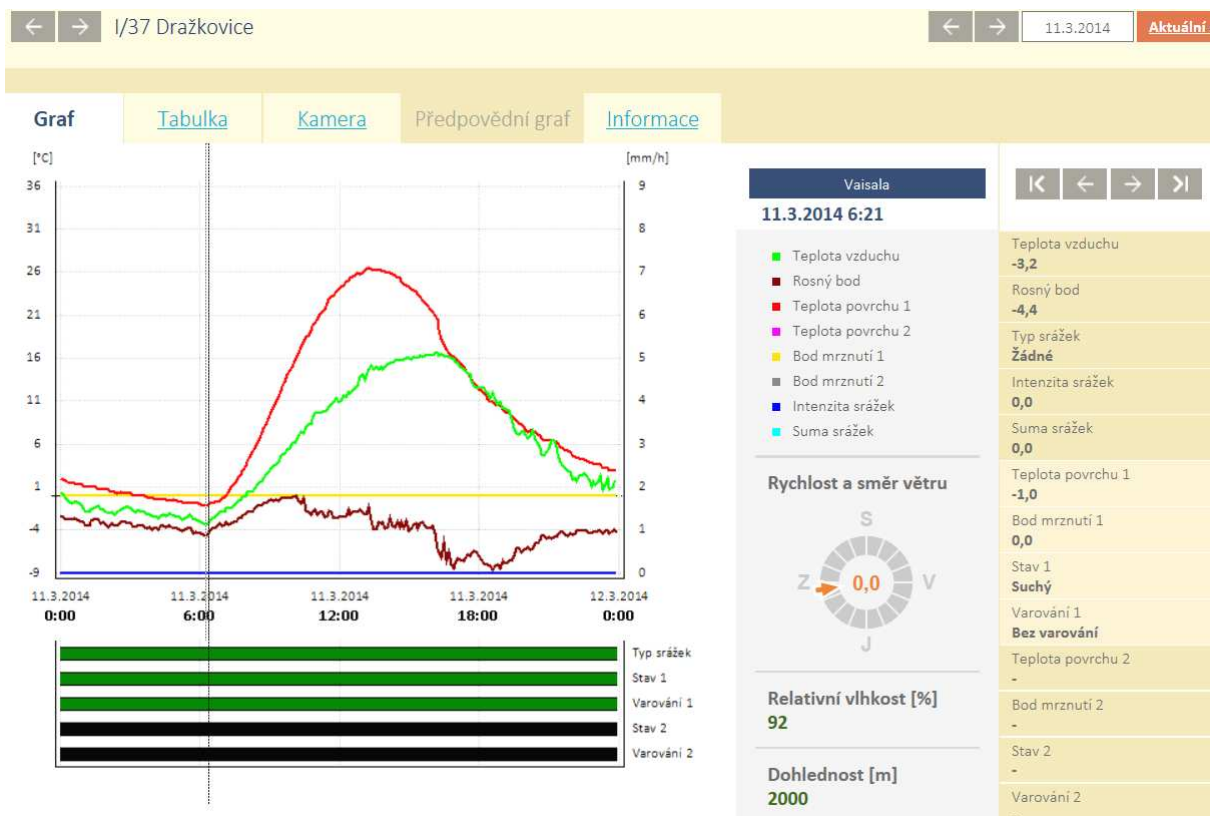
Obrázek č. 27 – Silniční meteostanice typ CROSSMET s kamerou u obce Lezník na sil.č. II/360 (foto autor)

Na území Pardubického kraje je v porovnání s ostatními kraji velmi dobrá vybavenost těmito zařízeními. Je tedy možné využívat jejich měřená data také do podpůrných informačních systémů. Aktuálně jsou již data z nich implementována jako jeden ze vstupů do systému MDSS (viz. kapitola 1.8). Tato integrace výrazně zpřesňuje vlastní výpočet předpovědního modelu o skutečně měřené hodnoty.

Veškeré měřené hodnoty meteostanicemi jsou odesílány ve stanovené periodě pomocí GPRS datového přenosu zpravidla na server jejího dodavatele, který je následně zobrazuje na dispečincích příslušného správce komunikace ve vlastní aplikaci - meteosystému. Současně je však každý dodavatel silniční meteostanice povinen sdílet tato data na centrálním serveru Ředitelství silnic a dálnic ČR, pro systém JSDI (Jednotný systém dopravních informací).

Měřené hodnoty jsou v příslušném meteosystému zobrazeny jednak ve formě tabulkového zobrazení, ale také v podobě grafických průběhů všech měřených hodnot za dobu předchozích 24 hodin. Starší historická data lze zobrazit výběrem dne v databázi historie, která je uživatelsky dostupná minimálně za dobu aktuálního zimního období.

Měření ze silničních meteostanic poskytuje garantovaný zdroj dat z konkrétního místa, který je ověřen kalibrací nebo srovnávacím měřením příslušných snímačů s jasně definováním přesností (nejistotou měření). Proto je ho možné využít jako bodový zdroj pro potřeby termálního mapování, který popisuje území či úsek v závislosti na zvoleném umístění stanice.

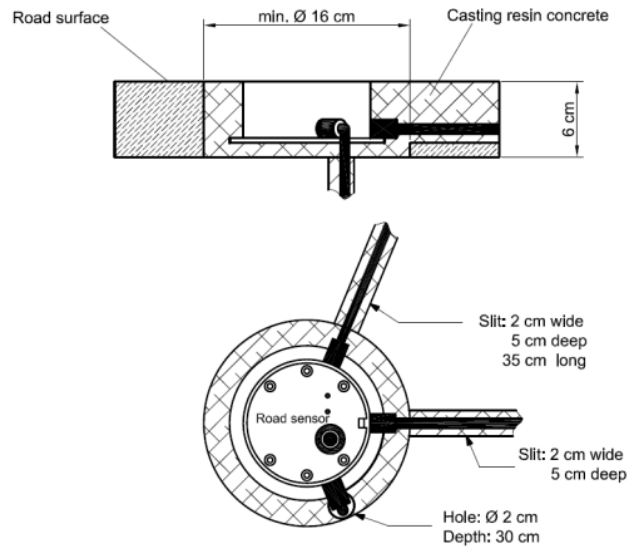


Obrázek č. 28 – Grafické zobrazení měřených hodnot 11.3.2014 v meteosystému METIS4 ze stanice na silnici č. I/37 Dražkovice (zdroj SÚS Pardubického kraje)

Měřením mobilním teploměrem a případně i infrakamerou je možné v podmínkách vlastního měření pozorovat odchylky v měření jednotlivých typů měřících zařízení. Rozdíly v určení teploty povrchu bezkontaktním teploměrem a meteostanicí byly zjištěny o hodnoty v rozmezí od 0,1°C do 0,6°C. Tento fakt lze zdůvodnit nejen rozdílnou přesností použitých zařízení, ale i rozdílným způsobem technik měření a hlavně vlastní konstrukcí vozovkového senzoru meteostanice.

Při měření infrateploměrem a infrakamerou dochází k měření úplného povrchu krytu vozovky bez dalších vlivů (mimo emisivity a případné nečistoty povrchu). Měří se bezkontaktně teploty povrchových zrn asfaltobetonu obrusné vrstvy krytu vozovky. Jejich vzdálenost je dána makrotexturou krytové vrstvy.

Měření vozovkovou sondou meteostanice částečně ovlivňuje termální spolupůsobení hmoty krytu vozovky, ve kterém je sonda pevně instalována. Výška běžně používané sondy je dle použitého typu od 50 až do 120 mm. Měření teploty povrchu je možné provádět až ve třech úrovních konstrukce vozovky v závislosti na typu vozovkového senzoru.



Obrázek č. 29 a 30 – Vozovkové čidlo LUFT ISR31, foto a náčrt uložení (zdroj CROSS Zlín a.s.)



Obrázek č. 31 a 32 – Instalace vozovkového čidlo LUFT ISR31 s měřením teploty povrchu vozovky a dále v úrovni 5 a 30 cm pod povrchem na meteostanici Zhoř na silnici č. II/358 (foto autor)

2.3 Ověření měření teploty povrchu infrakamerou a ručními infrateploměry

Popis technologie je uveden výše v kapitolách 1.6.3. a 1.6.4. včetně popisu použitých zařízení. Obě tyto technologie byly připraveny k použití pro podrobnější termální popis zejména mostních objektů na okruhu č. 45/1 (oblast Pardubice) s cílem vyjádření maximálních odchylek povrchových teplot na mostních objektech a v přechodových oblastech k teplotám povrchu úseků vozovek uložených na zemním tělese.

S ohledem na očekávaná zjištění těchto průběhů teplot bylo zamýšleno využití převážně měření infrakamerou a jí pořízených termogramů. Její použití na základě již zmíněných omezujících hledisek (zejména klimatických), bylo pouze na měření dne 12.3.2014.

Na tomto měření jí bylo pořízeno přibližně 80 termogramů, které byly následně analyzovány a nevyhovující termogramy odstraněny. **Termogram** (jinak také termovizní snímek, infračervený snímek nebo tepelný obraz) je obraz pořízený infrakamerou. Tepelné záření snímaného objektu (resp. snímané plochy) se převádí infrakamerou na tepelný obraz (tj. termogram) znázorňující relativní intenzitu tepelného sálání z různých částí povrchu snímaného objektu. Barevnost (intenzita) termogramu je tak funkcí (především) povrchové teploty, charakteristiky povrchu, okolních podmínek a samotné infrakamery (detektoru infračerveného záření a použité optiky).

Prováděné liniové měření vozidlovým teploměrem ve frekvenci po 1 vteřině a výsledné odlehlosti zjištěných teplot, byly po verifikaci a analýze dle místopisu posuzovány relativně (případná chyba v určení konkrétní teploty byla obsažena ve všech intervalech měření a proto bylo vhodné pro termální popis ucelého úseku komunikace využít měření zejména z tohoto typu měřidla).

Ověření hodnot těchto liniových vozidlových měření, měření indikovaných infrakamerou a případně i pro porovnání měřené teploty vozovkovým čidlem stabilní silniční meteostanice, bylo navrženo porovnat s měřením ručním infrateploměrem pro kontrolu zjištěných hodnot přímo na místě měření.

3 ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT A NÁVRH ŘEŠENÍ

V této kapitole jsou uvedeny a popsány výsledky ze všech typů termálních měření a je zde uveden návrh řešení úpravy posypové dávky na základě zjištěných skutečností a získaných výsledků.

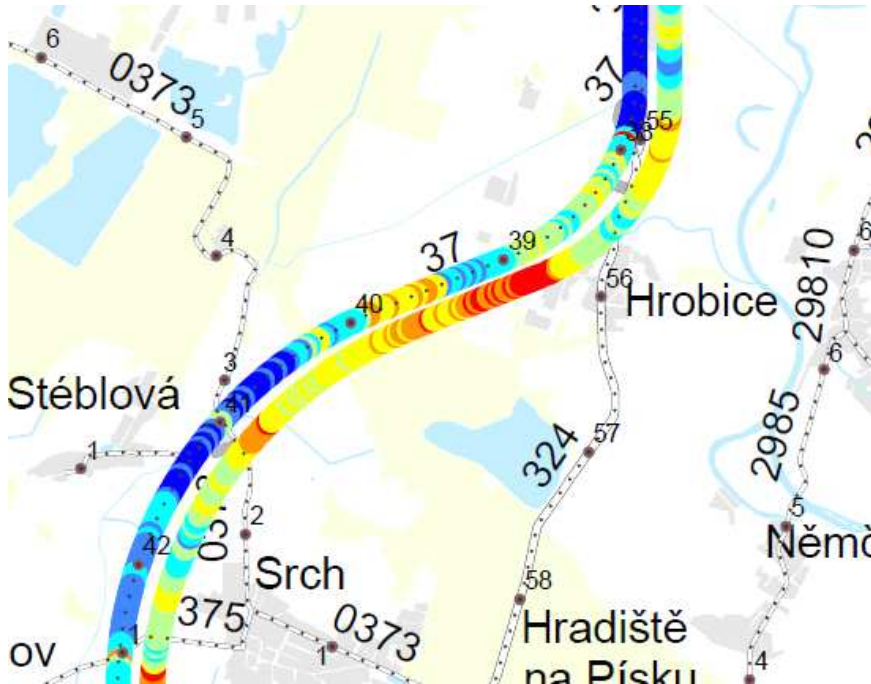
3.1 Databáze z vlastních termálních měření

Z vlastních termálních měření byla i přes nepříznivé klimatické podmínky získána rozsáhlá databáze záznamů teploty povrchu vozovky (a vzduchu) pořízených vozidlovým teploměrem, která činila 59 870 položek a bylo třeba provést její analýzu a vyhodnocení před exportem do systému GIS k dalšímu zpracování. Tato zdrojová data z měření exportovaná do souboru MS Excel jsou v elektronické příloze na CD nosiči.

Na základě posouzení a výběru vhodných (reprezentativních) klimatických podmínek byly použity k hodnocení měření položky z intervalů uvedených v Tabulce č. 4 v kapitole 2. Pro analýzu získaných hodnot z těchto měření bylo nutné vyhodnotit klimatické podmínky a s tím související stav povrchu měřené vozovky s možným vlivem na zkreslení měření (vlhko).

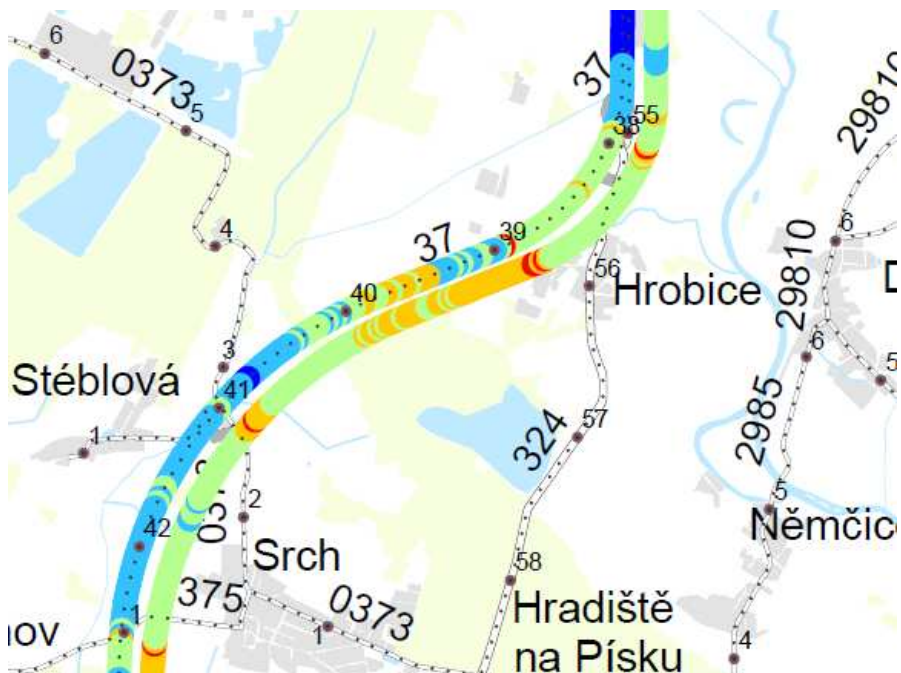
Pro vyhodnocení stavu oblačnosti a srážkové činnosti byly použity satelitní a radarové snímky poskytovaných Českým hydrometeorologickým ústavem Praha. Tyto snímky z níže uvedených termínů měření jsou doloženy v kapitole 7. Přílohy.

Po výchozím zpracování naměřených dat a vizualizaci v prostředí GIS bylo při zvoleném intervalu teplot povrchu vozovky 0,5°C vykresleno velmi mnoho dílčích úseků (vlivem hodnot jen velmi blízko za hranicí příslušného intervalu a ve velmi jemném vzorku 1-5 vteřin. Použití segmentace úseků v této podobě bylo pro účel práce a následné zavádění do praxe vyhodnoceno jako nevhodné – v reálných podmínkách jen teoreticky realizovatelné.



Obrázek č. 33 – Náhled na výsledky segmentace měřených úseků v teplotním intervalu členění po 0,5°C

Z tohoto důvodu byla provedena generalizace dat rozšířením mezí intervalů v členění po 1°C a v prostředí GIS provedeno nové zpracování.



Obrázek č. 34 – Výsledky segmentace měřených úseků po generalizaci na teplotní interval členění po 1°C

Po této úpravě generalizací dat bylo již možné stanovit teplotní odchylky od průměrné hodnoty v rámci vybraného údržbového okruhu a lokalizovat je na příslušné provozní staničení komunikace.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P	Q
1	číslo stránky	datum	čas	událost	řada	označená jízda	gps	zeměpisná šířka	zeměpisná délka	řítá vzdálenost	rychlost	azimut	počet satelitů	stav gps	externí teplota 1	externí teplota 2
12369	4870	9.3.2014	4:48:23	konec jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 48,861" N	15° 45' 2,466" E	0	87	21	10	3D poloha	-0,5	-1,8
12370	4870	9.3.2014	4:48:24	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 49,599" N	15° 45' 2,925" E	0,1	88	21	10	3D poloha	-0,5	-1,8
12371	4870	9.3.2014	4:48:25	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 50,346" N	15° 45' 3,384" E	0,1	88	21	10	3D poloha	-0,5	-1,8
12372	4870	9.3.2014	4:48:25	začátek jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 50,346" N	15° 45' 3,384" E	0	88	21	10	3D poloha	-0,5	-1,8
12373	4870	9.3.2014	4:48:26	konec jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 50,346" N	15° 45' 3,384" E	0	88	21	10	3D poloha	-0,3	-1,9
12374	4871	9.3.2014	4:48:26	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 51,093" N	15° 45' 3,843" E	0	89	21	10	3D poloha	-0,5	-1,9
12375	4871	9.3.2014	4:48:27	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 51,840" N	15° 45' 4,311" E	0,1	89	21	10	3D poloha	-0,5	-1,9
12376	4871	9.3.2014	4:48:28	začátek jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 51,840" N	15° 45' 4,311" E	0	89	21	10	3D poloha	-0,6	-1,9
12377	4871	9.3.2014	4:48:28	černá skříňka	ano	ne	ano	50° 3' 52,587" N	15° 45' 4,779" E	0	90	21	10	3D poloha	-0,6	-1,9
12378	4871	9.3.2014	4:48:28	konec jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 52,587" N	15° 45' 4,779" E	0	90	21	10	3D poloha	-0,7	-1,9
12379	4871	9.3.2014	4:48:29	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 53,343" N	15° 45' 5,247" E	0,1	90	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12380	4872	9.3.2014	4:48:30	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 54,108" N	15° 45' 5,724" E	0,1	91	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12381	4872	9.3.2014	4:48:30	začátek jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 54,108" N	15° 45' 5,724" E	0	91	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12382	4872	9.3.2014	4:48:31	konec jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 54,108" N	15° 45' 5,724" E	0	91	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12383	4872	9.3.2014	4:48:31	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 54,873" N	15° 45' 6,201" E	0	91	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12384	4872	9.3.2014	4:48:32	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 55,638" N	15° 45' 6,678" E	0,1	91	21	10	3D poloha	-1,3	-1,9
12385	4872	9.3.2014	4:48:33	začátek jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 55,638" N	15° 45' 6,678" E	0	91	21	10	3D poloha	-1,3	-2
12386	4873	9.3.2014	4:48:33	černá skříňka	ano	ne	ano	50° 3' 56,412" N	15° 45' 7,155" E	0	92	21	10	3D poloha	-1,3	-2
12387	4873	9.3.2014	4:48:33	konec jízdy	ano	ne	ano	50° 3' 56,412" N	15° 45' 7,155" E	0	92	21	10	3D poloha	-1,2	-2
12388	4873	9.3.2014	4:48:34	černá skříňka	ne	ne	ano	50° 3' 57,177" N	15° 45' 7,632" E	0,1	91	21	10	3D poloha	-1,2	-2

Obrázek č. 35 – Ukázka formátu tabulky se záznamy vlastních termálních měření (vozidlovým teploměrem)

Délky dílčích úseků jednotlivých segmentů termálního popisu byly zvoleny se zaokrouhlením na 0,1 km. Po zvážení reálných možností prodlevy dávkovacího zařízení při změně dávky, které dle vyjádření zástupce posypových nástaveb EPOKE realizuje změnu elektronikou i hydraulickým ovládním do 1 vteřiny (fyzická změna dopadu upravené dávky na komunikaci může mít dle konkrétních podmínek další prodlevu v řádu dalších desetin vteřiny) a dále přesnosti rastru měření které probíhalo kontinuálně se záznamem každou vteřinu (což prezentuje vzdálenost 25 m při rychlosti měřícího vozu 90 km/h) byl zvolen minimální dílčí segment pro úpravu posypové dávky v délce 0,2 km mimo zastavěné území obce. Nejedná se jen o vhodnou délku z hlediska termálního chování povrchu komunikace, ale také o reálný provozní režim ovládacího zařízení sypače. Pokud by byla neustále prováděna změna dávky, tak bude hrozit zvýšená míra opotřebení a poruchovosti ovládacího a hydraulického zařízení posypové nástavby, které pravděpodobně nejsou nyní na toto použití konstruovány.

Níže jsou v tabulce zpracovány výsledky zjištěných termálních odchylek na okruhu údržby 45/1-CHV cestmistrovství Pardubice za vybraný referenční termín měření, kdy se podmínky oblačnosti nejvíce přiblížily požadavkům profesionálního měření a segmenty termálního popisu vykazovaly dostatečnou vypovídající schopnost. Jedná se o data z měření dne 9.3.2014, kdy i oblačnost byla velmi blízko stavům za kterých je velmi často prováděna zimní údržba (proměnlivo, převážně zataženo nízkou oblačností s lokálním protrháním až na polojasno – což je velmi nebezpečné z důvodu možného rychlejšího ochlazení povrchu).

Data z měření byla implementována do tabulky trasy okruhu č. 45/1, kdy byly jednotlivé úseky dále rozděleny na termální segmenty dle teplotních intervalů po 1°C.

Tímto rozdělením na dílčí úseky bylo doplněno odpovídající provozní staničení začátku a konce teplotního segmentu a z toho vypočtené délky.

číslo silnice	provozní staničení 1 (km)	provozní staničení 2 (km)	délka úseku (km)	teplotní odchylka (°C)	poznámka k úseku
36. 1	22,278	24,758	2,480	-1,0	zastíněný úsek, bez vlivu tepel. ostrova města
36 větve	0,000	0,000	1,323	0,0	múk Palackého
36. 2	24,758	24,400	0,358	1,0	vliv delšího osvětlení zapadajícího slunce
36. 2	24,400	23,900	0,500	0,0	múk Doubravice č. 36-009A
36. 2	23,900	22,295	1,605	1,0	
37. 2	45,169	44,550	0,619	1,0	
37. 2	44,550	44,000	0,550	0,0	
37. 2	44,000	43,250	0,750	1,0	
37. 2	43,250	42,950	0,300	0,0	
37. 2	42,950	42,600	0,350	1,0	
37. 2	42,600	41,000	1,600	0,0	
37. 2	41,000	40,750	0,250	1,0	
37. 2	40,750	40,000	0,750	0,0	
37. 2	40,000	38,900	1,100	1,0	
37. 2	38,900	37,600	1,300	0,0	múk Hrobice
37. 2	37,600	37,400	0,200	-1,0	propustek - vodoteč
37. 2	37,400	36,900	0,500	0,0	
37. 2	36,900	36,000	0,900	-1,0	zastíněný úsek podél elektrárny
37. 2	36,000	34,900	1,100	0,0	
37. 2	34,900	34,700	0,200	1,0	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 2	34,700	33,900	0,800	0,0	
37. 2	33,900	33,150	0,750	1,0	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 2	33,150	31,700	1,450	0,0	
37. 1	31,700	31,400	0,300	-1,0	Březhrad písník zastíněno
37. 1	33,000	33,700	0,700	1,0	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 1	33,700	34,000	0,300	0,0	
37. 1	34,000	34,200	0,200	-1,0	
37. 1	34,200	35,000	0,800	1,0	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 1	35,000	35,900	0,900	0,0	
37. 1	35,900	36,600	0,700	-1,0	
37. 1	36,600	37,500	0,900	-2,0	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	37,500	37,900	0,400	-1,0	
37. 1	37,900	38,900	1,000	0,0	
37. 1	38,900	39,300	0,400	-1,0	
37. 1	39,300	39,900	0,600	0,0	
37. 1	39,900	40,400	0,500	0,0	
37. 1	40,400	41,500	1,100	-1,0	
37. 1	41,500	41,700	0,200	0,0	tepelný ostrov zastínění zástavbou Stéblová
37. 1	41,700	42,450	0,750	-1,0	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	42,450	42,800	0,350	0,0	Stéblová
37. 1	42,800	43,350	0,550	-1,0	Stéblová
37. 1	43,350	45,169	1,819	0,0	Stéblová

Tabulka č. 5 – Zjištěné teplotní odchylky na dílčích úsecích okruhu č. 45/1 dle měření vozidlovým teploměrem – vyznačen nejchladnější (data a zpracování autor)

Okruh 45/1 (Pardubice)		
Datum	časový interval	Průměrná hodnota (tp) °C
7.3.2014	6:17 – 6:51	- 0,4
9.3.2014	5:40 – 6:23	- 1,2
10.3.2014	6:17 – 6:52	- 0,9
11.3.2014	6:09 – 6:30	- 1,5
12.3.2014	5:16 – 6:42	- 0,1
13.3.2014	6:41 – 7:03	- 1,4
26.3.2014	5:47 – 6:10	- 0,7

Tabulka č. 6 – Přehled vypočtených průměrných hodnot teploty povrchu vozovky z měření (zdroj autor)

Výsledky zjištěných teplotních odchylek uvedených v tabulce č. 5 jsou dále podrobně zpracovány a analyzovány systémem GIS do grafické podoby v mapovém podkladu a jsou vloženy v Grafické části 2. této práce a jedná se o mapy č. 3.1.1, 3.2.1, 3.3.1, 3.4.1.

Veškeré provozní staničení uvedené v tabulce č. 5, k popisu míst změn teplotních odchylek dílčích úseků (segmentů) na hodnoceném okruhu zimní údržby, je dle dat Silniční databanky Ostrava (Ředitelství silnic a dálnic ČR) k datu 1.1.2014 zdroj č. [9].

Výsledky z měření na dalším předem vybraném okruhu zimní údržby č. 41/2 – CHV nebylo možné z důvodu nedostatku vhodných dní a nedostatečného počtu korektních dat zpracovat v obdobném hodnocení jako u okruhu č. 45/1-CHV. Problémem byla časová náročnost na přejezd měření z lokality 45/1-CHV z důvodu krátké doby působení teplot kolem bodu mrazu a část měření pak již byla ovlivněna východem Slunce a jeho působením na ohřívání povrchu komunikace v otevřených úsecích.

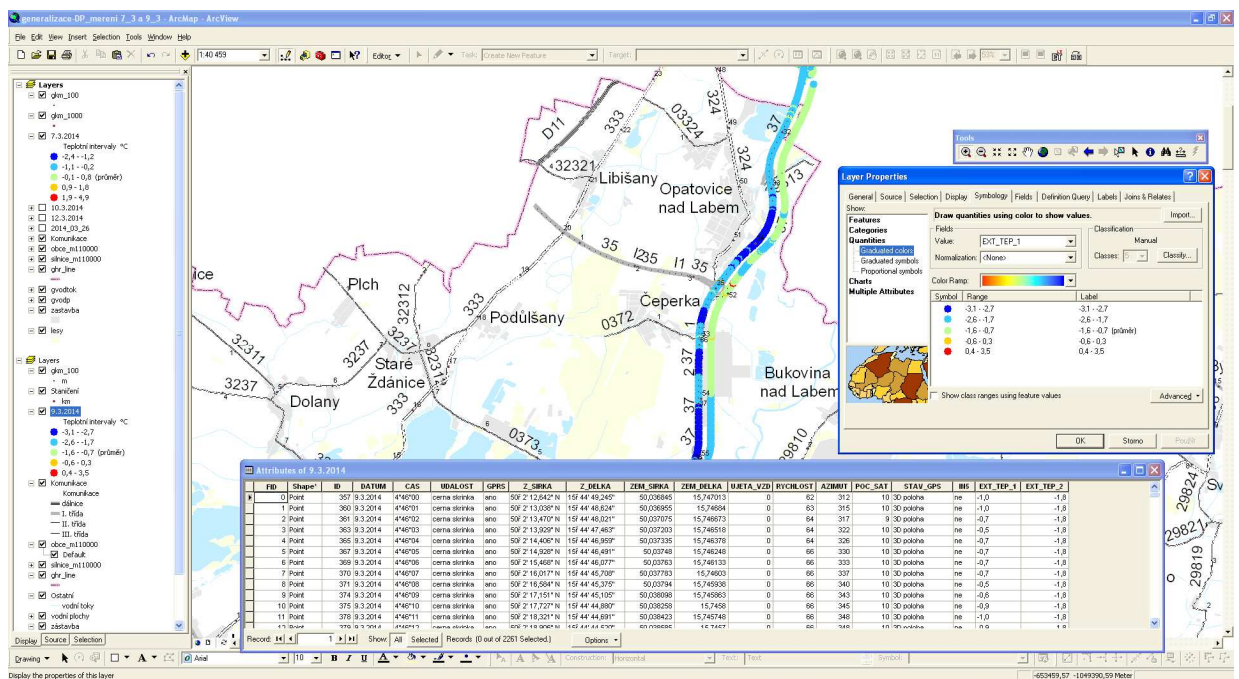
Podářilo se však realizovat celé měření bez tohoto negativního vlivu a to 9.3.2014. Bylo tak možné porovnat v grafické podobě a s pomocí lokalizace provozním staničením již provedené profesionální termální mapování hrazené Ředitelstvím silnic a dálnic ČR s vlastním měřením prováděným svépomocí. Výsledky vykazují již i v rámci posouzení grafických výstupů značný stupeň shody což je zřejmé z Mapy č. 4.1 v Grafické části 2. Data z profesionálního termálního mapování jsou z roku 2011, aktuálnější nebylo možné získat (poskytnutí od zpracovatele nebylo možné z důvodu licenčních a obchodních), nicméně i tato mají dostatečnou přesnost (novější zřejmě nebyla v úseku ani realizována a jelikož od roku 2011 nebyla provedena na úseku oprava krytu vozovky tak se parametry nezměnily).

3.2 Zpracování zjištěných hodnot v grafické podobě (GIS)

Veškerá data z měření vozidlovým teploměrem byla pomocí lokalizace GPS souřadnic zpracována, analyzována a vizualizována v programovém prostředí GIS (geografického informačního systému) ESRI ArcGIS 9.1. Všechny zpracované mapy v systému GIS jsou vloženy v tištěné podobě do V Grafické části 2. této práce, které byly pro potřeby a možnost přiložení upraveny již přímo v projektu na vhodný formát výkresu A3 (od limitů formátu se odvíjelo použité měřítko).

Ke zpracování mapových výstupů a zakreslení silniční sítě byly využity základní lokalizační data Ředitelství silnic a dálnic ČR (Odbor silniční databanky Ostrava) verze z 1.7.2014 Zdroj č. [9].

Ve vlastním mapovém projektu jsou primárně zakresleny vrstvy hranic územních správních celků, editované silniční sítě dle tříd silnic, vodních toků, lesů, zástavby. Dále bylo doplněno provozní staničení (kilometrů i rastr po 100 metrech) a zakresleno umístění mostních objektů, které bylo pro přehlednost zobrazení segmentů termálních měření minimalizováno.



Obrázek č. 36 – Zpracování dat vlastních termálních měření v prostředí geografického informačního systému ESRI ArcGIS 9.1. (zdroj autor)

Pro výslednou vizualizaci získaných měření teplot povrchu vozovky bylo zvoleno intervalové rozdělení vycházející z vypočtené průměrné hodnoty pro každé konkrétní měření. V Grafické části 2. Výkresů map jsou zakresleny výsledky z výše uvedených intervalů a lokalit měření teplot povrchu vozovky (Mapy č. 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, a dále i pracovní mapy s použitím surových dat před jejich vyříděním č. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4). K těmto grafickým výstupům z měření byly dále zpracovány pro příslušnou mapu histogramy s intervalovým rozdělením. Intervalové rozdělení je tvořeno vždy od průměrné hodnoty s mezemi intervalů po 0,5 °C, které se ukázalo být pro praktické použití nevhodné a proto bylo dále upraveno na interval po 1 °C (Mapy č. 3.1.1., 3.2.1, 3.3.1). Pro krajní (mezní) intervaly je vždy z důvodu nižší četnosti výskytu hodnot měřených teplot i větší. Tyto histogramy jsou obsaženy v kapitole 7. Přílohy.

Dále jsou v Grafické části 2. zpracovány mapy profesionálního termálního mapování č. 2.1, 2.2., 2.3 na základě zdrojových dat z roku 2011. Na základě přírůstkové mapy termálního měření od jejího realizátora spol. CROSS Zlín a.s. (Mapa č. 2.4) s plánovaným kontraktem na realizaci se stavem do 31.10.2014 je zřejmé, že se rozsah měření v Pardubickém kraji nezměnil a proto lze jím poskytnutá data z roku 2011 považovat za stále aktuální. Pro přehlednost je zpracována Mapa č. 1 se zobrazením silniční sítě Pardubického kraje a vyznačením měřených a posuzovaných lokalit na silnici č. I/37.

3.3 Doplnění naměřených hodnot o data z ručních měření (infrakamerou a ručním infrateploměrem)

S ohledem na provedenou úpravu GPS jednotky a její datové propojení s vhodným vozidlovým teploměrem a zejména následné upravení parametrů měření a přenosu dat po 1 vteřině nebylo nutné tato liniová měření doplňovat. Pro případné ověřování průběhů teplot a zjišťování odchylek teploty povrchu vozovky v místech mostních objektů oproti úsekům mimo ně (v bezprostřední blízkosti před a za mostem, do 100 m od dilatačních uzávěrů) nebylo bohužel dostatek vhodných mrazivých dní. Těch několik málo vhodných dní bylo nutné v maximální možné míře využít pro liniová měření zájmových úseků. Samozřejmě, že bylo značné očekávání na výraznější změnu počasí, tak aby se dalo včas zajistit vypůjčení infrakamery. Bylo proto nutné průběžně sledovat s dostatečným předstihem speciální předpověď počasí pro správce komunikací vydávanou ČHMÚ. Pro tyto účely byla využita měsíční prognóza (označení typu předpovědi FPCZ70) a pro přesnější popis také

předpověď Střednědobá a Krátkodobá regionální pro Pardubický kraj (označení typu předpovědi FPCZ72 a FPCZ71) – ukázka předpovědí na dny měření v kapitole 7 Přílohy.

Na základě sledování těchto předpovědí a dle možných termínů zapůjčení infrakamery bylo provedeno měření dne 12.3.2014.

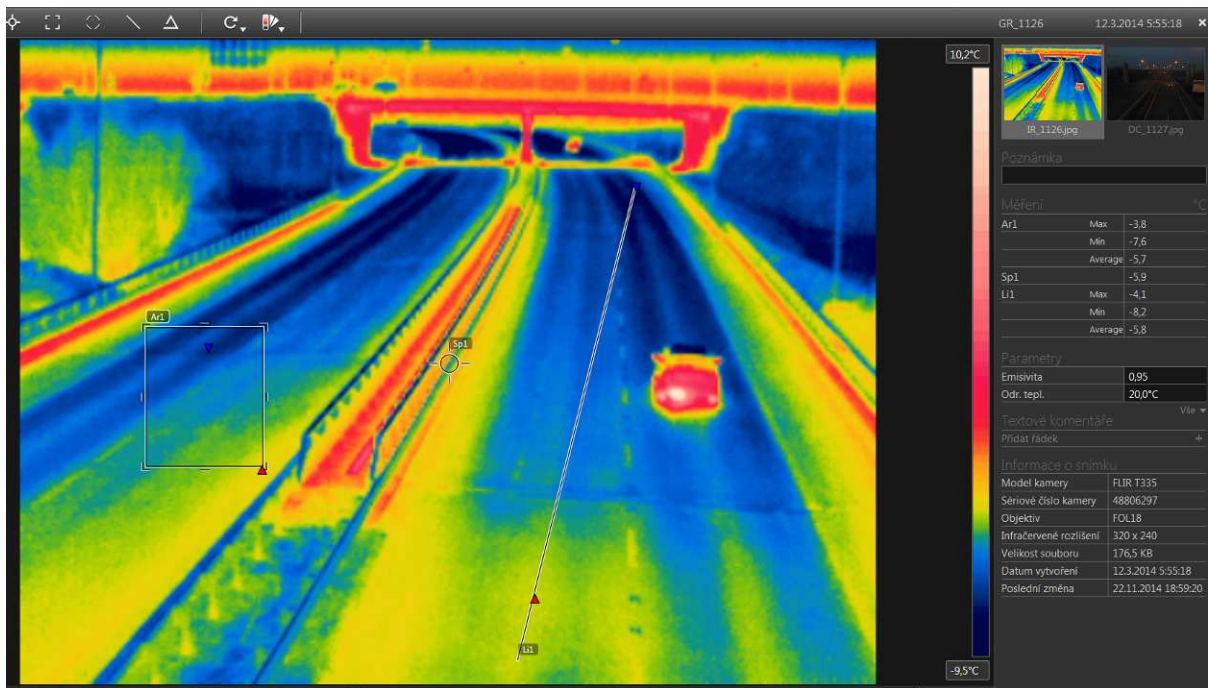
Tato měření byla prováděna pro ověření a případné doplnění či zpřesnění dat naměřených vozidlovým teploměrem (zejména v úsecích na mostních objektech) – což však díky již zmíněné úpravě GPS jednotky s datovým propojením s vozidlovým teploměrem nebylo bezpodmínečně nutné (nastavené vzorkování po 1 vteřině postihne i tyto mostní objekty, i když jen v rámci bodového měření – termovizní popis umožňuje vyhodnotit rozložení teplotních polí v rámci celého šířkového průběhu komunikace).

Vzhledem k nákladnosti a náročnosti tohoto měření na vhodné klimatické podmínky bylo prováděno v rámci okruhu zimní údržby č. 45/1-CHV v oblasti mimoúrovňových křížení silnic č. R35, I/37 a II/324 v katastru obce Opatovice nad Labem a Hrobice. Jednotlivé termogramy z tohoto měření byly zpracovány v programu Flir Tools verze 5.0. 14283.1002 a Testo IRsoft 2.3. Dostatečně kvalitní záznamy byly použity k další analýze vyhodnocení průběhu teplot (v příčném a zejména podélném směru povrchu komunikace). Vhodnost použití této termovizní technologie se jeví pro možnou analýzu teplotních odchylek mezi jednotlivými jízdními pruhy (a to i u směrově rozdělených silnic), kde rozdíly v teplotách po odečtu nejistoty měření dosahují hodnot až 2 °C.

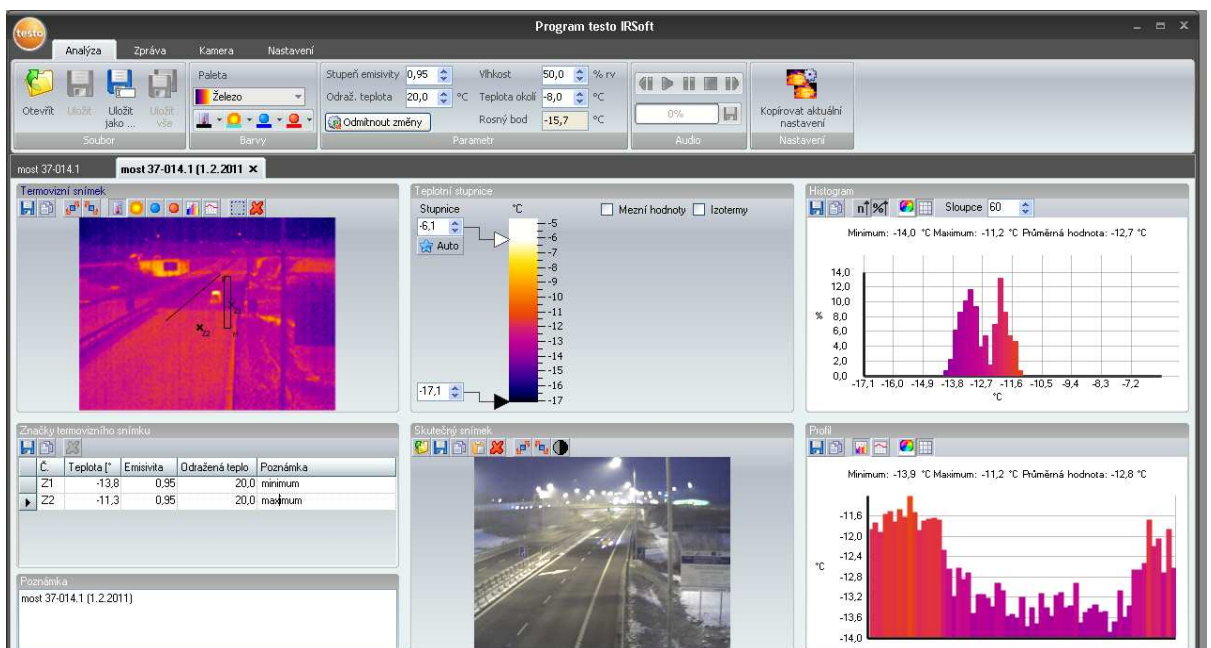
Teplotní rozdíl mezi úseky na mostech a mimo ně se v závislosti na podmínkách měření (aktuální teploty vzduchu) pohyboval v rozmezí od 1,5 do 4,1 °C.

Měření probíhalo na mostních objektech na sil. č. I/37 ev.č. 37-014.1 a 2 v Opatovicích/L., které jsou umístěny nad vodotečí v nejnižším patře mimoúrovňového křížení. Způsob měření byl ze shora z rondelu R35, který tvoří druhou výškovou úroveň této mimoúrovňové křižovatky (měření probíhalo za běžného provozu).

Na výsledných termogramech jsou zjevně viditelné chladné mostní objekty ostře ohraničené dilatačními uzávěry. Vzhledem k umístění a stejnému konstrukčnímu provedení obou mostních objektů 37-014.1 a 37-014.2 a srovnatelných intenzit provozu jsou výsledky měření v obou směrech provozního staničení obdobné. Níže je na následujících obrázcích s analýzou pořízených termogramů porovnání měření ze stejného místa s měřením autora z měsíce února 2011 a z aktuálního měření z 12.3.2014 (rozdílné typy kamer a programů pro analýzu – výsledky obdobné).



Obrázek č. 37 – Termogram a jeho analýza most č. 37-014.1 Opatovice z 12.3.2014 (zdroj a zpracování autor)

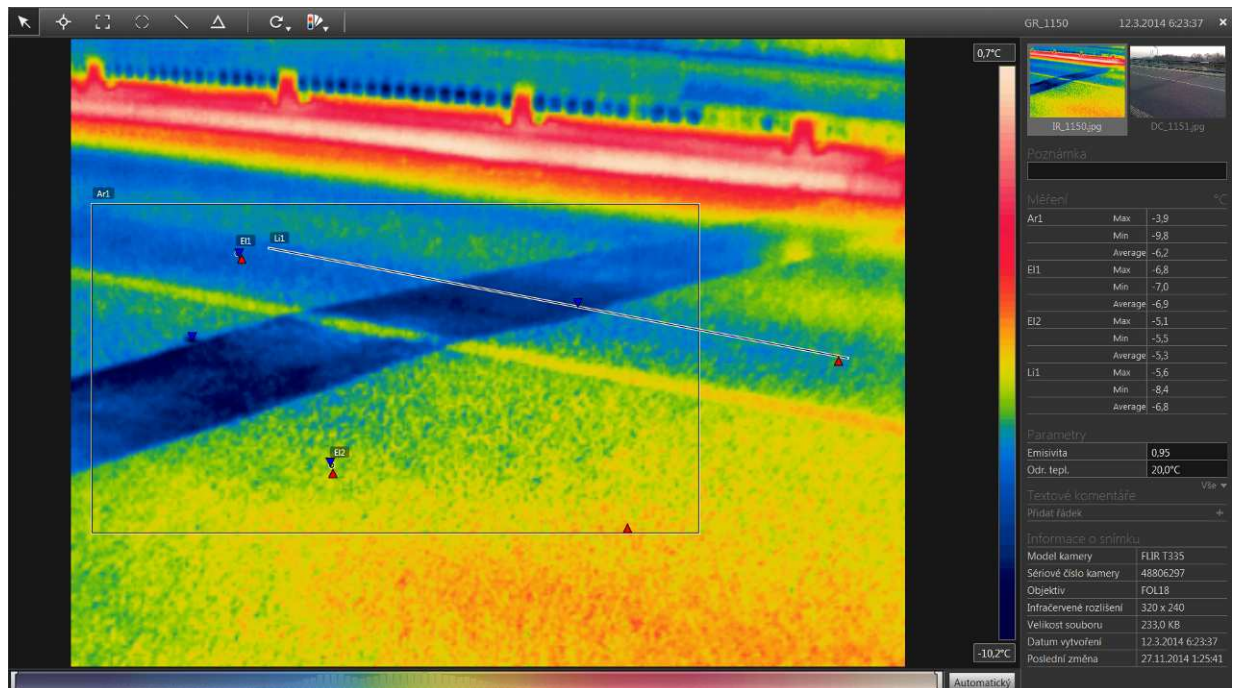


Obrázek č. 38 – Termogram a jeho analýza most č. 37-014.1 z 1.2.2011 (zdroj a zpracování autor)

Výsledky zjištěných maximálních odchylek na termogramech potvrdily předpoklad a jsou v zásadě v souladu. Jediný rozdíl je pozorovaný u rozdílů teplot mezi jednotlivými jízdními pruhy, což lze přičíst nedostatečně prochládlému povrchu, tak také změně vedení dopravy stavební činností v této lokalitě (stavba 3. patra křižovatky).

Na měření z roku 2011 je maximální rozdíl teplot mezi povrchem vozovky na náspu a na mostním objektu naměřen o 2,7 °C (viz. obrázek č. 38). Na termogramech je dále patrný

rozdíl teplot v příčném směru mezi pravým a levým jízdním pruhem, kde bylo rozložení intenzity provozu v poměru 75:25 %. Levý méně pojižděný pruh byl chladnější o 1,2 °C.



Obrázek č. 39 – Termogram a jeho analýza most č. 37-017 Hrobice z 12.3.2014 (zdroj a zpracování autor)

Na termogramu výše (obrázek č. 39) je dále patrný vliv emisivity, kterou je nutné vždy správně nastavit a případné odlehlosti v měření hodnocením materiálů s rozdílnou emisivitou správně interpretovat. Zde je zřejmý rozdíl mezi emisivitou krytu vozovky (asfaltový beton střednězrný) a mostním uzávěrem (zálivka z modifikovaného litého asfaltu) - rozdíly obou materiálů nejen v barvě, ale také v makrotextuře a mikrotextuře povrchu, kdy modifikovaná asfaltová zálivka mostního dilatačního uzávěru neobsahuje žádná povrchově vystouplá pojižděná zrna kameniva, ale její povrch je hladký po aplikaci typu litý asfalt.

Termogramy s analýzou průběhu teplot ze dne 12.3.2014 měření z této lokality jsou přiloženy v kapitole 7. Přílohy.

4 ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Na základě získaných dat z realizovaných měření teploty povrchu vozovky na referenčním úseku zimní údržby byla zpracována tabulka č. 5 v kapitole 3.1, která obsahuje výsledné intervaly odchylek od průměrné teploty povrchu trasy okruhu č. 45/1-CHV. Tyto termální segmenty trasy údržbového okruhu jsou podkladem pro výpočet případné optimalizace posypových dávek dle termálního chování komunikace. V kapitole 5.1. jsou popsány všechna další možná hlediska, která by bylo vhodné dle návrhu autora zahrnout jako další vstupy pro stanovení optimální posypové dávky při zimní údržbě silnic resp. její dynamickou úpravu dle přepočtu i během již probíhajících údržbových prací.

4.1 Stanovení a popis výsledného návrhu optimalizace posypových dávek zimní údržby silnic

Na základě výsledků měření teplot povrchu je v závěru této části zpracována tabulka pro referenční úsek zimní údržby s popisem teplotních odchylek (intervalů teplotních segmentů), dle kterých jsou navrženy korekce posypu.

Požadavky na optimální dávkování a parametrizaci chemických rozmrazovacích posypů by však měly vedle termálního popisu komunikace respektovat i tyto další základní hlediska:

- šířkové parametry komunikace
- typ a množství vrstvy spadu srážek
- třídu komunikace a intenzitu provozu
- predikce vývoje teploty a stavu povrchu vozovky dle modelu MDSS

Respektování šířkových parametrů komunikace je nejzákladnějším a nejvýznamnějším aspektem, který je nutno dodržet. Šířka provádění zimní údržby na pozemní komunikaci dle zařazení do pořadí důležitosti je stanovena platnou legislativou.

Vyhláškou ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích je toto uvedeno v § 44 Ostatní silnice. Zde je jasně stanoven požadavek na údržbu celé šířky a délky vozovky zařazené do I. pořadí důležitosti.

U zbývajících pořadí důležitosti není třeba ošetřovat posypem celou šířku komunikace, ale je umožněno provádět posyp pouze na místech, kde si to vyžaduje dopravně technický stav komunikace (křižovatky, velká stoupání, ostré oblouky, zastávky linkové osobní dopravy).

Jelikož jsou jednotlivé okruhy (trasy) zimní údržby silnic většinou sestaveny z více tříd komunikací s rozdílnými šířkami, je třeba věnovat včasné změně nastavení posypového obrazce a dávky náležitou pozornost. Tím, že obsluha údržbového vozidla nezareaguje včas na změnu šířkového parametru ošetřované komunikace, dochází v mnoha případech k nadměrnému posypu, který je aplikován i mimo povrch komunikace. V opačném případě pak dochází k nedostatečnému ošetření což má vliv nejen na bezpečnost, komfort a kvalitu jízdy, ale i na vynaložené náklady. V případě vzniku kongescí (dopr. nehoda, nesjízdnost, apod.) je totiž nutné vyslat na příslušný úsek znovu údržbové vozidlo.

Problém šířkové úpravy posypového obrazce je možné řešit použitím některých nových systémů, který lze přikoupit k určitým typům nástaveb. Například systém EPOSAT, který u nástaveb výrobce EPOKE zajistí automatickou úpravu posypové šířky na předem definovaných úsecích dle lokalizace pomocí systému GPS s vlastní lokalizací posypovou nástavbou nezávisle na vozidle. Zařízení je možno volit jako rozšiřující výbavu k posypové nástavbě EPOKE. Skládá se z řídicí jednotky, přídavné GPS antény a programového vybavení, pomocí kterého se předem nadefinují posypové obrazce dle konkrétní šířky komunikace. Toto lze provést dvěma způsoby. Projetím tras a průběžným ukládáním změn šířek do přenosného počítače přímo v terénu nebo je možno využít data popisu komunikace zpracovaná v systému GIS (např. Silniční databankou Ostrava nebo vlastní uživatelská). Následně lze nakonfigurovat změny šířek posypu trasy předem na dispečerském pracovišti. Takto připravené podklady se přenesou do ovládací jednotky EPOMASTER konkrétního sypače pomocí datové karty EpoCard.

Předem lze takto nadefinovat pro jeden sypač až 10 údržbových tras (okruhů) a 8 úrovní množství posypu (preventivní posyp, likvidační posyp, atd.) Toto zaručuje flexibilitu systému pro větší variabilitu použití takto vybaveného údržbového mechanismu.

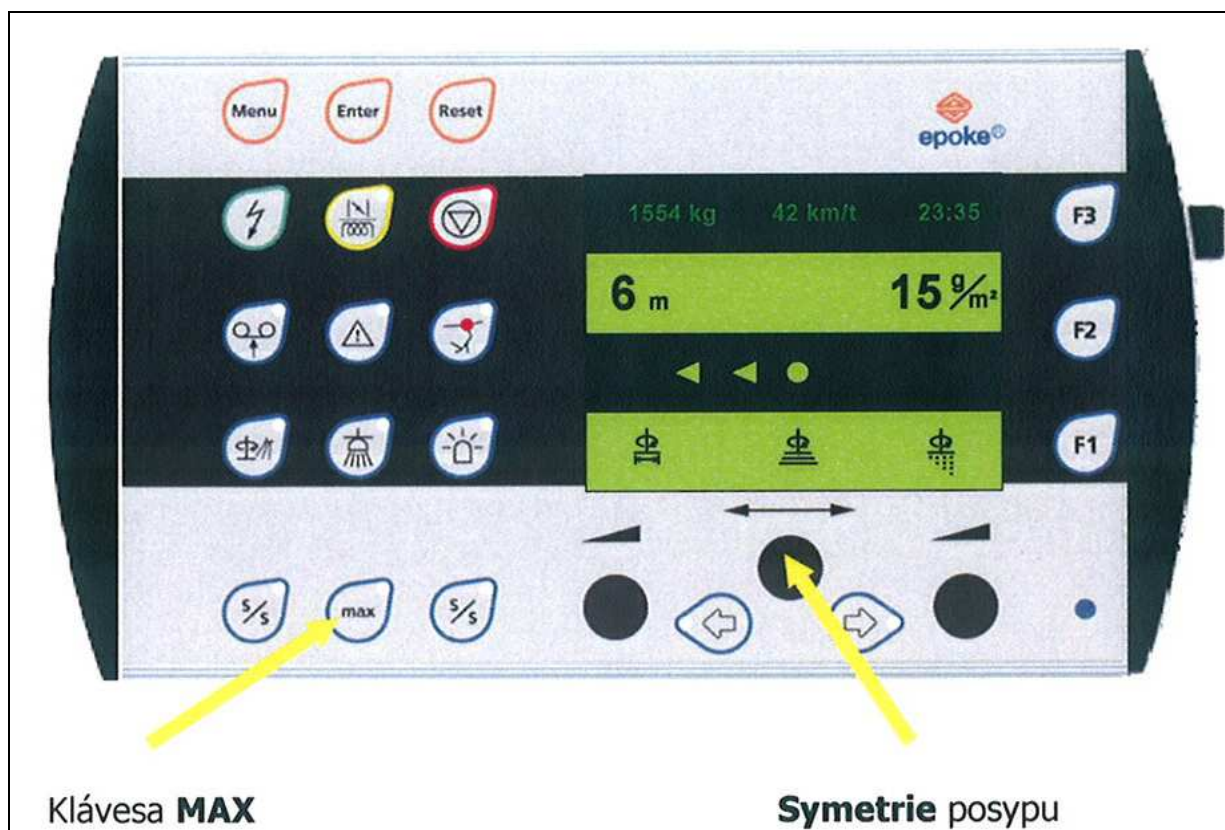
Teoretická přesnost GPS pro civilní potřeby je +/-5m. U systému EpoSat je ovšem docíleno větší přesnosti díky tomu, že si systém vyhodnocuje a dopočítává následující parametry:

- Aktuální GPS souřadnice
- Směr jízdy
- Vzdálenost
- Rychlost jízdy (km/h)

V případě aktivování systému EPOSAT při vlastním výjezdu na trasu obsluha pouze nastaví číslo předem nadefinované trasy a úroveň posypové dávky. Ovládací panel poté sám indikuje nájezd na trasu a provádí posyp dle přednastavených parametrů.

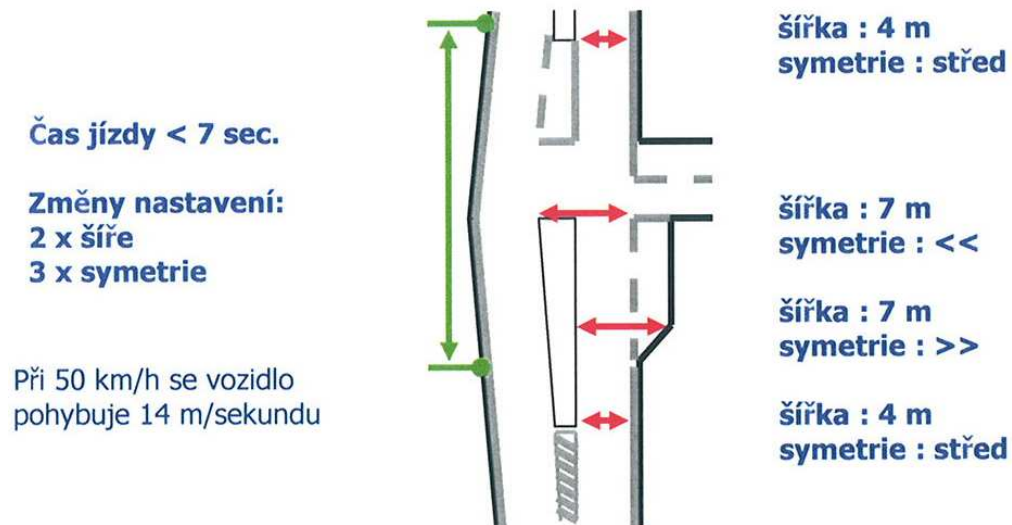
V průběhu automatického režimu může obsluha upravovat pouze dávku posypu na maximální mez po dobu stisku tlačítka MAX (což je 40 g/m^2) a symetrii posypu (např. z důvodu silného bočního větru). Šířka posypu je již načítána dle předem definovaného nastavení pro každou lokalitu ze známých (předem nadefinovaných parametrů tras) – toto opatření má eliminovat chyby lidského faktoru. Samozřejmě, že v případě potřeby lze kdykoliv do systému uživatelsky řidičem zasáhnout a tuto automatiku vypnout resp. přepnout na manuální ovládání.

Tuto funkcionalitu musí umožňovat i zamýšlená optimalizace dávek posypu dle teplotních charakteristik a segmentace úseku údržby. Veškeré úpravy optimální dávky, které se budou automaticky měnit na ovládacím panelu sypače musí fungovat jako běžné nastavení, do kterého může řidič kdykoliv zasáhnout a dávku v případě potřeby upravit sám uživatelsky.



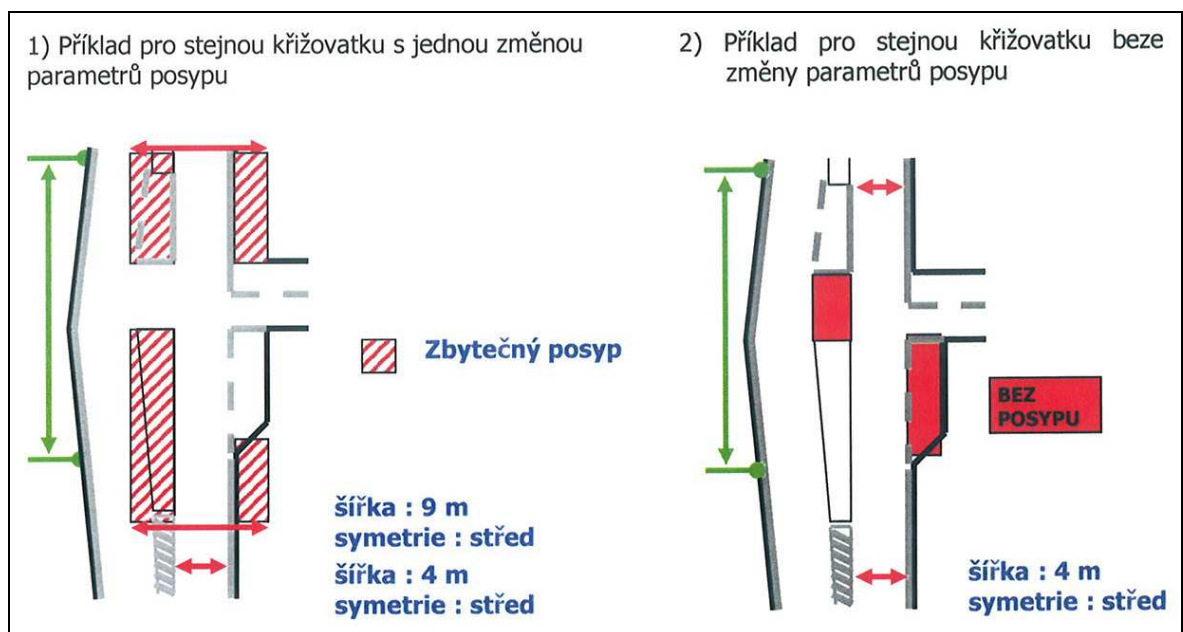
Obrázek č. 40 – Ovládací panel EPOMASTER sypacího zařízení EPOKE se systémem EPOSAT (zdroj dodavatel zařízení spol. Unikont Praha)

Ukázka automatické úpravy posypového obrazce při aktivaci systému EPOSAT je znázorněna na následujícím schématu při průjezdu křižovatkou.



Obrázek č. 41 – Příklad změny šířky posypu při průjezdu křižovatkou se systémem EPOSAT (zdroj dodavatel zařízení spol. Unikont Praha)

Bez správného přenastavení posypového obrazce dochází ke zbytečným posypům (viz. situace č. 1) nebo naopak nedostatečnému posypu (viz. situace č. 2). Oba tyto případy jsou znázorněny na obrázku č. 35.



Obrázek č. 42 – Příklad obvyklého posypu při průjezdu křižovatkou bez systému automatické úpravy posypu EPOSAT (zdroj dodavatel zařízení spol. Unikont Praha)

Zařízení typu EPOSAT je v ČR dle informací od výhradního dovozce pro ČR pouze několik málo kusů a to zejména z důvodu vyšších nákladů na jeho pořízení. Cena se pohybuje dle konkrétní specifikace nástavby v rozmezí od 150 do 200 tis. Kč bez DPH (v mnoha případech se jedná až 20% ceny celé posypové nástavby).

Další nevýhodou je skutečnost, že tento systém nelze doplnit na posypové nástavby od jiných výrobců a tímto je značně limitována možnost jeho rozšíření.

S ohledem na stávající stav vybavení údržbových vozidel systémy GPS monitoringu polohy a technologických činností (posypu a pluhu) společně s vhodným vozidlovým teploměrem bylo možné zavést obdobný systém úpravy posypové dávky za výrazně nižší náklady. Předpokladem pro zavedení tohoto systému je zpřístupnění datového protokolu ovládání posypové nástavby příslušným výrobcem resp. dodavatelem nástavby pro obousměrnou komunikaci, kterou již nyní v průběhu roku 2014 v rámci testování zpřístupnil výrobce KOBIT Jičín a.s. u posypových nástaveb typu SYKO. V současné době je již vyřešena tato komunikace mezi GPS jednotkou vozidla a ovládacím panelem nástavby pro přenos technologických dat o aktuální posypové dávce, šířce a spotřebě materiálu u všech významných výrobců nástaveb a typů běžně užívaných v ČR. Všechna potřebná data jsou tedy již přenášena, ale pouze jednosměrně (sypač – GPS jednotka – server aplikace GPS lokalizace). V případě zpřístupnění obousměrné komunikace výrobcí posypových nástaveb je bude možno určit pokyny pro automatickou úpravu posypové dávky nejen na základě šířky komunikace, ale i dle parametrů jednotlivých intervalů termálních charakteristik stanovených touto prací pro návrh optimalizace posypové dávky (pro každý dílčí teplotní segment - interval v rámci údržbového okruhu).

V následujících tabulkách č. 7 a č. 8 je na základě naměřených hodnot termálního popisu povrchu komunikace a provedeného rozdělení trasy okruhu údržby na další dílčí úseky (dle zjištěných intervalů termálních odchylek v tabulce č. 5) stanoven návrh výsledné úpravy posypové dávky. Data v tabulkách lze v případě potřeby i doplnit o výsledky z měření teplot povrchu na mostních objektech infrakamerou ale při respektování odlišné nejistoty měření. Na základě tohoto návrhu stanovení optimalizace posypové dávky jsou v kapitole 4.2. uvedeny výpočty předpokládaných změn spotřeby posypových materiálů dle provedené termální parametrizace okruhu zimní údržby.

Pro okruh č. 45/1-CHV cestmistrovství Pardubice byl na základě naměřených teplotních odchylek stanoven návrh pro optimalizaci posypové dávky dle následujících tabulek.

číslo silnice	provozní staničení 1 (km)	provozní staničení 2 (km)	délka úseku (km)	teplotní odchylka (°C)	návrh úpravy posypu o (%)	poznámka k úseku
36. 1	22,278	24,758	2,480	-1,0	15%	zastíněný úsek, bez vlivu tepl. ostrova města
36 větve	0,000	0,000	1,323	0,0	0%	múk Palackého
36. 2	24,758	24,400	0,358	1,0	-15%	vliv delšího osvětlení zapadajícího slunce
36. 2	24,400	23,900	0,500	0,0	0%	múk Doubravice č. 36-009A
36. 2	23,900	22,295	1,605	1,0	-15%	
37. 2	45,169	44,550	0,619	1,0	-15%	
37. 2	44,550	44,000	0,550	0,0	0%	
37. 2	44,000	43,250	0,750	1,0	-15%	
37. 2	43,250	42,950	0,300	0,0	0%	
37. 2	42,950	42,600	0,350	1,0	-15%	
37. 2	42,600	41,000	1,600	0,0	0%	
37. 2	41,000	40,750	0,250	1,0	-15%	
37. 2	40,750	40,000	0,750	0,0	0%	
37. 2	40,000	38,900	1,100	1,0	-15%	
37. 2	38,900	37,600	1,300	0,0	0%	múk Hrobice
37. 2	37,600	37,400	0,200	-1,0	15%	propustek - vodoteč
37. 2	37,400	36,900	0,500	0,0	0%	
37. 2	36,900	36,000	0,900	-1,0	15%	zastíněný úsek podél elektrárny
37. 2	36,000	34,900	1,100	0,0	0%	
37. 2	34,900	34,700	0,200	1,0	-15%	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 2	34,700	33,900	0,800	0,0	0%	
37. 2	33,900	33,150	0,750	1,0	-15%	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 2	33,150	31,700	1,450	0,0	0%	
37. 1	31,700	31,400	0,300	-1,0	15%	Březhrad písňík zastíněno
37. 1	33,000	33,700	0,700	1,0	-15%	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 1	33,700	34,000	0,300	0,0	0%	
37. 1	34,000	34,200	0,200	-1,0	15%	
37. 1	34,200	35,000	0,800	1,0	-15%	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 1	35,000	35,900	0,900	0,0	0%	
37. 1	35,900	36,600	0,700	-1,0	15%	
37. 1	36,600	37,500	0,900	-2,0	30%	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	37,500	37,900	0,400	-1,0	15%	
37. 1	37,900	38,900	1,000	0,0	0%	
37. 1	38,900	39,300	0,400	-1,0	15%	
37. 1	39,300	39,900	0,600	0,0	0%	
37. 1	39,900	40,400	0,500	0,0	0%	
37. 1	40,400	41,500	1,100	-1,0	15%	
37. 1	41,500	41,700	0,200	0,0	0%	tepelný ostrov zastínění zástavbou Stěblová
37. 1	41,700	42,450	0,750	-1,0	15%	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	42,450	42,800	0,350	0,0	0%	Stěblová
37. 1	42,800	43,350	0,550	-1,0	15%	Stěblová
37. 1	43,350	45,169	1,819	0,0	0%	Stěblová

Tabulka č. 7 – Stanovení návrhu 1. úpravy posypové dávky pro okruh zimní údržby č.45/1-CHV (zdroj autor)

Návrh úpravy aplikace posypu v tabulce č. 7 dělí údržbový okruh na sekce s podobným teplotním chováním povrchu vozovky v intervalu po 1°C. Výraznější teplotní odchylky o více jak 3°C byly z důvodu mírného průběhu zimního období zjištěny jen výjimečně, ale extremity v rámci stejných lokalit se ve většině dní měření shodují což lze pozorovat i na jednotlivých grafických mapových výstupech. Shoda ve všech dnech měření je například na silnici č. 37. 1 v úseku od km 36 po km 38.

Na základě zjištěných teplotní odchylek a skutečnosti, že vozidla údržby v praxi téměř vůbec v rámci trasy celého okruhu údržby nemění posypovou dávku vede k závěru, že pro zajištění sjízdnosti na přiděleném okruhu je použita posypová dávka pro likvidační posyp, která by měla být použita jen na úsecích s nejnižší teplotou. Pro potvrzení této skutečnosti lze vycházet z faktu, že se v rámci okruhu údržby při tomto způsobu dávkování nevyskytují na nejchladnějších místech žádné zásadní kongesce (typu nesjízdnosti a dopravní nehody). Potom je možné skutečně pracovat s faktem, že je okruh ošetřován dávkou, která by stačila aplikovat pouze na vybraných úsecích s respektováním teplotních charakteristik nejnižšího intervalu. Proto byl v tabulce č. 8 zpracován návrh úpravy posypové dávky se zohledněním této skutečnosti, kdy jako výchozí dávka posypu je ta pro nejtvrďší (nejnižší) teplotní interval.

číslo silnice	provozní staničení 1	provozní staničení 2	délka úseku	teplotní odchylka	návrh úpravy	poznámka k úseku
36. 1	22,278	24,758	2,480	-1,0	-15%	zastíněný úsek, bez vlivu tepel. ostrova města
36 větve	0,000	0,000	1,323	0,0	-30%	múk Palackého
36. 2	24,758	24,400	0,358	1,0	-45%	vliv delšího osvětlení zapadajícího slunce
36. 2	24,400	23,900	0,500	0,0	-30%	múk Doubravice č. 36-009A
36. 2	23,900	22,295	1,605	1,0	-45%	
37. 2	45,169	44,550	0,619	1,0	-45%	
37. 2	44,550	44,000	0,550	0,0	-30%	
37. 2	44,000	43,250	0,750	1,0	-45%	
37. 2	43,250	42,950	0,300	0,0	-30%	
37. 2	42,950	42,600	0,350	1,0	-45%	
37. 2	42,600	41,000	1,600	0,0	-30%	
37. 2	41,000	40,750	0,250	1,0	-45%	
37. 2	40,750	40,000	0,750	0,0	-30%	
37. 2	40,000	38,900	1,100	1,0	-45%	
37. 2	38,900	37,600	1,300	0,0	-30%	múk Hrobice
37. 2	37,600	37,400	0,200	-1,0	-15%	propustek - vodoteč
37. 2	37,400	36,900	0,500	0,0	-30%	
37. 2	36,900	36,000	0,900	-1,0	-15%	zastíněný úsek podél elektrárny
37. 2	36,000	34,900	1,100	0,0	-30%	
37. 2	34,900	34,700	0,200	1,0	-45%	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 2	34,700	33,900	0,800	0,0	-30%	
37. 2	33,900	33,150	0,750	1,0	-45%	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 2	33,150	31,700	1,450	0,0	-30%	
37. 1	31,700	31,400	0,300	-1,0	-15%	Březhrad písniak zastíněno
37. 1	33,000	33,700	0,700	1,0	-45%	tepelný ostrov zástavbou Opatovic/L.
37. 1	33,700	34,000	0,300	0,0	-30%	
37. 1	34,000	34,200	0,200	-1,0	-15%	
37. 1	34,200	35,000	0,800	1,0	-45%	spodní patro múk Opatovice mostní objekty (zastíněno)
37. 1	35,000	35,900	0,900	0,0	-30%	
37. 1	35,900	36,600	0,700	-1,0	-15%	
37. 1	36,600	37,500	0,900	-2,0	0%	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	37,500	37,900	0,400	-1,0	-15%	
37. 1	37,900	38,900	1,000	0,0	-30%	
37. 1	38,900	39,300	0,400	-1,0	-15%	
37. 1	39,300	39,900	0,600	0,0	-30%	
37. 1	39,900	40,400	0,500	0,0	-30%	
37. 1	40,400	41,500	1,100	-1,0	-15%	
37. 1	41,500	41,700	0,200	0,0	-30%	tepelný ostrov zastínění zástavbou Stěblová
37. 1	41,700	42,450	0,750	-1,0	-15%	otevřený úsek na návětrné straně
37. 1	42,450	42,800	0,350	0,0	-30%	Stěblová
37. 1	42,800	43,350	0,550	-1,0	-15%	Stěblová
37. 1	43,350	45,169	1,819	0,0	-30%	Stěblová

Tabulka č. 8 – Stanovení návrhu 2. úpravy posypové dávky pro okruh zimní údržby č.45/1-CHV (zdroj autor)

4.2 Výpočet předpokládaných změn spotřeby posypového materiálu na referenčním úseku zimní údržby

V této kapitole jsou vypočteny možné změny spotřeby posypového materiálu na základě optimalizace posypové dávky dle výsledků termálního měření povrchu vozovky a parametrizace úseků do teplotních intervalů. Metodika výpočtu je zpracována na základě faktu, kdy údržbové vozidlo v mnoha případech ošetří celý úsek stejnou posypovou dávkou. To je doložitelné zpětně z výstupů GPS sledování vozidel a jejich výkonů.

Zásadním problémem je nedokonalost lidského faktoru pro objektivní vyhodnocení situace při provádění posypu vozovky. Vlastní nastavení dávky posypu závisí v současné době skutečně pouze na rozhodnutí každého konkrétního řidiče. Tuto skutečnost potvrzují rozdíly spotřeby mezi jednotlivými jízdami stejných vozidel na stejných okruzích údržby. Každý z řidičů v rámci střídání ve směnách na stejném okruhu zimní údržby jinak posuzuje a více či méně aktivně provádí úpravy posypové dávky.

Z výše uvedené skutečnosti, kdy nedochází k optimální úpravě posypové dávky nebo jen velmi omezeně, je zřejmé, že po zavedení jakékoliv její optimalizace a parametrizace (na základě termálního průběhu teploty) nemusí dojít vždy jen k výraznému snížení spotřeby posypového materiálu. Optimálním rozložením posypu totiž budou úseky ošetřovány různou posypovou dávkou v rámci okruhu údržby. Ta však může být v některých případech (zejména u méně členitých tras) v průměru za celý okruh stejná.

Tato úprava dle bodu 5.1. (tabulky č. 7 a č. 8) má za cíl navrhnout zajištění alespoň základního opatření proti nedostatečnému posypu nebo naopak zbytečnému na dílčích úsecích příslušného okruhu zimní údržby silnic.

Na základě tabulek č. 7 a č. 8 byly dále zpracovány tabulky č. 9 a č. 10. Tam je proveden vlastní výpočet rozdílů spotřeby posypu na referenčním úseku pro jeden běžný zásah likvidačního posypu (při uvažování nastavení šířky posypu reálně používané) s lokalizací úseků dle provozního staničení.

Pro vlastní výpočet je uvažována střední hodnota posypové dávky což je 20g/m^2 a konkrétní šířky posypu dle třídy příslušné komunikace. Uvedená dávka posypu vychází z legislativních požadavků a dále dle pokynů Ministerstva dopravy (Rozhodovací diagram dispečera viz. obrázek č. 1 a č. 2), ze kterých je zřejmé že použití rozmrazovacího materiálu chloridu sodného je vhodné maximálně do $-10\text{ }^\circ\text{C}$ (přesto, že je tavicí účinek tohoto chloridu do hodnoty eutektického bodu $-21,2\text{ }^\circ\text{C}$ ale pouze v laboratorních podmínkách při dokonalé koncentraci a homogenizaci – rozemletí krystalů, v praxi ihned po aplikaci na vozovku

koncentrace snižována ředěním vodou na základě tavícího efektu). Na základě zjištěných teplotních odchylek měření ve vztahu k výše uvedeným podmínkám použití posypového materiálu NaCl byl pro každý teplotní interval stanoven krok úpravy posypové dávky o 15% (od výchozí, resp. teplotního průměru oblasti okruhu údržby). Tuto skutečnost by bylo vhodné ověřit v laboratorních podmínkách, nicméně dle rozpětí možných dávek pro aplikaci posypu podle výše zmíněné legislativy zvolený interval odpovídá ve vztahu k možnosti návrhu úpravy až do limitních dávek (minimálních i maximálních).

číslo silnice	provozní staničení 1 (km)	provozní staničení 2 (km)	délka úseku (km)	šířka posypu (m)	plocha posypu (m ²)	výchozí posyp. dávka (kg/m ²)	původní spotřeba posypu (kg)	úprava posyp. dávky (%)	optimalizace spotřeby posypu (kg)	změna spotřeby (kg)
36. 1	22,278	24,758	2,480	10	24800	0,020	496	15%	570,4	74,4
36 větve	0,000	0,000	1,323	6	7938	0,020	158,76	0%	158,76	0
36. 2	24,758	24,400	0,358	10	3580	0,020	71,6	-15%	60,86	-10,74
36. 2	24,400	23,900	0,500	10	5000	0,020	100	0%	100	0
36. 2	23,900	22,295	1,605	10	16050	0,020	321	-15%	272,85	-48,15
37. 2	45,169	44,550	0,619	10	6190	0,020	123,8	-15%	105,23	-18,57
37. 2	44,550	44,000	0,550	10	5500	0,020	110	0%	110	0
37. 2	44,000	43,250	0,750	10	7500	0,020	150	-15%	127,5	-22,5
37. 2	43,250	42,950	0,300	10	3000	0,020	60	0%	60	0
37. 2	42,950	42,600	0,350	10	3500	0,020	70	-15%	59,5	-10,5
37. 2	42,600	41,000	1,600	10	16000	0,020	320	0%	320	0
37. 2	41,000	40,750	0,250	10	2500	0,020	50	-15%	42,5	-7,5
37. 2	40,750	40,000	0,750	10	7500	0,020	150	0%	150	0
37. 2	40,000	38,900	1,100	10	11000	0,020	220	-15%	187	-33
37. 2	38,900	37,600	1,300	10	13000	0,020	260	0%	260	0
37. 2	37,600	37,400	0,200	10	2000	0,020	40	15%	46	6
37. 2	37,400	36,900	0,500	10	5000	0,020	100	0%	100	0
37. 2	36,900	36,000	0,900	10	9000	0,020	180	15%	207	27
37. 2	36,000	34,900	1,100	10	11000	0,020	220	0%	220	0
37. 2	34,900	34,700	0,200	10	2000	0,020	40	-15%	34	-6
37. 2	34,700	33,900	0,800	10	8000	0,020	160	0%	160	0
37. 2	33,900	33,150	0,750	10	7500	0,020	150	-15%	127,5	-22,5
37. 2	33,150	31,700	1,450	10	14500	0,020	290	0%	290	0
37. 1	31,700	31,400	0,300	10	3000	0,020	60	15%	69	9
37. 1	33,000	33,700	0,700	10	7000	0,020	140	-15%	119	-21
37. 1	33,700	34,000	0,300	10	3000	0,020	60	0%	60	0
37. 1	34,000	34,200	0,200	10	2000	0,020	40	15%	34	-6
37. 1	34,200	35,000	0,800	10	8000	0,020	160	-15%	136	-24
37. 1	35,000	35,900	0,900	10	9000	0,020	180	0%	180	0
37. 1	35,900	36,600	0,700	10	7000	0,020	140	15%	161	21
37. 1	36,600	37,500	0,900	10	9000	0,020	180	30%	234	54
37. 1	37,500	37,900	0,400	10	4000	0,020	80	15%	92	12
37. 1	37,900	38,900	1,000	10	10000	0,020	200	0%	200	0
37. 1	38,900	39,300	0,400	10	4000	0,020	80	15%	92	12
37. 1	39,300	39,900	0,600	10	6000	0,020	120	0%	120	0
37. 1	39,900	40,400	0,500	10	5000	0,020	100	0%	100	0
37. 1	40,400	41,500	1,100	10	11000	0,020	220	15%	253	33
37. 1	41,500	41,700	0,200	10	2000	0,020	40	0%	40	0
37. 1	41,700	42,450	0,750	10	7500	0,020	150	15%	172,5	22,5
37. 1	42,450	42,800	0,350	10	3500	0,020	70	0%	70	0
37. 1	42,800	43,350	0,550	10	5500	0,020	110	15%	126,5	16,5
37. 1	43,350	45,169	1,819	10	18190	0,020	363,8	0%	363,8	0
							6334,96		6391,9	56,94
							rozdílná spotřeba posypu celkem (kg)			56,94

Tabulka č. 9 – Výpočet změny spotřeby posypu na okruhu zimní údržby č.45/1-CHV segmentací úseků (autor)

číslo silnice	provozní staničení 1 (km)	provozní staničení 2 (km)	délka úseku (km)	šířka posypu (m)	plocha posypu (m ²)	výchozí posyp. dávka (kg/m ²)	původní spotřeba posypu (kg)	úprava posyp. dávky (%)	optimalizace spotřeby posypu (kg)	změna spotřeby (kg)	
36. 1	22,278	24,758	2,480	10	24800	0,020	496	-15%	421,6	-74,4	
36 větve	0,000	0,000	1,323	6	7938	0,020	158,76	-30%	111,132	-47,628	
36. 2	24,758	24,400	0,358	10	3580	0,020	71,6	-45%	39,38	-32,22	
36. 2	24,400	23,900	0,500	10	5000	0,020	100	-30%	70	-30	
36. 2	23,900	22,295	1,605	10	16050	0,020	321	-45%	176,55	-144,45	
37. 2	45,169	44,550	0,619	10	6190	0,020	123,8	-45%	68,09	-55,71	
37. 2	44,550	44,000	0,550	10	5500	0,020	110	-30%	77	-33	
37. 2	44,000	43,250	0,750	10	7500	0,020	150	-45%	82,5	-67,5	
37. 2	43,250	42,950	0,300	10	3000	0,020	60	-30%	42	-18	
37. 2	42,950	42,600	0,350	10	3500	0,020	70	-45%	38,5	-31,5	
37. 2	42,600	41,000	1,600	10	16000	0,020	320	-30%	224	-96	
37. 2	41,000	40,750	0,250	10	2500	0,020	50	-45%	27,5	-22,5	
37. 2	40,750	40,000	0,750	10	7500	0,020	150	-30%	105	-45	
37. 2	40,000	38,900	1,100	10	11000	0,020	220	-45%	121	-99	
37. 2	38,900	37,600	1,300	10	13000	0,020	260	-30%	182	-78	
37. 2	37,600	37,400	0,200	10	2000	0,020	40	-15%	34	-6	
37. 2	37,400	36,900	0,500	10	5000	0,020	100	-30%	70	-30	
37. 2	36,900	36,000	0,900	10	9000	0,020	180	-15%	153	-27	
37. 2	36,000	34,900	1,100	10	11000	0,020	220	-30%	154	-66	
37. 2	34,900	34,700	0,200	10	2000	0,020	40	-45%	22	-18	
37. 2	34,700	33,900	0,800	10	8000	0,020	160	-30%	112	-48	
37. 2	33,900	33,150	0,750	10	7500	0,020	150	-45%	82,5	-67,5	
37. 2	33,150	31,700	1,450	10	14500	0,020	290	-30%	203	-87	
37. 1	31,700	31,400	0,300	10	3000	0,020	60	-15%	51	-9	
37. 1	33,000	33,700	0,700	10	7000	0,020	140	-45%	77	-63	
37. 1	33,700	34,000	0,300	10	3000	0,020	60	-30%	42	-18	
37. 1	34,000	34,200	0,200	10	2000	0,020	40	-15%	34	-6	
37. 1	34,200	35,000	0,800	10	8000	0,020	160	-45%	88	-72	
37. 1	35,000	35,900	0,900	10	9000	0,020	180	-30%	126	-54	
37. 1	35,900	36,600	0,700	10	7000	0,020	140	-15%	119	-21	
37. 1	36,600	37,500	0,900	10	9000	0,020	180	0%	180	0	
37. 1	37,500	37,900	0,400	10	4000	0,020	80	-15%	68	-12	
37. 1	37,900	38,900	1,000	10	10000	0,020	200	-30%	140	-60	
37. 1	38,900	39,300	0,400	10	4000	0,020	80	-15%	68	-12	
37. 1	39,300	39,900	0,600	10	6000	0,020	120	-30%	84	-36	
37. 1	39,900	40,400	0,500	10	5000	0,020	100	-30%	70	-30	
37. 1	40,400	41,500	1,100	10	11000	0,020	220	-15%	187	-33	
37. 1	41,500	41,700	0,200	10	2000	0,020	40	-30%	28	-12	
37. 1	41,700	42,450	0,750	10	7500	0,020	150	-15%	127,5	-22,5	
37. 1	42,450	42,800	0,350	10	3500	0,020	70	-30%	49	-21	
37. 1	42,800	43,350	0,550	10	5500	0,020	110	-15%	93,5	-16,5	
37. 1	43,350	45,169	1,819	10	18190	0,020	363,8	-30%	254,66	-109,14	
									6334,96	4503,412	
									rozdíl spotřeby posypu celkem (kg)		-1831,55

Tabulka č. 10 – Výpočet změny spotřeby posypu na okruhu zimní údržby č.45/1-CHV eliminací chybně nastavené dávky na extrémní podmínky (autor)

Z výše uvedených výsledků v tabulkách č. 9 a č. 10 je zřejmé, že navržená změna spotřeby posypového materiálu optimalizací posypových dávek na základě výsledků termálního měření není ve všech případech tak markantní.

V rámci prvního hodnocení prostou parametrizací na teplotní segmenty se stanovením odchylek od průměrné teploty v rámci trasy okruhu č. 45/1 je zanedbatelný rozdíl v bilanci spotřeby posypového materiálu. Toto dokazuje správnost tvorby údržbového okruhu Plánem

zimní údržby, kdy trasa okruhu pro příslušné vozidlo má respektovat co nejvíce stejné klimatické podmínky bez výrazných extrémů a odchylek (pokud by tomu tak nebylo, tak by docházelo k výjezdům na extrémní klimaticky odlehlá místa s nutností jen malého rozsahu skutečné údržby s převahou zbytečných technologických přejezdů).

V případě výsledků vypočteného rozdílu spotřeby posypu u tabulky č. 10 je již znatelný rozdíl, který vychází z faktu, že řidiči vozidla ponechávají nastavenou posypovou dávku na nejchladnější úseky trasy – zejména pokud se tento nachází hned na začátku okruhu údržby.

5 ZÁVĚR

Z výsledků práce jednoznačně vyplývá, že i pouze jeden parametr pro optimalizaci posypové dávky ovlivní spotřebu posypového materiálu a dále zkvalitní provedení zimní údržby silnic. Výsledný efekt je nejen v možném snížení nákladů, ale také pozitivní environmentální vliv na životní prostředí a na stavební stav a životnost mostních objektů, krytů a konstrukcí vozovek včetně jejich součástí a příslušenství.

Uvedený výpočet změny množství spotřeby posypových materiálů by neměl být primárně cílem tohoto hodnocení, přestože je u druhého výpočtu nezanedbatelný. Hlavním přínosem by mělo být přiblížení aplikace optimálních posypových dávek skutečným podmínkám na komunikaci dle jejich termálního chování. Vypočtené možné snížení spotřeby posypu o 28,9% ve druhém hodnocení referenčního úseku není zanedbatelné, ale je třeba ho chápat v širším kontextu možných dalších hledisek. Zejména, že se jedná o teoretický výpočet pro případy, kdy řidič skutečně posypovou dávku za celý okruh nezmění (což je sice ve většině výjezdů, ale ne u všech) a dále je nutné ověřit výsledky větším počtem měření i za působení větších teplotních změn. V kontextu s celkovou roční spotřebou se jedná o nezanedbatelné množství při průměrném počtu 109 zásahových dní pro silnice I. tříd se jedná o téměř 200 tun chloridu sodného což představuje částku okolo 400 tisíc Kč.

V případě zpracování a použití dalších vstupních parametrů, jejichž přehled a popis je proto také v této práci uveden, by bylo možné zcela jistě dosáhnout ještě větší efektivity provádění posypů chemickými rozmrazovacími látkami zejména z důvodu zpracování predikce vývoje počasí a teplotu povrchu již v době aplikace posypu na vozovku.

Zejména integrace předpovědního modelu MDSS do aktuálně prováděného posypu by znamenalo zvýšení efektivity zimní údržby silnic. Zimní údržba by byla prováděna nejen dle aktuálních podmínek, ale už i s uvažovaným vývojem teploty a stavu srážek v horizontu následujících 12 hodin. Tím by bylo možné ušetřit přímo i některé výjezdy údržbové techniky v případě, že by byl proveden posyp zohledněn v preventivní dávce, která již počítá s dalším spadem srážek nebo ochlazením, které je již konkrétně vypočteno např. za 4 hodiny po aplikaci posypu na vozovku nebo návratu vozidla na stanoviště.

Na základě grafických výstupů této práce v systému GIS a porovnání výsledků vlastního měření vozidlovým teploměrem s nákladným profesionálním termálním mapováním (silnice č. I/37) je nutné konstatovat, že měření pomocí obou metod vykazuje obdobných výsledků se značným stupněm shody v rámci konkrétních provozních staničení. Díky tomu lze zvážit,

zda by bylo možno použít termální měření vozidlovými teploměry přímo ve vozidlech údržby úpravou nastavení vzorku měření a využít je tak alespoň pro základní termální popis úseků silnic dosud termálně nezmapovaných.

Problematika optimalizace a následná automatizace posypových dávek se již poměrně často začíná diskutovat v odborných kruzích. To je zřejmé z příspěvků celosvětových kongresů např. Světové silniční asociace AIPCR (francouzsky L' Association mondiale de la Route) resp. anglicky PIARC (The World Road Association) a z konferencí pro zimní údržbu komunikací SIRWEC (Standing International Road Weather Conference).

Aktuálně jsou správcům komunikací k dispozici systémy úpravy posypové šířky typu EPOSAT který je popsán v kapitole 5.1. a do kterého by bylo možno implementovat výsledky této práce s minimálními nároky na jeho úpravu. Samozřejmě že přicházejí na trh s obdobnými systémy další renomovaní výrobci posypových nástaveb, ale úpravy dávky se zatím provádí jen díky předem definovaným šířkám a případně nebezpečným místům, nově již vybavují některé nástavby i vlastním teploměrem pro úpravu aktuální dávky v reálném čase na místě. Toto je však používat vždy velmi omezeně, protože na základě jen jednoho aktuálního měření mnohdy v případech sněhové pokrývky a námrazy na povrchu komunikace nelze tvrdit, že byl posyp aplikován ve vztahu k termálnímu chování konkrétního úseku. V kombinaci automatické úpravy šířky posypu a dávky dle výsledků termálního měření povrchu komunikace by byla výrazně eliminována chybovost rozhodovacího procesu lidského faktoru a zlepšil se komfort ovládání (obsluhy sypače) – což velmi přínosné po stránce bezpečnosti – zejména vozidlo provádí současně posypem ještě pluhování, tak nemůže tolik času věnovat průběžné úpravě posypové dávky a šířky.

Z pohledu univerzálního, méně nákladného a tím i masivnějšího zavedení se jeví jako nejvhodnější postup zavedení obousměrné komunikace mezi ovládacím panelem posypové nástavby a GPS jednotkou, která by nyní již měla být v každém posypovém voze. Toto řešení by vyžadovalo jen zcela minimální nároky na hardwarové úpravy. Po stránce programového řešení jde o možnost firmwaru ovládacích panelů sypačů, tak aby umožňovaly přijímat informace z databáze posypových šířek, výsledků termálního měření (teplotních intervalů) a případně dalších parametrů, které jsou v této práci popsány.

V každém způsobu řešení však musí zůstat zachována možnost okamžité korekce nastaveného režimu přímo obsluhou řidiče případně přechodu na plný manuální režim. Automatická volba zejména dávky posypu bude a musí být vždy jen nabídkou (předvolbou), kterou musí obsluha verifikovat dle místních podmínek, stavu povrchu vozovky a teploty vozovky. Toto bude muset být zajištěno vždy a za všech za všech okolností technického

řešení. Reálné podmínky v místě posypu a zejména stavu povrchu totiž vidí skutečně pouze řidič sypače, kterému právě v jeho rozhodovacím procesu mají pomoci kvalitní a podpůrné systémy nejen pro aplikaci posypu, ale i jeho rozhodovací proces. Tato práce si dala za cíl navrhnout a popsat jeden z nich a poukázat na možné použití a zlepšení již dostupných.

Autor je přesvědčen, že závěry práce lze aplikovat a využít u příslušných vlastníků a správců komunikací nejen v podmínkách krajských správ silnic, ale i u středisek správy a údržby dálnic a organizací údržby městských komunikací.

V současném tržním prostředí však musí mít příslušný správce vhodnou motivaci k tomu, aby se aktivně podílel na hledání dalších optimalizací a úspor v procesu zimní údržby. O tom, zda tomu tak je v případě prováděné zimní údržby jako obchodního případu (objednávka-faktura), kdy je dodavateli této služby hrazena fakturace skutečně provedených výkonů včetně spotřebovaných materiálů na posyp, lze zcela nepochybně polemizovat.

6 POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] *Zákon č. 13/1997 Sb., O pozemních komunikacích*, znění z 19.10.2011 dle zákona č. 288/2011 Sb. [2011-10-19]
- [2] *Vyhláška Ministerstva dopravy č. 104/1997 Sb.*, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, znění z 1.1.2007 dle zákona č. 527/2006 Sb [2011-05-30]
- [3] *Plán zimní údržby silnic v Pardubickém kraji pro zimní sezónu 2010-2011*, Správa a údržba silnic Pardubického kraje, Doubravice 98, 533 53 Pardubice [2011-01-10]
- [4] *Termální mapování Česká republika 2007*, Souhrnná zpráva, Verze 1.0, Vaisala Ltd, Birmingham B5 7SW, United Kingdom a ŘSD ČR, Srpen 2007 [2011-01-10]
- [5] *Termální mapování Česká republika 2008*, Jörgen Bogren, Torbjörn Gustavsson, Klimator AB, Goteborg, Sweden, 1. září 2008 [2011-01-10]
- [6] *Termální mapování povrchu vozovek*, spol. CROSS Zlín a.s. (volně dostupné z <http://www.cross.cz/cs/sluzby/termalni-mapovani-povrchu-vozovek.html>), [2011-01-5]
- [7] *Systém MDSS*, spol. CROSS Zlín a.s. (volně dostupné z <http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy/mdss.html>), [2011-01-10]
- [8] *Numerický model ALADIN*, ČHMÚ Praha. (volně dostupné z <http://pr-asv.chmi.cz/aladin>), [2012-01-10]
- [9] *Databanka majetkových správců silnic v GIS verze 10.09Lt*, ŘSD ČR, Odbor silniční databanky, (poskytnuto na CD nosiči SÚS Pk), [2014-01-01 a 2014-07-01]
- [10] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (volně dostupné z http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_2/F2_10.pdf) [2013-01-06]
- [11] VAVŘIČKA, R.: *Bezdotykové měření teploty*, ČVUT Praha [2007-10-10]
- [12] *TESTO: Firemní literatura – Kapesní průvodce termografie*, Praha, [2008]
- [13] GUSTAVSON, R: *Thermography – A practical approach*, NORBO KraftTechnik AB, [2009]
- [14] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*, BEN, Praha [2006]
- [15] KREIDL, M.: *Měření teploty*, BEN, Praha [2005]
- [16] LYSENKO, V.: *Detektory pro bezdotykové měření teplot*, BEN, [2005]

7 PŘÍLOHY

Trasa okruhu č. 45/1-CHV – textový popis (zdroj Plán zimní údržby silnic v Pardubickém kraji 2013-2014, (zdroj SÚS Pardubického kraje)

Označení okruhu	45/1-CHV		
Druh technologie	posyp NaCl se skrápěním		
Středisko ZÚ	cestmistrovství Pardubice (provoz CR)	Zajišťovatel ZÚ	dtto
Stanoviště	dtto		
Mechanismus,	RZ: 5E3 4786, IVECO Trakker 6x6 s radlicí,		
vozidlo,nástavba	nástavba EPOKE SH 3800 7m ³ , 3080 l (pás)	Jiné spojení	mobil 724 643 200
Posádka	(směna dle rozpisu)		

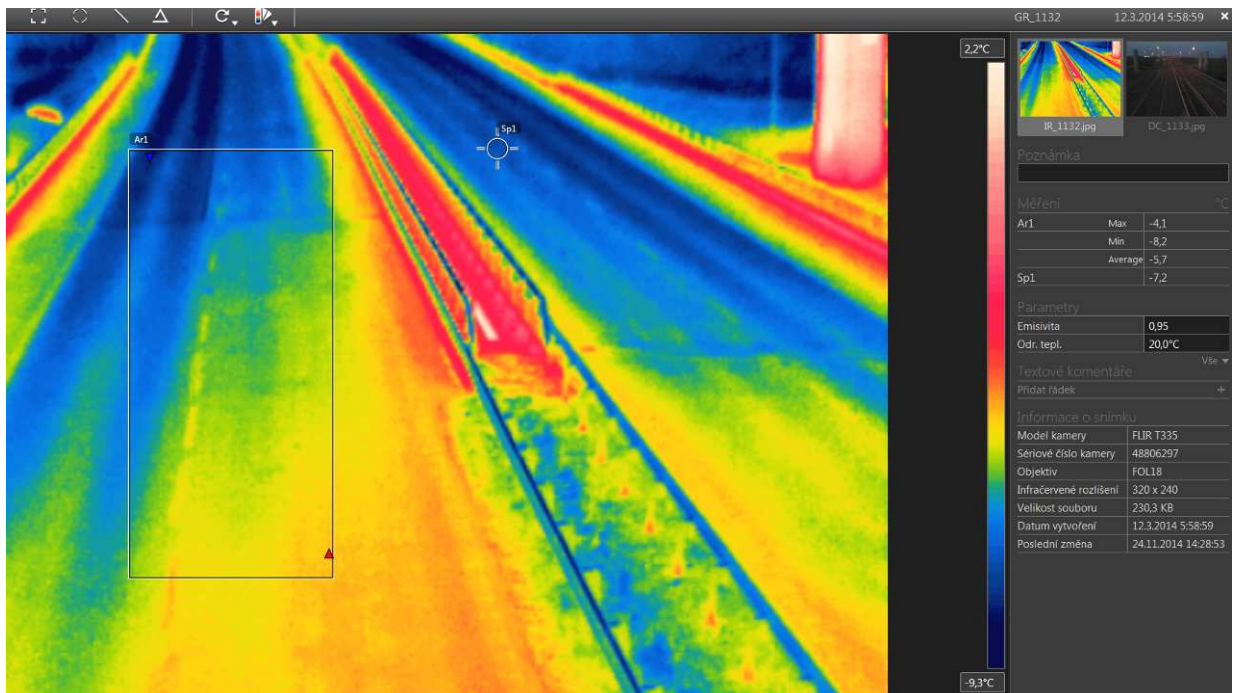
Pořadí důlež.	Označení silnice	Úsek místopisně	Staničení		Celkem (km)	Posyp (km)	Pluh. (km)	Čas (min)	spotř. mat. (t)
			od	do					
I.	I/37 2.	Múk Doubr (pod nadj.) - hr. okr. HK	45,169	31,504	13,665	13,665	13,665	45	1,64
I.	I/37 2.	hr. okr. HK - kř. s MK Hradec Králové (1. světelná kř.)	31,504	28,136	3,368	3,368	3,368	51	0,40
I.	I/37 1.	kř. s MK Hradec Králové (1. světelná kř.) - hr. okr. HK	28,136	31,502	3,366	3,366	3,366	59	0,40
I.	I/37 1.	hr. okr. HK - Múk Doubr (pod nadj.)	31,502	45,169	13,667	13,667	13,667	80	1,64
I.	I/36 v	Múk Doubravice (sjezd na HK)	0,000	0,000	0,050	0,050	0,050	107	0,01
I.	I/37 v	Múk Stéblová- od Pce sjezd směr Srch a nájezd směr HK	0,000	0,000	0,600	0,600	0,600	115	0,07
I.	I/37 v	Múk Hrobice- od Pce sjezd směr Hrobice a nájezd směr HK	0,000	0,000	0,196	0,196	0,196	123	0,02
I.	I/37 v	Múk Hrobice- od HK sjezd směr Hrobice a nájezd směr Pce	0,000	0,000	0,522	0,522	0,522	140	0,06
I.	I/37 v	Múk Stéblová- od HK sjezd směr Stéblová a nájezd směr Pce	0,000	0,000	0,450	0,450	0,450	145	0,05
I.	I/36 v	Múk Doubravice (výjezd od HK)	0,000	0,000	0,171	0,171	0,171	150	0,01
45/1-CHV celkem					36,055	36,055	36,055	150	4,32

Trasa okruhu č. 42/1-CHV – textový popis, s barevným vyznačením referenčního úseku pro potřeby práce – porovnání vlastních měření s profesionálním (zdroj Plán zimní údržby silnic v Pardubickém kraji 2013-2014, SÚS Pardubického kraje)

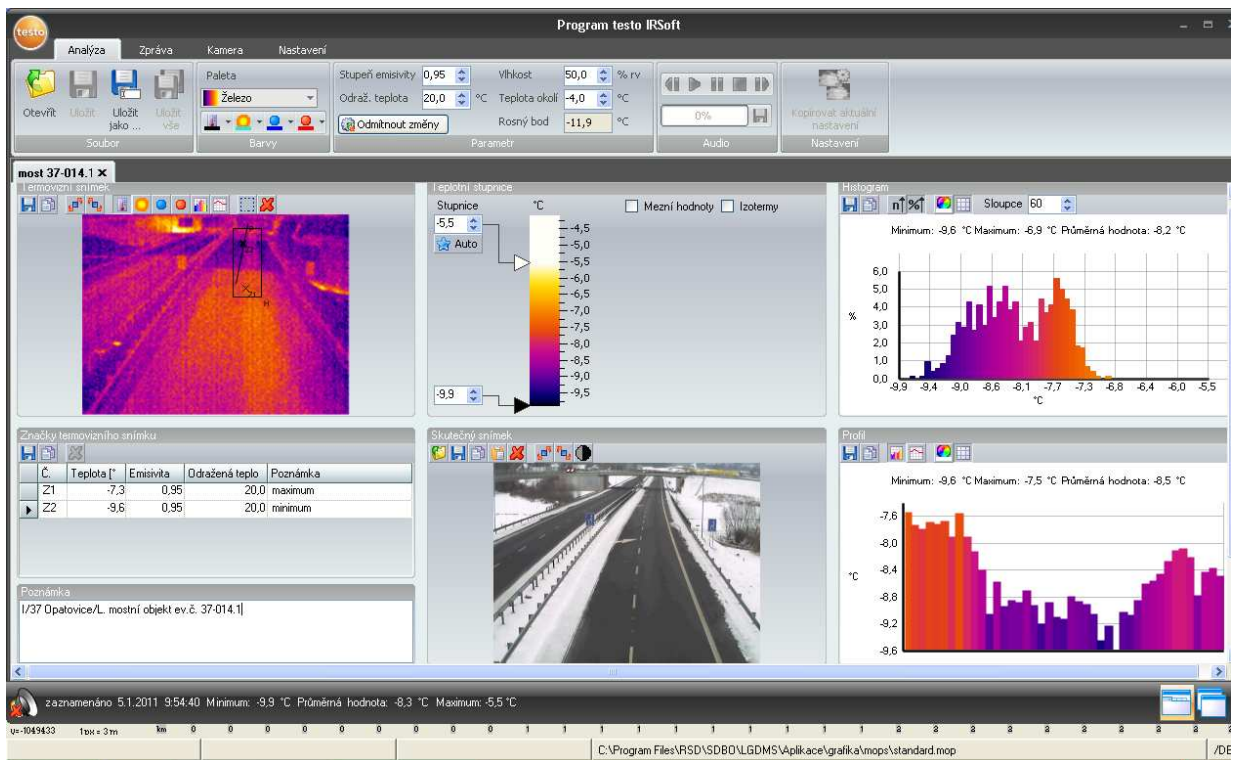
Označení okruhu	41/2-CHV		
Druh technologie	posyp NaCl se skrápěním		
Středisko ZÚ	cestmistrovství Chrudim (provoz CR)	Zajišťovatel ZÚ	dtto
Stanoviště	dtto		
Mechanismus,	RZ: 4E4 2940, T 815 4x4 s radlicí		
vozidlo,nástavba	nástavba SYKO 6H, 7 m ³ , 1900 l	Jiné spojení	mobil 724 643 216
Posádka	(směna dle rozpisu)		

Pořadí důlež.	Označení silnice	Úsek místopisně	Staničení		Celkem (km)	Posyp (km)	Pluh. (km)	Čas (min)	spotř. mat. (t)
			od	do					
I.	I/17 v	kr. obj. CR u Kauflandu, s kř. II/340	0,000	0,000	0,102	0,102	0,102	6	0,01
I.	I/17	kř. II/340 CR kr.obj. - kř. III/3581 CR nem. kr.obj.	33,691	33,131	0,560	0,560	0,560	7	0,07
I.	I/17 v	kr. obj. CR u nemocnice, s kř. III/3581	0,000	0,000	0,070	0,070	0,070	8	0,01
I.	I/17	kř. III/3581 CR nem. kr.obj. - kř. I/37 CR Guláš.	33,131	31,846	1,285	1,285	1,285	9	0,15
I.	I/37	kř. I/17 CR Gulášek - kř. II/358 Slatiň., kr. obj.	55,423	58,277	2,854	2,854	2,854	17	0,34
I.	I/37 v	kruhový objezd Slatiňany, kř. s II/358	0,000	0,000	0,100	0,100	0,100	18	0,01
I.	I/37	kř. II/358 Slatiň., kr. obj. - kř. II/343 Trh.Kamenice	58,277	74,612	16,335	16,335	16,335	50	1,96
I.*	I/37	obchvat Nasavrky II. strana (dolů)	68,050	66,901	1,149	1,149	1,149	64	0,14
III.*	III/33765	kř. I/37 Nasavrky(kaštanka) - kř. MK náměstí	0,000	0,904	0,904	0,904	0,904	66	0,07
II.	II/337	kř. I/37 Nasavrky nahore - kř. MK Havlíčkovobrodská	63,238	63,034	0,204	0,204	0,204	68	0,02
III.	III/337	kř. I/37 - Ochoz - kř. III/33769 (Podlíšťany)	63,238	66,080	2,842	2,842	2,842	70	0,26
III.	III/33769	kř. II/337 Krupín - kř. III/35817 Lukavice	4,901	0,000	4,901	4,901	4,901	78	0,33
III.	III/35817	kř. III/33769 Lukavice - kř. I/35814 Lukavice	1,847	1,295	0,552	0,552	0,552	80	0,04
III.	III/35814	kř. I/35817 Lukavice - kř. II/358 Zaječice	4,098	0,000	4,098	4,098	4,098	86	0,28
III.	III/35820	kř. II/358 Zaječice - kř. III/35815	0,000	1,002	1,002	1,002	1,002	89	0,07
III.	III/35815	kř. III/35820 Zaječice - kř. III/35814	0,376	0,000	0,376	0,376	0,376	90	0,03
III.	III/35820	kř. III/35815 Zaječice - kř. III/35819	1,002	1,472	0,470	0,470	0,470	92	0,03
III.	III/35819	kř. III/35820 - kř. III/35816 Bítovany	0,000	1,168	1,168	1,168	1,168	95	0,08
III.	III/35816	kř. III/35819 Bítovany - kř. III/35814 Bítovany	0,661	0,000	0,661	0,661	0,661	96	0,04
III.	III/3589	kř. II/358 Orel - kř. III/3582 Vlčnov kr. obj.	3,673	2,498	1,175	1,175	1,175	114	0,08
III.	III/3582 v	kruhový objezd Vlčnov, kř. s III/3589	0,000	0,000	0,060	0,060	0,060	115	0,01
III.	III/3589	kř. III/3589 Vlčnov kr. obj. - kř. I/17 CR	2,498	0,000	2,498	2,498	2,498	120	0,17
41/2-CHV celkem					43,366	43,366	43,366	120	4,01

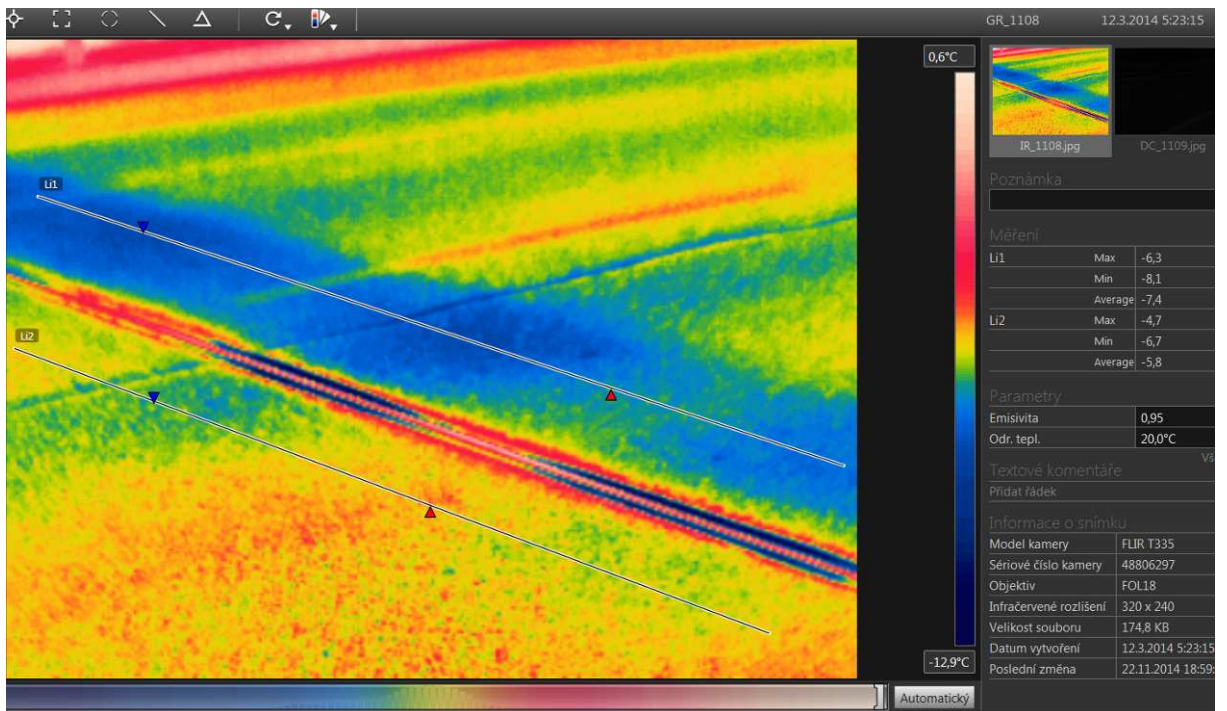
Termogram č. 1 - analýza z měření 12.3.2014 na okruhu 45/1 Opatovice/L. most č. 37-014.1,2 (zdroj a zpracování v SW FLIR autor)



Porovnání s analýzou termogramu podélný průběh teploty most č. 37-014.1 z 5.1.2011 (zdroj a zpracování autor)



Termogram č. 2 - analýza z měření 12.3.2014 na okruhu 45/1 mostní objekt na I/36 přes Labe Rosice/L. podchlazený úložný práh mostu (zdroj a zpracování v SW FLIR autor)



Termogram č. 3 - analýza z měření 12.3.2014 na okruhu 45/1 mostní objekt č. 37-017 Hrobice nad I/37 zřejmý vliv rozdílné emisivity u materiálu modifikované zálivky mostního uzávěru (zdroj a zpracování v SW FLIR autor)

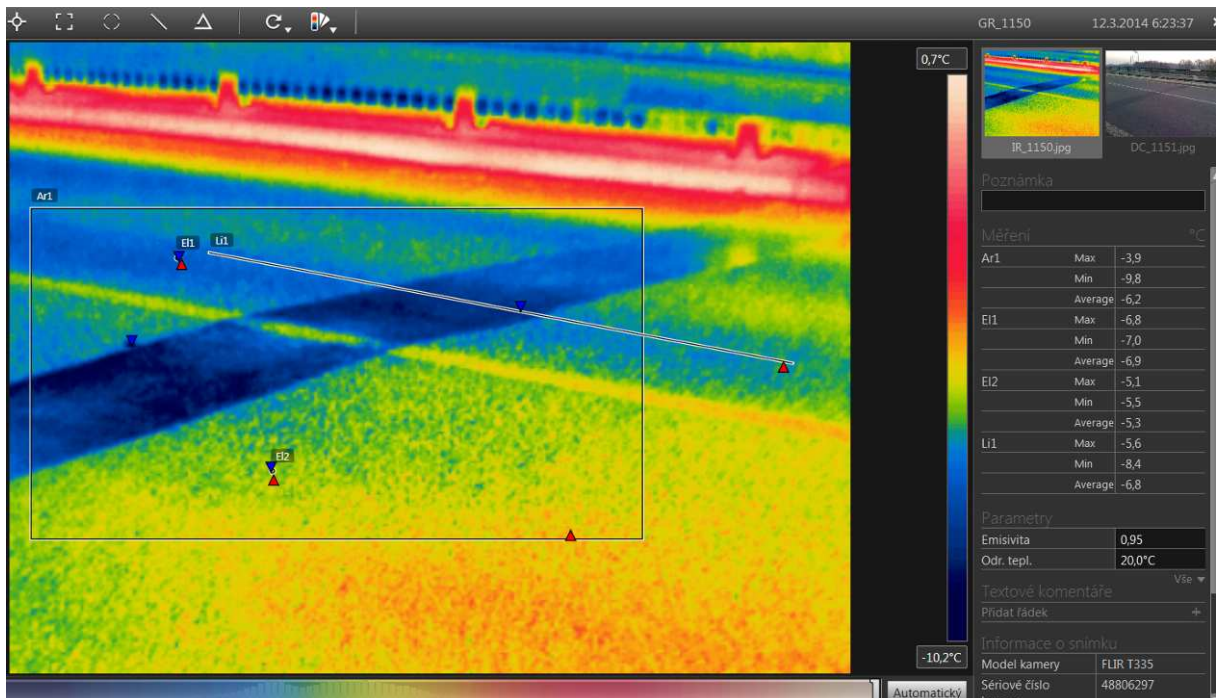


Foto z měření termovizní na silnici č. I/37 dne 12.3.2014 Opatovice/L. - mosty č. 37-014.1

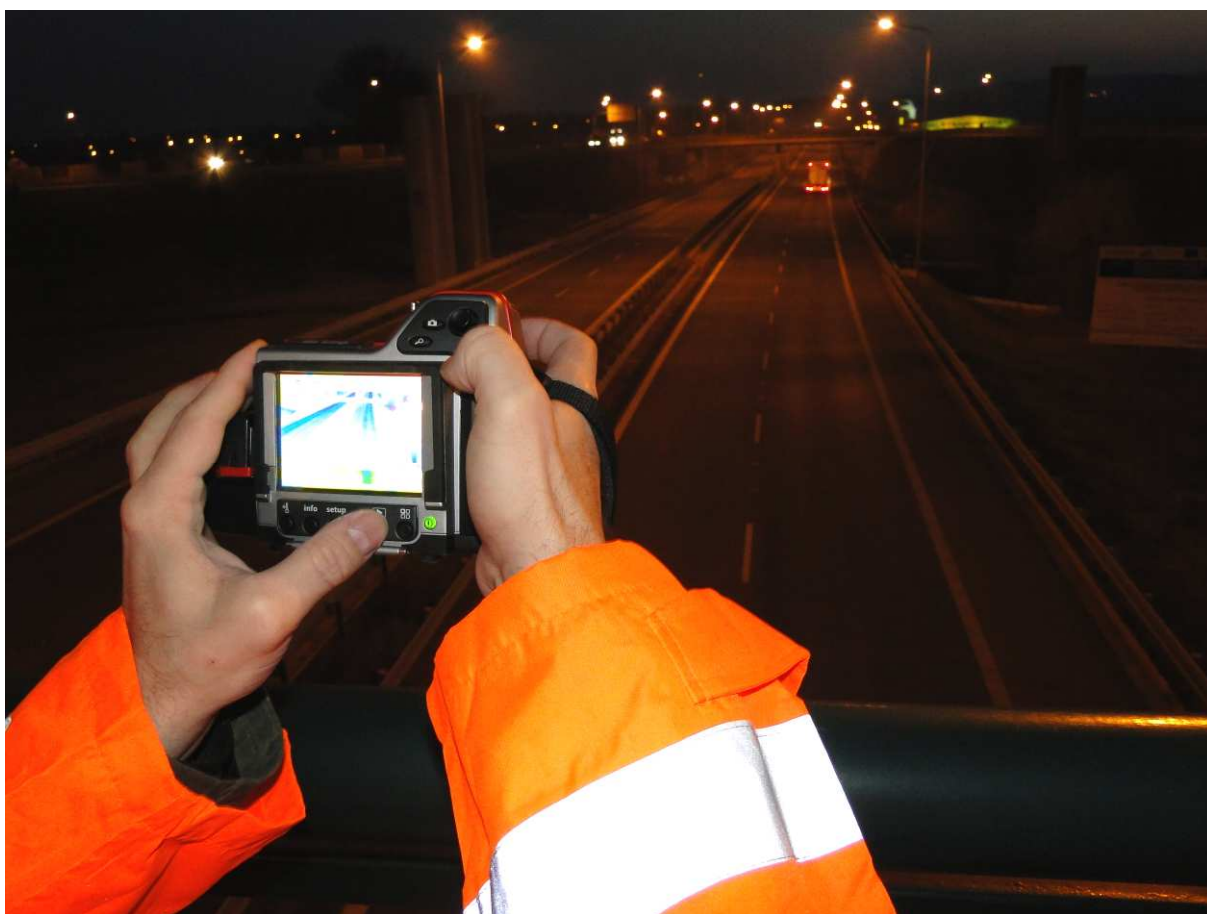
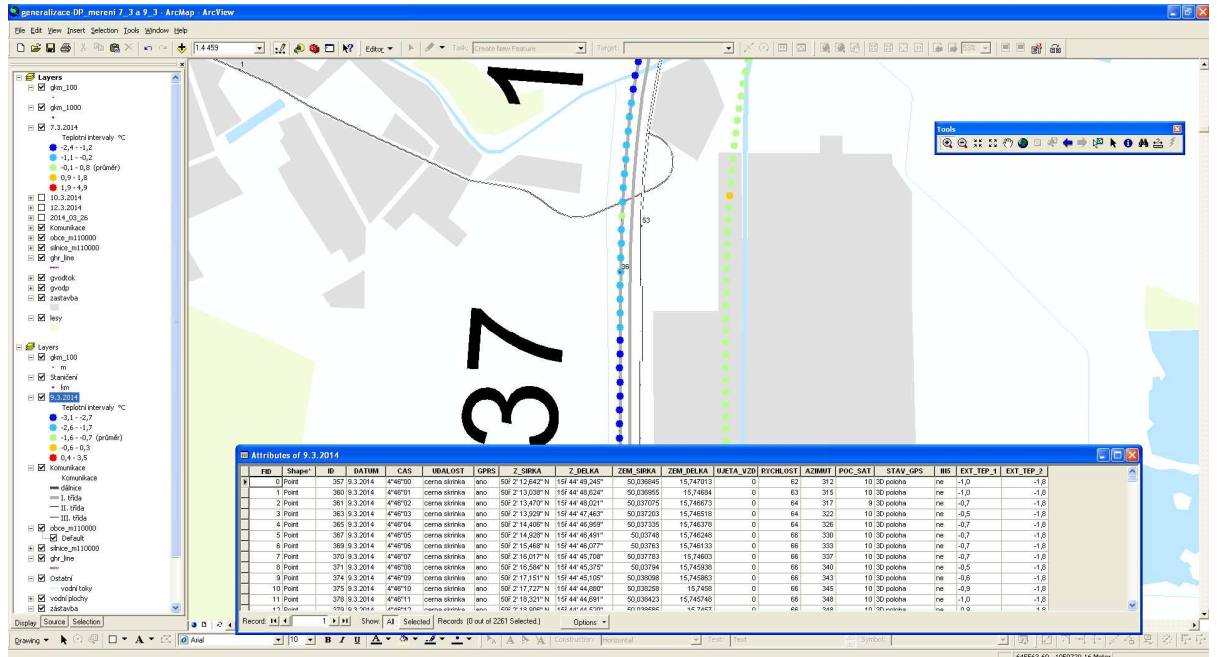


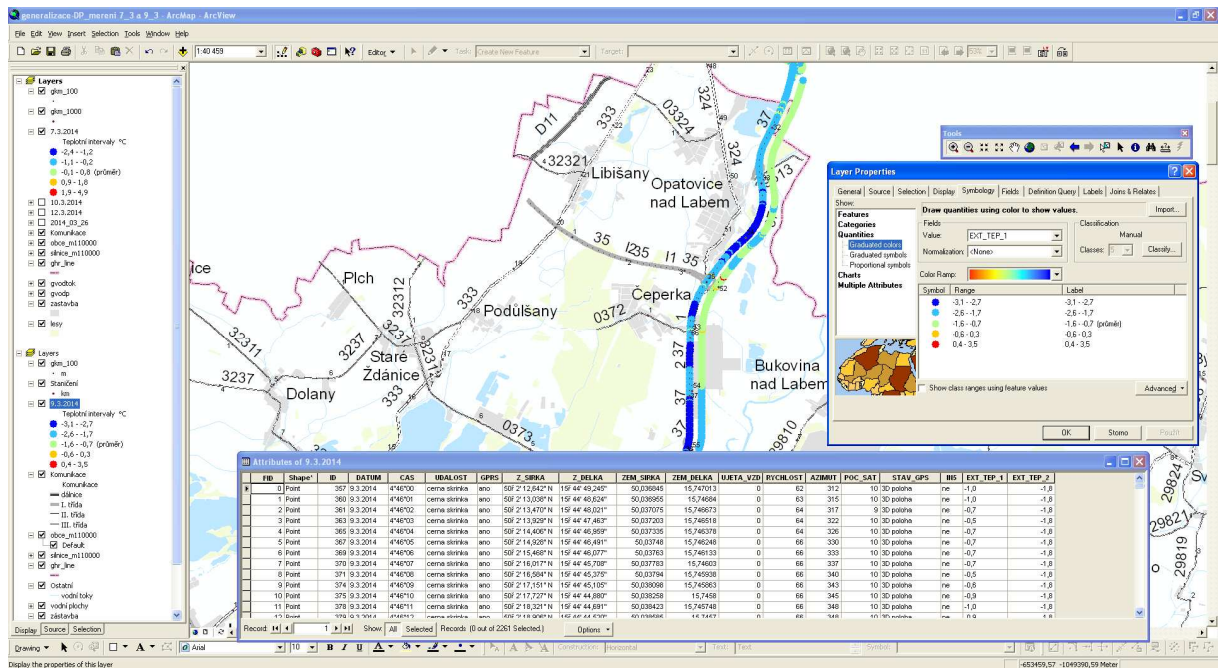
Foto z měření termovizní na silnici č. I/36 dne 12.3.2014 Pardubice, Rosice nad Labem - mosty č. 36-



Zpracování dat vlastních termálních měření v prostředí geografického informačního systému ESRI ArcGIS 9.1., data z 9.3.2014 v měřítku mapy 1:4 459 - náhled na zpracování dat v atributové tabulce (zdroj autor)

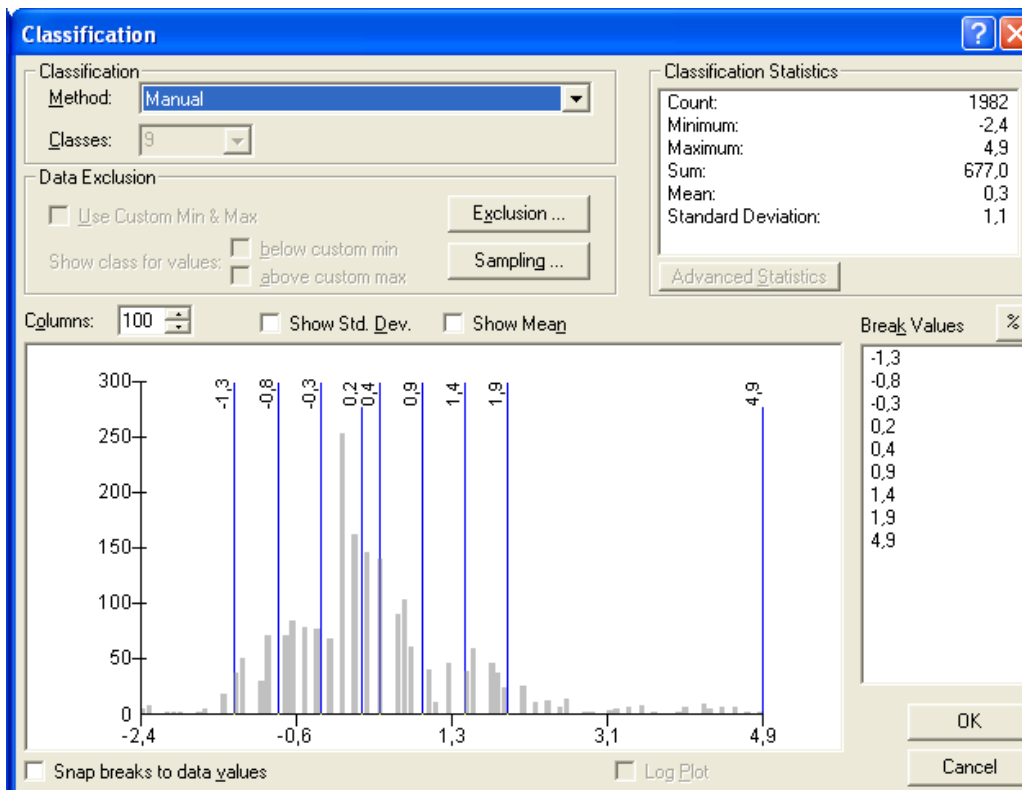


Zpracování dat vlastních termálních měření v prostředí geografického informačního systému ESRI ArcGIS 9.1., data z 9.3.2014 v měřítku mapy 1:40 459 - náhled na zpracování dat v atributové tabulce (zdroj autor)

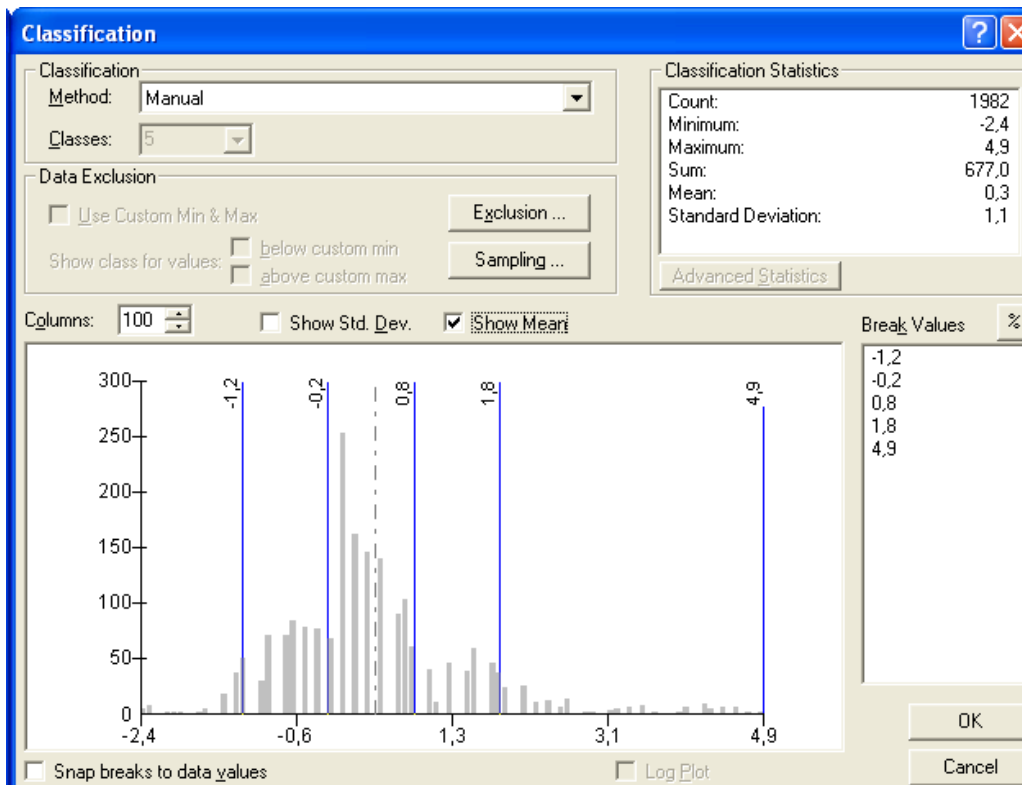


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 7.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

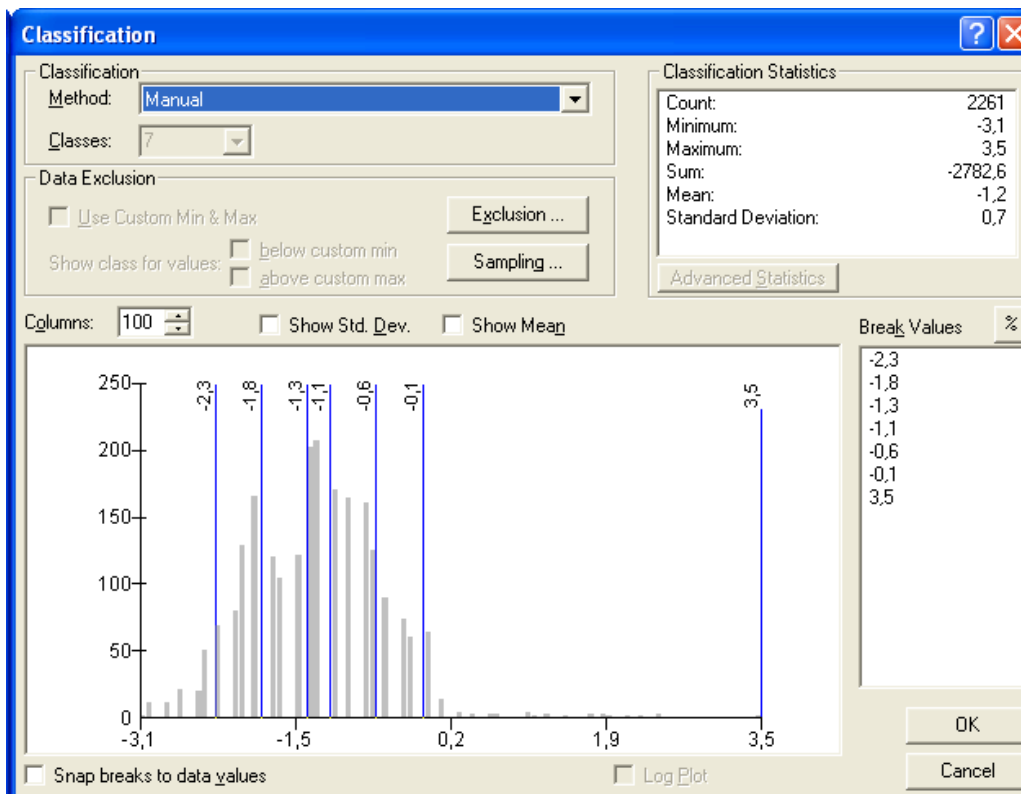


po generalizace dat (interval 1°C)

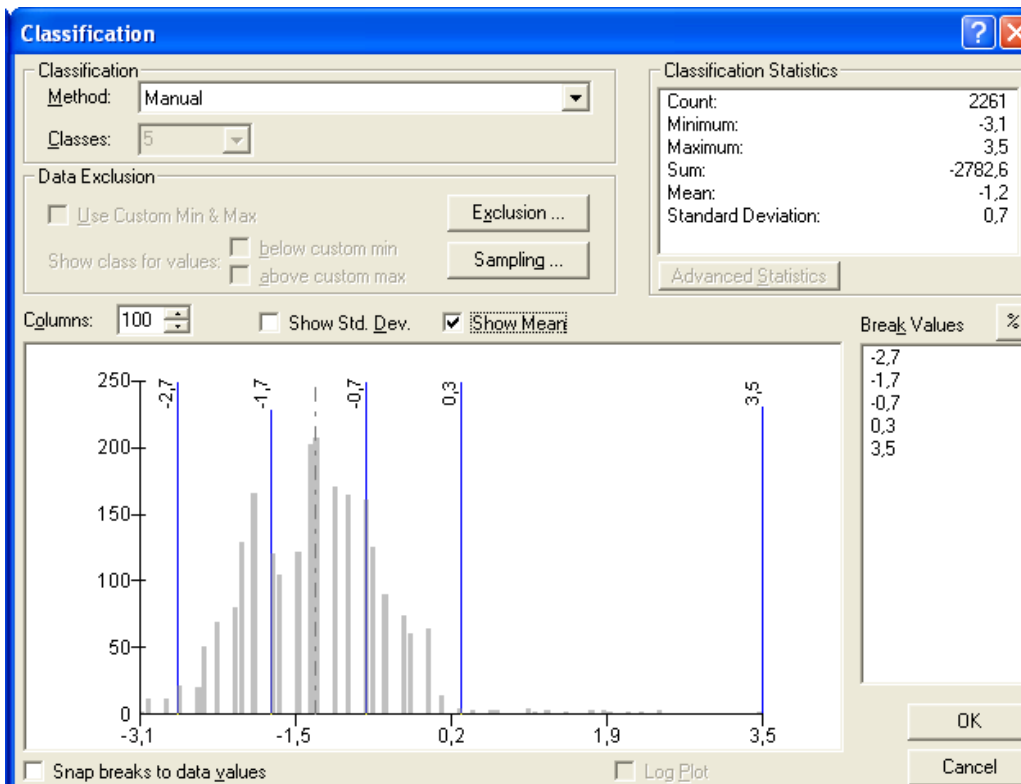


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 9.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

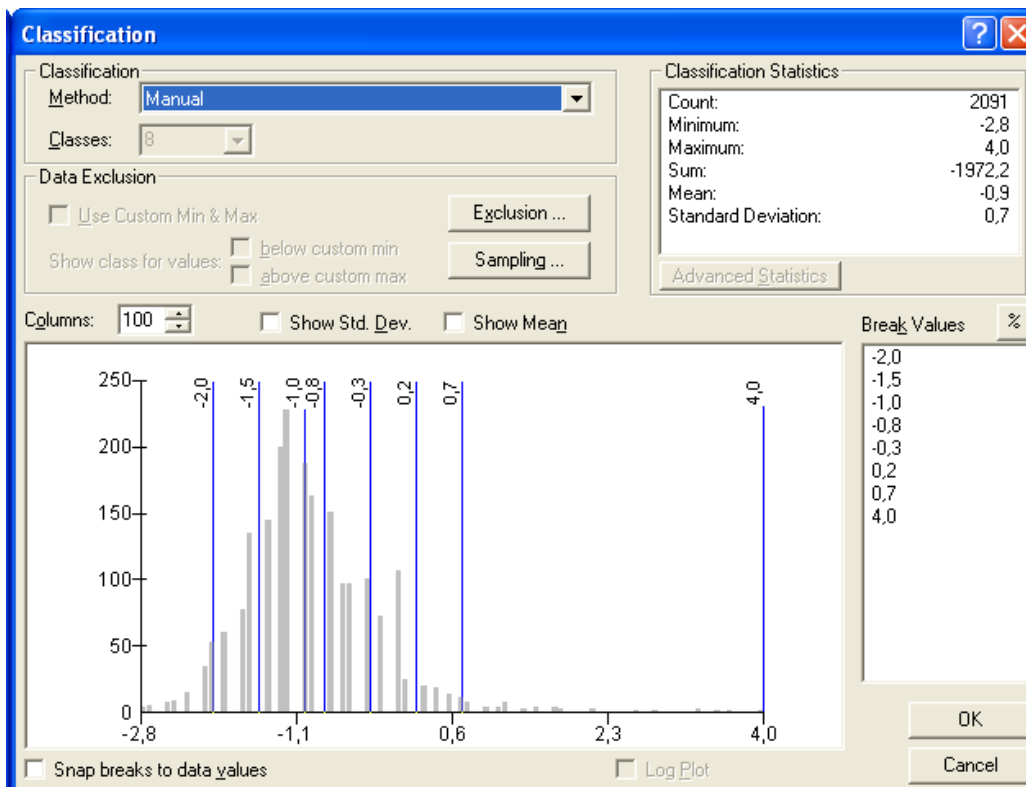


po generalizace dat (interval 1°C)

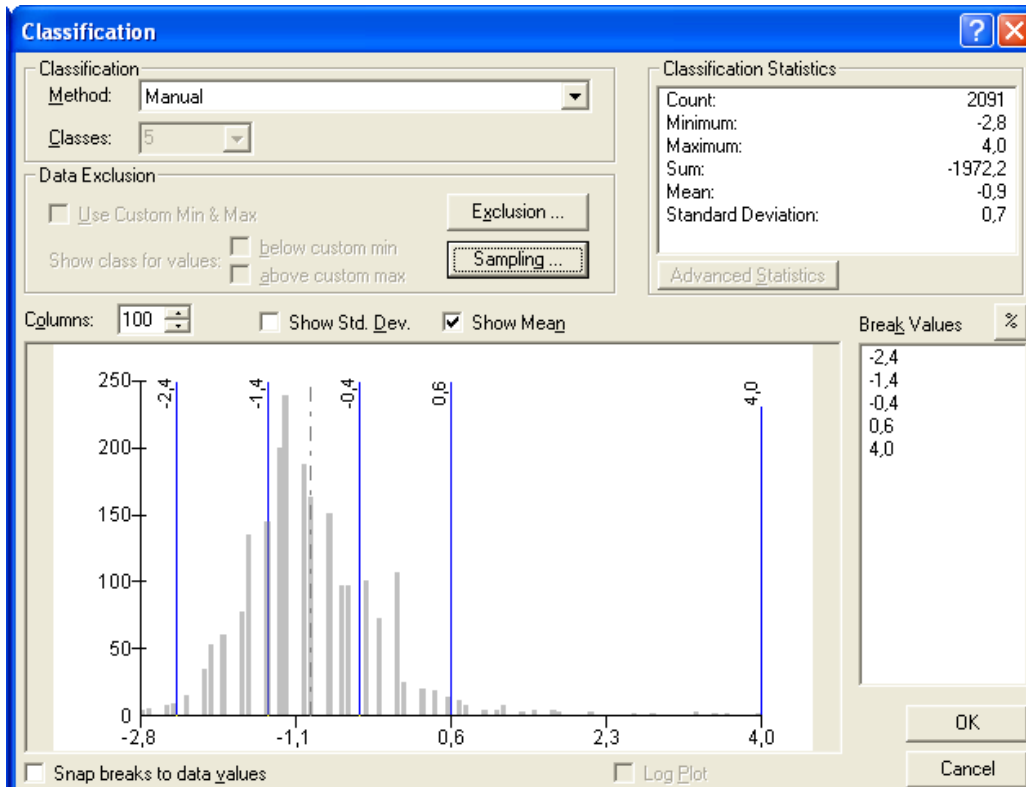


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 10.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

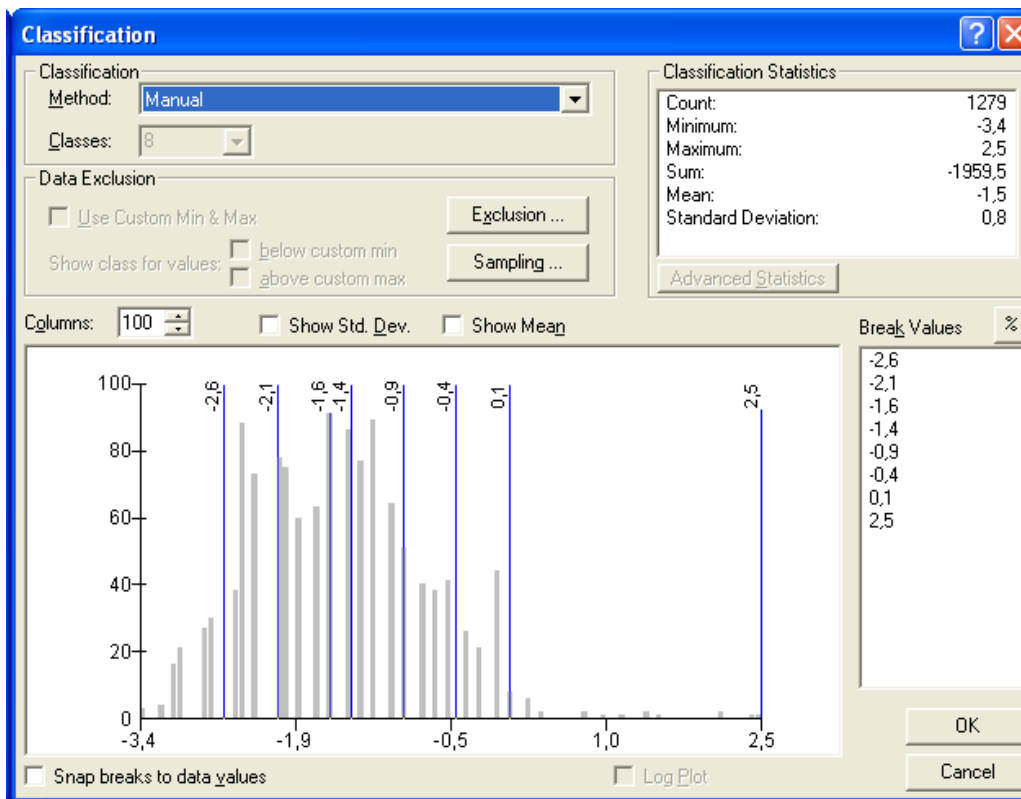


po generalizace dat (interval 1°C)

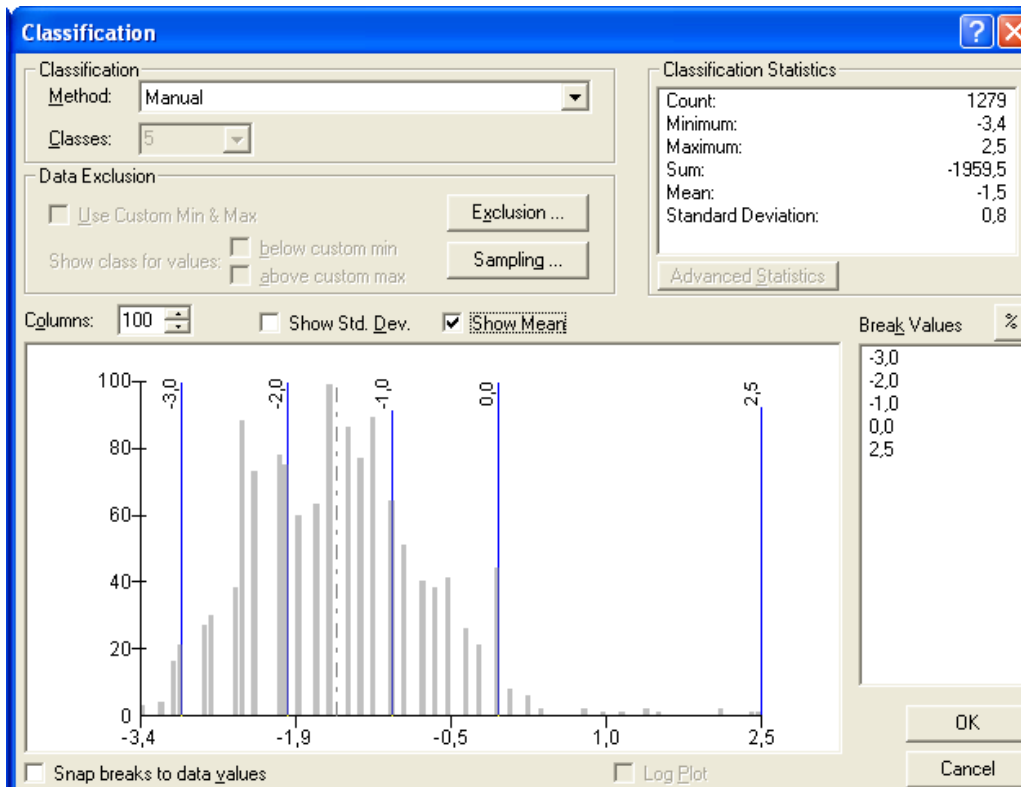


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 11.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

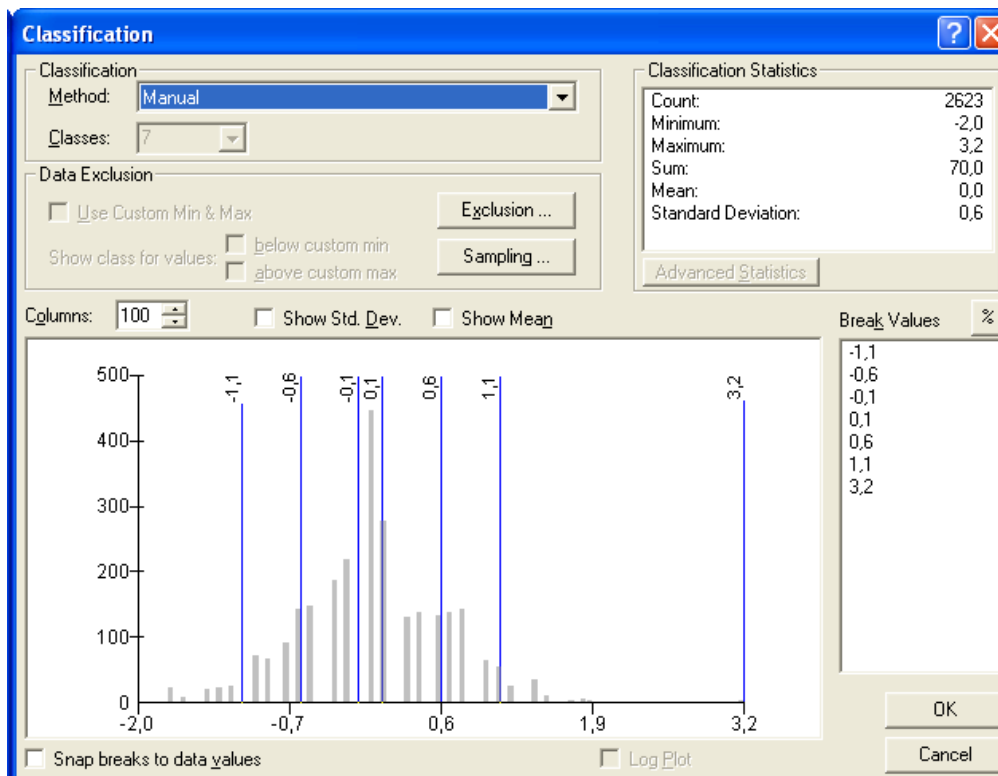


po generalizace dat (interval 1°C)

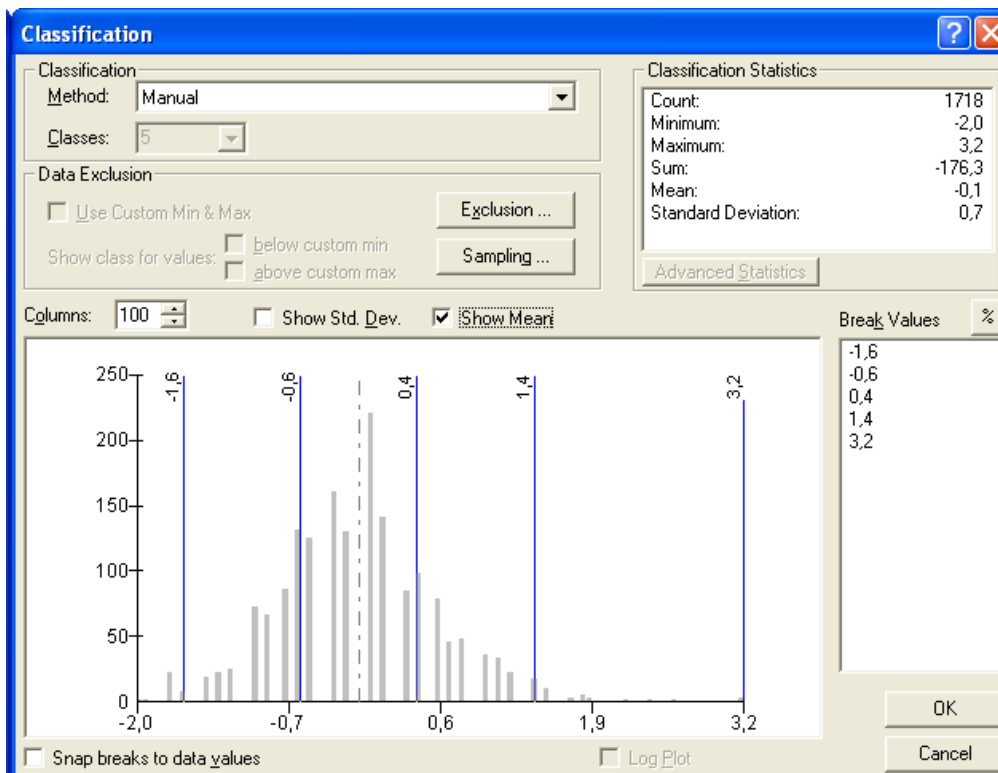


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 12.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

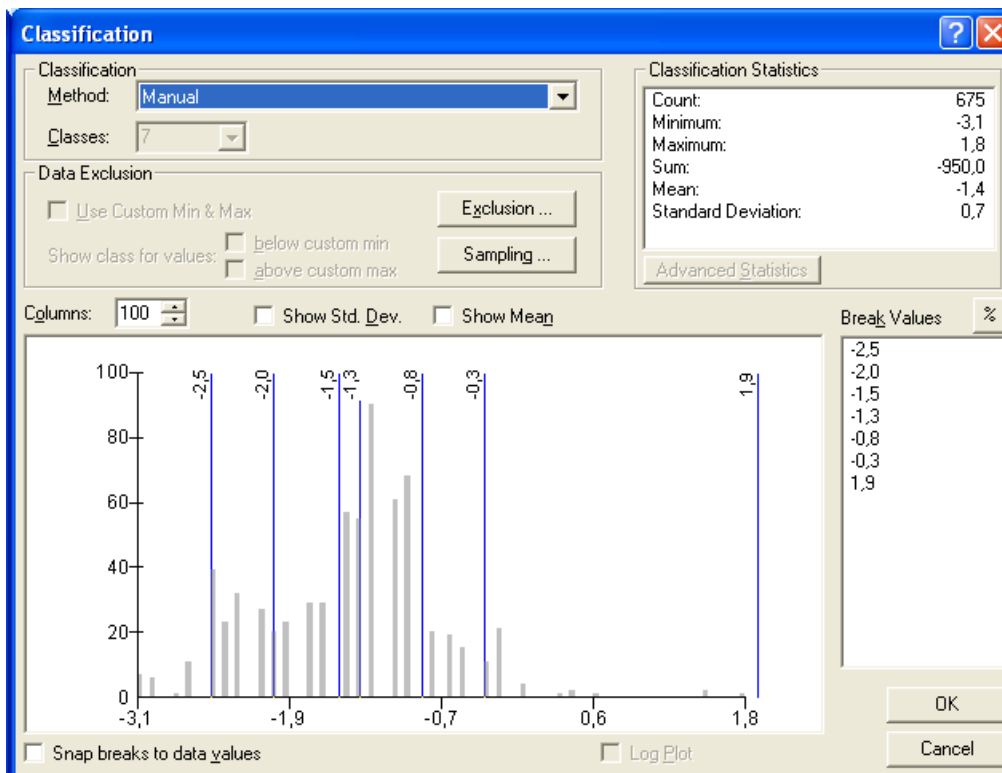


po generalizace dat (interval 1°C)

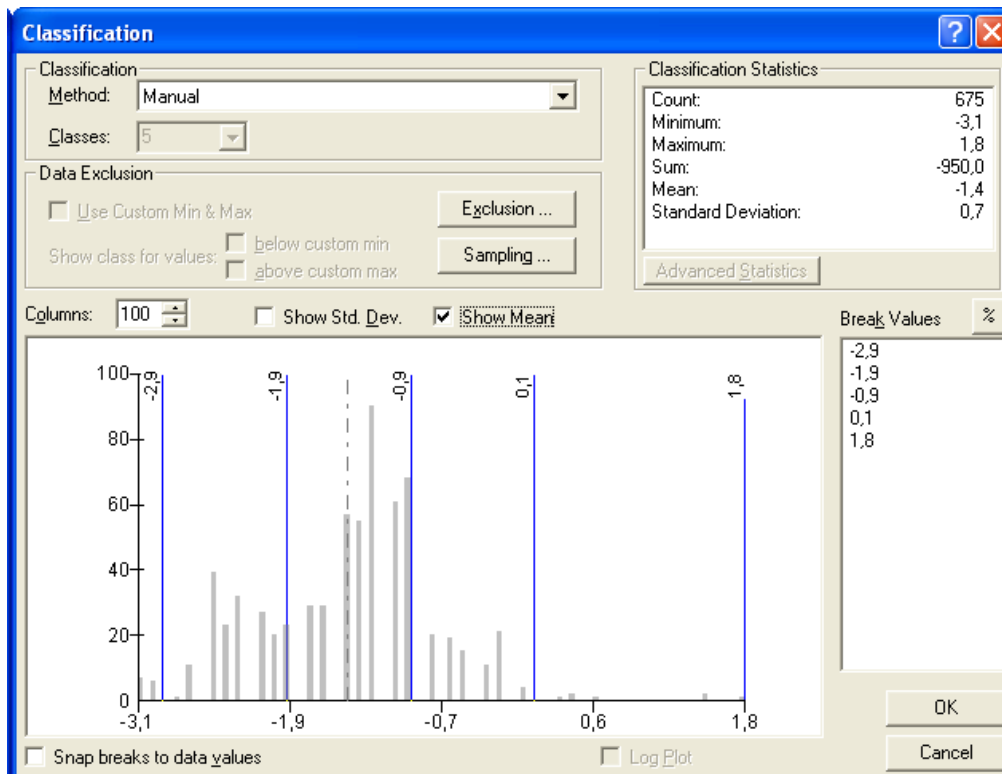


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 13.3.2014

bez generalizace dat (interval 0,5°C)

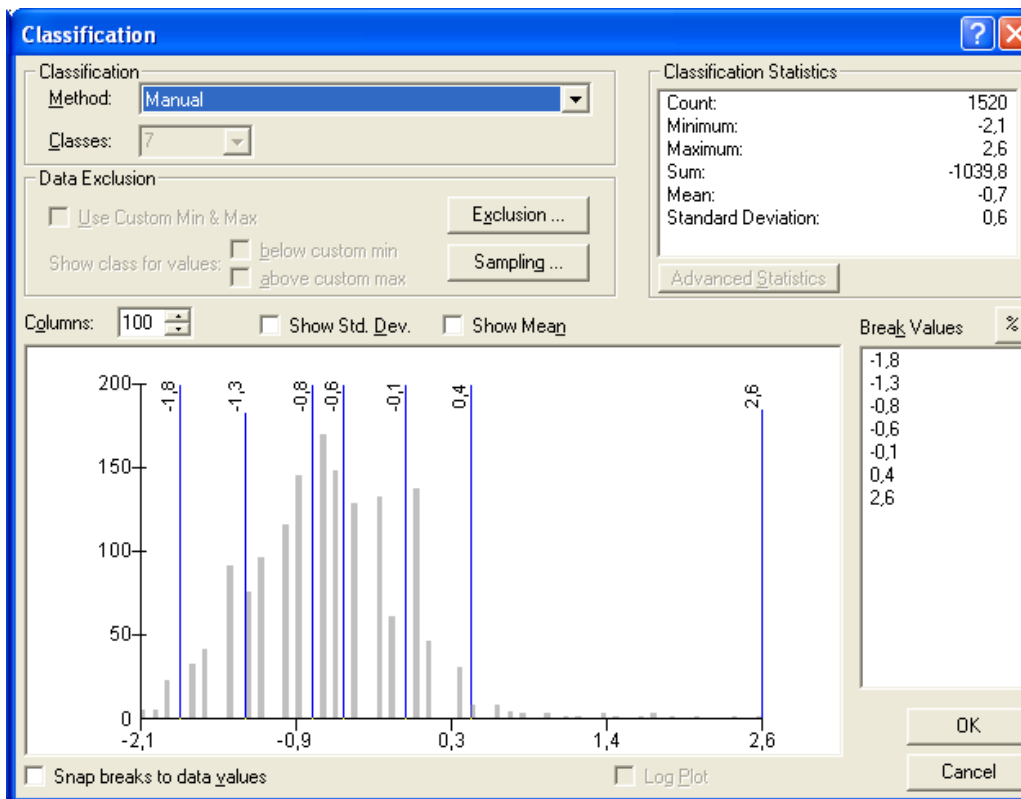


po generalizace dat (interval 1°C)

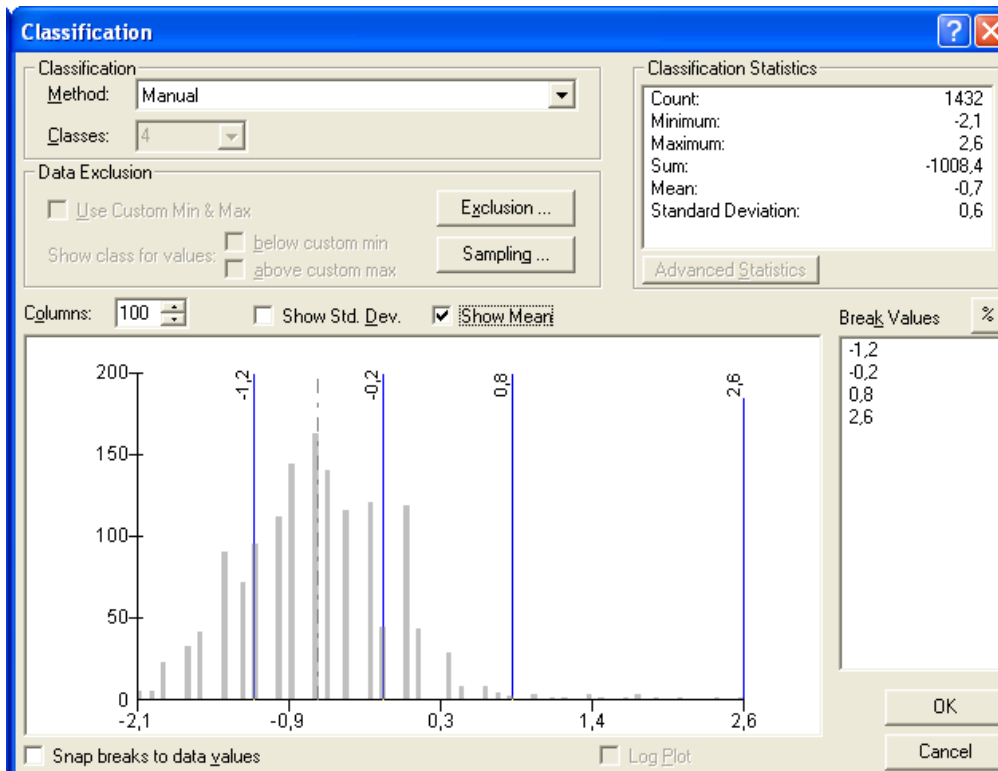


Histogram intervalového rozdělení Mapy č.3.1. k měření na okruhu 45/1 (zdroj a zpracování v SW GIS ArcMap 9.1 autor) – 26.3.2014

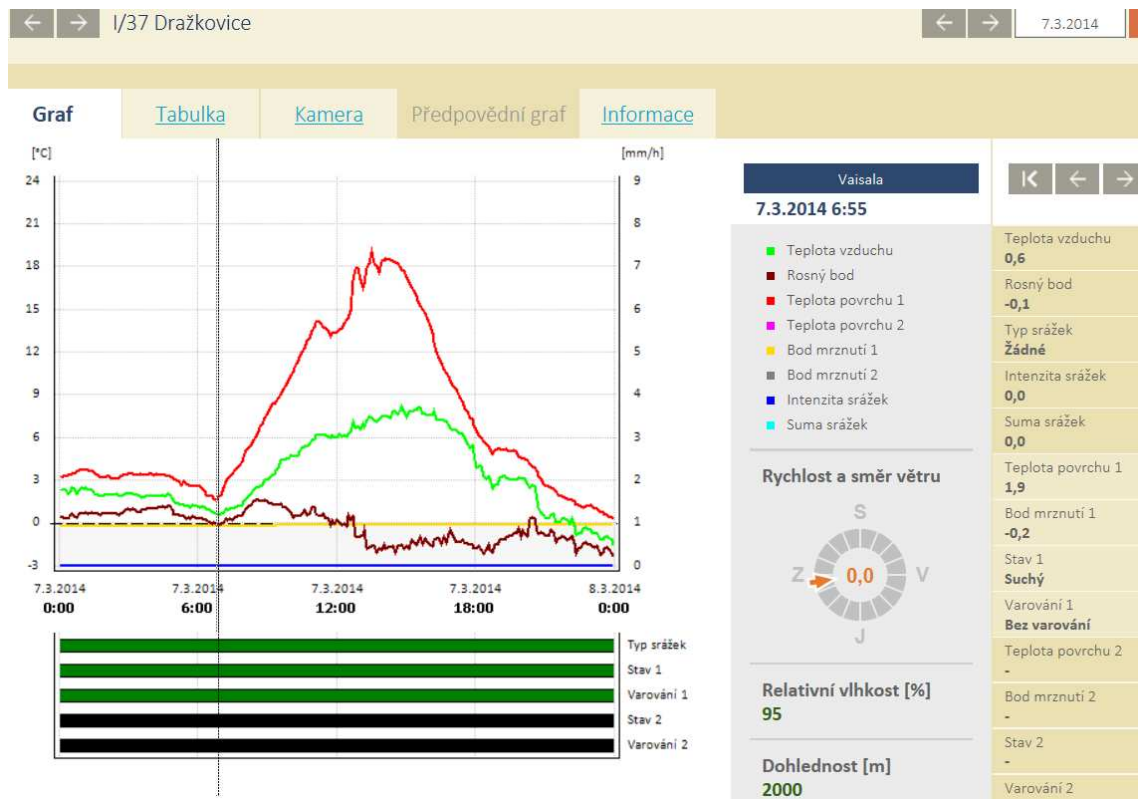
bez generalizace dat (interval 0,5°C)



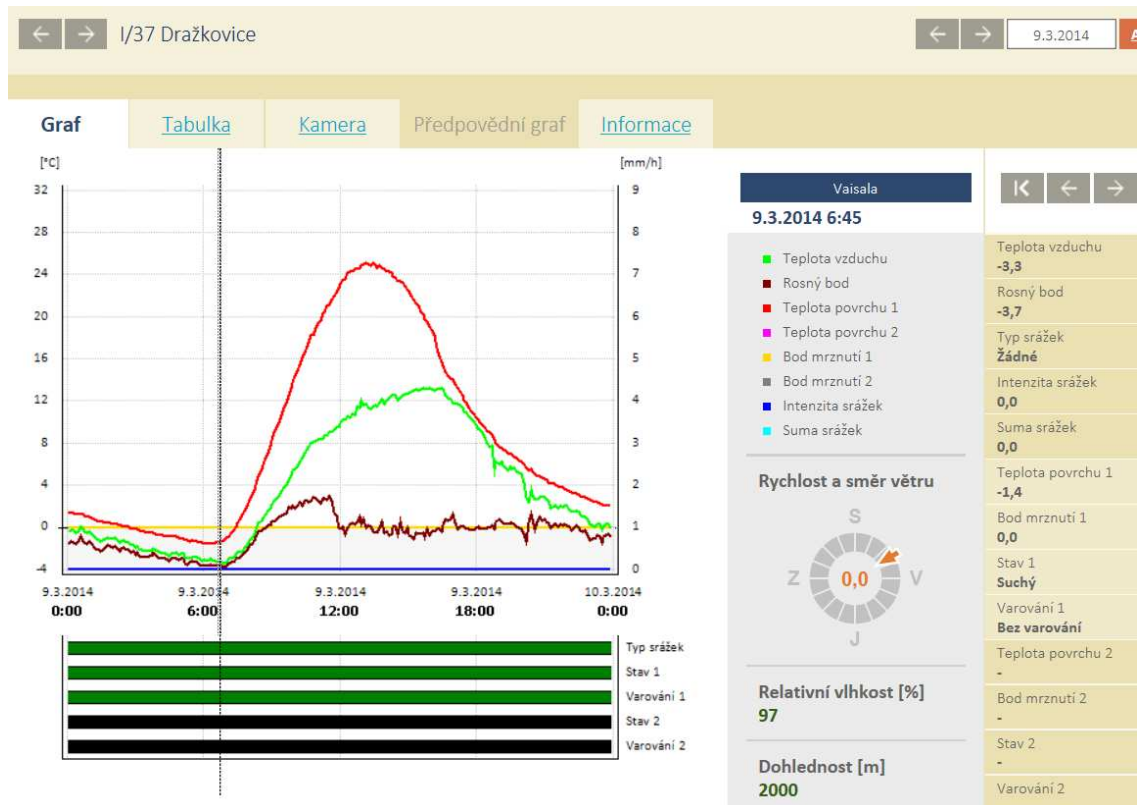
po generalizace dat (interval 1°C)



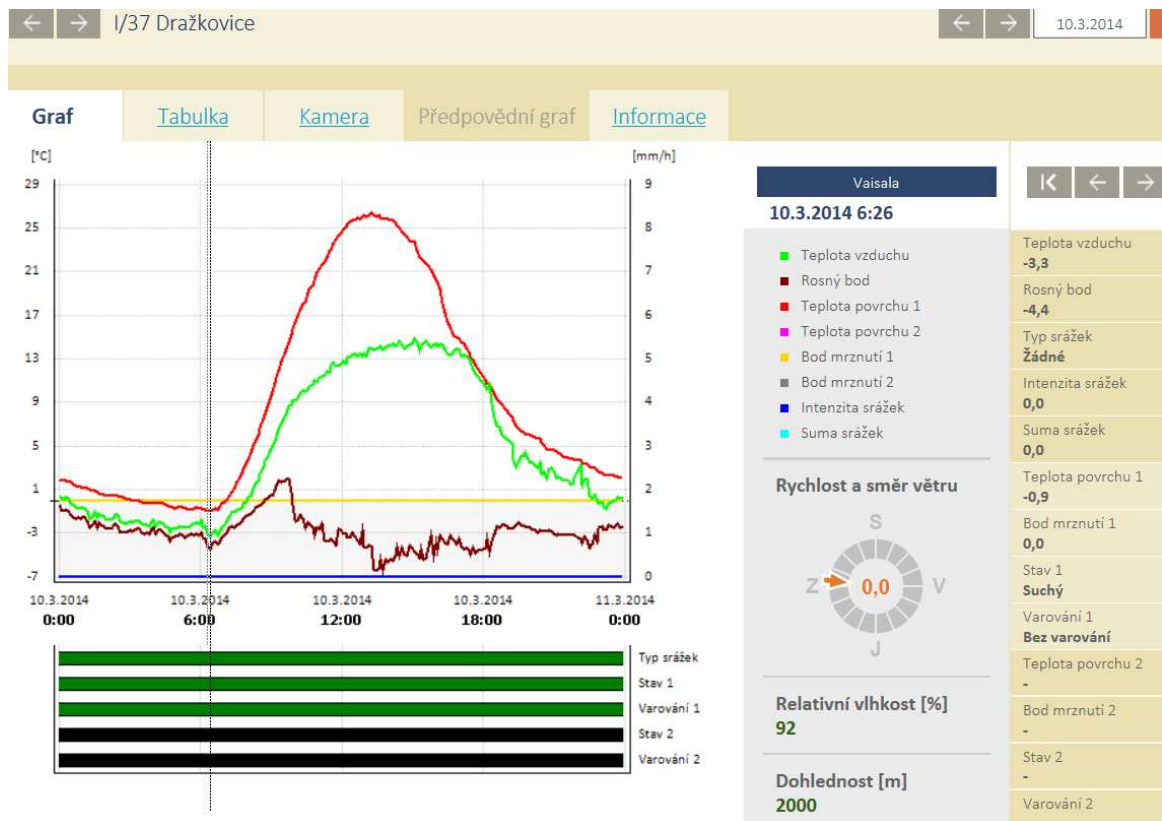
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
7.3.2014



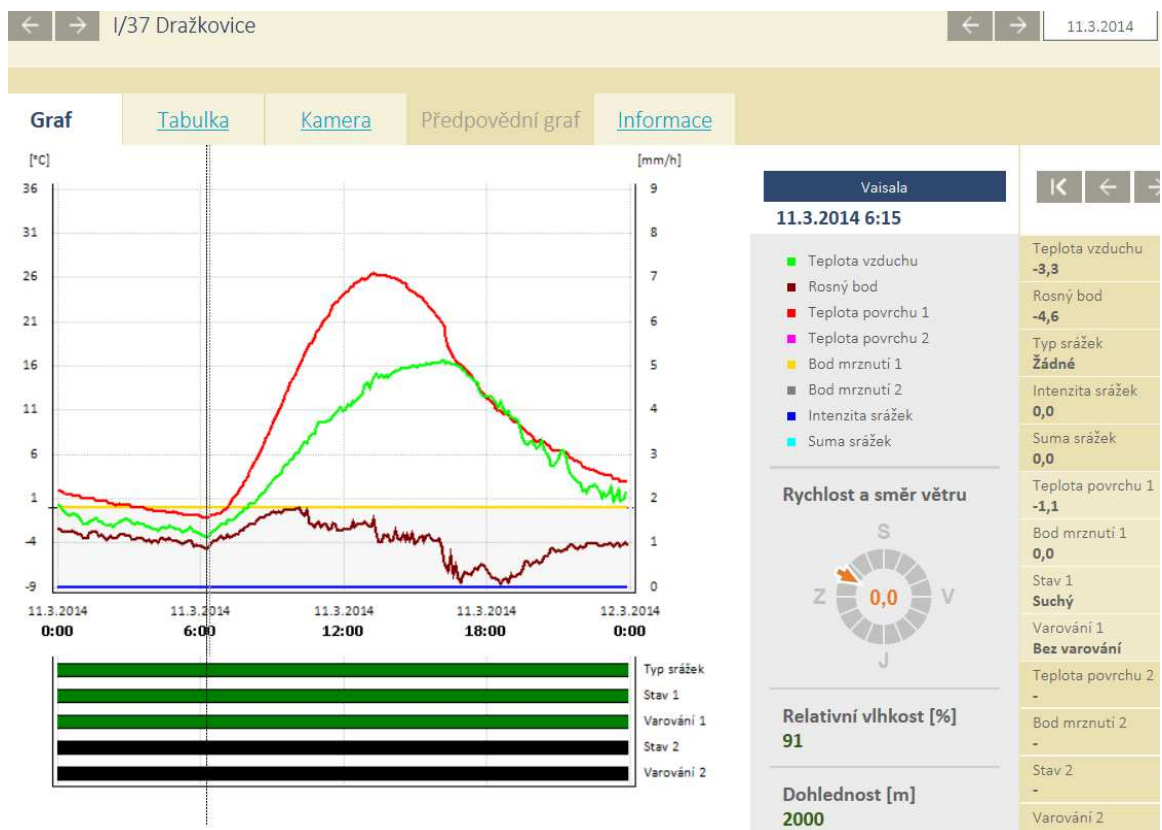
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
9.3.2014



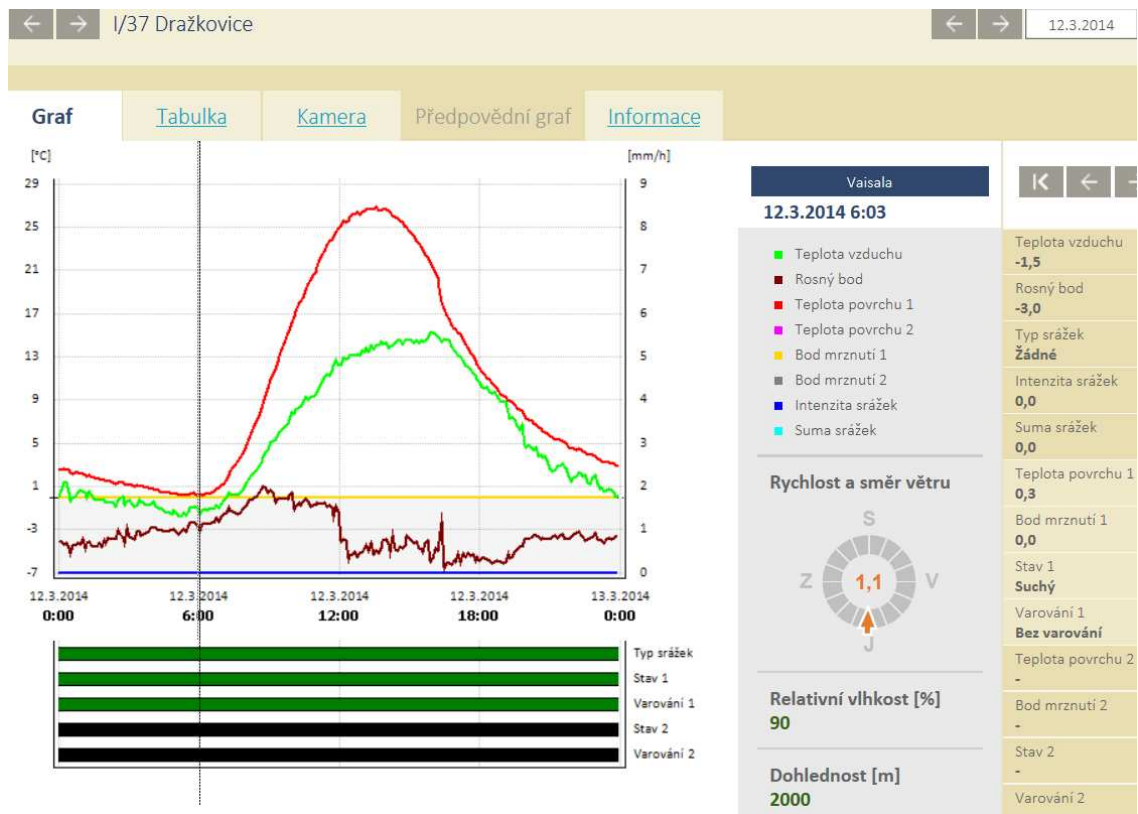
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
10.3.2014



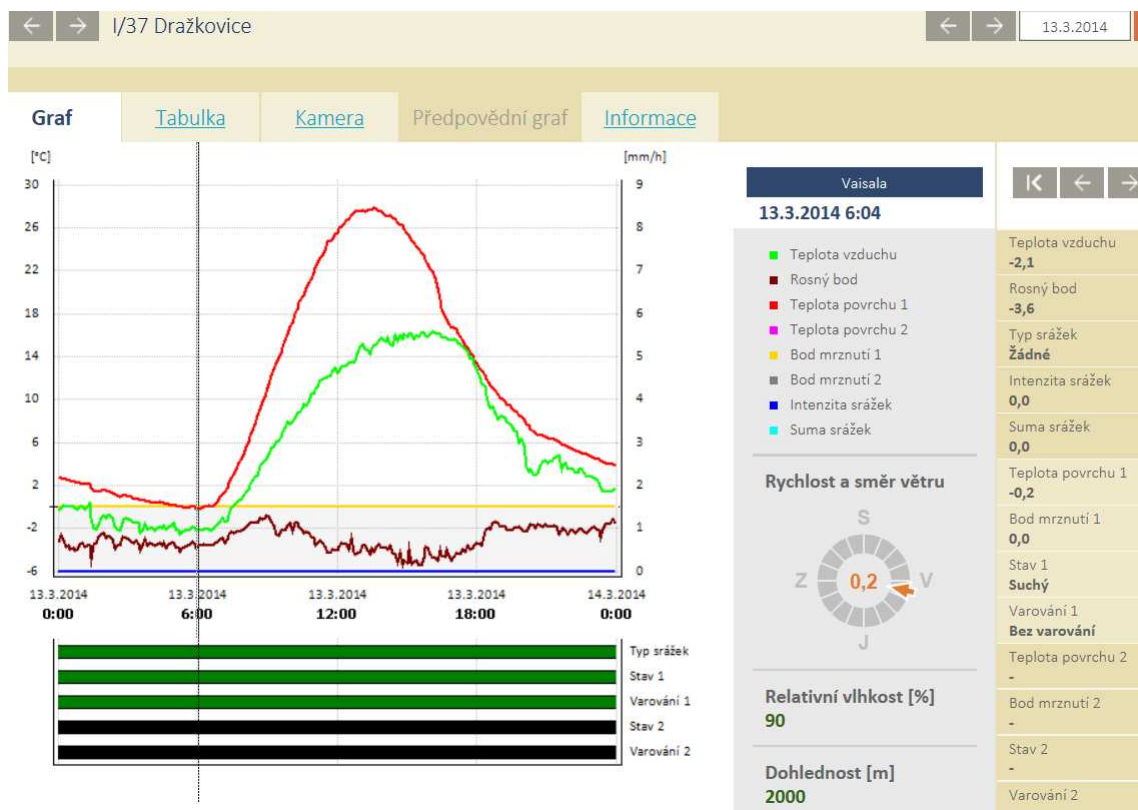
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
11.3.2014



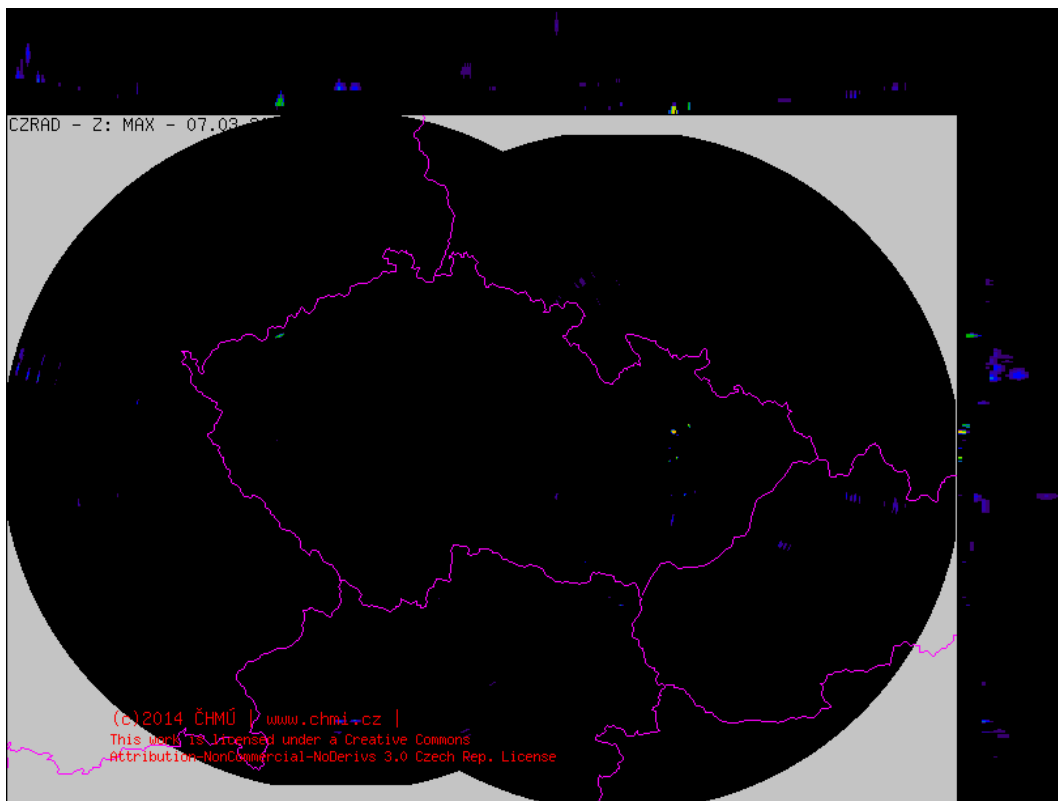
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
12.3.2014



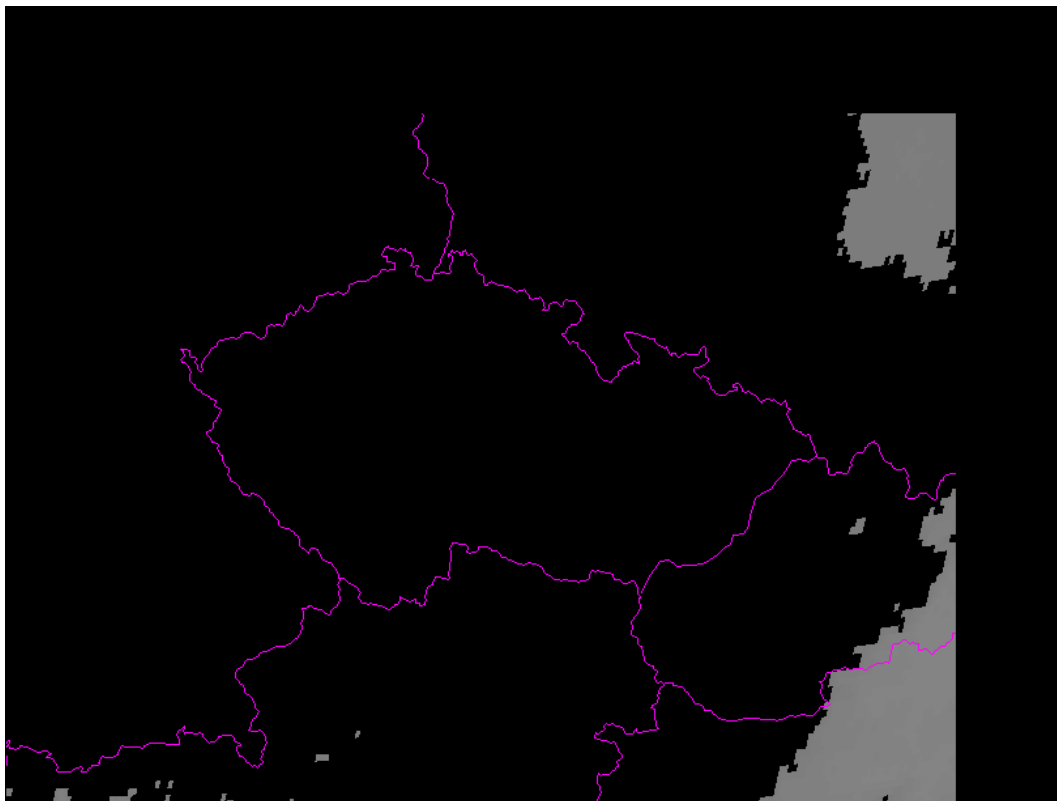
Průběh teplot měřených silniční meteostanicí Vaisala na sil. č.1/37 Dražkovice. (zdroj SW METI4, CROSS Zlín)
13.3.2014



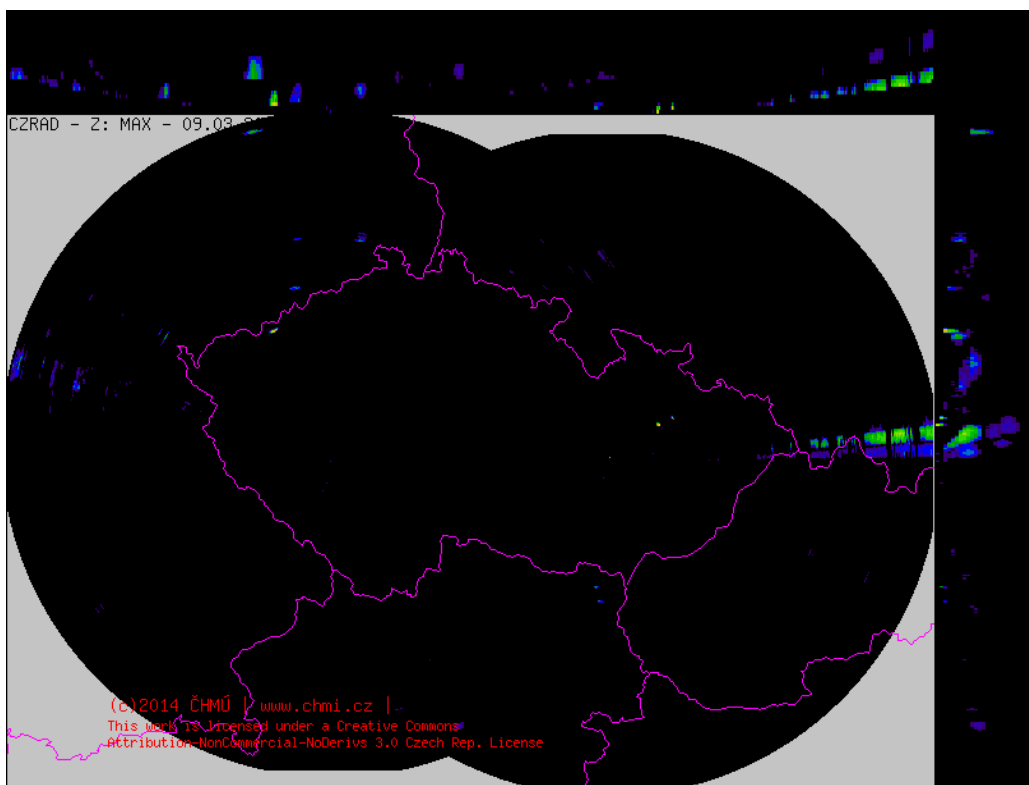
Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 7.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



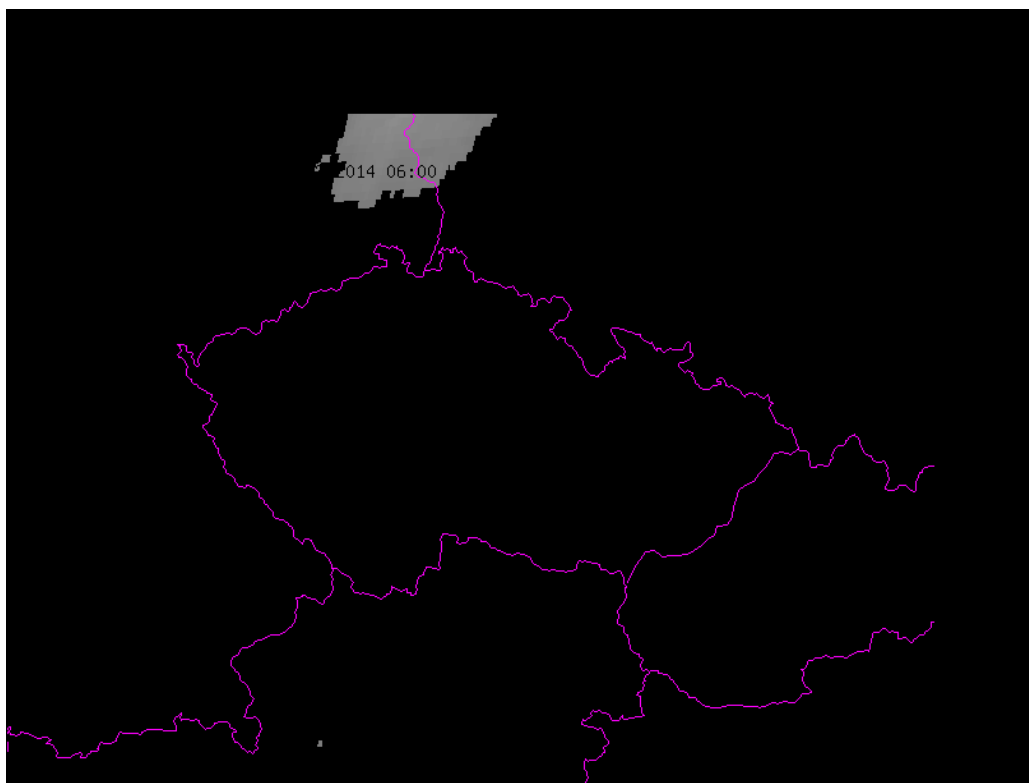
Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 7.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)



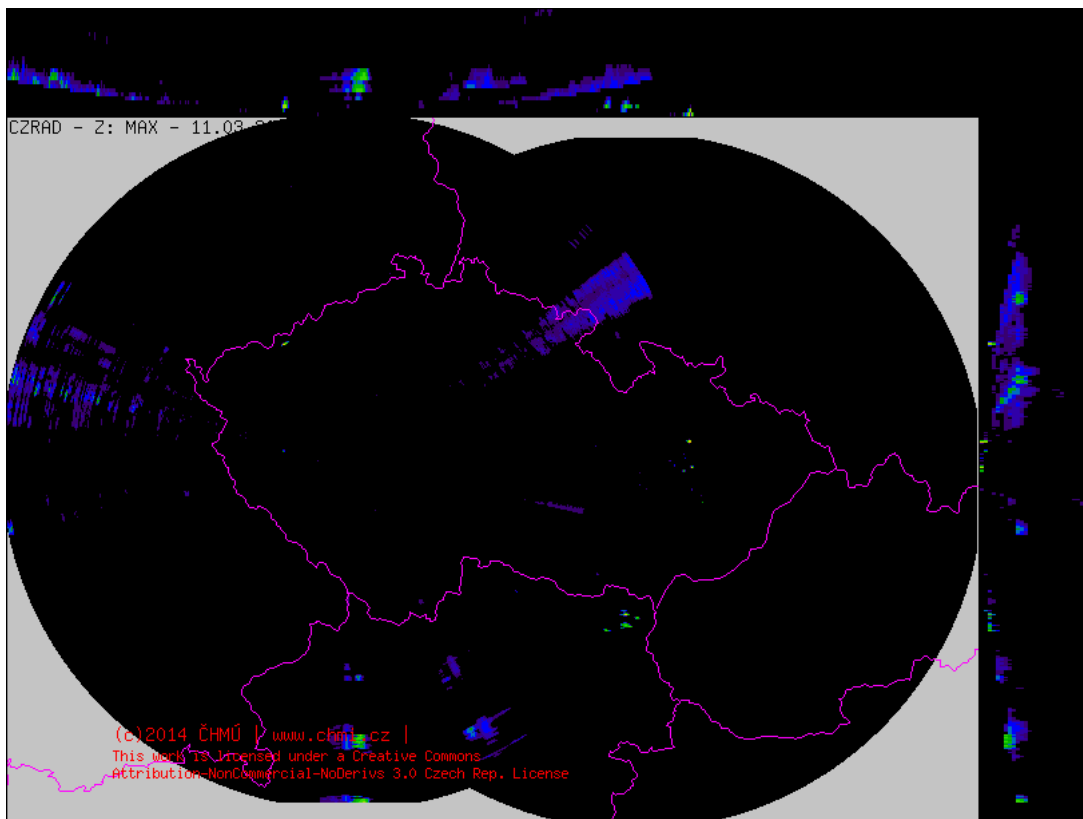
Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 9.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



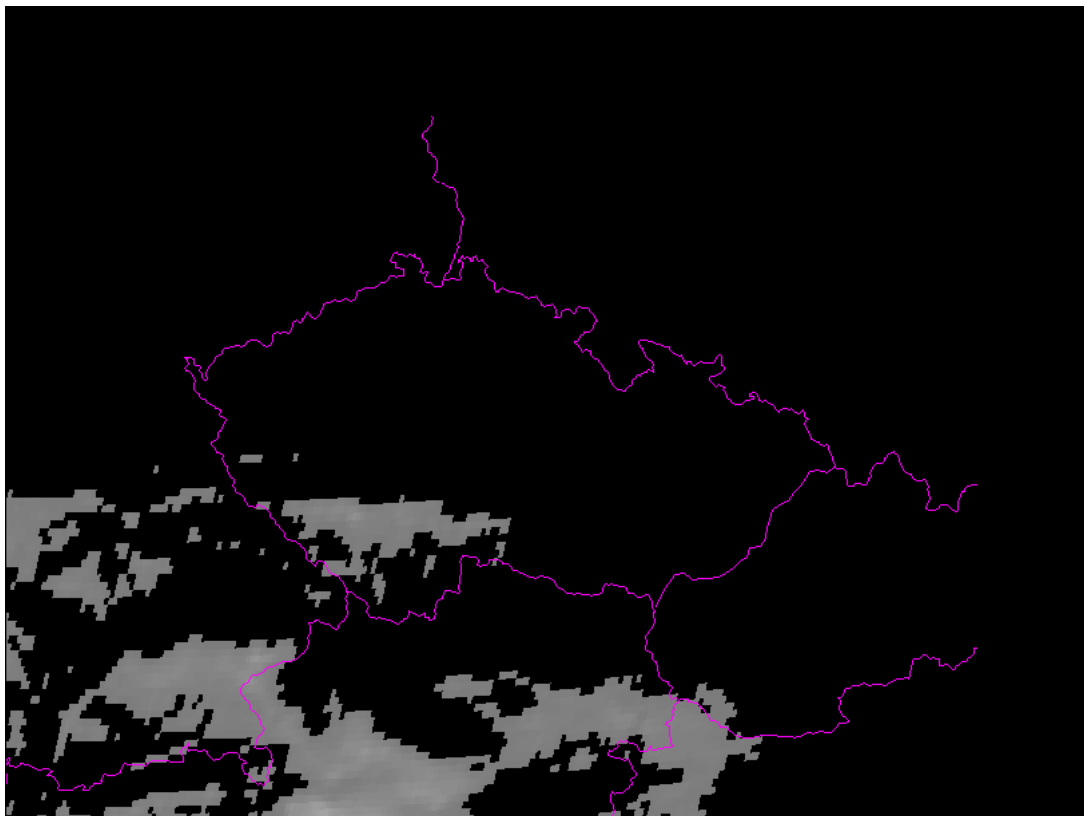
Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 9.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)



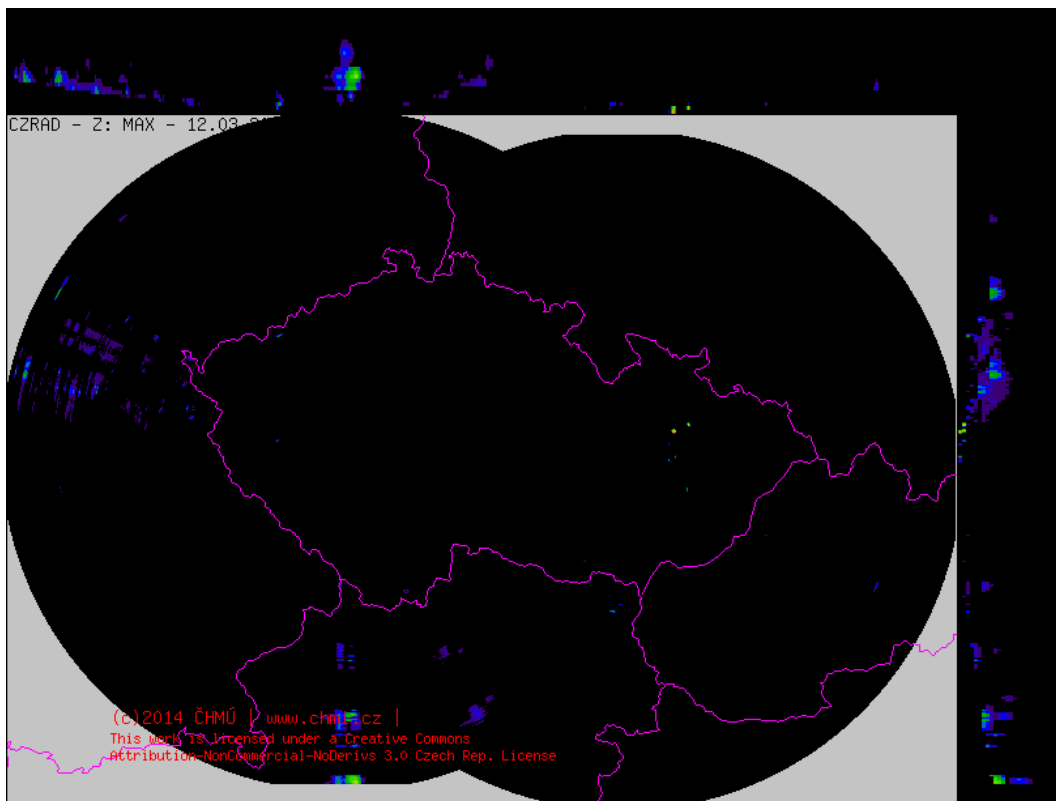
Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 11.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 11.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)



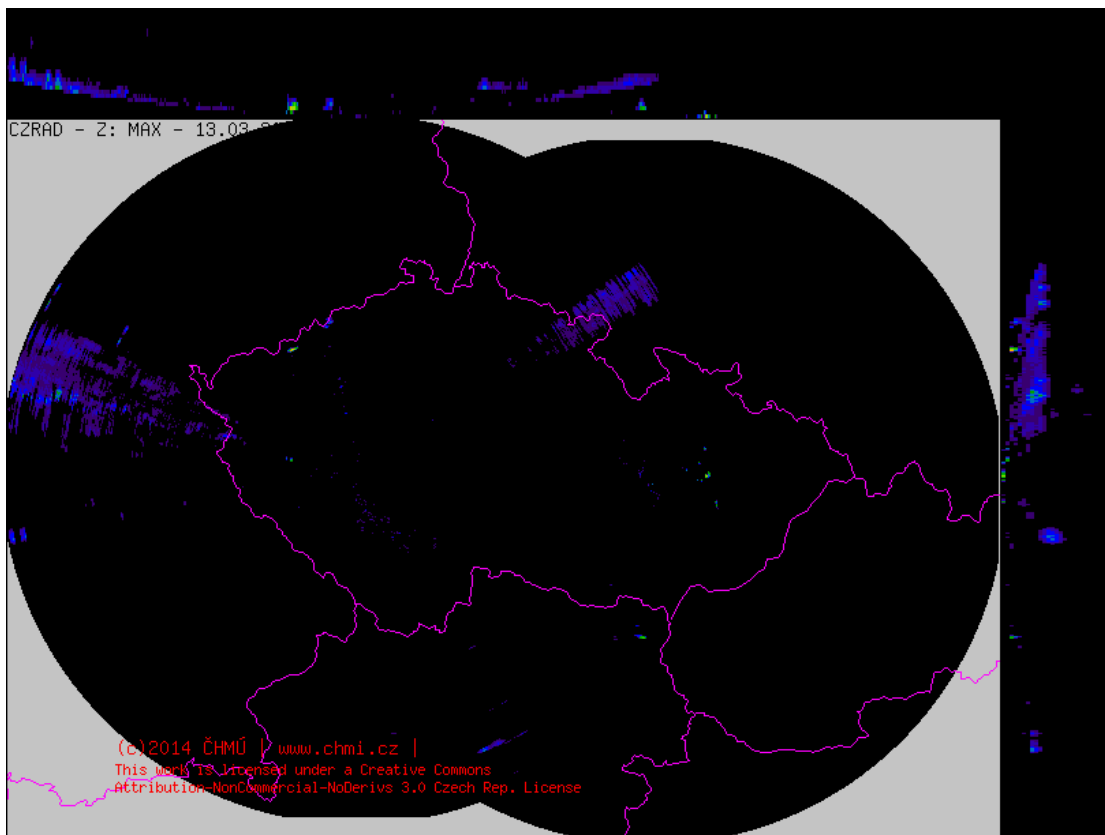
Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 12.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 12.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)



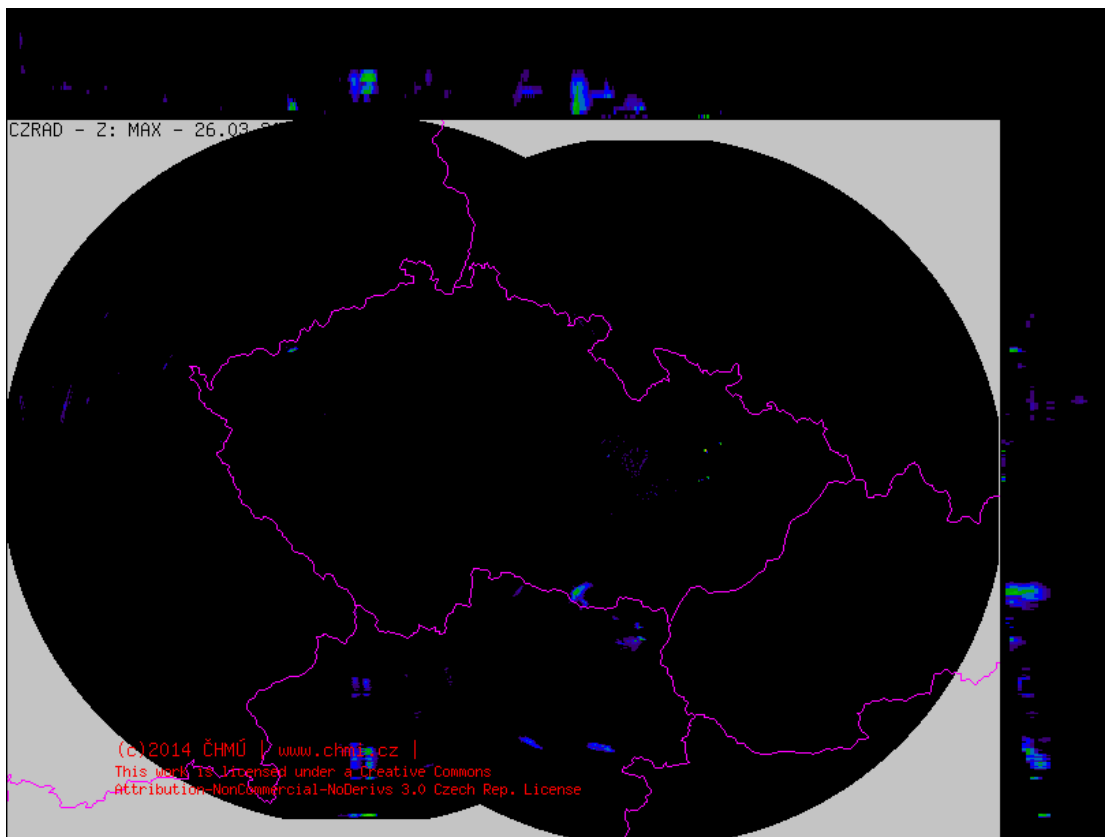
Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 13.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 13.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)



Snímek srážkové činnosti, radarové odrazy z 26.3.2014 (zdroj radarová data, ČHMÚ Praha)



Snímek oblačnosti, satelitní snímek z 26.3.2014 (zdroj satelitní data, ČHMÚ Praha)

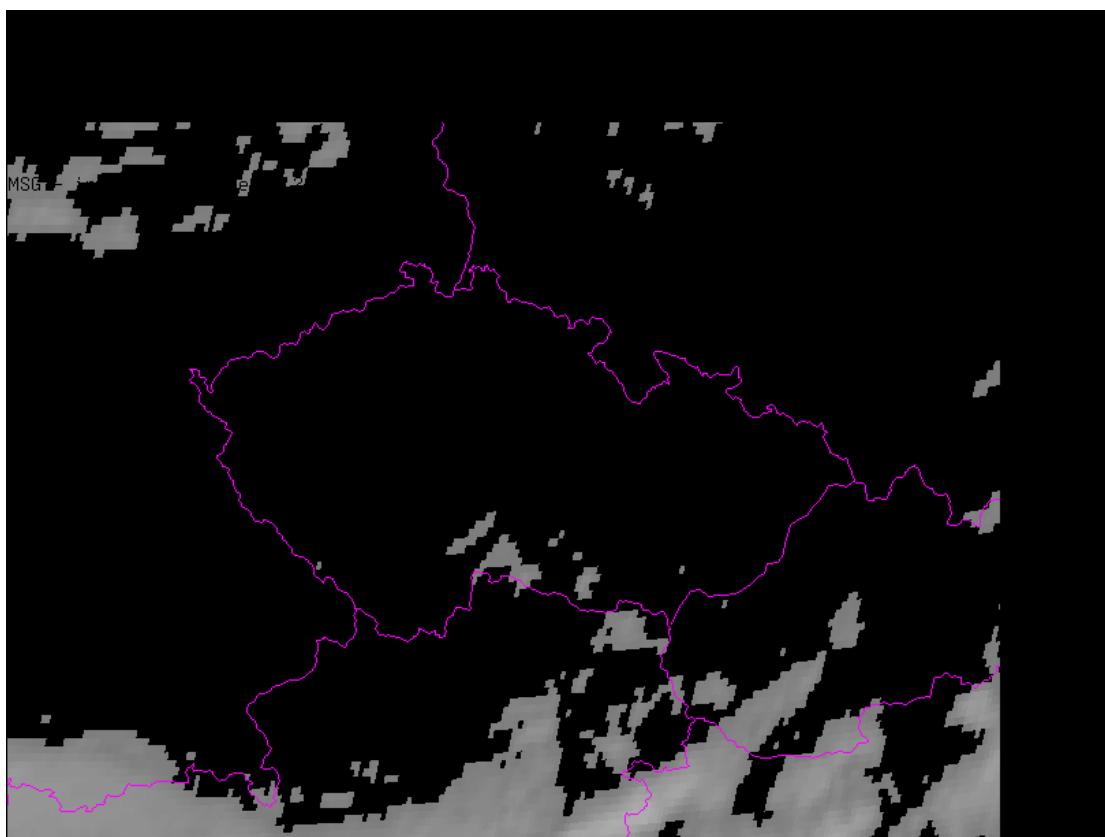


Foto příkladu nadměrného posypu na okruhu č. 45/1 sil. č.1/36 Pardubice-Doubravice (zdroj autor)



Foto solný důl Bernburg Německo společnosti K+S KALI – významný zdroj a dodavatel solí (foto autor)



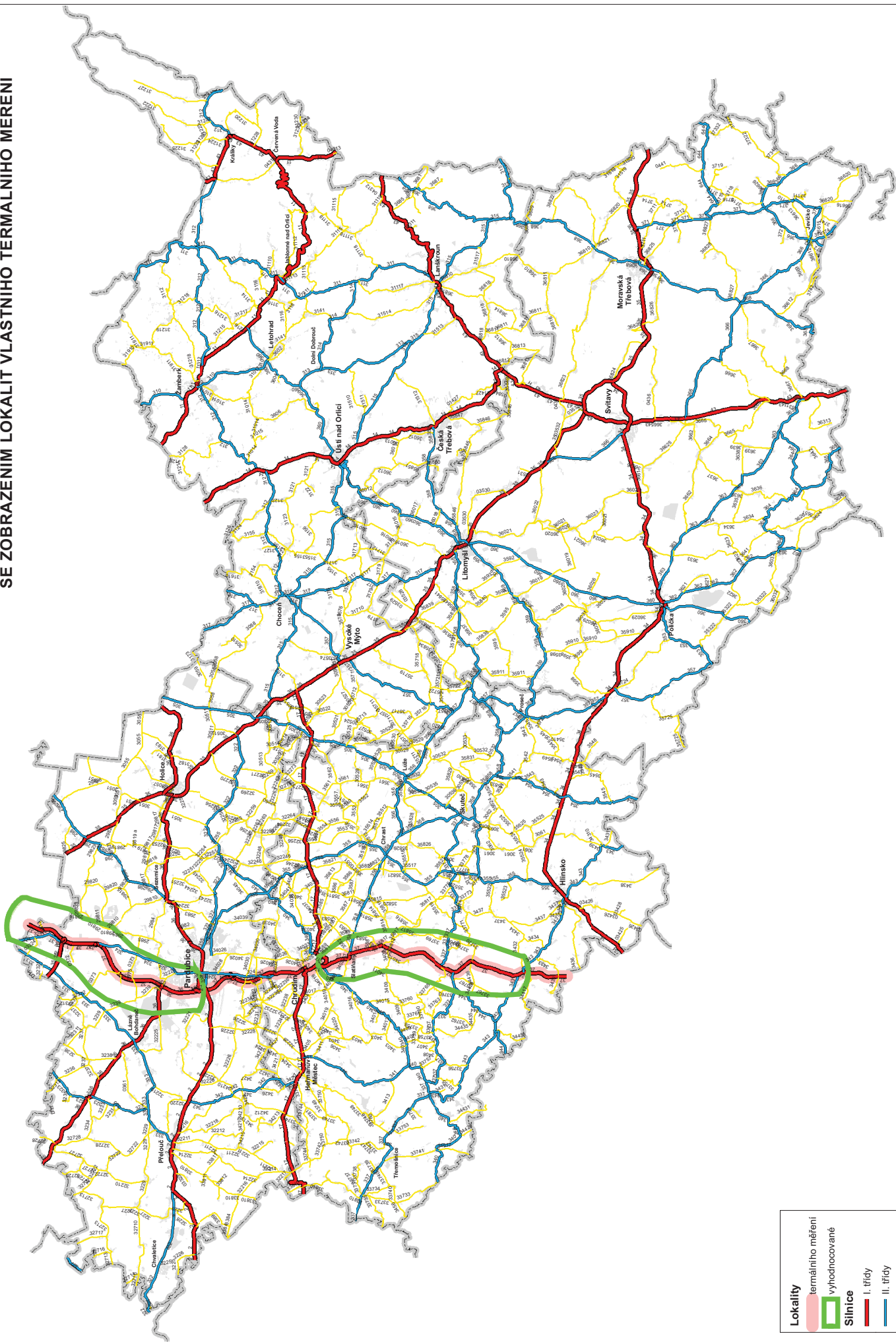
UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

2. GRAFICKÁ ČÁST

AUTOR PRÁCE: Bc. Marian Cvrkal
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Pavel Kukla, Ph.D.

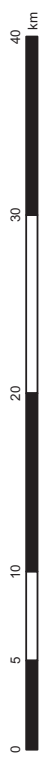
Seznam grafických příloh:

<i>Označení</i>	<i>Název přílohy</i>
Mapa č. 1	Silniční síť pardubického kraje s vyznačením referenčních úseků měření
Mapa č. 2.1	Termální mapování vozovek 1997-2010, jasno (ŘSD ČR)
Mapa č. 2.2	Termální mapování vozovek 1997-2010, zataženo (ŘSD ČR)
Mapa č. 2.3	Termální mapování vozovek 1997-2010, proměnlivo (ŘSD ČR)
Mapa č. 2.4	Přehled termálního mapování – přírůstková mapa 1997-2014 (CROSS Zlín)
Mapa č. 3.1	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 7.3.2014 zataženo, 9.3.2014 proměnlivo
Mapa č. 3.2	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 10.3.2014 jasno, 11.3.2014 skoro jasno – kouřmo
Mapa č. 3.3	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 12.3.2014 skoro jasno-kouřmo, 13.3.2014 kouřmo
Mapa č. 3.4	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 26.3.2014 zataženo-mlha
Mapa č. 3.1.1	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 7.3.2014 zataženo, 9.3.2014 proměnlivo, generalizace intervalu
Mapa č. 3.2.1	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 10.3.2014 jasno, 11.3.2014 skoro jasno – kouřmo, generalizace intervalu
Mapa č. 3.3.1	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 12.3.2014 skoro jasno-kouřmo, 13.3.2014 kouřmo, generalizace intervalu
Mapa č. 3.4.1	Termální měření vozovek okruhu 45/1, 26.3.2014 zataženo-mlha generalizace intervalu
Mapa č. 4.1	Porovnání termálních měření vozovek (profesionálních ŘSD, s vlastním měřením, zataženo-proměnlivo 9.3.2014)
Mapa č. 5.1	Termální měření vozovek všechna data (surová) – oba úseky, 7.3.2014 zataženo, 9.3.2014 proměnlivo
Mapa č. 5.2	Termální měření vozovek všechna data (surová) – oba úseky, 10.3.2014 jasno, 11.3.2014 skoro jasno – kouřmo
Mapa č. 5.3	Termální měření vozovek všechna data (surová) – okruh 45/1, 12.3.2014 skoro jasno-kouřmo, 13.3.2014 kouřmo
Mapa č. 5.4	Termální měření vozovek všechna data (surová) - okruh 45/1, 26.3.2014 zataženo-mlha



Lokality	
	termálního měření
	vyhodnocované
Silnice	
	I. třídy
	II. třídy
	III. třídy
Ostatní	
	zásiabva
	okresní hranice

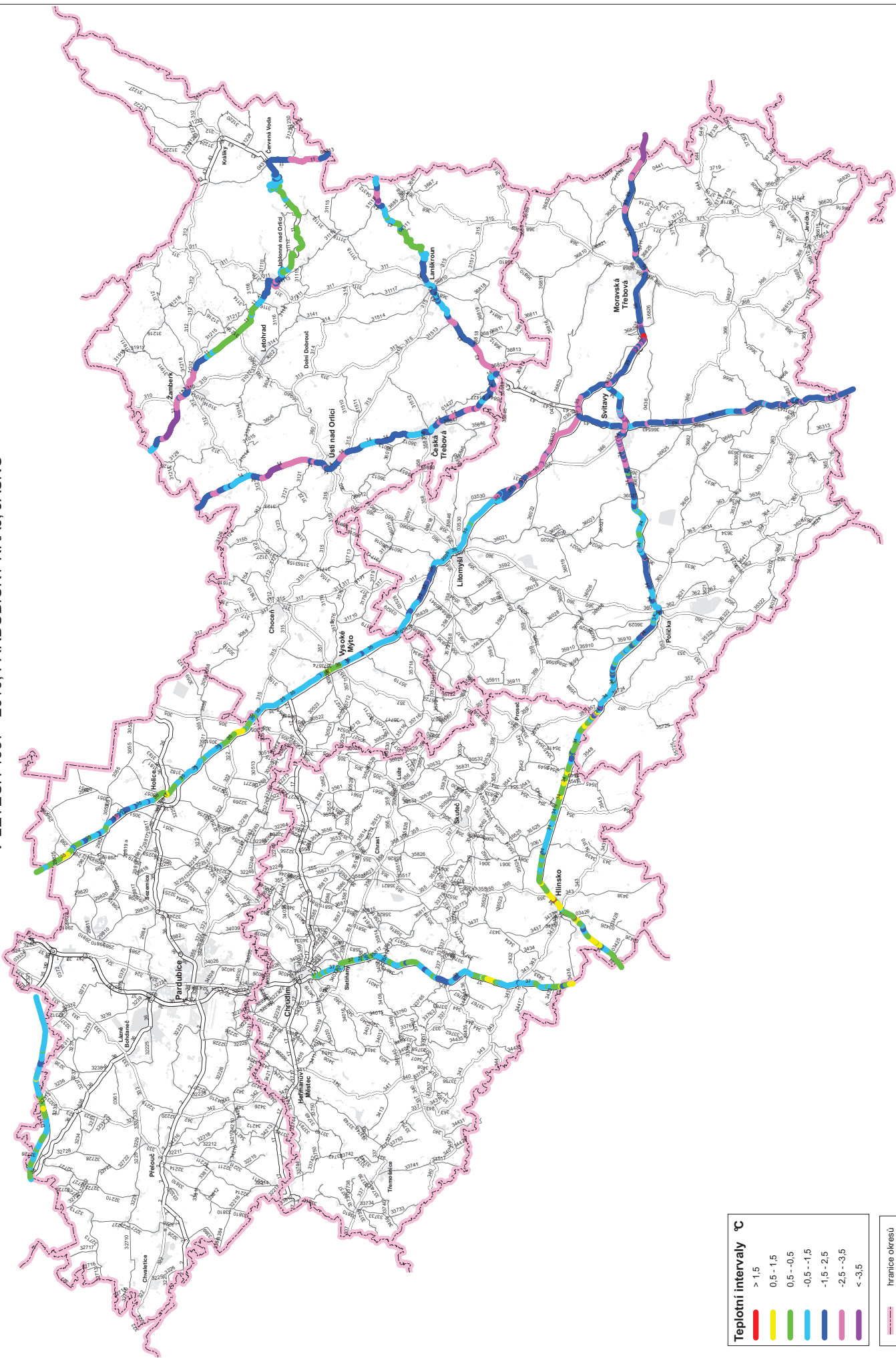
1: 300 000



© Zpracoval Marian CVRČEK, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

Mapa č. 2.1

TERMÁLNÍ MAPOVÁNÍ POVRCHU VOZOVEK
V LETECH 1997 - 2010, PARDUBICKÝ KRAJ, JASNO

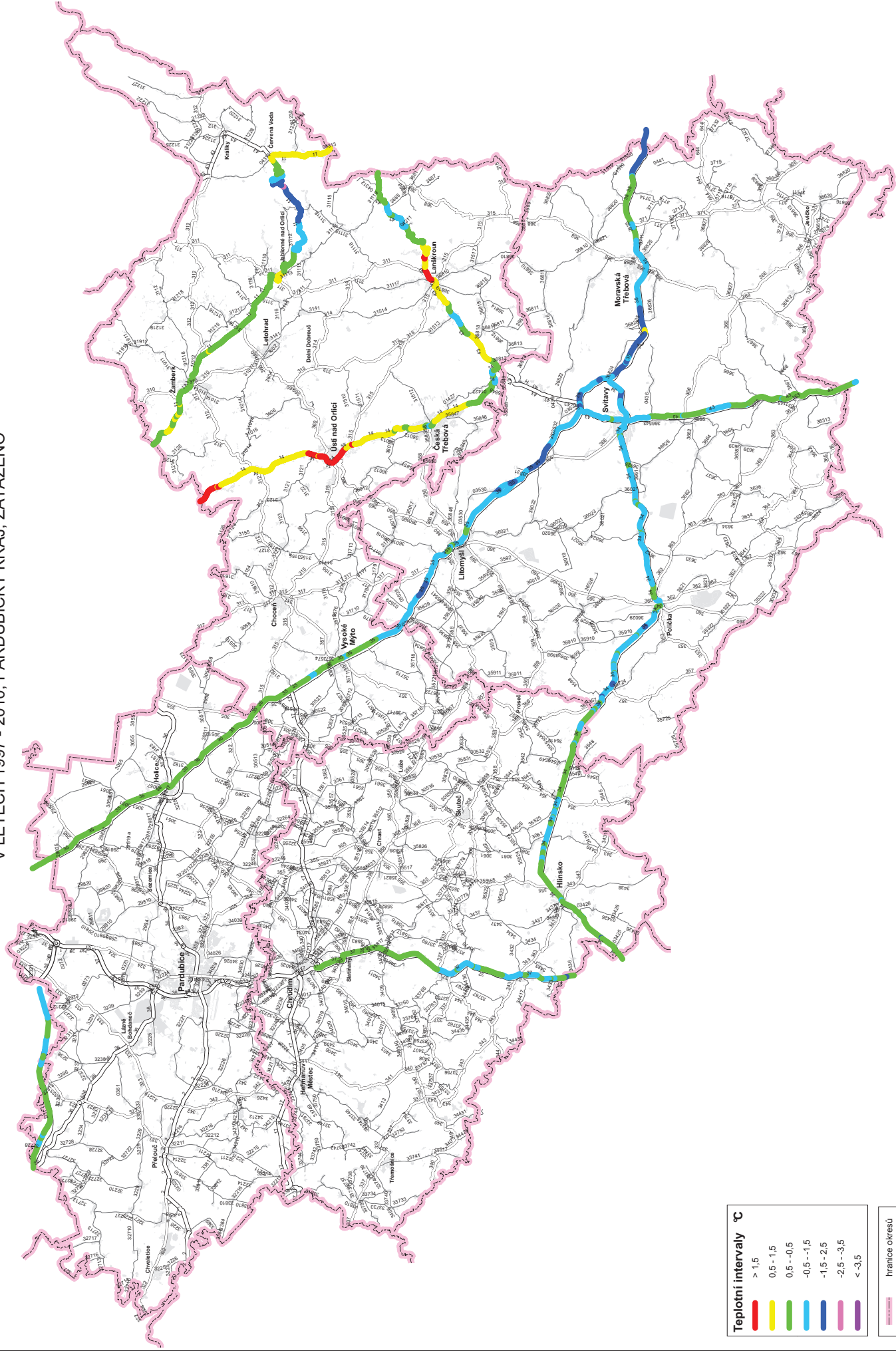


Teplotní intervaly °C	
	> 1,5
	0,5 - 1,5
	0,5 - -0,5
	-0,5 - -1,5
	-1,5 - -2,5
	-2,5 - -3,5
	< -3,5

	hranice okresů
	silnice I. třídy
	silnice II. třídy
	silnice III. třídy
	zástavba

1 : 300 000
0 5 10 20 30 40 km
© Zpracoval Marian CVRČKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014, data termálního mapování RSD ČR stav k 31.12.2010)

**TERMÁLNÍ MAPOVÁNÍ POVRCHU VOZOVEK
V LETECH 1997 - 2010, PARDUBICKÝ KRAJ, ZATAŽENO**



Teplotní intervaly °C

> 1,5
0,5 - 1,5
0,5 - 0,5
-0,5 - -1,5
-1,5 - -2,5
-2,5 - -3,5
< -3,5

hranice okresů
silnice I. třídy
silnice II. třídy
silnice III. třídy
zástava

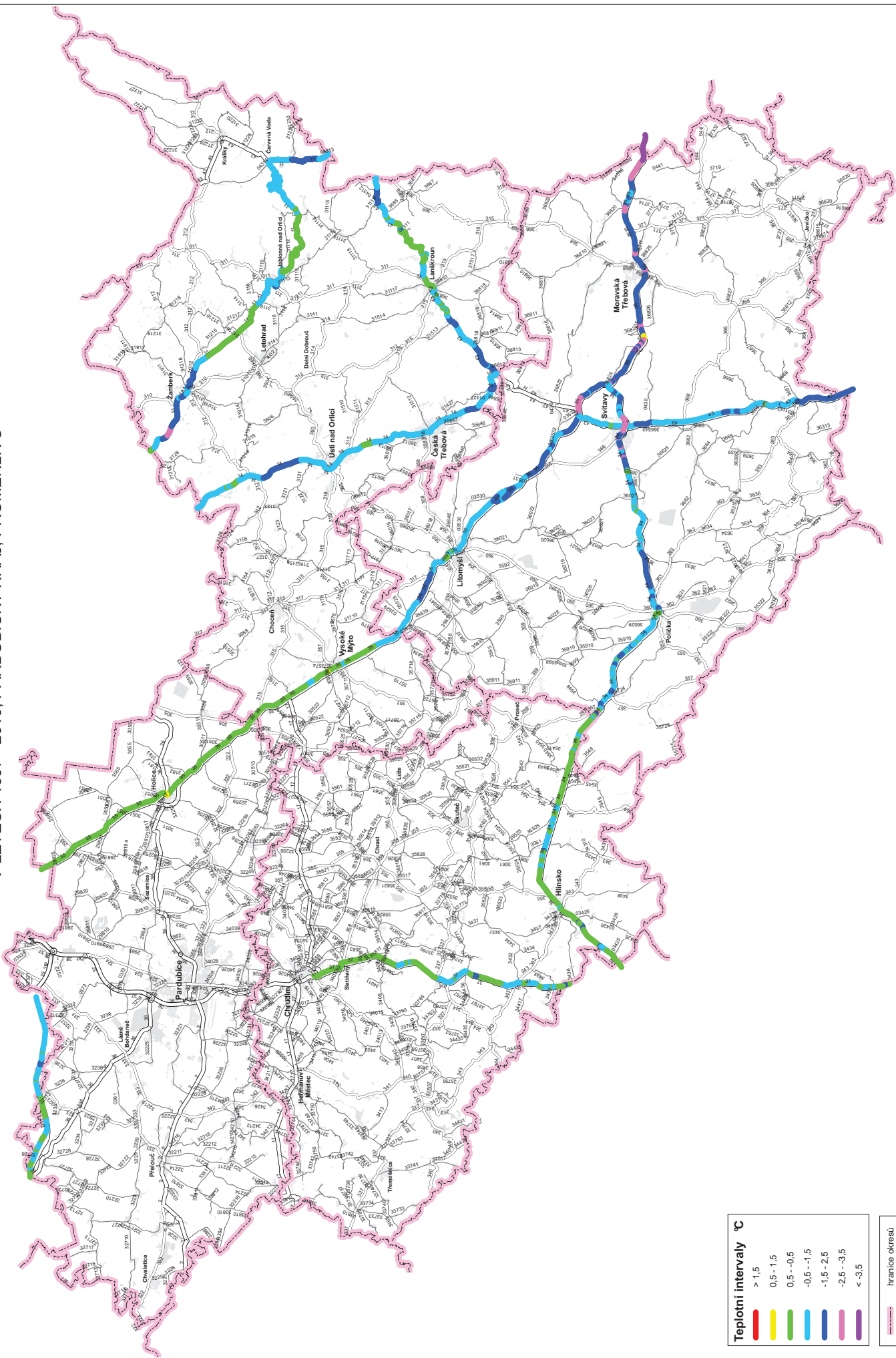
1 : 300 000



© Zpracoval Marian CVRČEKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014, data termálního mapování RSD ČR stav k 31.12.2010)

Mapa č. 2.3

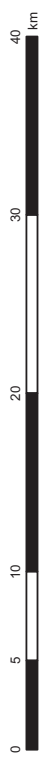
TERMÁLNÍ MAPOVÁNÍ POVRCHU VOZOVEK
V LETECH 1997 - 2010, PARDUBICKÝ KRAJ, PROMĚNLIVO



Teplotní intervaly °C	
	> 1,5
	0,5 - 1,5
	0,5 - 0,5
	-0,5 - -1,5
	-1,5 - 2,5
	-2,5 - -3,5
	< -3,5

	hranice okresů
	silnice I. třídy
	silnice II. třídy
	silnice III. třídy
	zástava

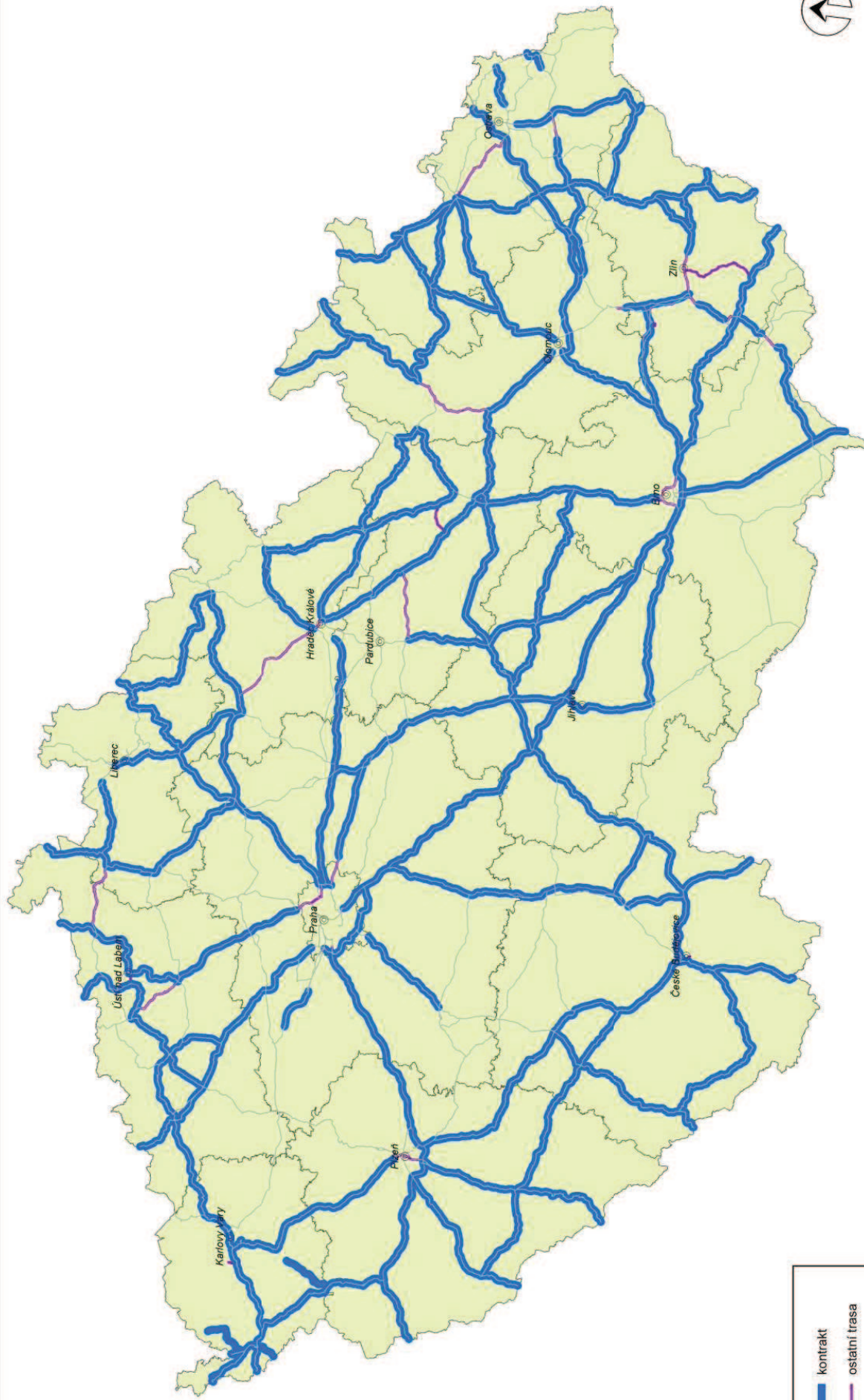
1 : 300 000



© Zpracoval Marian CVRČEK, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014, data termálního mapování RSD ČR stav k 31.12.2010)

TERMÁLNÍ MAPOVÁNÍ POVRCHU VOZOVEK PŘÍRŮSTKOVÁ MAPA POKRYTÍ, ČESKÁ REPUBLIKA, OBDOBÍ 1997-2014

31/10/2014



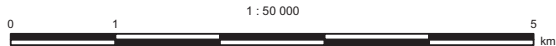
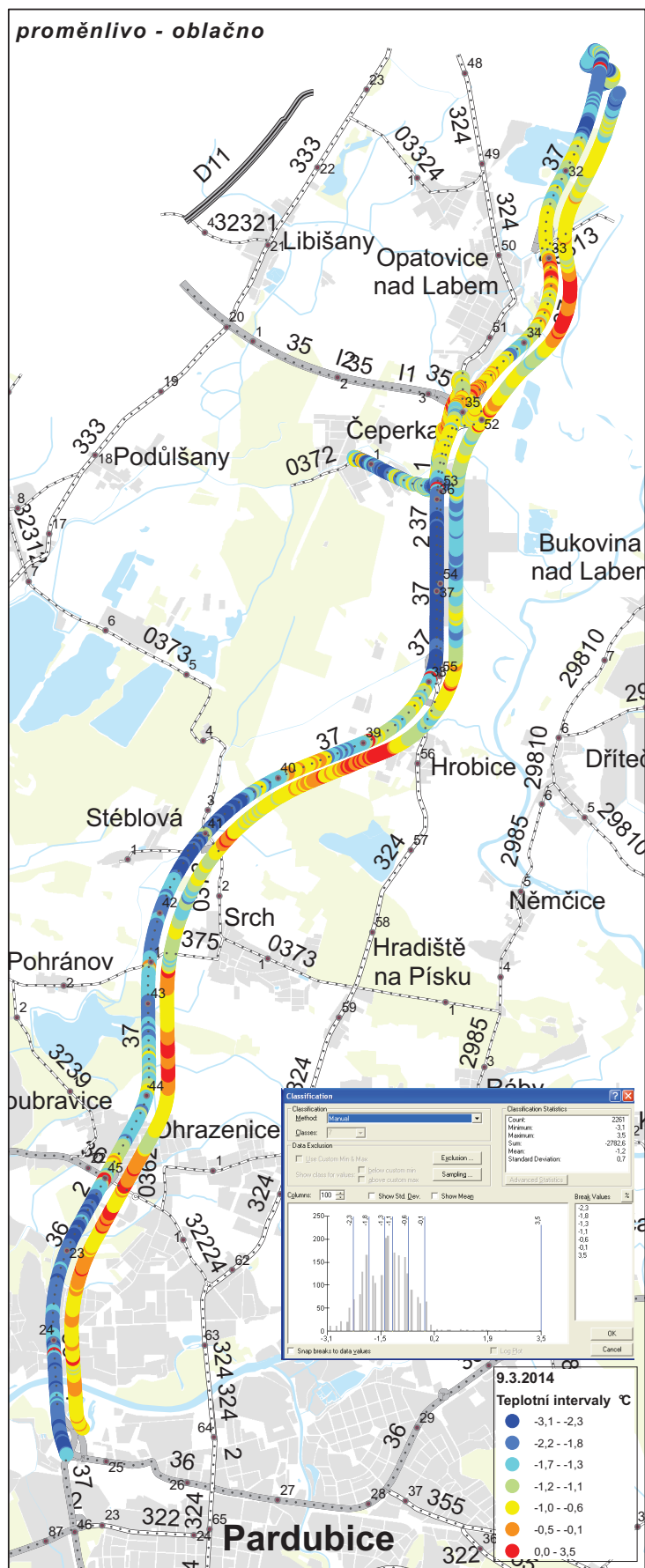
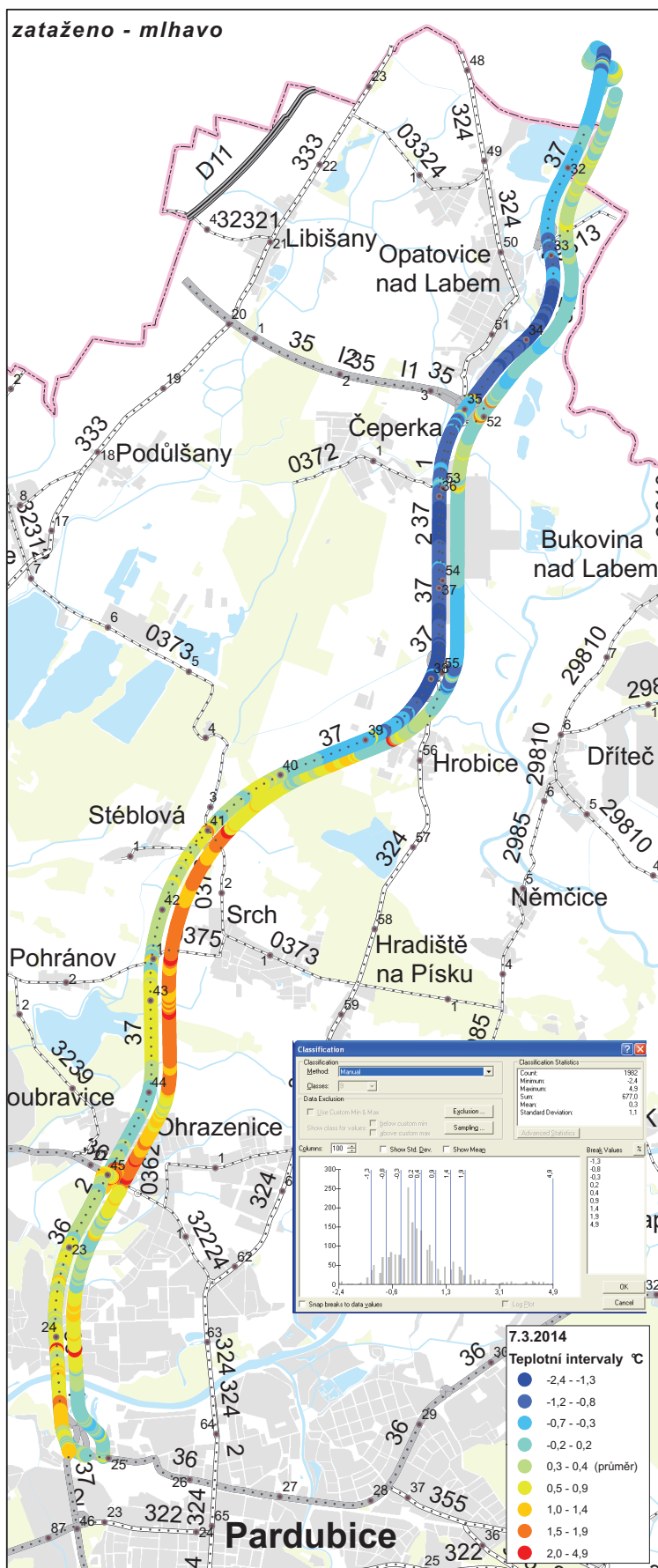
kontrakt
ostatní trasa

Thermal Mapping of the Road Surface
Region: Czech Republic
Campaign: 1997-2014

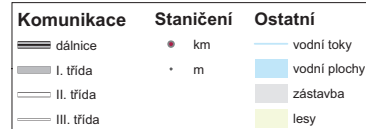
0 25 50 75 100 km
1 : 1 250 000

Zpracoval: CROSS Zlín, a.s., Hasičská 397, Louky, 763 02 Zlín
tel. +420 577 110 211, e-mail: info@cross.cz
Podkladová data: RSD ČR (OSDB)

Mapa č. 3.1 - Termální měření ze dne 7.3.2014, 9.3.2014



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGMS verze z 1.7.2014)



Mapa č. 3.2 - Termální měření ze dne 10.3.2014, 11.3.2014



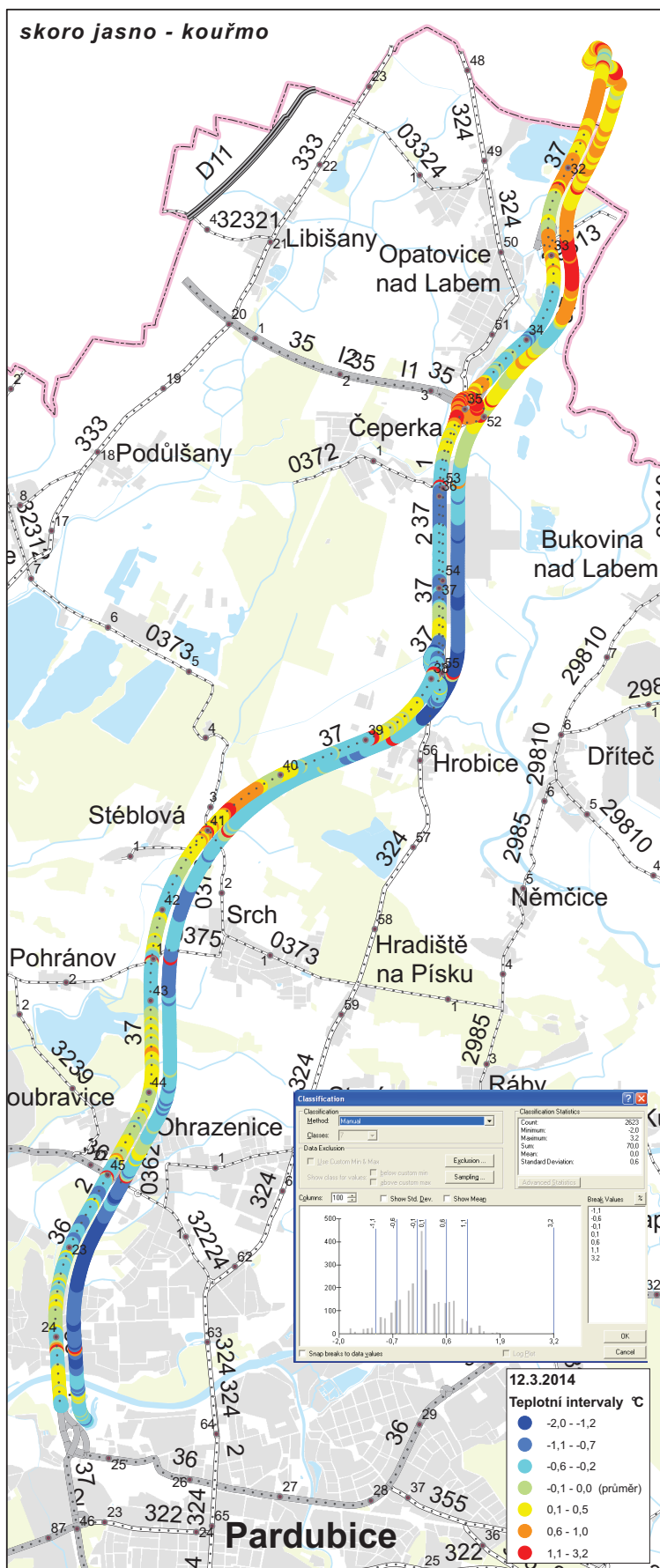
0 1 5 km
1:50 000

© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

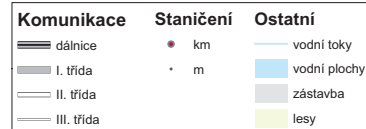
Komunikace **Staničení** **Ostatní**

- dálnice
- I. třída
- II. třída
- III. třída
- km
- m
- vodní toky
- vodní plochy
- zástavba
- lesy

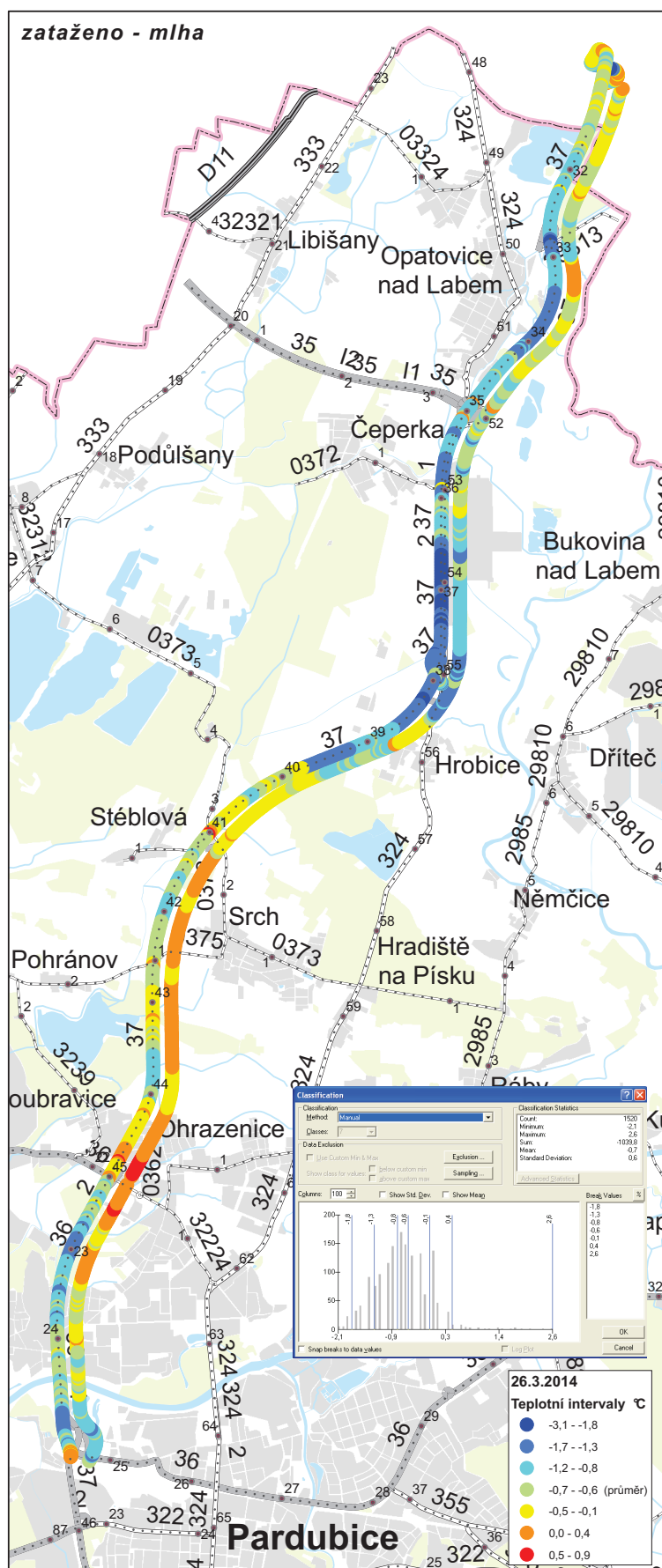
Mapa č. 3.3 - Termální měření ze dne 12.3.2014, 13.3.2014



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGMS verze z 1.7.2014)



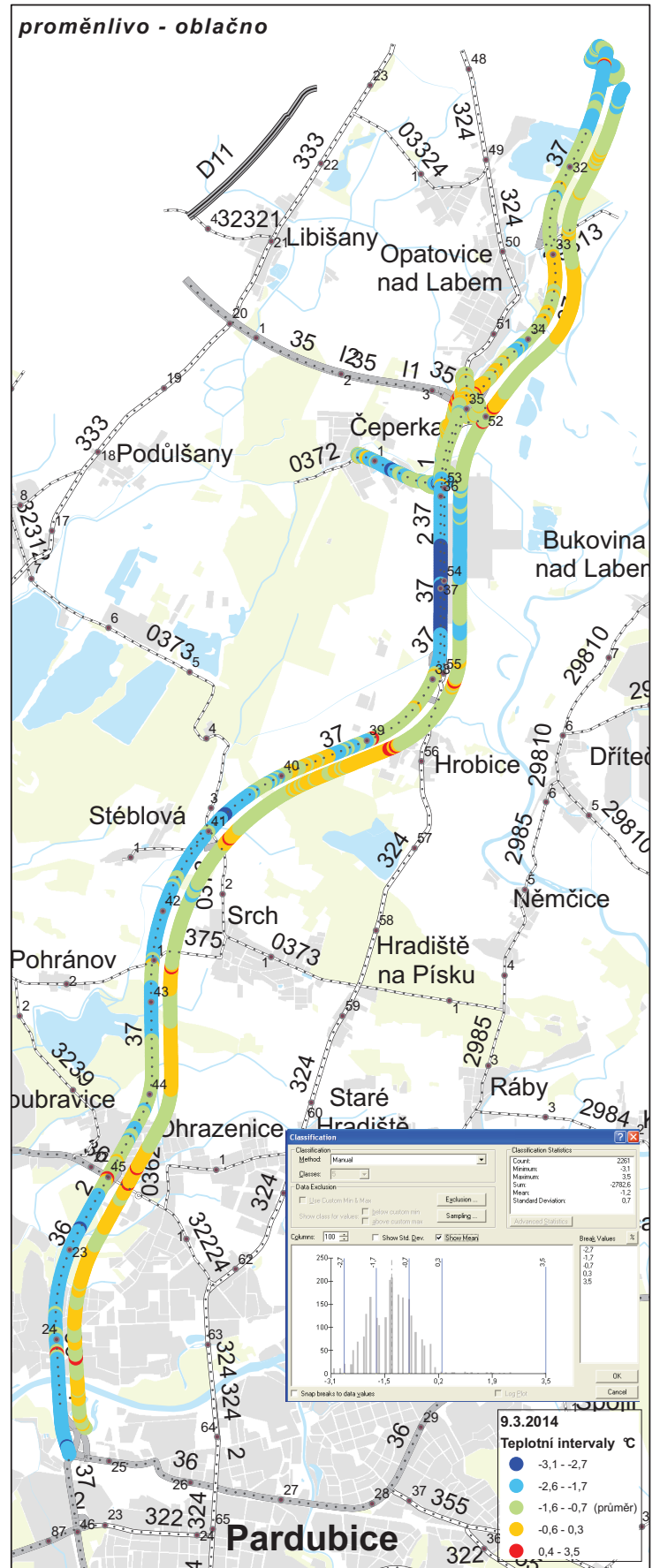
Mapa č. 3.4 - Termální měření ze dne 26.3.2014



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
 software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

Komunikace	Staničení	Ostatní
dálnice	km	vodní toky
I. třída	m	vodní plochy
II. třída		zástavba
III. třída		lesy

Mapa č. 3.1.1 - Termální měření ze dne 7.3.2014, 9.3.2014 (generalizace dat)



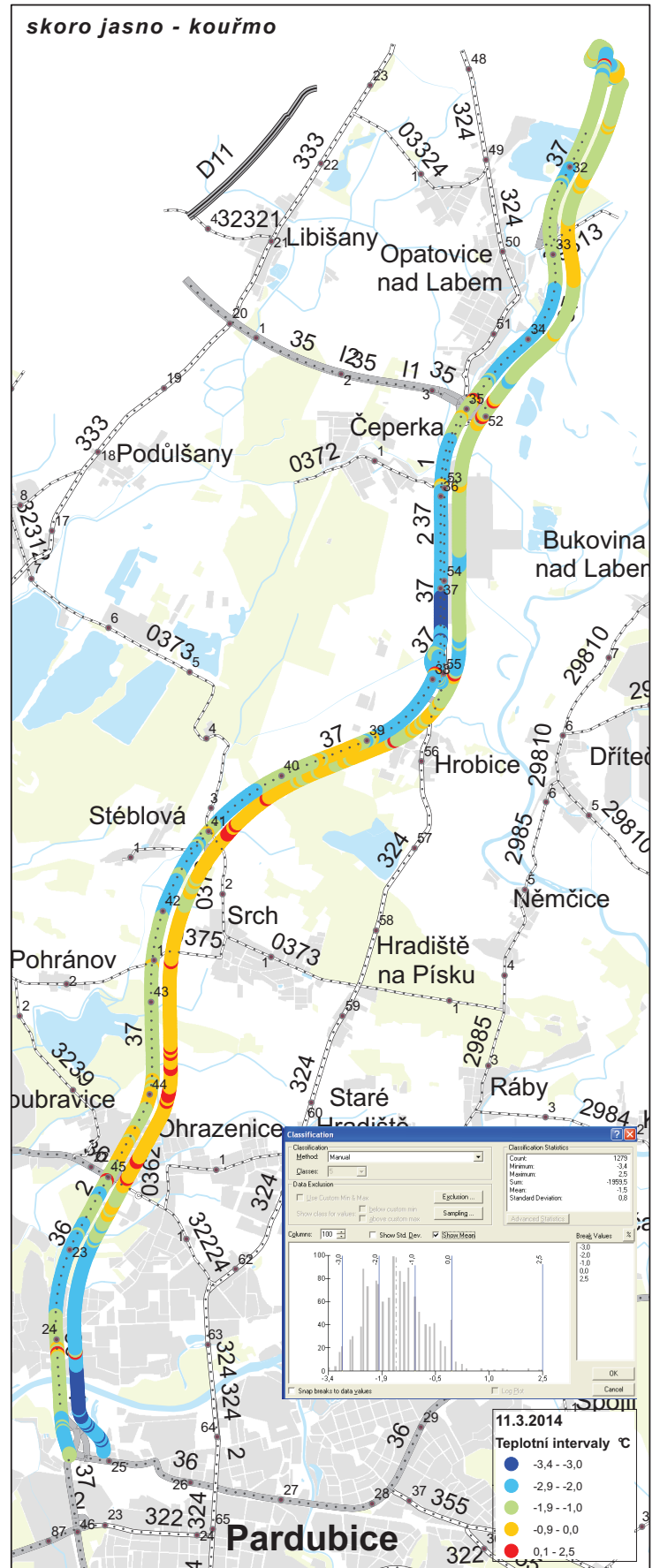
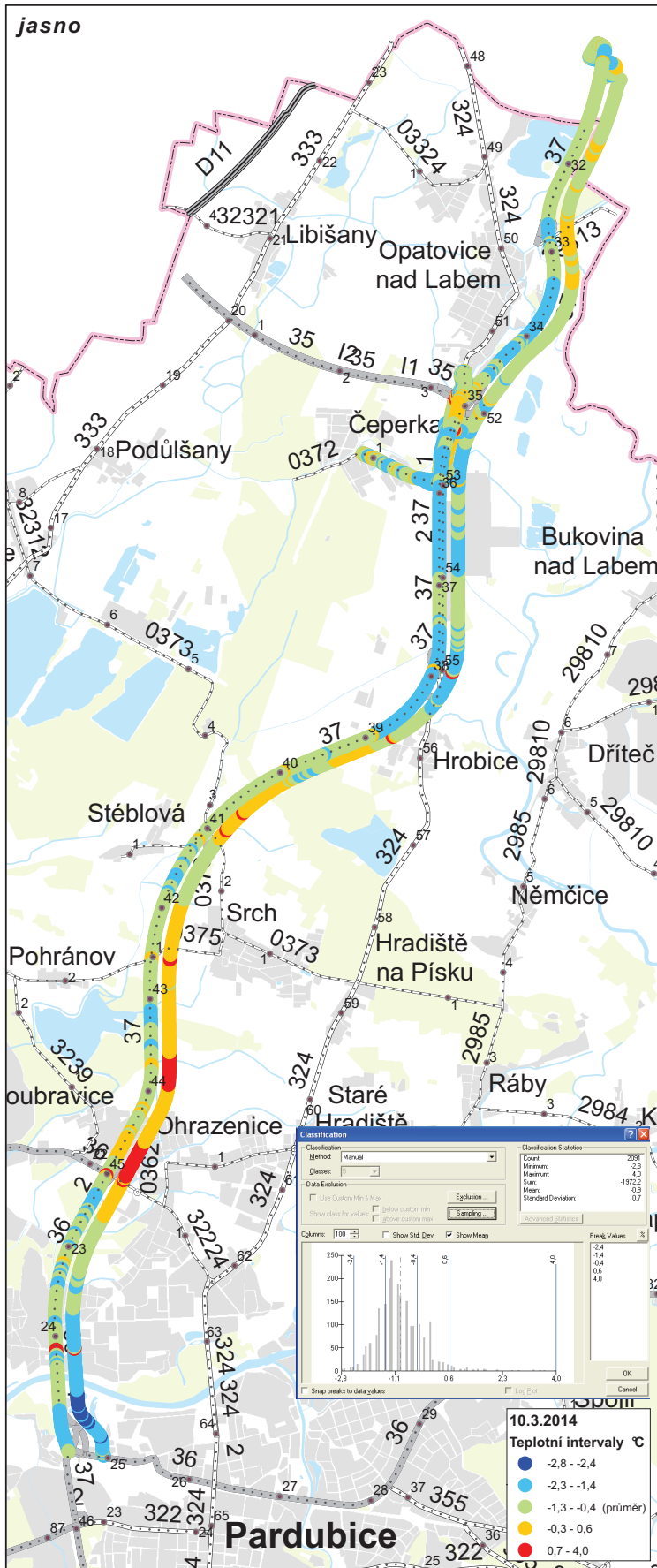
0 1 5 km

© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGMS verze z 1.7.2014)

Komunikace **Staničení** **Ostatní**

- dálnice
- I. třída
- II. třída
- III. třída
- km
- m
- vodní toky
- vodní plochy
- zástavba
- lesy

Mapa č. 3.2.1 - Termální měření ze dne 10.3.2014, 11.3.2014 (generalizace dat)



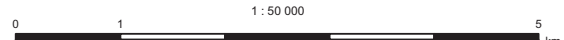
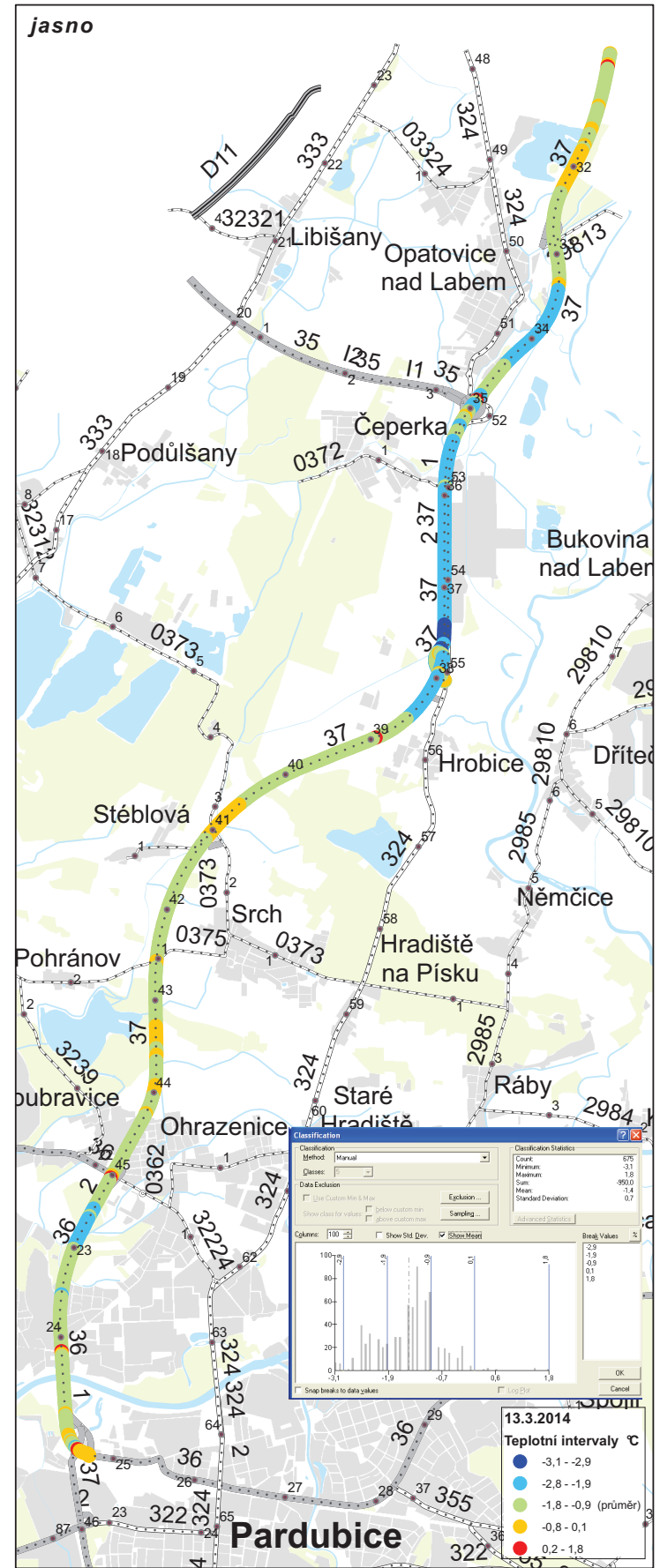
0 1 5 km 1:50 000

© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGMS verze z 1.7.2014)

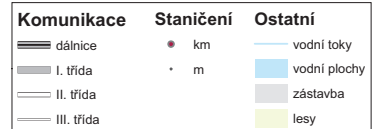
Komunikace **Staničení** **Ostatní**

- dálnice
- I. třída
- II. třída
- III. třída
- km
- m
- vodní toky
- vodní plochy
- zástavba
- lesy

Mapa č. 3.3.1 - Termální měření ze dne 12.3.2014, 13.3.2014 (generalizace dat)



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
 software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGMS verze z 1.7.2014)



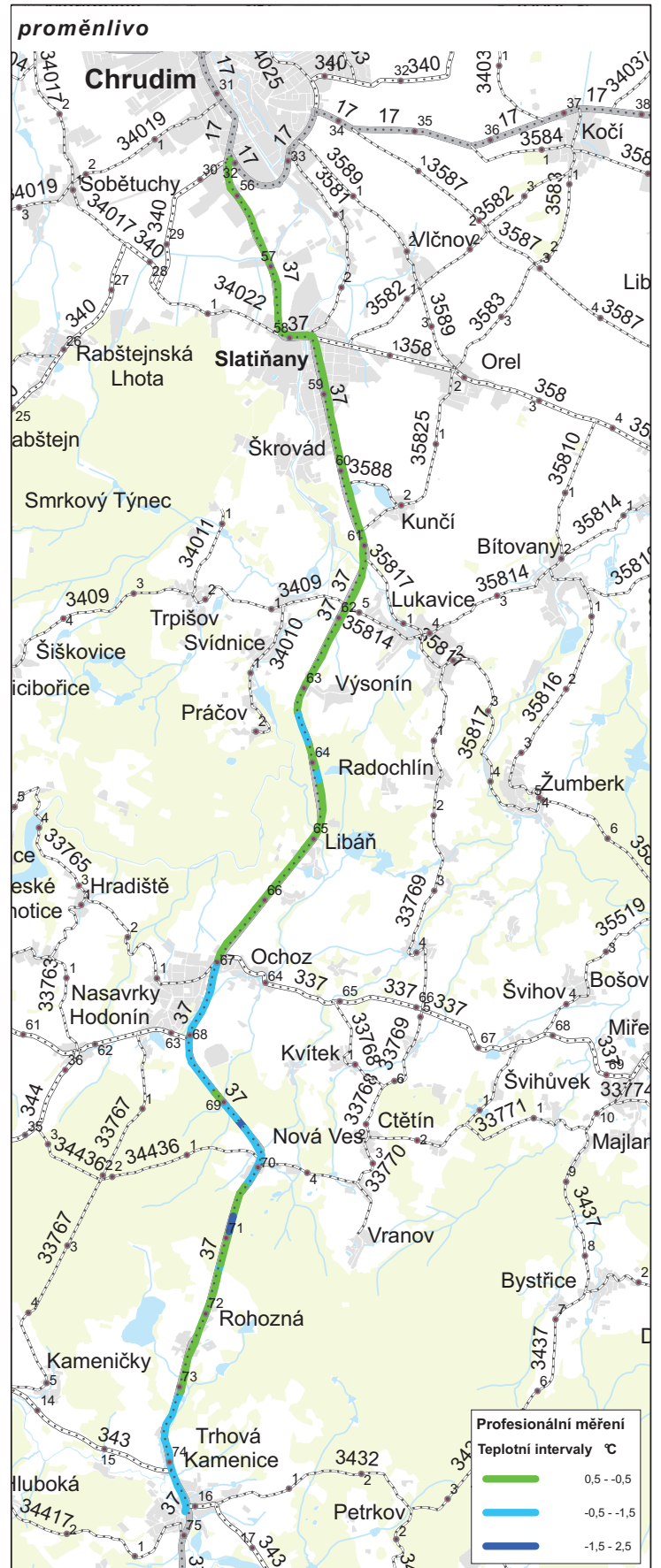
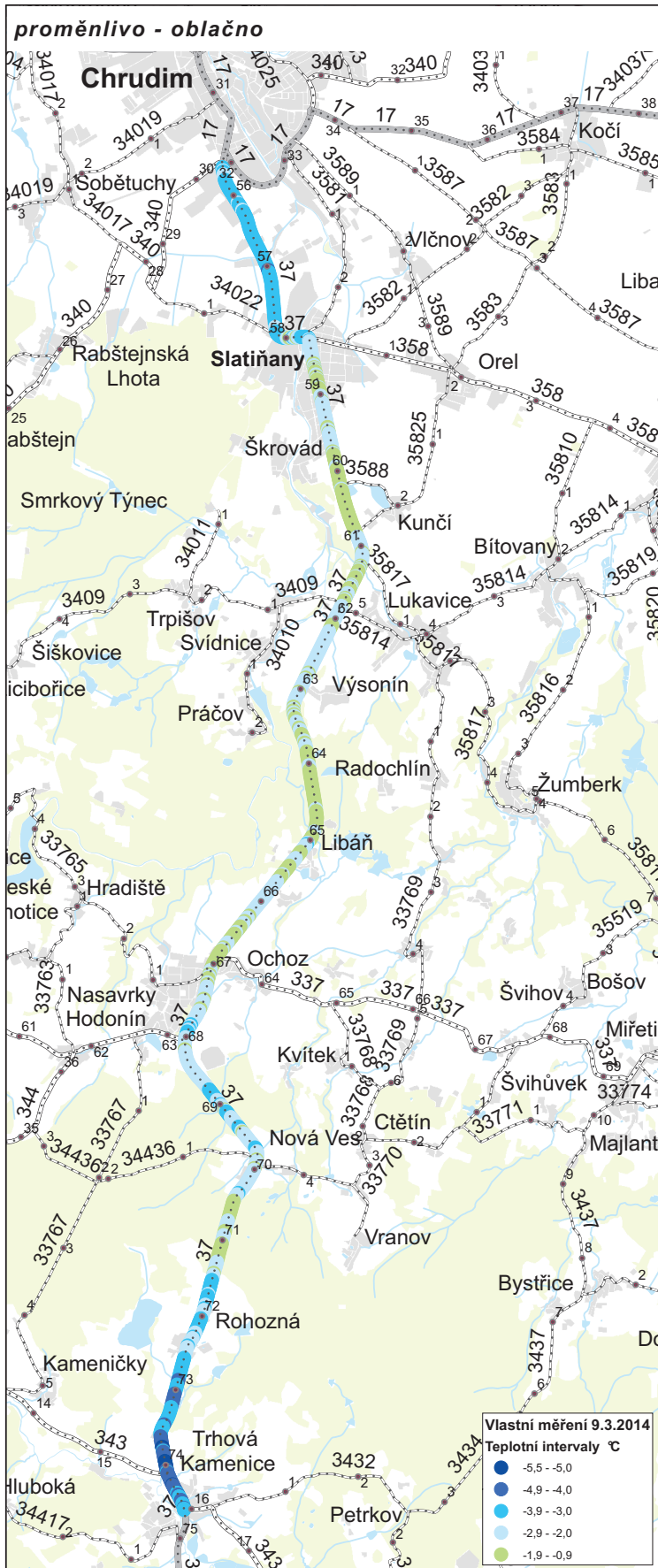
Mapa č. 3.4.1 - Termální měření ze dne 26.3.2014 (generalizace dat)



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data ŘSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

Komunikace	Staničení	Ostatní
dálnice	km	vodní toky
I. třída	m	vodní plochy
II. třída		zástavba
III. třída		lesy

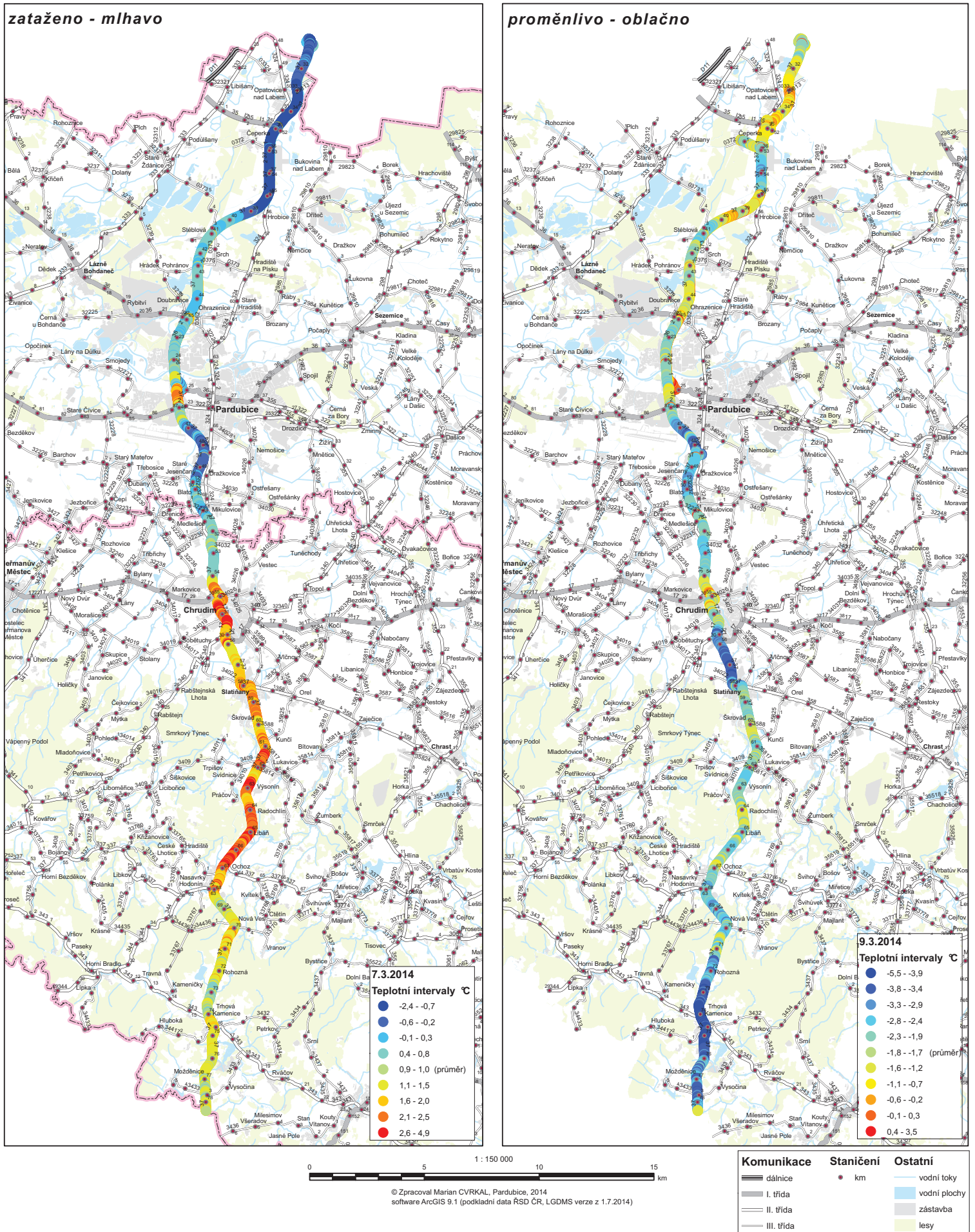
Mapa č. 4.1 - Termální měření (porovnání vlastní / profesionální)



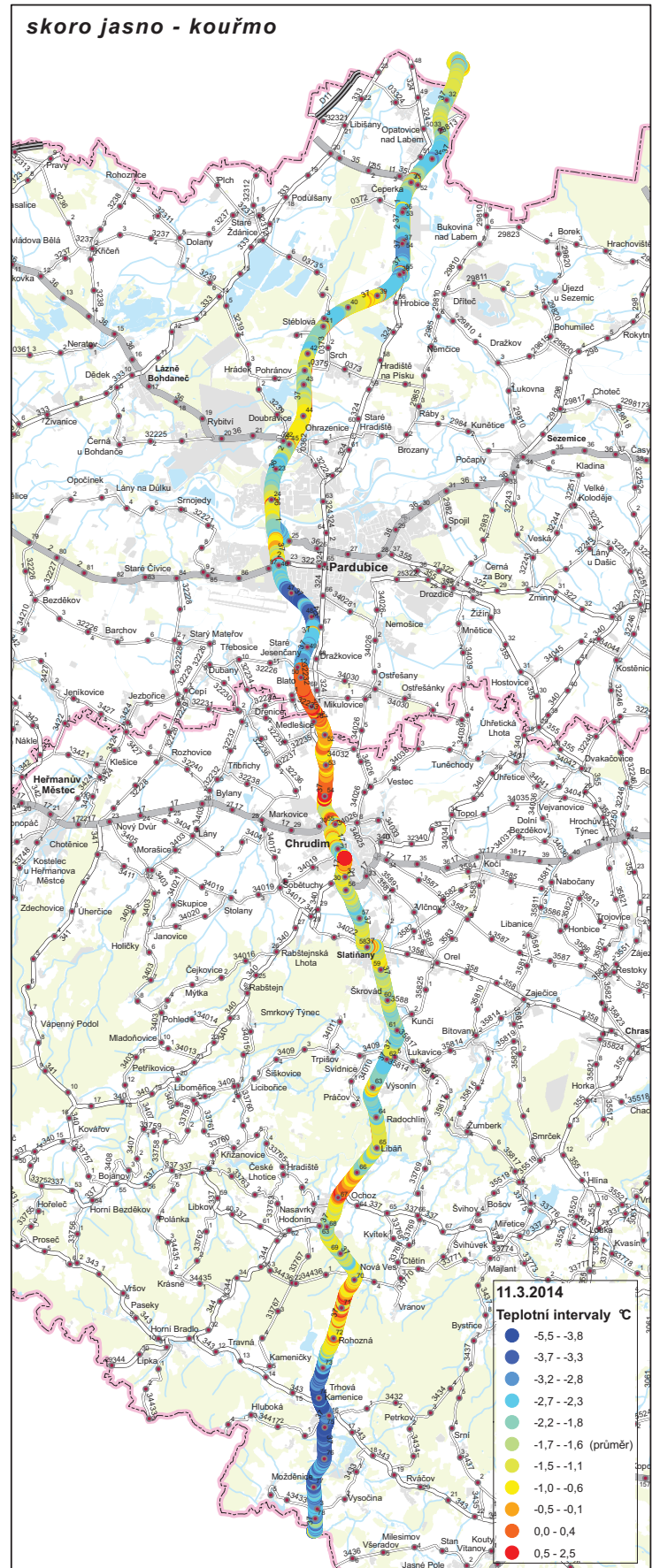
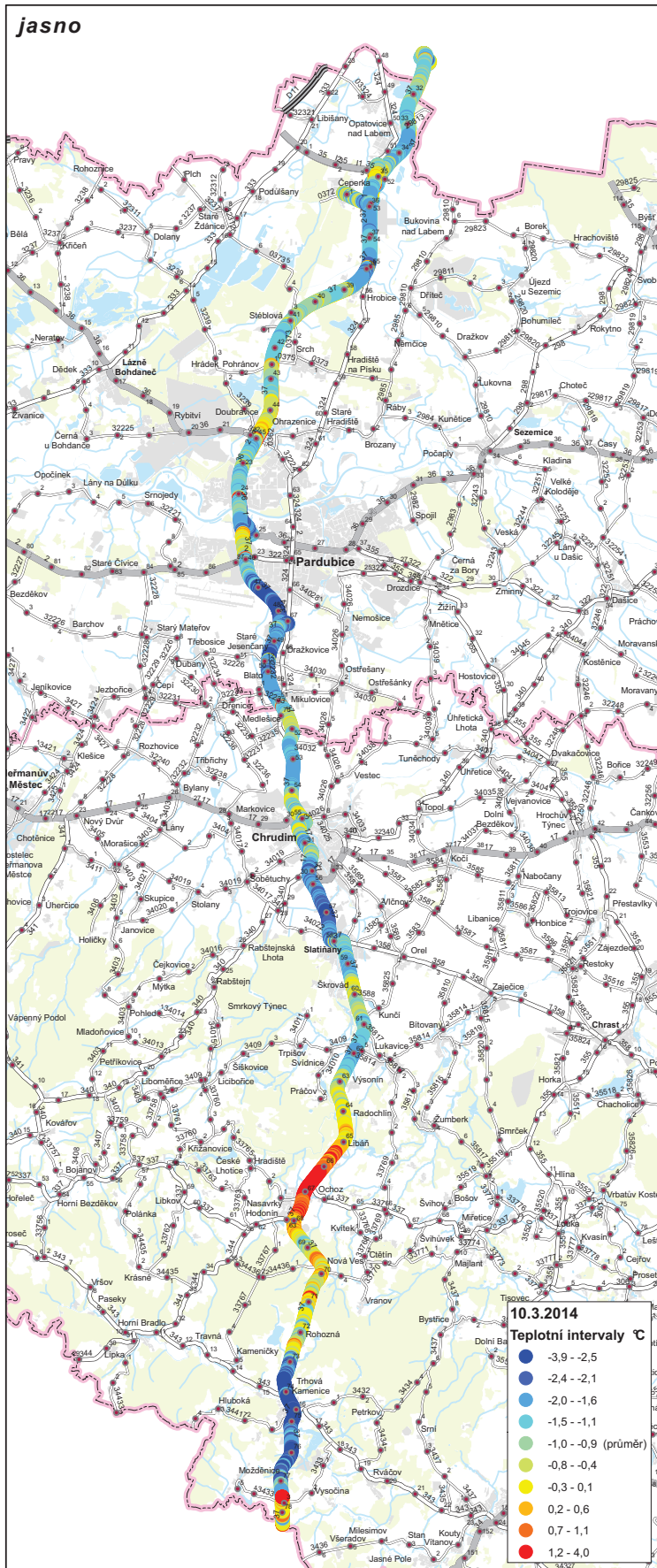
© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)



Mapa č. 5.1 - Termální měření ze dne 7.3.2014, 9.3.2014 (suřová data)



Mapa č. 5.2 - Termální měření ze dne 10.3.2014, 11.3.2014 (surová data)

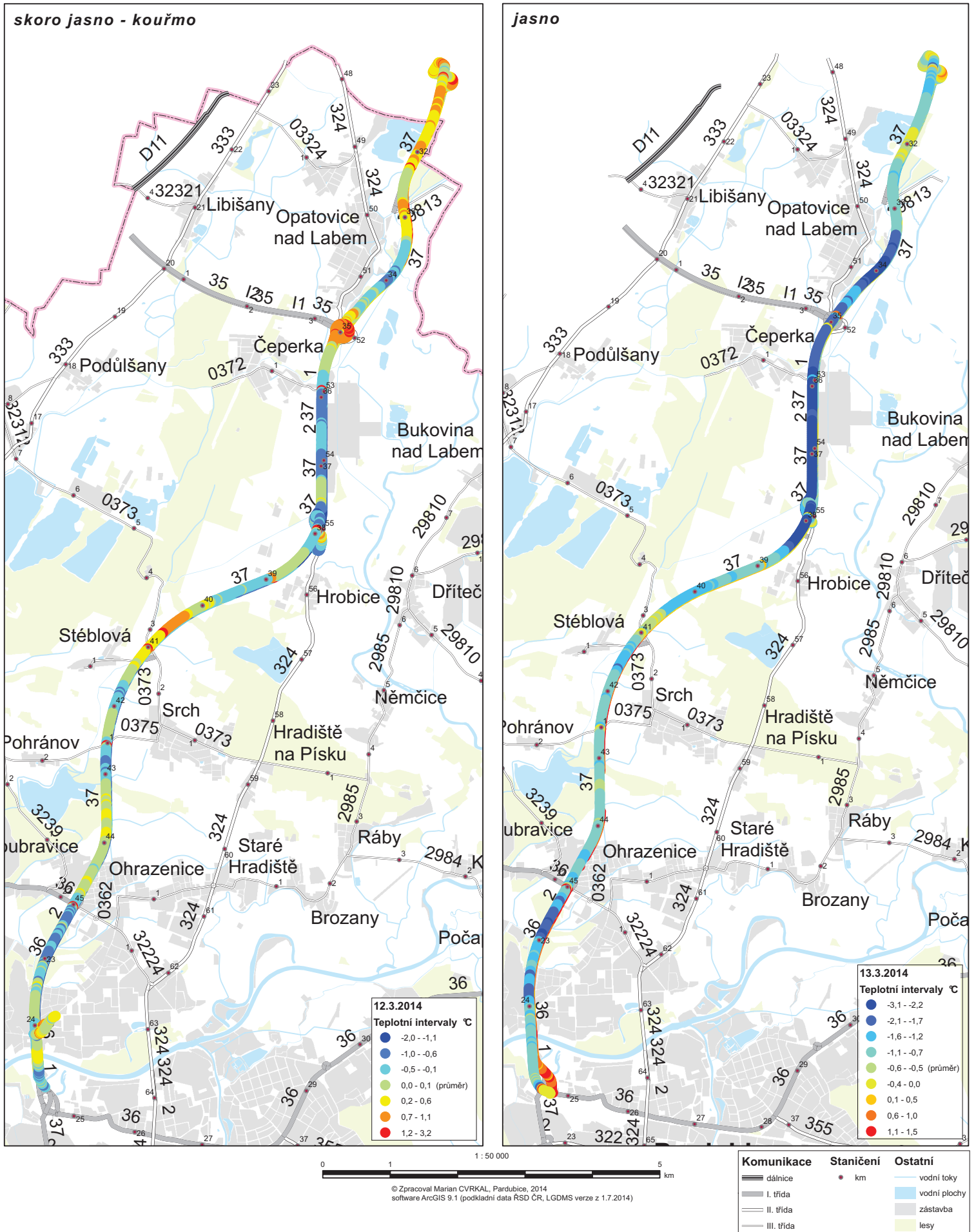


0 5 10 15 km
1 : 150 000

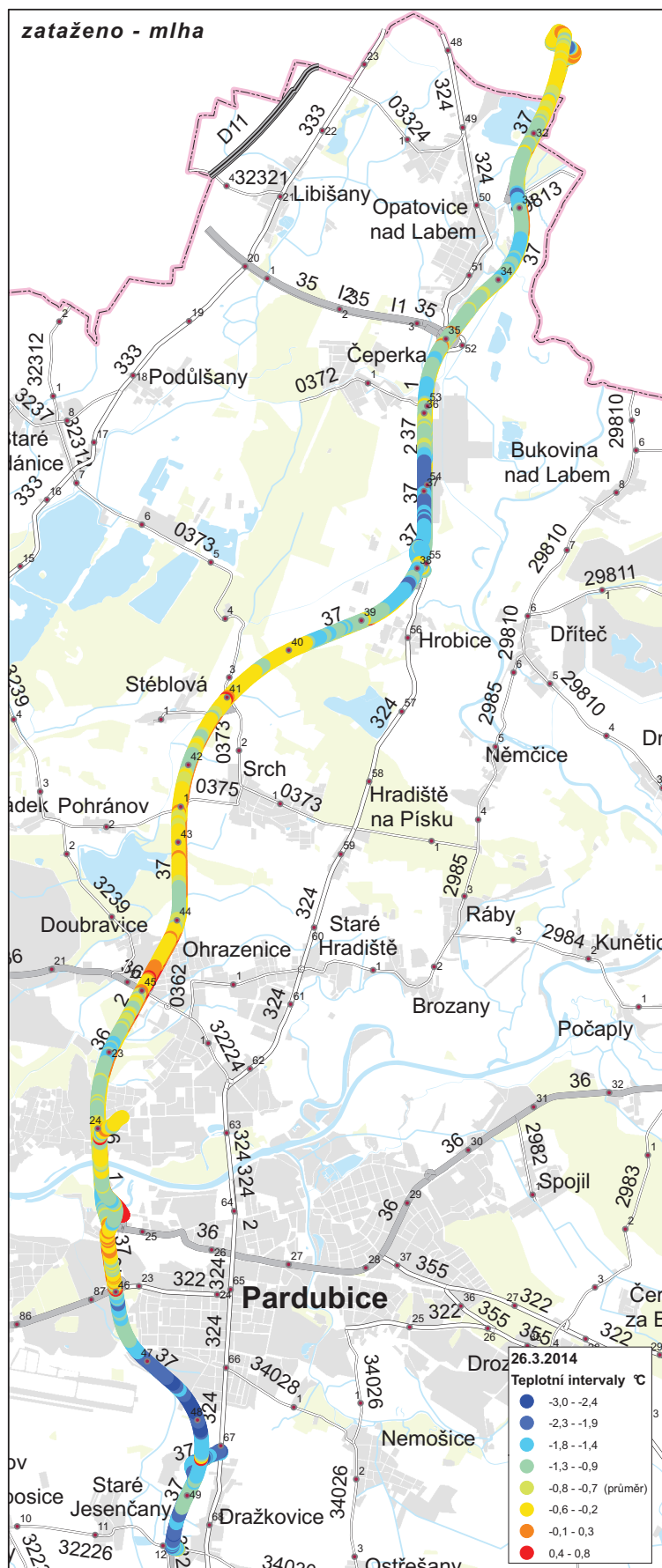
© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

Komunikace Staniční Ostatní
 ——— dálnice ● km ————— vodní toky
 ——— I. třída ————— vodní plochy
 ——— II. třída ————— zástavba
 ——— III. třída ————— lesy

Mapa č. 5.3 - Termální měření ze dne 12.3.2014, 13.3.2014 (suřová data)



Mapa č. 5.4 - Termální měření ze dne 26.3.2014 (surová data)



© Zpracoval Marian CVRKAL, Pardubice, 2014
software ArcGIS 9.1 (podkladní data RSD ČR, LGDMS verze z 1.7.2014)

Komunikace	Staničení	Ostatní
dálnice	km	vodní toky
I. třída		vodní plochy
II. třída		zástavba
III. třída		lesy