Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie

Silniční meteorologie – historie a současnost

Bakalářská práce

Autor práce: Petra Ziková

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Silniční meteorologie – historie a současnost" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.4.2015 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Věře Kožnarové CSc. za cenné informace a tipy při psaní bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat celé své rodině za umožnění studia na vysoké škole a za jejich duševní podporu.

Silniční meteorologie – historie a současnost

Souhrn

Meteorologické prvky, které ovlivňují stav vozovky, působí buď jednotlivě, nebo vzájemnou kombinací a mají významný vliv na bezpečnost provozu. Za hlavní prvky lze považovat teplotu mrznutí, teplotu vozovky, teplotu rosného bodu, směr a rychlost větru.

Pro rozvoj silniční meteorologie je důležitý neustálý vývoj a modernizace silničních informačních systémů a silničních stanic. Speciální pozornost je věnována kapitolám, které popisují silniční informační systémy, silniční stanice a jejich senzory, které poskytují informace, podle nichž se dispečeři rozhodují při detekci stavu vozovky a při předpovědi rizikových situací na silnicích. Data zajišťuje RWIS (Road Weather Information System), který provozuje aktivní a pasivní senzory a ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), který zpracovává a šíří programy jako je např. ALADIN, Meteoalarm a Systém integrované výstražné služby (SIVS).

Častým důvodem vzniku dopravních nehod je kluzkost silnic, kterou způsobují meteorologické jevy jako je námraza, mlha, padající srážky a sníh. Z toho lze usuzovat, že silniční stanice jsou nepostradatelným prvkem v dopravní problematice. Jejich umístění je obtížný a často finančně náročný proces. I přes tyto překážky je možné přesně zjistit a předpovídat nebezpečné situace na silnicích a předcházet tak dopravním nehodám. Nelze opomenout ani technické vybavení stanic a zkušenosti dispečerů, které jsou podstatné v rozhodovacím procesu při údržbě vozovek. Tato práce se proto zabývá popisem meteorologických prvků, které ovlivňují stav povrchu vozovky a přehledem informačních systémů pro silniční meteorologii.

Další důležitou částí práce je kapitola o údržbě vozovek zejména v zimním období. Zahrnuje popis základních technologických postupů a přehled prioritně využívaných informačních systémů pro zimní údržbu.

Klíčová slova: doprava, silniční meteorologie, meteorologická měření, zimní údržba vozovek, silniční informační systémy

Road meteorology – history and present

Summary

Meteorological elements that have a huge impact on road conditions, they usually function both individually and together and they significantly influence the traffic and its safety. Among the main elements, we can mention for example freezing point temperature, road temperature, dew point temperature, wind direction and last but not least the wind speed.

In order to maintain the road meteorology development it is important to keep the constant evolution and modernization of road information systems and road stations. In this thesis, a great emphasis is given mainly to those chapters, which describe road information systems, road stations and their sensors, such programs provide important information, which allow the dispatchers to decide in matters regarding detection of road conditions and forecasting of risk situations on the roads. Data are provided firstly by RWIS (Road Weather Information System), which include active and passive sensors and secondly by CHMI (Czech hydrometeorological institute), which process and control its programs such as ALADIN, Meteoalarm and System integrated warning service (SIVS).

The most common accidents are mainly caused by the slipperiness of roads, which might be seen as an impact of meteorological conditions such as frost, fog, precipitation and snow. From this point of view, road stations are considered to be indispensable elements for "transport issues". However, its location can often be very complicated and sometimes also too expensive. Even though there are some barrier in such a matter, it is possible to exactly predict any hazardous events in order to prevent car accidents. Another crucial element is technical equipment of road stations and experience of dispatchers, which are essential for decision making process regarding safe road maintenance. Therefore this thesis further investigates both list of information systems for road meteorology and the exact description of meteorological elements, which have an impact on the state of majority of road surfaces.

Last but not least, the last chapter puts emphasis mainly on road maintenance especially in the winter period. This part also includes the description of basic technological methods and list of preferably used information systems for winter maintenance purpose.

Keywords: transport, road meteorology, meteorological measurements, winter road maintenance, road information systems

Obsah

1 Úvod **8**

2 Cíl práce **9**

3 Literární rešerše **10**

3.1 Historie výstavby dálnic **10**

3.1.1 Silniční meteorologie 10

3.1.2 Historie 10

3.1.2.1 Historie silniční meteorologie v ČHMÚ 14

3.1.3 Současnost 14

3.2 Faktory ovlivňující měření teploty a stav povrchu **15**

3.2.1 Nadmořská výška 15

3.2.2 Topografie 16

3.2.3 Stínění 16

3.2.4 Omezení turbulence 16

3.2.5 Konstrukce vozovky 17

3.2.6 Tepelný ostrov města 17

3.2.7 Intenzita provozu 18

3.3 Kluzkost vozovek – meteorologické příčiny **18**

3.3.1 Padající a usazené srážky 19

3.3.2 Námraza 20

3.3.3 Mlha a dohlednost 21

3.3.3.1 Tvorba mlhy ve městech 21

3.3.4 Sníh a sněhová pokrývka 22

3.3.4.1 Průmyslové sněžení 23

3.4 Silniční meteorologická stanice **24**

3.4.1 Měřící senzory 26

3.4.1.1 Technologie Lufft 26

3.4.1.2 Technologie Vaisala 27

3.4.1.3 Laserový silniční senzor LRSS 28

3.4.2 Měřené meteorologické prvky 29

3.4.2.1 Teplota mrznutí 29

3.4.2.2 Teplota rosného bodu 29

3.4.2.3 Relativní vlhkost vzduchu 30

3.4.2.4 Teplota vzduchu 30

3.4.2.5 Rychlost a směr větru 32

3.4.2.6 Teplota a stav povrchu 33

3.5 Silniční meteorologické systémy 33
3.5.1 Road weather information system – RWIS 33
3.5.1.1 Senzory v RWIS 34
3.5.2 Český hydrometeorologický ústav - ČHMÚ 35
3.5.2.1 Systém integrované výstražné služby 35
3.5.2.2 Meteoalarm 36
3.5.2.3 ALADIN 37
3.6 Údržba vozovek 40
3.6.1 Informační systémy v zimní údržbě 40
3.6.1.1 Jednotný silniční meteorologický informační systém (JSMIS) 40
3.6.1.2 Meteorologický informační systém (METIS) 41
3.6.1.3 Support system for winter maintenance (SSWM) 42
3.6.2 Příklad informačních systémů zimní údržby 43
3.6.3 Základní technologické postupy zimní údržby komunikací 45
3.6.3.1 Odklízení sněhu pomocí mechanických prostředků 45
3.6.3.2 Posyp inertním materiálem 45
3.6.3.3 Využití chemických rozmrazovacích materiálů 45
3.6.4 Program „COST Action 344“ 46
4 Závěr 48
5 Seznam literatury 49
6 Seznam zkratek 54

1 Úvod

Počasí patří ke skutečnostem, které od pradávna doprovázejí člověka a velice silně ovlivňují jeho činnost a život. Je proto přirozené, že jevy počasí se brzy staly předmětem zkoumání, které od dob středověku sledovalo všeobecný a postupný rozvoj přírodních věd a posléze dospělo k vytvoření dnešní meteorologie.

Jednou z lidských činností, kde se počasí projevuje nejcitelněji, je doprava. Dopravu významně ovlivňují meteorologické situace, při kterých dochází ke změně stavu vozovky a ta se tak stává nebezpečnou. Provoz na silnicích ovlivňují nejen jednotlivé meteorologické prvky, ale také jejich vzájemné působení. Z tohoto důvodu je měření a studium těchto prvků nezbytné.

Zajištěním plynulého a bezpečného cestování pro účastníky silničního provozu se zabývá neustále se rozvíjející obor silniční meteorologie.

Hlavní roli ve vývoji silniční meteorologie a v předpovědi kritických situací, hrají spolehlivé informační systémy s technologicky vybavenými měřicími přístroji a nelze opomenout ani zkušenosti a speciální vyškolení pracovníků silniční údržby. Na základě dat z měřících senzorů se dispečeři rozhodují, jaké postupy zvolí při údržbě vozovek a dále poskytují informace k předpovědi stavu vozovky a počasí pro veřejnost.

Počasí je nestálé a situace na silnicích se může rychle měnit, obzvlášť v zimním období. Při plánování cest je potřeba spoléhat na doporučení silničních informačních systémů. Každý řidič by měl zvýšit opatrnost a dostatečně se věnovat řízení, nejen při nepříznivých situacích.

Díky mnoha odborným studiím, ve kterých byly zjištěny cenné informace, se silniční doprava stává lépe kontrolovanou lidskou činností. Z toho lze usuzovat, že tato oblast meteorologie není jen okrajovou záležitostí a mělo by se jí věnovat více finančních prostředků.

2 Cíl práce

Cílem předložené práce je zpracování literární rešerše, která shrnuje poznatky o počátku rozvoje silniční meteorologie a měření v silniční síti. Jednotlivé kapitoly obsahují podrobnější popis problematiky a dílčími cíli jsou:

- stručné shrnutí historie a současnosti silniční meteorologie,
- charakteristika faktorů ovlivňující měření teploty a stav povrchu vozovky (např. konstrukce vozovky, stínění, nadmořská výška, topografie, tepelný ostrov města),
- popis meteorologických příčin, které významně ovlivňují a způsobují kluzkost vozovek (např. námraza, sníh, mlha, dohlednost),
- popis silniční meteorologické stanice, měřících senzorů a charakteristika meteorologických prvků, které jsou na stanici měřeny,
- přehled významných silničních meteorologických systémů (Meteoalarm, ALADIN, SIVS),
- údržba vozovek s přehledem informačních systémů a základních technologických postupů v zimní údržbě.

3 Literární rešerše

3.1 Historie výstavby dálnic

Obrovský nárůst silničního provozu nastal v druhé polovině třicátých let minulého století. Stávající silniční síť přestala vyhovovat dopravě a vznikaly koncepce dálkových, tzv. národních silnic. Dne 4. listopadu 1938 rozhodla československá vláda o výstavbě dálnice z Prahy do Velkého Bočkova. Projekt řídilo zpočátku Velitelství stavby dálkových silnic a později Generální ředitelství stavby dálnic. V roce 1939 odstartovala výstavba dálnice Praha – Brno – Slovenská hranice. I přes nedostatek pracovních sil a mechanizace se stavební práce rozvíjely velmi nadějně. Bohužel jen do doby, kdy v roce 1942 bylo okupanty nařízeno zastavení stavby. Stavba dálnice pokračovala až po válce. Do roku 1950 se podařilo mnoho dálničních staveb dokončit, ale po tomto roce byla stavba z nezjistitelných příčin zastavena. Řešení vážných dopravních problémů se tak odsunulo do období let mnohem pozdějších.

V polovině šedesátých let dvacátého století nastal další neočekávaný rozmach motorizmu. Vláda schválila v roce 1966 návrh ministerstva dopravy na obnovení výstavby dálnic a 8. září 1967 byla dálniční výstavba znovu zahájena. Celý dálniční tah Praha – Brno – Bratislava byl uveden do provozu v roce 1980 a zároveň došlo ke spuštění prací na ostatních tazích celostátní dálniční sítě. S růstem silniční sítě se zvýšily požadavky na meteorologické informace a začal se rozvíjet obor silniční meteorologie (Hořejší a kol., 2009).

3.1.1 Silniční meteorologie

Silniční meteorologie je poměrně mladý, ale dynamicky se rozvíjející obor, jehož vývoj začal před dvaceti až třiceti lety úzkou spoluprací mezi meteorology a správci silnic. Tento obor meteorologie popisuje a předpovídá aktuální povětrnostní podmínky a jejich vývoj s ohledem na silniční provoz (Sulan et Škuthan, 2008).

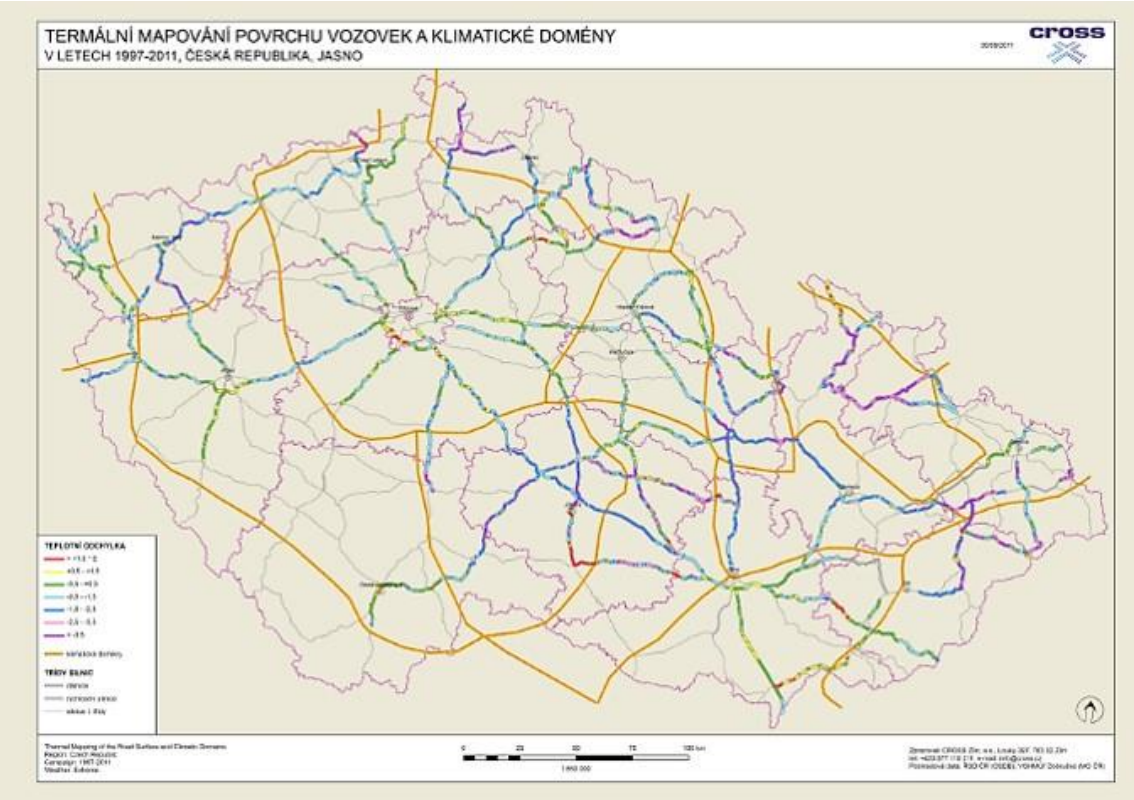
3.1.2 Historie

Významný rozvoj silniční meteorologie nastal v roce 1970 ve Finsku. O deset let později probíhalo testování systému v silniční síti, které bylo velmi úspěšné. V silničním provozu bylo šedesát šest silničních meteorologických stanic a byl použit první mikropočítač na bázi silničního systému (Toivonen, 2002).

Hlavní zdroje dat pochází z Informačních systémů pro stav počasí na silnicích RWIS (Road Weather Information System); první větší rozvoj systému začal ve Finsku, Velké Británii, Švédsku a postupně byl využíván po celém světě. Meteorologická data byla

poskytována pomocí senzorů na silničních stanicích, ovšem senzory informovaly o tvorbě ledu, až když byl přítomen na vozovce. Později došlo k uplatnění metody pro předpověď ledu na silnicích (Ice Prediction Systems), která poskytovala dvaceti čtyřhodinovou předpověď o stavu povrchu a teploty vozovky, tím zlepšila detekci tvorby ledu. Jelikož docházelo k významným rozdílům mezi skutečným měřením a prognózami, byly prognózy často aktualizovány (White et al., 2006).

Technologická revoluce v měření a předpovědi stavu povrchu vozovky nastala v roce 1980 s příchodem moderních technik, jako jsou termální mapování, předpověď náledí a silniční senzory (Perry et Simons, 2003). Rozvoj termálního mapování, tj. mobilní měření vybraných silničních úseků při různých typech počasí, zapříčinilo velký kvalitativní zlom nejen ve vývoji numerických modelů, ale i ve studiu mikroklimatu (Sulan a Škuthan, 2005). Termální mapy s vysokým detailem rozlišují teplotní charakteristiky jednotlivých silničních úseků a měření je prováděno každých 15 m. Termální mapování se využívá k měření teploty povrchu, kdy je na grafu zobrazeno kolísání teploty během noci podél zvolené trasy. Naměřené hodnoty znázorňují grafy, které se nazývají „thermal fingerprints“. Amplituda tepelného otisku zobrazuje kolísání povrchové teploty vozovky oproti průměrné hodnotě a je závislá na povětrností situaci při mapování. Rozdíly v teplotě povrchu jsou více odlišné při stabilních podmínkách (jasné a klidné noci) než v nestabilních podmínkách (oblačno a větrno). Je tedy velmi důležité, aby dispečeři sledovali informace ze všech zdrojů (radarové snímky, grafy tepelných otisků, předpověď počasí, data ze snímačů ve vozovkách) ke správnému a rychlému rozhodnutí při údržbě vozovek. První teplotní mapa vznikla ve Velké Británii v roce 1984. Jejím cílem bylo určit oblasti, které vykazují podobné klimatické podmínky v rámci daných povětrnostních situací (White et al., 2006). Na mapě České republiky je zobrazeno termální mapování povrchu vozovek a klimatické domény (obr. 1). Barevnou stupnicí je vyznačena teplotní odchylka, červená barva označuje nejvyšší teplotu a fialová nejnižší teplotu vozovek. Dále jsou zobrazeny třídy silnic: dálnice, rychlostní silnice a silnice I. třídy.



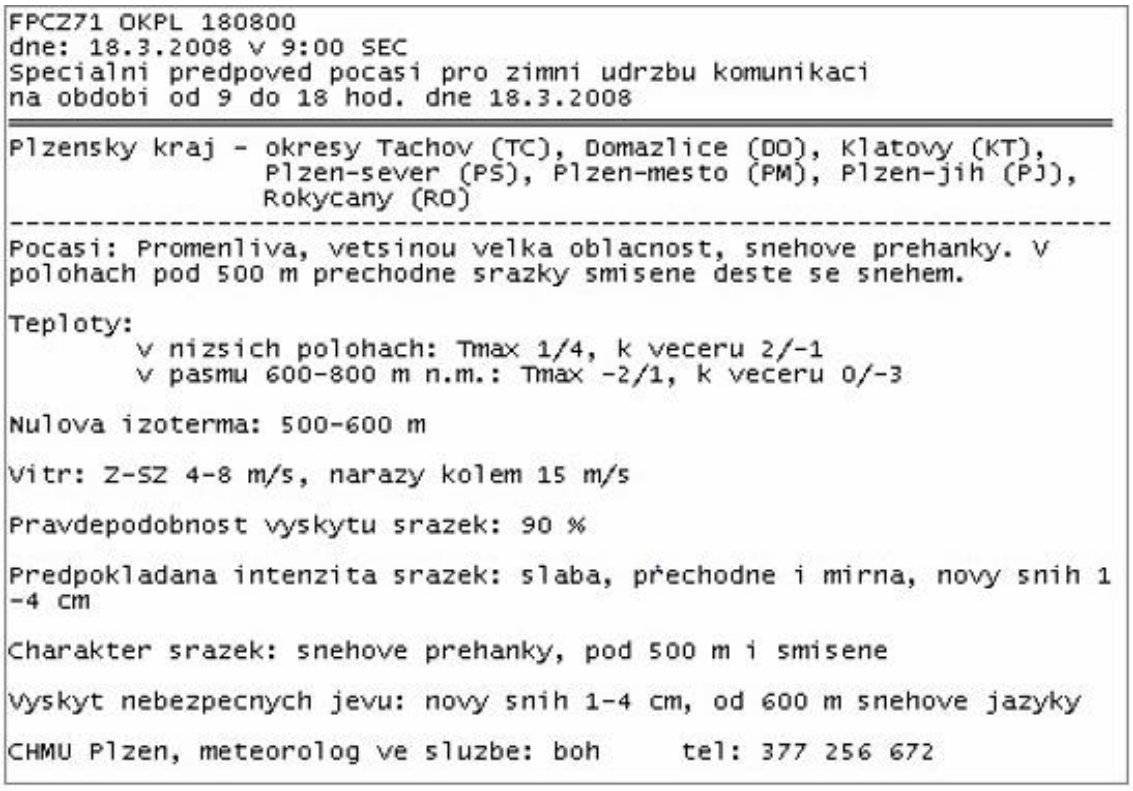
Obr. 1 Zobrazení termálního mapování na území České republiky v letech 1997–2011 (http://www.cross.cz/cs/sluzby/termalni-mapovani-povrchu-vozovek.html)

Významný vliv pro výměnu informací ve sféře silniční meteorologie a navazujících technologií (řízení, údržba, bezpečnost, ochrana životního prostředí, apod.) má volné sdružení SIRWEC. Toto uskupení vzniklo v září 1984 na univerzitě v Birminghamu. Zpočátku měla Standing European Road Weather Commision SERWEC evropský rozměr, v roce 1992 se v rámci 6. konference konané v USA změnilo „E“ v „I“ (International) a SIRWEC se stal celosvětovým subjektem (Sulan a Škuthan, 2005). Česká republika je zde zastoupena pod záštitou Českého hydrometeorologického ústavu od roku 1998 (Sulan et Škuthan, 2008).

V souvislosti s instalací prvních silničních meteorologických stanic a s hospodářskou stimulací v devadesátých letech, došlo k modernímu pojetí meteorologické podpory (Sulan a Škuthan, 2005). První silniční meteorologické kamery se začínají používat ve Finsku v průběhu roku 1992, kdy roste i počet silničních meteorologických stanic. Během zimy 1994/1995 je používáno kolem 200 stanic (Toivonen, 2002).

V zimě 1995/1996 byl představen formát stručných zpráv se specifickými informacemi pro silniční správce, vyvinuté regionálním předpovědním pracovištěm v Ústí nad Labem. Text zprávy byl optimalizován pro prezentaci na televizní obrazovce (obr. 2),

jako teletext. Předpověď byla vydávána každých šest hodin a výměny informací formou telefonických konzultací, byly pravidelné (Sulan et Škuthan, 2008).



```
FPCZ71 OKPL 180800
dne: 18.3.2008 v 9:00 SEC
Specialni predpoved pocasi pro zimni udrzbu komunikaci
na obdobi od 9 do 18 hod. dne 18.3.2008
═══════════════════════════════════════════════════════════════
Plzensky kraj - okresy Tachov (TC), Domazlice (DO), Klatovy (KT),
                Plzen-sever (PS), Plzen-mesto (PM), Plzen-jih (PJ),
                Rokycany (RO)
---------------------------------------------------------------
Pocasi: Promenliva, vetsinou velka oblacnost, snehove prehanky. V
polohach pod 500 m prechodne srazky smisene deste se snehem.

Teploty:
        v nizsich polohach: Tmax 1/4, k veceru 2/-1
        v pasmu 600-800 m n.m.: Tmax -2/1, k veceru 0/-3

Nulova izoterma: 500-600 m

Vitr: Z-SZ 4-8 m/s, narazy kolem 15 m/s

Pravdepodobnost vyskytu srazek: 90 %

Predpokladana intenzita srazek: slaba, přechodne i mirna, novy snih 1
-4 cm

Charakter srazek: snehove prehanky, pod 500 m i smisene

Vyskyt nebezpecnych jevu: novy snih 1-4 cm, od 600 m snehove jazyky

CHMU Plzen, meteorolog ve sluzbe: boh     tel: 377 256 672
```

Obr. 2 Krátkodobá předpověď pro Plzeňský kraj a sedm okresů (Sulan a Škuthan, 2008)

Významnou roli v silniční meteorologii hraje i vývoj numerického modelování v České republice. Při tehdejší omezené výpočetní kapacitě začal v šedesátých letech pozoruhodný vývoj první implementace modelů atmosféry, který provedli žáci profesora Stanislava Brandejse z Karlovy univerzity. Právě nedostatek kvalitních modelů a výkonných počítačů ze zahraničí vedl k útlumu provozování numerických modelů v sedmdesátých letech. I přesto byl v roce 1988 spuštěn lokální numerický model v ČHMÚ. Politická změna v roce 1989 pak umožnila spolupráci s jinými povětrnostními službami v zahraničí, což bylo velmi přínosné pro české odborníky, kteří pracovali na vývoji numerického modelu ALADIN. Model ALADIN byl vyvinut odborníky z více států pod patronací Francouzské povětrnostní služby (Meteó France). Rozvoj výpočetní techniky v devadesátých letech se projevil především ve způsobu využívání numerických modelů v předpovědní praxi. Obrovský vliv v polovině devadesátých let měl nástup internetu, díky kterému mohou být propojeny veškeré informace z meteorologických měření i z měření v silniční síti s výměnou dat ze zahraničí (Král a kol., 2006).

3.1.2.1 Historie silniční meteorologie v ČHMÚ

V roce 1920 vznikl rozhodnutím ministerské rady Československé republiky základ dnešního Hydrometeorologického ústavu. Hlavním cílem bylo zpracovávat, shromažďovat meteorologická pozorování z celé oblasti státu, provádět denní předpovědi počasí a účastnit se mezinárodních výzkumů v oboru meteorologie. Významný byl rok 1969, kdy byla do provozu uvedena observatoř Praha – Libuš, kde se získávají snímky z meteorologických družic a která je součástí mezinárodní radiosondážní sítě. Do provozu byly postupně uvedeny další meteorologické radary (Roth, 2000). V roce 1995/1996 začala předpovědní služba ČHMÚ vydávat čtyřikrát denně speciální výstupy pro zimní údržbu komunikací. Využívání dat ze silničních meteorologických stanic bylo rozvinuto napojením ČHMÚ na server jednotné databáze Ředitelství silnic a dálnic během roku 2004 (Sulan et Škuthan, 2008).

Silniční meteorologie se rozvíjela hlavně na pobočce v Plzni, která od roku 1997 po zprovoznění dálnice D5 Plzeň – Rozvadov provozuje meteorologické zabezpečení zimní údržby. Zpočátku činnost zajišťoval odborný meteorolog v pohotovosti ve večerních hodinách a od zimy 1999/2000 pak dvanáctihodinovými směnami s nepřetržitou službou. Rozšiřovala se spolupráce s krajskými správami údržby a v roce 2002 pobočka získala přístup k informacím ze silničních meteorologických stanic, což vedlo ke zdokonalení služeb.

ČHMÚ pořádá pravidelné školení dispečerů a meteorologů, semináře pro dispečery zimní údržby a prostřednictvím konference SIRWEC spolupracuje s mezinárodní komunitou. Významná je i spolupráce s německou meteorologickou předpovědní službou DWD, která začala v roce 2001 a slouží k vzájemné výměně informací o vydaných výstrahách. Od roku 2007 je ČHMÚ zapojeno do evropského projektu Meteoalarm.

3.1.3 Současnost

Experti Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) a ČHMÚ jsou aktivní v mezinárodní organizaci SIRWEC, kde se výkonný výbor schází jednou za rok a každý členský stát je zastoupen odborníkem na meteorologii a dopravu. Každý druhý rok se koná konference s rozsáhlými tématickými okruhy (Sulan, 2005).

Politické změny v rámci evropského území a pokrok v oblasti informačních technologií otevřel dosud netušené možnosti spolupráce v oblasti silniční meteorologie. Česká republika se od roku 2001 aktivně zapojuje do mezinárodních aktivit příhraniční spoluprací s Německem, Rakouskem i Slovenskem. Tato spolupráce vyústila v unikátní mezinárodní výměnu dat a informací pomocí silničního datového kódu (SH70 – BUFR) a má

kontinuální pokračování v Projektu vzájemné spolupráce středoevropských zemí (Central European Road Weather Information System) CERWIS (Glanc et Škuthan, 2008).

3.2 Faktory ovlivňující měření teploty a stav povrchu

Mezi faktory, které nejvíce ovlivňují teplotu a stav vozovky, patří: nadmořská výška, topografie, stínění, omezení turbulence, konstrukce vozovky, tepelný ostrov města a intenzita provozu. V závislosti na místí topografii, dopravě, stavu počasí a konstrukci vozovky se teplota a stav vozovky mění každý den a noc. Doprava a počasí jsou velmi proměnlivé děje, kdežto konstrukce vozovky a geografie jsou děje stálé (White et al., 2006). Denní režim teploty je ovlivněn převládajícím počasím, které určuje konkrétní dobu maxima, minima a denní amplitudu. Počasí je ovlivněno aktuální synoptickou situací, především přechodem front a pohybem vzduchových hmot. Teplotu povrchu ovlivňují kromě výskytu oblačnosti i další překážky záření, jako jsou terénní úpravy, stromy a zástavba. Jejich působení je pro danou lokalitu trvalé a je vyjádřeno tzv. „sky – view“ faktorem nabývajícím hodnot od 0 (není vůbec vidět obloha) do 1 (sluneční záření dopadá bez omezení). Pro určení „sky – view“ faktoru se používají fotografie typu „rybí oko“ snímající celý poloprostor z pozice silničního senzoru (Sulan a Škuthan, 2005).

„Sky – view“ faktor je vyjádřen poměrem mezi zářením, které povrch přijme a zářením, které povrch vyzáří zpět (Holmer et al., 2001). Závisí na výšce zalesnění a zástavbě, které mohou snížit dopadající sluneční záření, stíněním povrchu vozovky (Perry et Simons, 2003). K nejintenzivnějšímu ochlazení povrchu dochází po západu Slunce, během noci je pozvolné za předpokladu, že není ovlivňováno mlhou, oblačností a zvýšenou rychlostí větru. S východem Slunce a ranní dopravou se povrch vozovky zahřívá a teplota se zvyšuje. Mezi další tři faktory, které jsou významné při změně teploty povrchu, patří radiace, advekce a teplo absorbované v půdě (Postgard et Lindqvist, 2001).

3.2.1 Nadmořská výška

Perry et Simons (2003) uvádějí, že čím je vyšší nadmořská výška, tím jsou nižší hodnoty silniční minimální teploty, což je důsledek poklesů teploty s výškou, která se vyskytuje v normální nestabilní atmosféře. Teplota klesne maximálně o 9,8 ˚C/km, ale častěji jen o 6,5 ˚C/km (White et al., 2006). Povrchové teploty mají v závislosti na nadmořské výšce mnohem větší rozptyl než teploty vzduchu (Sulan, 2012).

3.2.2 Topografie

Topografie je považována za jeden z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují rozdíly teploty povrchu. Místní topografie udává změny teploty vzduchu během jasných a klidných nocí. Za stabilních podmínek způsobuje vrstva studeného vzduchu na povrchu teplotní inverzi, pokud je povrch zvlněný, vrstva studeného vzduchu se pohybuje a dochází ke katabatickému stékání vzduchu a vytvářejí se studené bazény (White et al., 2006). V důsledku vytváření studených bazénů a působením údolních stran svahů byly nejnižší teploty, které se lišily až o 6 ˚C nalezeny v kotlinách a údolích. Podstatný vliv na rozdíly teplot podél vozovky má i advekce studeného vzduchu. Teplota na vozovkách se mezi dnem údolí a vrcholkem kopce lišila o 5–6 ˚C (Bogren et al., 2001). Je tedy důležité, aby účastníci silničního provozu na území s odlišnou topografií věnovali pozornost řízení obzvlášť v zimní období, kdy se teplota vozovky v noci může lišit až o 10 ˚C. Tyto proměnlivé hodnoty způsobují změny stavu povrchu, které se v některých případech stávají pro řidiče nebezpečné (Knollhoff et al., 1998). Vhodné je i sledování teploty vzduchu, jelikož snížením teploty vzduchu o 1 ˚C, dochází k ochlazení povrchu v průměru o 0,4 ˚C (Sulan a Škuthan, 2005).

3.2.3 Stínění

Stínění pomocí zástavby, zalesnění, oblačnosti a dopravy, tedy vším co záření odráží, absorbuje a vyzařuje zpět, snižuje ztrátu tepla z povrchu vozovky a udržuje teplotu. Silnice jsou proto pod mosty, lemované stromy nebo budovami, v noci teplejší než nechráněné silnice (Perry et Simons, 2003). Sulan a Škuthan (2005) dospěli ke stejnému výsledku; vlivem dlouhovlnné radiace bývají místa s nízkým „sky – view“ faktorem v noci teplejší než otevřené lokality.

3.2.4 Omezení turbulence

Nižší hodnoty teploty než v exponovaných lokalitách jsou v místech chráněných před větrem. Hlavně v zalesněných oblastech, kde stromy brání turbulentnímu promíchávání studeného vzduchu u povrchu s teplejším vzduchem ve výšce. Stabilizační efekt lesa je nejintenzivnější při rychlostech 1–2 m/s a méně intenzivní je při rychlostech do 5 m/s (Gustavsson et al., 1998). V zalesněných údolích bývá při slabém proudění a vyjasnění naměřena nejnižší teplota, v důsledku katabatického stékání umocněného stabilizačním efektem vegetačního krytu. Oproti okolnímu terénu může být riziko nebezpečných jevů v lesních úsecích o více než deset hodin prodlouženo, jelikož tam po noci s tvorbou námrazy

přetrvává nebezpečí smyku déle než v otevřené krajině, kde po východu Slunce námraza rychle zaniká (Sulan a Škuthan, 2005).

3.2.5 Konstrukce vozovky

Konstrukční materiál a hloubka tělesa vozovky udávají její tepelné vlastnosti. Akumulované teplo se uvolňuje pomaleji např. na dálnicích, které jsou zapuštěny do větší hloubky než běžné silnice a jsou teplejší (Sulan a Škuthan, 2005). Beton vlivem světlejší barvy a vyšší tepelné kapacity se ohřívá a chladne pomaleji. Naopak porézní asfalt chladne rychleji a dosahuje nižší minimální teploty v souvislosti s rychlejším odvodem vlhkosti z povrchu (Sulan, 2012). Je třeba zvážit i sezonní změny v intenzitě slunečního záření. Dostatečné záření, které je akumulováno ve vozovce z denních vstupů, vyrovnává noční ochlazování hlavně na podzim a na jaře (Perry et Simons, 2003).

Mosty mají „tepelnou paměť“ podstatně kratší a bývají proto chladnější. Příčinou je menší konstrukční hloubka a vyzařování ze dvou povrchů – nahoru i dolů (Sulan a Škuthan, 2005). Termín „tepelná paměť“ se používá pro popis doby, kdy konstrukce vozovky uchovává pohlcené teplo, které získá ze slunečního záření. Tepelná paměť závisí na hloubce konstrukce, použitém stavebním materiálu a na množství přijatého slunečního záření. Některé mosty, zejména nad vodní hladinou, jsou teplejší v důsledku vyzařování na spodní straně mostu z relativně teplé vodní plochy. Naopak ocelové mosty se ochlazují rychleji vlivem jejich vysoké tepelné vodivosti a špatné tepelné izolaci (Perry et Simons, 2003).

3.2.6 Tepelný ostrov města

Efekt městského tepelného ostrova (Urban Heat Island – UHI) je jev pozorovaný ve městech, kde zastavěná plocha může být o několik stupňů teplejší než na předměstí nebo kolem prostoru venkova (Perry et Simons, 2003). Sulan a Škuthan (2005) ve své studii uvádějí, že městské prostředí s blokovými stavbami vytváří možnost pro zachycení záření stagnaci vzduchu. Především v zimě se přidává vliv emisí tepla z antropogenních zdrojů. Intenzita městského tepelného ostrova závisí na velikosti aglomerace, hustotě osídlení a urbanistické morfologii. Efekt je nejvíce patrný při anticyklonálních situacích se slabým prouděním a promícháváním vzduchu ve městě. Městský efekt je nejvíce znatelný po západu Slunce, kdy na venkově dochází k rychlému ochlazování. Vzhledem k účinku proměnlivého větru, teplota na venkově během noci klesá, k maximálnímu rozdílu teploty dochází těsně před východem Slunce a je přibližně 7 ˚C. Proměnlivost povrchové teploty vozovek mezi městem a venkovem je menší než změny teploty vzduchu, maximální rozdíly jsou více jak

4 ˚C a nejvíce znatelné jsou při východu Slunce. To lze vysvětlit skutečností, že teplota vozovek ve městě stoupá dvě hodiny před západem Slunce, zatímco teplota vozovek na venkově stále klesá (Gustavsson et al., 2001).

Chalupecký a Kastner, (2005) uvádějí, že tepelný ostrov vzniká v důsledku umělého aktivního povrchu, který podmiňuje větší akumulaci tepla a menší albedo ve městě a vlivem tepelného znečištění ovzduší z antropogenních zdrojů.

3.2.7 Intenzita provozu

Omezené vyzařování povrchu vlivem stínění karoseriemi vozidel, promíchávání vzduchu znemožňující stagnaci, působení tření pneumatik a tepelného vyzařování motorů, způsobuje, že jsou vozovky s intenzivnějším provozem teplejší než málo frekventované komunikace. Minimální teplota mezi rušnou komunikací a vozovkou bez provozu se může lišit až o 2 ˚C. Rozdíly jsou patrné i mezi jízdními pruhy na dálnicích. V rychlém pruhu, který bývá v noci méně využíván, je teplota povrchu většinou o 0,5 až 1 ˚C nižší než v pomalém. Naopak při větrném počasí u vysokých dálničním náspů je exponovaný pomalý jízdní pruh větrem ochlazován natolik, že teplota povrchu i při intenzivnějším provozu může být nižší než v rychlém pruhu (Sulan a Škuthan, 2005).

3.3 Kluzkost vozovek – meteorologické příčiny

Nepříznivé povětrnostní podmínky způsobují kluzkost vozovek. Norrman, (2000) provedl typizaci kluzkosti (tab. 1).

Tab. 1 Klasifikace kluzkosti (Norrman, 2000)

Typ	Srážky	Teplota	Teplota vozovky	Teplota rosného bodu	Relativní vlhkost	Vítr
déšť n. smíšené sr. na zmrzlý povrch	ano	> 0	≤ 0			
sněžení na zmrzlý povrch	ano	≤ 0	≤ 0			
sněžení	ano	≤ 0	> 0			
sněžení a námraza	ano	≤ 0	≤ 0	> Tvoz		
námraza a snížená dohlednost	ne		≤ 0	> Tvoz	> 94	
námraza po zmrzlé rose	ne		(-0,5) > 0 ≤ 0	(-0,5) > Tvoz(-0,5) Td > Tvoz		
silná námraza	ne		≤ 0	> Tvoz	< 95	≥ Vc
slabá námraza	ne		≤ 0	> Tvoz	< 95	< Vc
sněhové jazyky	ano (-12)	max (-12) < 0			max (-12)< 90	> 8 m/s
Náledí	ano (-3) ne		(-0,5) > 0 ≤ 0	(-3) > Tvoz (-3)	max (-3)> 80	

Velké riziko silniční námrazy a kluzkosti nastává, pokud déšť nebo déšť se sněhem padá na zamrzlý povrch vozovky. Dochází k vyššímu počtu dopravních nehod a tím je provoz vážně ovlivněn. Krátkodobou předpověď kluzkosti poskytuje Systém podpory pro zimní údržbu (SSWM), který vznikl ve spolupráci firem Cross a Klimator (www.cross.cz).

3.3.1 Padající a usazené srážky

Srážky jsou částice, které vznikly v atmosféře nebo na zemském povrchu kondenzací nebo desublimací vodní páry. Srážky můžeme členit podle různých kritérií: podle skupenství na kapalné, tuhé a smíšené, podle místa výskytu na vertikální (padající) a horizontální (usazené), podle místa vzniku na orografické, konvekční či frontální a podle doby trvání na trvalé, přeháňky a srážky občasné (Sobíšek a kol., 1993).

Vertikální (padající) srážky začínají vypadávat z oblaků v okamžiku, kdy jejich hmotnost překoná sílu vzestupnou (unášivou), která je dána silou konvekčních proudů. V atmosféře dochází ke zvětšování velkých částic (kapek i ledových krystalků) na úkor menších. Jsou popsány dva mechanismy: koalescence a difúzní přenos, jejichž výsledkem je zvětšování hmotnosti částic a tím narůstající tíhová síla. Koalescence platí především pro vodní kapičky, kdy dochází k jejich spojování a srážení. Difúzní přenos probíhá zejména ve smíšených oblacích. Existují-li vedle sebe vodní a ledové částice je nad ledem nižší hodnota tlaku nasycené vodní páry. Tudíž přechází vodní pára difúzí z míst s vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací a výsledkem je růst krystalu na úkor kapiček, které se postupně vypařují (Žalud, 2014).

Mezi srážky padající patří: déšť, zmrzlý déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, kroupy, sníh, krupky, sněhové krupky a zrna. Rosa, zmrzlá rosa, jinovatka, jíní, průsvitná námraza, námraza a ledovka patří ke srážkám usazeným (Kopáček a Bednář, 2005).

Sulan (2012) uvádí, že tloušťka vrstvy vzduchu s teplotou nad 0 ˚C nad povrchem vozovky je důležitým ukazatelem pro podobu vertikálních srážek. Ve vrstvě vzduchu 200 m dochází k částečnému tání srážek a na zem dopadají jako smíšené srážky. K úplnému tání dochází ve vrstvě v teplotním profilu 400–600 m, kde se všechny srážky mění v déšť. Vrstva silná 200–300 m s teplotou pod 0 ˚C působí namrzání kapek a na povrch dopadá odskakující zmrzlý déšť nebo krupky. Srážky v jakékoliv formě mají zásadní vliv na tvorbu kluzkosti na vozovkách, protože snižují tření mezi pneumatikami a vozovkou. Riziko dopravních nehod se při srážkách zvyšuje (Eriksson, 2001). Situace s vysokým rizikem dopravních nehod se vyskytuje nejčastěji v případech, kdy teplota vzduchu je nad bodem mrazu a srážky padají na zmrzlou vozovku (Gustavsson et al., 2001).

3.3.2 Námraza

Námraza vzniká sublimací, desublimací vodní páry, usazováním přechlazených vodních kapiček v oblacích, na předmětech a jejich mrznutím. Usazování a tvar námrazy ovlivňují především meteorologické prvky: vlhkost vzduchu, teplota vzduchu a rychlost větru (Podzimek, 1959). Kritická rychlost větru 1–2 m/s se používá pro odlišení silné a slabé námrazy.

Optimální podmínky pro výskyt námrazy nastávají, pokud je teplota povrchu vozovky nižší než teplota rosného bodu a je pod hodnotou 0 °C.

Rozlišují se dva hlavní typy synoptických situací s tvorbou námrazy na vozovkách:

- advekce teplého vzduchu s vysokým obsahem vlhkosti nad prochlazený povrch (teplota vzduchu stoupá rychleji než teplota povrchu, projevuje se významně i expozice lokality vůči převládajícímu větru); tvorba námrazy je intenzivní,
- prudký večerní pokles teploty při vyjasnění za předpokladu, že povrch se ochlazuje rychleji než vzduch; většinou se tvoří jen slabá námraza.

Tvorba námrazy je ovlivněna místními podmínkami, které se projevují přetrváváním námrazy v chladnějších a před větrem chráněných lesních úsecích, rychlejším ochlazováním mostů a drsností vozovky. Stupeň drsnosti vozovky je faktor, který zmírňuje nebezpečí smyku na silnicích (Sulan a Škuthan, 2005).

Nebezpečným faktorem pro řidiče je náhlý výskyt námrazy při ranní dopravní špičce, který vyvolává turbulence při zvýšeném provozu. Promíchání vzduchu dodá k povrchu takové množství vodní páry, které po depozici na studeném povrchu sníží tření pod kritickou mez (Sulan, 2006). Pokud koeficient tření klesne pod hodnotu 0,2, dochází ke kluzkosti povrchu (Norrman, 2000).

Námraza se dělí do čtyř skupin: námraza krystalická, námraza zrnitá, průsvitná námraza a ledovka:

Námraza krystalická je tvořena ledovou usazeninou ve tvaru jemných jehel a vzniká při teplotách nižších než – 8 ˚C.

Námraza zrnitá se vytváří jako bílá usazenina ozdobená krystalky ve tvaru větviček, složených z ledových zrnek, které jsou oddělené vzduchovými mezerami. Vzniká při teplotách mezi – 2 ˚C až – 10 ˚C rychlým zmrznutím přechlazených vodních kapek mlhy.

Průsvitná námraza vzniká jako hladká kompaktní usazenina ledu s drsným povrchem a vytváří se pomalým mrznutím kapek mlhy, při teplotách mezi – 3 až 0 ˚C.

Souvislá průhledná ledová usazenina s hladkým povrchem, která se tvoří zmrznutím přechlazených kapiček, jejichž teplota je mírně pod 0 ˚C se nazývá ledovka. Často je průvodním jevem mrznoucího mrholení a deště, kdy vzniká při teplotě vzduchu od 0 do 3 ˚C (Sobíšek a kol., 1993).

3.3.3 Mlha a dohlednost

Vodní pára v atmosféře kondenzuje a vznikají ledové krystalky a vodní kapičky, které se ve vzduchu vznášejí (Bednář a Kopáček, 2005). Promíchání vlhkého, teplého vzduchu se studenějším vzduchem nebo kontakt teplého, vlhkého vzduchu s chladným zemským povrchem jsou určující pro vznik mlhy. Při těchto jevech dochází k ochlazování, které vede ke kondenzaci vodní páry (Roth, 2000).

Přítomnost mlhy na silnicích je nebezpečný faktor, jelikož ovlivňuje dohlednost (tab. 2), teplotu povrchu a je významným zdrojem vlhkosti pro námrazu. Je důležité sledovat předpověď mlhy, kterou lze kontrolovat díky množství kamer a dohledoměrů v silničních stanicích**.**

Nástroj pro předpověď mlhy, tzv. „Fog point“, pracuje s polední sondáží, která je umístěna proti směru proudění a ve stejné vzduchové hmotě jako sledované území. Sledují se různé situace; pokud klesne minimální teplota (Tm) pod teplotu rosného bodu (Td), mlha se může tvořit. Naopak pokud bude Tm > Td, mlha by se tvořit neměla. Tvorba mlhy je také ovlivňována rychlostí větru (při rychlosti větší než 7 m/s se mlha netvoří), znečištěním vzduchu, vlhkým povrchem, tvorbou jíní a slunečním zářením (Sulan, 2012).

Tab. 2 Intenzita mlhy (Sobíšek a kol., 1993)

	Intenzita	**Dohlednost**
0	**slabá**	500 m a více, ale méně než 1000 m
1	**mírná**	200 m a více, ale méně než 500 m
2	**Silná**	50 m a více, ale méně než 200 m
3	**velmi silná**	méně než 50 m

3.3.3.1 Tvorba mlhy ve městech

Vznik a trvání mlhy ve městech ovlivňují antropogenní faktory především doprava, průmysl a úbytek zeleně. Chalupecký a Kastner (2005) uvádějí hlavní faktory ovlivňující tvorbu mlhy ve městech. Lze je rozdělit do 3 skupin:

1. Faktory, které napomáhají vzniku mlhy:
    - znečištění ovzduší – hlavně v průmyslových oblastech. Kondenzační jádra (popílek, kouř) vznikají vlivem vyšší koncentrace atmosférických aerosolů antropogenního původu.
2. Faktory, které znesnadňují vznik mlhy:
    - městský tepelný ostrov a jeho efekt – výskyt mlhy se v centru města snižuje, vlivem suššího a teplejšího klimatu,
    - relativní vlhkost vzduchu – vlivem nižšího obsahu vodní páry je znesnadněna tvorba kapiček mlhy.
3. Faktory, které mohou mít negativní i pozitivní vliv na tvorbu mlhy:
    - povětrnostní situace,
    - rychlost větru – hlavně ve středu města při malých rychlostech větru,
    - topografie povrchu.

Pro zkoumání rozdílů tvorby mlhy v centru města a v periferních oblastech byl použit soubor denních dat za období 1961–2001 ze dvou stanic umístěných na území Prahy. Z periferní oblasti byla vybrána stanice Praha – Ruzyně a z centra města stanice Praha – Karlov. K vyhodnocení studie byla použita následující data: teplota a vlhkost vzduchu v termínech 7, 14 a 21 hodin, průměrná denní rychlost větru a výskyt mlhy. Z analýzy dat vyplývá, že výskyt mlhy na okraji a v centru města je podstatně odlišný. V centru města se výskyt mlhy rapidně snižoval vlivem vyšší teploty a nižší vlhkosti vzduchu. Na rozdíl v periferní oblasti byl pokles výskytu mlhy mírný (Chalupecký a Kastner, 2005). Účastníci silničního provozu by měli sledovat předpověď mlhy nejen ve městě, ale i v jeho okolí.

3.3.4 Sníh a sněhová pokrývka

Typické sněhové vločky a hustý sníh padají nejčastěji v zimním období při teplotě kolem 0 ˚C. Při nižších teplotách je sněžení méně vydatné (Roth, 2000).

Sněhová pokrývka vyzařuje dlouhovlnnou radiaci a odráží krátkovlnné sluneční záření, výsledkem jsou nižší teploty povrchu sněhu a ochlazování přilehlých vrstev vzduchu. Pokud sníh dopadá na povrch s teplotou nad 0 ˚C a při tání sněhu, dochází k ochlazení povrchu vozovky až o 3 ˚C. V důsledku ochlazení vozovky se tvoří náledí, které může být příčinou dopravních nehod (Sulan, 2012).

Dalším nebezpečným dopravním faktorem jsou sněhové závěje, které se tvoří po přechodu studené fronty i před přechodem teplé fronty tlakové níže. Hlavní vliv na tvorbu sněhových překážek má: utváření terénu, vítr, sněhové srážky, stáří i vlastnosti sněhové

vrstvy. Příznivá situace je v případě sněžení u teplé fronty, zvyšuje soudržnost sněhu a zabraňuje tak jeho šíření větrem (Hrudička, 1937).

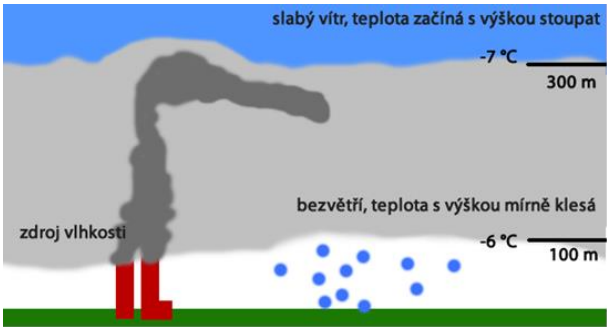
Sulan (2005) uvedl kritéria, při nichž vznikají sněhové jazyky:

- kritická rychlost větru 8 m/s,
- dostatečně sypký sníh,
- relativní vlhkost pod 90 %,
- teplota minimálně 12 hodin pod 0 ˚C.

Velmi nebezpečné jsou i sněhové bouře. Spojuje se při nich účinek silného větru, sněhu a mrazu. Dochází k významnému snížení dohlednosti (tzv. bílá tma) a mohou zcela ochromit veškerou dopravu, stejně jako celá města a aglomerace.

3.3.4.1 Průmyslové sněžení

Blízkost tepelných a vlhkostních zdrojů (obr. 3) se stagnující nízkou oblačností, která se tvoří při inverzích, je častou příčinou vypadávání drobného sněžení.



Obr. 3 Schéma zobrazující vznik a průběh průmyslového sněžení v nízké oblačnosti (http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/prumyslove-snezeni/)

Ke konvekci dochází vlivem nočního radiačního ochlazení horní vrstvy oblaku. V blízkosti zdroje vlhkosti přechlazené kapičky v přesyceném oblaku (stratu) krystalizují a vypadnou jako průmyslový sníh. S výškou roste koncentrace přechlazených kapek a při teplotě – 7 ˚C dochází k jejich mrznutí v horní oblačné vrstvě.

Drobné sněžení trvá kolem 0,5 hodiny, není rovnoměrně rozložené po postižené ploše a jeho vrstva je většinou 1–2 mm. Příznivé podmínky pro výskyt sněžení:

- vertikální mohutnost stratu je minimálně 200 m,
- základna stratu je 0–150 m nad povrchem,
- nad stratem musí být jasná obloha,
- vysoká vlhkost při povrchu, deficit rosného bodu do 1 ˚C.

Vlhký a teplý vzduch z průmyslových zdrojů snadno stoupá vzhůru až do výšky 300 m, kvůli inverzi dál nestoupá a vytváří se drobné sněhové vločky. Sněžení se vyskytuje v určité vzdálenosti od zdroje vlhkosti a je ovlivněno prouděním vzduchu nad nízkou oblačností. Průmyslové sněžení je většinou noční jev a končí po východu Slunce, kdy teplota stoupá. V horní vrstvě oblačnosti dochází k pohlcení slunečního záření po východu Slunce, které vede k oteplování a stabilizaci a to snižuje přesycení (Liechti, 2004).

3.4 Silniční meteorologická stanice

Speciální měření stavu povrchu vozovky, teploty pod povrchem i klasických meteorologických prvků jsou důležitá pro rozhodovací procesy dispečinků i pro vstupy do předpovědí. Měření je nejefektivnější v reprezentativních oblastech a v místech s vysokým výskytem nebezpečných jevů. Budují se velmi husté sítě silničních stanic, v České republice bylo vystaveno 250–300 stanic a ve Švédsku kolem 600 stanic (Sulan a Škuthan, 2005).

V České republice je významným výrobcem firma Cross Zlín, která vyrábí silniční meteostanice CrossMet. Silniční stanice (obr. 4) obsahuje řídící jednotku, ke které je možné připojit různé senzory.

Obr. 4 Silniční meteorologická stanice (http://www.cross.cz/en/references/meteorological-systems.html)

Silniční senzor, který neustále snímá povrch vozovky a vyhodnocuje jeho stav je základním prvkem stanice. Může být zapuštěn v hloubce 5 cm až 30 cm pod povrchem vozovky. Z měřených údajů je analýzou stanoveno varování před situacemi, které ohrožují

silniční dopravu. Aktuální dění na silnici zachycuje kamera, která je na stanici umístěna nejčastěji pod senzorem pro měření rychlosti větru, který se nachází nejvýše na stanici. Senzory měřící dohlednost, radiaci, teplotu rosného bodu a srážkoměr jsou usazeny níže. Klasická meteorologická stanice, ve které je uložen tlakoměr, vlhkoměr a teploměry (vlhký, suchý, minimální a maximální) je lokalizována ve 2 m nad povrchem. Nejníže je obvykle umístěn senzor pro měření výšky sněhu. Jako zjednodušenou alternativu k plnohodnotným meteorologickým stanicím vyvinula firma Cross meteostanici CrossMet Lite. Stanice může být situována do městského prostředí a její hlavní výhodou jsou nízké náklady na instalaci a provoz. V Praze bylo v roce 2010 instalováno celkem 28 silničních meteostanic CrossMet Lite, stanice jsou umístěny na místech obvyklých meteorologických obtíží i na dopravně kritických místech. Některé stanice monitorují i významné silniční mosty, např. Barrandovský most (www.cross.cz).

Silniční stanice získávají informace z měření senzorů bez časových prodlev a včasné informace o vzniku kritické situace, které minimalizují počet kontrolních jízd dispečerů. Podrobné informace jsou zobrazovány formou grafu (obr. 5) a dispečeři mají aktuální údaje o: rychlosti větru, směru větru, množství srážek, teplotě vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, teplotě rosného bodu, teplotě povrchu vozovky, teplotě 5 cm pod povrchem vozovky, teplotě 30 cm pod povrchem vozovky, dohlednosti, intenzitě záření a o stavu povrchu vozovky (http://www.changroup.cz/changroup/silnicni-meteorlogie)

Obr. 5 Zobrazení hodnot ze silniční meteorologické stanice v grafu (http://www.changroup.cz/changroup/silnicni-meteorologie)

Proměnné dopravní značky slouží k signalizování nebezpečných stavů zhoršujících sjízdnost vozovky, např. při dešti a náledí upozorňují na možnost vzniku smyku.

3.4.1 Měřící senzory

V České republice se nejvíce využívají dva typy měřících senzorů; Cross Zlín dodává technologii Vaisala především pro dálniční síť a firma Changroup – Sokolov obstarává technologii Lufft. Oba senzory měří elektrochemicky koncentraci roztoku soli a výšku vodního filmu. Z naměřených hodnot vypočítají teplotu mrznutí, která dále slouží pro alarmová hlášení. Technologie Vaisala i Lufft se uměle nechladí ani nezahřívají, patří tedy mezi pasivní senzory. Liší se ve způsobu měření výšky vodního filmu, Lufft ji měří mikrovlnným zářením (využitím radaru) na rozdíl od snímače Vaisala, která využívá optickou cestu (Sulan, 2012).

3.4.1.1 Technologie Lufft

Senzor Lufft (obr. 6) obsahuje dvě elektrody v mističce, které měří koncentraci slaného roztoku. Teplotní čidlo využívá jako jednu z elektrod pro multifrekvenční měření znečištění (cizorodé látky v roztoku).

Obr. 6 Senzor Lufft IRS21 – UMB (http://blog.lufft.com/en/product-development-is-never-ending/)

Nové typy senzorů (IRS31) mají elektrody zapuštěné na povrchu a miska chybí. Další součástí senzoru je přijímač a vysílač mikrovln, který rozlišuje led, sníh, krystalky jíní a měří výšku vodního filmu. Senzor slučuje stavy (sníh – jíní – namrzající vlhkost – slaný roztok) do jednoho a deklaruje ho, jako „možnost namrzání“. Pokud je výška vodního filmu malá (pod 0,3 mm), jedná se o stav „zbytková sůl“ s malým množstvím vlhkosti, které není kluzké. Alarm hlídá stav vlhkosti, teplotu mrznutí a zároveň varuje, pokud je málo nasoleno. Pokud nastane situace s nízkou podpovrchovou teplotou a tajícím sněhem, senzor může hlásit „možnost namrzání“, což je problematické, protože pro senzor není důležité, co je na povrchu, ale zda je to kluzké. Ke zjištění přítomnosti sněhu je nutná staniční kamera nebo dostatečná

předvídatelnost. Lufft je oblíbený, protože je vyměnitelný (je vsazen do pouzdra) a obstál v mnoha testech. K dostání je i na trhu v Kanadě a USA.

Stanice instalované firmou Changroup mají umístěné senzory uprostřed jízdních pruhů a externí teplotní čidla mají postranní průchodky pro kabely zapuštěné do hloubky 5 a 30 cm pod povrchem (Sulan, 2012).

3.4.1.2 Technologie Vaisala

Senzor Vaisala (obr. 7) je tvořen ze speciální hmoty, vlastnosti má podobné s materiálem vozovky a je instalován jednorázově zalitím speciální hmotou do povrchu. Nevýhodou je občasné odfrézování senzoru při údržbě vozovky, což je finančně náročné. Čidlo pro měření teploty vyúsťuje jako kolečko, vlevo na horní plošce senzoru a je nejspolehlivější částí všech typů senzorů. Vpravo od čidla pro měření teploty jsou dvě páskové elektrody, mezi kterými je měřena vodivost roztoku soli. Mezi elektrodami vyúsťují tři optická vlákna různé tloušťky. Prostřednictvím vláken se vysílá infračervený paprsek. Dvě sousední vlákna měří odrazy od horní hranice vodního filmu v rozsahu do 4 mm (vhodná vrstva pro aquaplaning). Měření do 1 mm je pro stanovení teploty mrznutí kritické. V důsledku roztažení solanky provozem a současně padajících srážek se roztok ředí a teplota mrznutí kolísá a roste (sypače opakovaně projíždí vozovku). Další sada páskovým elektrod, která měří kapacitanci (charakteristika, která se liší u pevných povrchů ledu, námrazy a sněhu) je umístěna vpravo od optických vláken. Čidlo měřící teplotu v 5 cm pod povrchem je lokalizováno na spodní straně senzoru.

Obr. 7 Senzor Vaisala umístěn v silniční síti (Sulan, 2012)

Některé stanice mají další externí senzor na teplotu v hloubce 30 cm. Cílem technologie Vaisala je detekce stavu povrchu při kontaktu s pneumatikou, proto jsou senzory umístěny většinou ve stopě kol (Sulan, 2012).

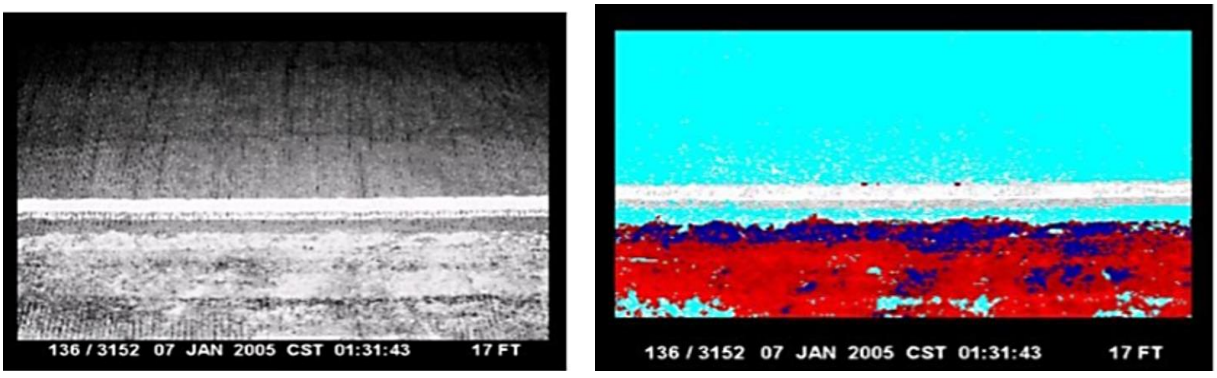
Přímou detekci ovlivňuje stáří, čistota čidla nebo způsob osázení a v důsledku těchto faktorů je často nespolehlivá. Prevencí je kontrola křivek teploty rosného bodu a teploty povrchu (Sulan, 2006).

3.4.1.3 Laserový silniční senzor LRSS

Laserový silniční senzor byl vyvinut ve spolupráci firmy Scanmatic, která vyrábí silniční stanice více než patnáct let a firmy Goodrich, která představila senzor „IceHack“ pro detekci ledu na křídlech letadel. Firma Scanmatic testovala různé senzory umístěné ve vozovce po dobu deseti let, ovšem měření malé plochy (několik cm²) bylo vždy nevýhodou.

Obr. 8 Senzor LRSS (Greenfield, 2008)

Senzor LRSS (obr. 8) na rozdíl od dříve testovaných senzorů je umístěn mimo vozovku, využívá unikátní vlastnosti laseru a zobrazuje mnohem rozsáhlejší plochu vozovky. Pomocí infračerveného paprsku světla, systém analyzuje odraženou energii a zobrazuje 20 x 30 ˚ zorné pole s rozsahem až 23 m. Zprávy ze senzoru obsahují informace o stavu povrchu vozovky, o množství sněhu a ledu na vozovce. Senzor sleduje stav mostovky a kontroluje kritický stav mrznutí pro vydání výstražného varování.



Obr. 9 Schéma výchozího snímku z LRSS (Greenfield, 2008)

Výchozí snímek (obr. 9) je rozdělen podle barev, které jsou charakteristické pro jednotlivé faktory. Červená znázorňuje oblast s výskytem ledu, šedá zobrazuje oblast bez

srážek, modrá označuje sníh a světle modrá vodu. Pokud je oblast mimo dosah nebo není dostatek informací, je zobrazena černě (Paulsen and Schmokel, 2004).

Informace z každého měření jsou uloženy do elektronického modulu. Údaje se stáhnou do počítače se speciálním programem, který slouží k interpretaci a zobrazení dat. Pomocí skenování informací program poskytne dva obrázky produkovaných dat. Jeden černobílý a druhý barevný s označením barev pro stav povrchu (Greenfield, 2008).

3.4.2 Měřené meteorologické prvky

3.4.2.1 Teplota mrznutí

Teplota mrznutí je dána nestabilním teplotním intervalem, přesná číselná hodnota neexistuje. Pro dispečery zimní údržby je zcela zásadní při rozhodování pro aplikaci soli na vozovkách. Solný roztok mrzne při nižších teplotách než čistá voda. Při ochlazování roztoku o jisté koncentraci soli, dojde při určité teplotě k dosažení stavu liquidus, tj. vznikne směs voda – sůl – krystalky ledu. Sůl je rozpuštěna ve vodní fázi vedle ledových krystalů. Koncentrace solného roztoku s přibývajícími krystaly rychle roste. Při dosažení kritické teploty (tzv. eutektický bod), dochází ke zmrznutí celé směsi jako jedné fáze beze změny chemického složení a vytvoří se slaný led. Ve stavu liquidus se teplota mrznutí pohybuje v určitém teplotním intervalu až do okamžiku dosažení eutektického bodu. Tento jev se odehrává ve vodním filmu o tloušťce 0,1–0,5 mm a roli zde hraje také kondenzace, výpar i srážky. Pro stanovení se nejčastěji používají tepelně aktivní nebo tepelně pasivní senzory. U tepelně pasivních senzorů je měření ovlivněno dalšími vlivy, např. způsobem solení a četností projíždějících vozidel, nepřesnost může být 10–20 % (Sulan a Škuthan, 2005).

3.4.2.2 Teplota rosného bodu

Teplota rosného bodu je teplota, na kterou se musí izobaricky ochladit vzduch (za stálého tlaku), aby byl právě nasycen v něm obsaženou vodní párou. Teplota vzduchu nižší než je teplota rosného bodu vede k tvorbě rosy a jinovatky (Klabzuba a Kožnarová, 2009).

Pro předpověď mlhy a přízemních mrazů je podstatný deficit teploty rosného bodu. Čím je tento deficit větší, tím menší je relativní vlhkost vzduchu a tím větší ochlazení je nutné k tomu, aby bylo dosaženo kondenzace vodní páry (vznik mlhy, oblaků, rosy apod.). Naopak teplota rosného bodu se rovná teplotě vzduchu (deficit teploty rosného bodu je 0 ˚C), pokud je relativní vlhkost 100 % (Kobzová, 1998). Velmi důležitá je pro určování stavu povrchu vozovky kontrola teplotních křivek pro vznik jíní a je nedílnou součástí všech silničních informačních systémů. Optimální měření teploty rosného bodu by mělo být ve 20–30 cm

v blízkosti vozovky, příčinou vandalismu a znečištění v zimě je však toto měření nereálné. Nejčastěji je teplota rosného bodu měřena ve výšce 2 m a čidlo se instaluje i do 3 m.

Firma Vaisala představuje řadu vysílačů, modulů, kapesních měřičů pro měření teploty rosného bodu s přesností ± 2 ˚C, s patentovaným čidlem pro automatickou kalibraci a odolností většině chemikálií (Sulan, 2012). Další spolehlivé měření poskytuje firma Michell Instruments, která využívá moderní keramický senzor. Provoz snímače je založen na dielektrické vlastnosti molekul vody absorbujících na aktivní izolační vrstvě, která je vložena mezi dvě vrstvy vodivého materiálu uloženého na keramickém substrátu. Porézní vodič umožňuje proniknout molekulám vody do aktivní vrstvy a čidlo pak velmi rychle reaguje na změnu vlhkosti, která ho obklopuje (http://www.michell.com/doclibrary.php?cat=dpt&type =ds& lang =us).

3.4.2.3 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu vyjadřuje stupeň nasycenosti vzduchu vodní párou a také charakterizuje schopnost vzduchu přijímat další vodní páru. Definuje se poměrem tlaku páry (e) k tlaku nasycené vodní páry (E) při dané teplotě. Je tudíž bezrozměrnou veličinou a uvádí se jako číselný poměr (< 1) nebo v procentech. V důsledku silné závislosti na teplotě vzduchu se relativní vlhkost během dne i roku periodicky významně mění (Podzimek, 1959).

Velký význam má sledování vzdušné vlhkosti při solení vozovek v zimním období. Pokud relativní vlhkost překročí 80 %, krystaly soli pohlcují vzdušnou vlhkost a to znamená, že nasolená vozovka je vlhká i bez srážek. Zvyšuje se riziko vzniku náledí a tvorby jíní, protože mokrá vozovka pomaleji vysychá. Při nižší vlhkosti se zbytková sůl nijak neprojevuje (Sulan, 2012).

3.4.2.4 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je teplota měřená ve vzduchu teploměrem, v místě chráněném před přímým slunečním zářením (http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page).

Teplota vzduchu se nepřetržitě mění kdekoliv v zemské atmosféře. V souvislosti s periodicitou denních a ročních změn v bilanci tepla aktivního povrchu, vykazuje charakteristický denní a roční chod. Tento jev je výraznější, čím jsou vrstvy ovzduší blíže k vlastnímu aktivnímu povrchu. Procházející sluneční záření atmosféru ohřívá poměrně málo a proto je hlavním zdrojem tepla pro vzdušný obal Země, zemský povrch. Z tohoto důvodu lze obecně konstatovat, že s rostoucí výškou teplota vzduchu klesá. Teplota vzduchu je v těsné vazbě s ostatními meteorologickými prvky: s vlhkostí vzduchu, obsahem vodních

kapiček nebo ledových krystalů, případně i se zvýšeným obsahem prachových částic a aerosolů (Kožnarová a Klabzuba, 2009).

Pro meteorologické účely je teplota vzduchu měřena v meteorologické budce ve výšce 200 cm nad povrchem, nad krátce posekaným trávníkem nebo nad sněhovou pokrývkou. Pokud je při měření minimálních teplot půda pokrytá sněhem, musí teploměr navazovat těsně nad sněhovou pokrývkou, aniž by se jí dotkl. Pro měření teploty těsně nad povrchem, musí být teploměr umístěn na vhodné podpěře ve výšce 2,5–5 cm, která má sklon pod úhlem 2˚ od vodorovné polohy. Značné chyby v citlivosti měření pro silniční meteorologii, jsou prokázány v případě umístění senzoru nad asfaltovým nebo betonovým povrchem (WMO, 2008).

Teplota s rostoucí výškou klesá a to o 0,65 ˚C na 100 m, konstantní zůstane až v horní troposféře a ve stratosféře (Roth, 2000). Pokud stoupá teplota vzduchu s výškou v určité vrstvě, dochází k teplotní inverzi. Inverzní vrstvy mají vliv na vývoj některých atmosférických procesů. Mají velmi stabilní teplotní zvrstvení, které brání promíchávání jednotlivých vrstev vzduchu. Inverze teploty se vyskytuje v mezní vrstvě atmosféry, ve volné atmosféře i při zemském povrchu. Výšková inverze má dolní hranici inverzní vrstvy v určité výšce nad zemským povrchem. Naproti tomu dolní hranice přízemní inverze leží přímo u zemského povrchu. Teplotní inverze je rozdělena na pět hlavních typů: inverze radiační, subsidenční, advekční inverze, inverze frontální a inverze z turbulence. Pro silniční meteorologii je významná radiační a advekční inverze. Radiační inverze má tři podtypy noční, zimní a výšková. Při noční radiační inverzi se půda silně ochlazuje vyzařováním dlouhovlnné radiace. Tepelnou vodivostí se od půdy postupně ochlazují i přízemní vrstvy vzduchu, nejvíce v těsné blízkosti povrchu. Čím je klidnější vzduch (malé rychlosti proudění), delší noc a menší oblačnost, tím je tato inverze silnější. Inverze je po východu Slunce brzy zlikvidována, protože se povrch otepluje a od něho se prohřívají přízemní vzduchové vrstvy. Zimní radiační inverze vzniká, trvá-li v zimě jasné počasí provázené trvalou ztrátou vyzařovaného tepla po několik dní. Dlouhotrvajícím ochlazováním půdy a přilehlého vzduchu inverze stále zesiluje a šíří se vzhůru. Tato zimní inverze je inverzí přízemní, ovšem v některých případech, může sahat do výšky několika set metrů. Výšková inverze se obvykle tvoří nad oblačnou pokrývkou při intenzivním vyzařování dlouhovlnné radiace z horní hranice oblačné vrstvy. Advekční inverze vzniká při advekci teplého vzduchu nad chladnější povrch (Kopáček a Bednář, 2005).

Inverzní vrstva může mít různou tloušťku, její spodní nebo horní hranice se může pohybovat v rozmezí několika kilometrů. V důsledku této rozdílnosti se mění i projevy počasí spojené s nízkou oblačností, slabými srážkami (mrholení, slabé sněžení) a výskytem mlhy.

Situace s teplotní inverzí jsou pro předpověď počasí stále velmi obtížné, protože ani numerické modely nejsou při předpovědi nízké oblačnosti, mlhy a následně i teploty vzduchu dostatečně spolehlivé (Racko, 2011).

3.4.2.5 Rychlost a směr větru

Proudění větru ovlivňuje řadu faktorů, které ohrožují provoz na silnicích např. vytváření námrazových jevů, ledovky a ukládání sněhových závějí.

Gravitační stékání studeného vzduchu po svazích se nazývá katabatický vítr. Tento jev lze pozorovat za všeobecně bezvětrných a jasných nocí na skloněném terénu nebo v údolích (Dvořák, 2012). Intenzita tohoto proudění závisí na sklonu, délce svahu, tepelných vlastnostech povrchu a jeho aerodynamické drsnosti. Vertikální mohutnost katabatického proudění větru nepřesahuje 150 m, maximální rychlost asi v jedné pětině této výšky od svahu se pohybuje mezi 1–3 m/s. Katabatický vítr vzniká velmi náhle navečer nebo v noci a končí pozvolna v době východu Slunce. Po celý den se může udržet na svazích pokrytých sněhem nebo ledem, jako tzv. ledovcový vítr (Koldovský a Kopáček, 1981).

Přes den se vlivem slunečního ohřevu exponovaných strání, vystavených slunečním paprskům, směr větru obrací. Vane po svazích vzhůru v podobě termického proudění a nazývá se anabatický vítr (Dvořák, 2012). Vertikální mohutnost tohoto vystupujícího proudění dosahuje až 200 m nad terén, při rychlosti 2–9 m/s. Tyto hodnoty závisejí na strmosti svahu, hodnotě teplotního gradientu volného ovzduší, intenzitě insolace a tepelné charakteristice zemského povrchu. Anabatické proudění větru vzniká na osluněných svazích během první hodiny po východu Slunce. Vyrovnáváním teplotních rozdílů vzduchu při svazích a ve volné vrstvě atmosféry proudění pozvolna slábne (Koldovský a Kopáček, 1981).

Standardní umístění senzoru pro detekci rychlosti a směru větru je ve výšce 10 m, ve které je vliv terénu a místních překážek na proudění vzduchu výrazně menší než v blízkosti povrchu a optimálně nad otevřeným terénem. Otevřený terén je oblast, kde vzdálenost mezi překážkou a anemometrem musí být minimálně desetkrát vyšší než překážka. Měření prováděné v přímé blízkosti budov, alejí nebo dalších překážek obsahuje nedostatek informací a je méně hodnotné. Je stanoven desetinásobek výšky překážky jako absolutní minimum. Měření probíhá pomocí větrných směrovek, větrného pytle nebo vrtulovým anemometrem. Na silniční stanici jsou přístroje pro měření rychlosti a směru větru nejčastěji umístěny nejvýše na stanici, optimální výška měření však není přesně stanovena. Přístroje na měření větru mohou být vybaveny umělým vytápěním odkrytých částí, jako preventivní ochrana před velkým množstvím ledu a před deštěm (Terpstra et Ledent, 2003).

3.4.2.6 Teplota a stav povrchu

K měření povrchové teploty se používají pasivní nebo aktivní senzory s přesností 0,2 ˚C; nejčastěji jsou umístěny v prostředku vozovky. Na dálnicích a rychlostních komunikacích se instalují dva senzory pro měření v rychlém a pomalém pruhu. Dále se měří teplota v 5 cm a u některých stanic i ve 30 cm pod povrchem (Sulan, 2012). U dvouproudé vozovky jsou senzory umístěny doprostřed a pak podle proudu dopravy i na vnější okraj vozovky, kde jsou instalovány ve vzdálenosti 0,2–0,3 m od přímé dráhy kol. Naopak v zastavěných oblastech se umístění senzorů do středu vozovky nedoporučuje, neboť vozovka je ovlivňována teplem motorů z vozidel a teplota se může lišit až o 1 ˚C. Méně přesné je měření teploty povrchu, pokud jsou na silnicích vyjeté koleje po těžkých vozidlech (kamionech). Voda se ve vyjetých kolejích drží a snadněji pak namrzá. Při vysoké intenzitě provozu v rychlém pruhu dráha kol vyschne jako první (Boselly et al., 1993).

Senzory rozlišují: suchý, vlhký, mokrý a zledovatělý stav povrchu. Tyto stavy není těžké rozlišit. Problém nastává při detekci námrazy, kvůli nepatrným krystalkům oddělených vzduchovými mezerami. Pro přesnější určení rizika tvorby námrazy meteorologové provádí vizuální kontrolu teplotních křivek (Sulan, 2012).

3.5 Silniční meteorologické systémy

3.5.1 Road weather information system – RWIS

RWIS poskytuje informace o počasí, které je charakterizované: množstvím a typem srážek, viditelností, teplotou vzduchu, teplotou rosného bodu, rychlostí, směrem větru a relativní vzdušnou vlhkostí. Dále poskytuje informace o vozovce, pomocí podpovrchové teploty, teploty vozovky, množstvím odmrazovacích chemikálií na vozovce a stavu povrchu (Agah et Pape, 2002).

RWIS je kombinace technologií a rozhodovacích technik, které používají detailní, historické, aktuální informace o stavu počasí a o provozu na silnicích. Data slouží ke zlepšení zimní údržby silnic a pro šíření informací pro uživatele silničního provozu. Technologie se skládá ze silničních a meteorologických senzorových zařízení. Hlavní prvky RWIS jsou tři snímací stanice prostředí ESS (Environmental Sensors Station), obsahují mnoho senzorů a dálkovou procesorovou jednotku (RPU), která se nachází v blízkosti senzorů prostředí a je hlavním mikroprocesorem. Data z RPU jsou odeslána do centrálního procesoru (CPU), který obsahuje další aplikace pro šíření, sběr a archivaci dat. CPU je obvykle umístěn

v zařízení pro údržbu silnic v centru silničního provozu nebo v zařízení pro podporu rozhodování (Agah et Pape, 2002).

3.5.1.1 Senzory v RWIS

Senzory umístěné v povrchu vozovky jsou pasivní a aktivní. Pasivní senzory určují stav a teplotu vozovky změnou jejich elektrických vlastností. Základním zařízením jsou jednoduché termistory nebo termočlánky pro měření teploty vozovky a senzory, které poskytují údaje o stavu povrchu vozovky, o koncentraci rozmrazovacích chemikálií na silnici a o teplotě povrchu. Aktivním senzorem je čidlo, které uměle ochlazuje část snímače k určení vlhkosti a bodu tuhnutí, kdy bude povrch mrznout. Opakováním měřícího cyklu se čidla ohřívají. Slouží hlavně pro detekci mrznutí vozovky, aby pracovníci zimní údržby byli včas varováni.

Dalším typem senzorů používaných v RWIS jsou dálkové senzory, které poskytují informace z určité vzdálenosti. Podél silnic se instalují vzdálené mikrovlnné senzory měřící stav povrchu a teplotu vozovky. Poskytují údaje z větší plochy (v řádu desítek metrů čtverečních) ve srovnání se senzory v povrchu, které měří plochu kolem desítek centimetrů čtverečních (Boselly et al., 1993).

Údaje o teplotě vozovky se získávají v některých státech namontováním infračervených silničních snímačů teploty (mobilních senzorů) na taxíky a autobusy. Do centrálního zařízení údržby silnic jsou data předávána pomocí GPS a mobilních telefonů. Pro sledování stavu povrchu vozovky se často používají i infra/visible video kamery. Detailní digitální obrazy silnic jsou barevně odlišeny, podle aktuálního stavu povrchu vozovky (sníh, led, suchý a mokrý povrch). Snímky jsou aktualizovány ve frekvenci 15–30 min a jsou archivovány (White et al., 2006).

Pro správné využití údajů získaných z RWIS je důležitá komunikace senzorových systémů, středisek pro údržbu vozovky, komunikace mezi pracovníky údržby vozovek a veřejností prostřednictvím předpovědí. Jak již bylo popsáno v kapitole 3.5.1. odeslaná data z RPU do centrálního procesoru CPU, mají k dispozici proškolení pracovníci údržby vozovek. Ti sbírají a analyzují data pro získání nejnovějších předpovědí. Informovanost veřejnosti je důležitá především v zimním období, kdy jsou vozovky pokryté sněhem, nebo hrozí tvorba námrazy. K tomu slouží komunikace pomocí rozhlasového a televizního vysílání, informačních dopravních značek u silnic, viditelných indikátorů (rychlost větru), krátkodobých (až 4 hodinových) a dlouhodobých (až jednotýdenních) předpovědí. Při náhlé změně meteorologických podmínek je vydáno meteorologické varování. Obsahuje určení

oblasti, ve které událost nastane, popis události a dobu trvání události. Mezi nejnebezpečnější události patří ty, které mění počasí v blízkosti silnic jako je např. vysoká rychlost větru, silný déšť, silné sněžení, mrznoucí déšť a tvorba námrazy (Boselly et al., 1993).

3.5.2 Český hydrometeorologický ústav - ČHMÚ

Pro problematiku řešenou v silniční meteorologii je významný úsek meteorologie a klimatologie, který je centrálním předpovědním pracovištěm. Informační výstupy z oblasti synoptické meteorologie zajišťuje oddělení meteorologických předpovědí. Důležitou funkcí ČHMÚ, která ovlivňuje hlavně zimní údržbu komunikací,jsou výstrahy, které upozorňují na předpokládané nebo vyskytující se nebezpečné povětrnostní jevy. Mezi nebezpečné povětrnostní jevy patří: vítr, sněhové jevy, námrazové jevy, bouřkové jevy, dešťové srážky, teplotní a vlhkostní podmínky (Roth, 2000).

3.5.2.1 Systém integrované výstražné služby

Výstrahy a zprávy se vydávají v rámci Systému integrované výstražné služby (SIVS) pro území České republiky, který je v nové podobě spuštěn od roku 2006 (Král a kol., 2006). Výstražné informace se vydávají pro 32 nebezpečných jevů, rozdělených do 8 skupin, mezi které patří: teplota, vítr, sníh, námraza, bouřka, déšť, povodeň a požáry. Pro bouřky, déšť, povodně a požáry se vydává výstraha hlásné a předpovědní povodňové služby. Každá skupina obsahuje tabulku s kritériem pro vznik nebezpečného jevu a je rozdělena podle stupně nebezpečí s barevnou stupnicí úrovně nebezpečí. Červená barva značí extrémní stupeň nebezpečí, kdy je potřeba časté sledování informací o meteorologické situaci a je nezbytná nejvyšší ostražitost. Mohou vzniknout materiální škody a jsou ohroženy lidské životy. Se sníženým nebezpečím následují stupně s vysokým – oranžová barva; nízkým – žlutá a bez nebezpečí, který zobrazuje barva bílá. Platná může být pouze jedna výstražná informace. Před vydáním výstražné informace je nutná konzultace mezi jednotlivými pracovišti a porovnání předpovídaných nebo naměřených hodnot či jevů s mezními hodnotami, které jsou určující pro charakter výstražné informace a stupeň nebezpečnosti (Král a kol., 2006).

Výstražné varování pro sníh (tab. 3) obsahuje kritéria, ve kterých vyjadřuje hodnota E´ nový sníh, hodnota E celkovou sněhovou pokrývku, FF rychlost větru a Fm nárazy větru v m/s. Podle míry intenzity jevu se přiřazuje jeden ze tří barevně odlišených stupňů nebezpečí. Pro extrémní sněhovou pokrývku platí výstražné varování, pokud vrstva nového sněhu je větší než 30 cm, padá 24 hodin v nadmořské výšce menší než 600 m nebo je vrstva

nového sněhu větší než 50 cm a padá celý den ve výšce větší než 600 m n. m (http://www.chmi.Cz/files/portal /docs/meteo/om/sivs/sivs.html#kriteria).

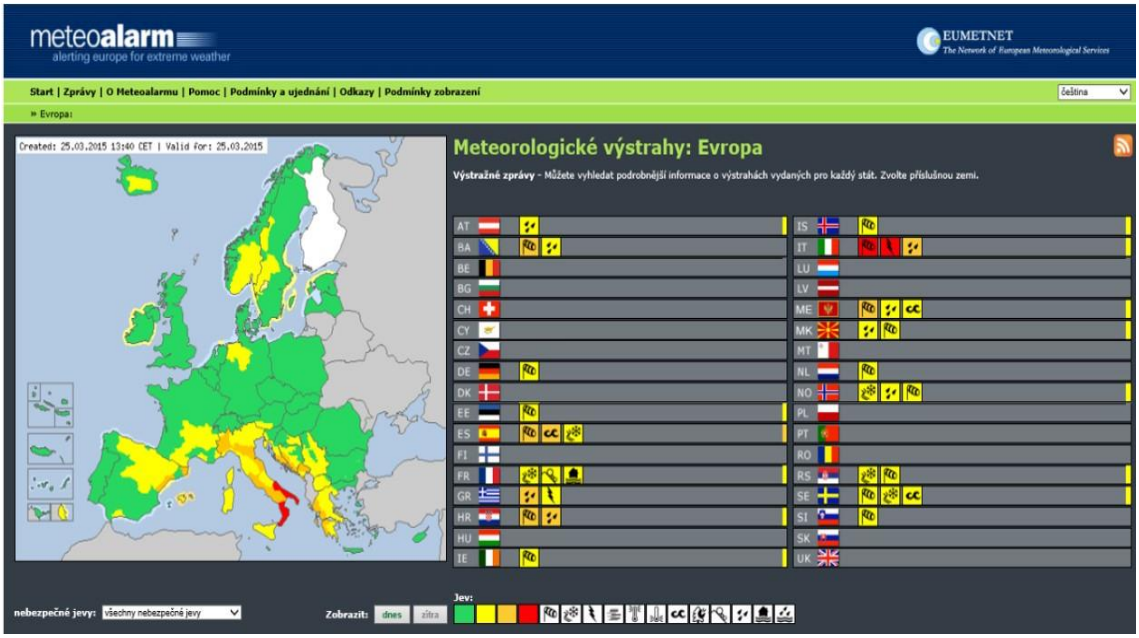
Tab. 3 Podmínky pro vydání výstražné informace pro sníh (http://www.chmi.cz/files/ portal/ docs/meteo/om/sivs/sivs.html#snih)

Jev		**Podmínky**	
SNÍH	**nová sněhová pokrývka**	E' > 7 cm/12 h, nebo E' > 30 cm/48 h pro nadmořskou výšku < 600 m, nebo E' > 40 cm/24 h, nebo E' > 50 cm/48 h pro nadmořskou výšku > 600 m	
	vysoká sněhová pokrývka	E' > 20 cm/24 h, nebo E' > 15 cm/24 h pro nadmořskou výšku < 600 m, nebo E' > 15 cm/12 h, nebo E' > 30 cm/24 h pro nadmořskou výšku > 600 m	
	extrémní sněhová pokrývka	E' > 30 cm/24 h pro nadmořskou výšku < 600 m, nebo E' > 50 cm/24 h pro nadmořskou výšku > 600 m	
	silné sněžení	E' > 3 cm/hod, nebo E' > 6 cm/1 – 3 h pro nadmořskou výšku < 600 m	
	sněhová bouře	E' > 5 cm/1 h, nebo E' > 10 cm/1 – 3 h, Fm > 20 m/s E (prachový) > 15 cm, FF > 15 m/s	
	sněhové jazyky	E, E' (oba prachový) > 5 cm, FF > 7 m/s, UO > 40 %	
	Závěje	E, E' (oba prachový) > 10 cm, FF > 10 m/s, UO > 20 %	

3.5.2.2 Meteoalarm

V důsledku častých extrémních projevů počasí vznikla v rámci členů EUMETNET oficiální webová stránka Meteoalarm, která slouží pro varování veřejnosti před nebezpečnými meteorologickými jevy napříč Evropou. EUMETNET poskytuje rámec pro organizování společných programů mezi členskými službami v oblasti základních meteorologických činností. Mezi ně patří pozorovací systémy, příprava předpovědních informací, zpracování dat, vzdělávací kurzy, věda a výzkum. Umožňuje využít společnou kapacitu pro poskytování nejkvalitnějších meteorologických informací, pozorování počasí a životního prostředí všem uživatelům v Evropě, což vede k efektivnějšímu řízení společných zdrojů. Na mapě je každá země zbarvená podle stupně nebezpečí (obr. 9). Červená znamená vysoké riziko způsobené nebezpečnými meteorologickými podmínkami. Pokud se nebezpečné situace neočekávají,

pokračuje v klesajícím trendu oranžová, žlutá až zelená. Mezi prvky pro které se vydávají výstrahy, patří: sníh, led, extrémně vysoké teploty, extrémně nízké teploty, mlha, bouřky, vítr, déšť, laviny, povodeň, pobřežní jevy, lesní požáry a jsou označeny symboly.



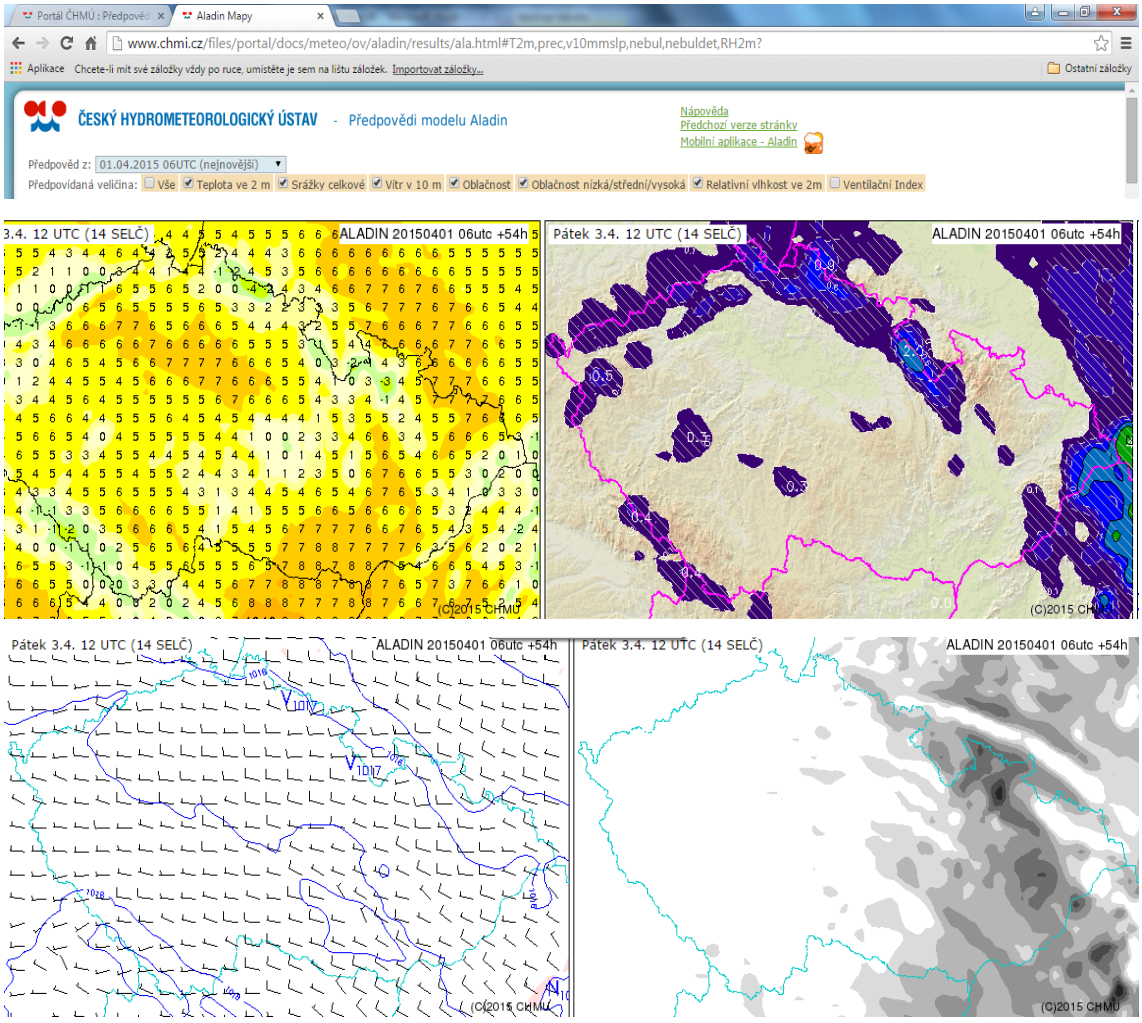
Obr. 10 Zobrazení meteorologických výstrah v programu Meteoalarm (http://www.meteoalarm.eu/)

Všeobecně srozumitelný systém poskytuje aktuální varování před nebezpečnými meteorologickými jevy, pro následujících čtyřicet osm hodin na většině území Evropy a využívá barevně kódované mapy a symboly. Po kliknutí na mapku státu Meteoalarm poskytuje přesnější výstražné informace v národním a regionálním měřítku. Úroveň pohotovosti je uváděna v jednotném systému s podstatnými vazbami mezi meteorologickými jevy, následky a doporučeným chováním s cílem, co nejvyšší minimalizace škod. V jednotlivých regionech se limitní hodnoty sledovaných prvků pro různé stupně nebezpečí liší. Služba je dostupná ve dvaceti sedmi jazycích a je přínosná pro silniční meteorologii, záchranné služby v horách nebo na moři, veřejnost i pro vysílání předpovědí. Do organizace Meteoalarmu se připojují další národní meteorologické organizace i ostatní státy; Česká republika začala spolupracovat v roce 2008 (http://www.meteoalarm.eu/).

3.5.2.3 ALADIN

ALADIN je předpovědní numerický model, který funguje v České republice pod záštitou ČHMÚ a poskytuje prognostické povětrnostní údaje, které slouží jako podklady pro meteorology a další speciální aplikace. Model je integrovaný v horizontálním rozlišení 5 km

a měření probíhá čtyřikrát denně v časech 00, 06, 12, a 18 UTC (Sokol et al., 2014). Na mapách zobrazuje informace z měření čtyř faktorů: vítr v 10 m, oblačnost, srážky za posledních 6 hodin a teplotu vzduchu ve 2 m (obr. 10). Výsledky měření jsou zobrazeny na mapě České republiky. Měření srážek a teploty ve 2 m je na mapě zobrazeno barevnou stupnicí. Pro teplotu je stupnice v rozmezí od – 38 ˚C až do + 36 ˚C a stupnice pro srážky je od 0,1 mm až > 45 mm.



Obr. 11 Výstupy z modelu ALADIN (teplota vzduchu, srážky, vítr, oblačnost) (http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html#T2m?)

Pro předpověď teploty ve 2 m je nutné přihlédnout k místní chybě terénu, vzhledem k závislosti teploty na nadmořské výšce. Modelová nadmořská výška v konkrétní lokalitě nemusí odpovídat skutečnosti, jelikož terén modelu musí být z konstrukčních důvodů shlazený a tak model nezaznamenává hluboká údolí nebo izolované kopce. Chyba je výraznější, čím má model hrubší síť měření. Chyba může nastat i při předpovědi skupenství srážek, pokud je výška terénu modelu odlišná než v realitě. U srážek je také předpověď

ovlivněna shlazeným modelovým terénem, který zachycuje efekt závětří/návětří jen v určité míře. Stupeň pokrytí oblačnosti je zobrazen na mapě ve škále od bílé (zataženo) po černou (jasno).

K vyjádření rychlosti a směru větru nad modelovým terénem slouží větrné symboly. Symbol se skládá z hlavních a vedlejších čárek, praporků označujících rychlost větru a z dříku rovnoběžného se směrem větru. Dříky jsou na celé mapě stejně dlouhé a symboly se umisťují tak, aby konec dříku ležel v místě měření nebo předpovědi (http://pr-asv.chmi.cz/aladin/). Zákres zobrazuje průměrný směr a rychlost větru za posledních 10 minut před termínem pozorování. Šipka a opeření nesmí narušit celkové uspořádání ostatních značek. Značky se však nezakreslují přes šipku.

Směr větru určuje úsečka, která směřuje z uvedeného směru (odkud vítr vane) do středu staničního kroužku. Délka úsečky nesmí být větší než dvojnásobek průměru nakresleného kroužku a úsečka se musí bezpodmínečně dotýkat staničního kroužku.

Tab. 4 Způsob zakreslování směru větru (Urbanová a kol., 1985)

„severní“ (N) **360°**	„východní“ (E) **090°**	„jižní“ (S) **180°**	„západní“ (W) **270°**

Rychlost větru (tab. 5) je znázorněna opeřením na směrové úsečce (šipce). Jedna dlouhá čára na šipce značí rychlost 5 m/s (tj. 10 uzlů – knotů), poloviční 2,5 m/s (5 uzlů). Pro rychlejší čtení a zakreslování velkých rychlostí se rychlost 25 m/s (50 uzlů), zakresluje pravoúhlým trojúhelníčkem na konci šipky.

Tab. 5 Způsob zakreslování rychlosti větru (Urbanová a kol., 1985)

◎	bezvětří		10 m/s				35 m/s
—	1 m/s				25 m/s		
			15 m/s			. . .	. . .
	5 m/s				30 m/s	. . .	. . .
			20 m/s				52,5 m/s

Opeření na šipce s ní svírá tupý úhel 110° a kreslí se na severní polokouli ve směru otáčení hodinových ručiček. Bezvětří (calm) se zakresluje soustředným kroužkem kolem staničního kroužku (Urbanová a kol., 1985).

3.6 Údržba vozovek

Nárůst provozu na silnicích zvyšuje požadavky na zajištění podmínek pro bezpečnou, plynulou a kvalitní jízdu pro účastníky silničního provozu. V zimním období se zvyšují požadavky na údržbu komunikací, ovšem při limitovaných finančních prostředních, které jsou k dispozici. Důležité je mít co nejpřesnější informace o meteorologických předpovědích a stavu vozovek, které zajišťují moderní informační systémy a technické zařízení.

3.6.1 Informační systémy v zimní údržbě

V České republice se o standardizaci zimní údržby a o informace o počasí starají dva hlavní orgány. Ministerstvo dopravy, které vlastní dálnice i silnice první třídy. Ředitelství silnic a dálnic, které je ministerstvu podřízené a zabezpečuje údržbu, správu a opravy silnic, silnic první třídy a dálnic. Údržba dálnic a některých silnic je prováděna podle vlastních oddělení a je zajištěna Střediskem správy a údržby silnic a dálnic. Na základě podepsané smlouvy s Ministerstvem dopravy nebo ŘSD, mají na starosti zimní údržbu soukromé podniky. Odborné a zároveň velmi kvalitní informace o počasí a předpovědích pro rozhodovací procesy jsou dodávány Českým hydrometeorologickým ústavem. Nepodílí se pouze na rozhodovacím procesu, ale i na vyhodnocení zimní závažnosti a technické vhodnosti pro index zimní údržby.

3.6.1.1 Jednotný silniční meteorologický informační systém (JSMIS)

Jednotný silniční meteorologický informační systém byl zprovozněn v zimní sezoně 2005/2006. Hlavním cílem je poskytnout všem uživatelům dostatek informací o meteorologických situacích, prognózách a jejich dopadech na stav povrchu vozovky. Je rozdělen na dvě části, zobrazení předpovědí a zobrazení dat z meteorologických stanic. První část obsahuje informace pro: krátkodobou předpověď, dvaceti čtyřhodinovou, třídenní předpověď pro ČR, výstrahy, prognózy a aktuální snímky meteorologických radarů za poslední dvě hodiny. Druhá část poskytuje zobrazení dat z meteostanic prostřednictvím grafů (obr. 9) a tabulek s hodnotami měřených parametrů za posledních dvacet čtyři hodin. Na grafu jsou znázorněny např. teplota vzduchu, teplota povrchu a dohlednost. Stanice jsou pro rychlejší přístup k informacím rozděleny podle lokalizace na rychlostních silnicích a dálnicích a podle umístění do krajů ČR (Král et al., 2006).

Obr. 12 Příklad výstupu z meteorologické stanice (http://www.dopravniinfo.cz/jednotny-silnicni-meteorologicky-informacni-system)

3.6.1.2 Meteorologický informační systém (METIS)

Na celém území České republiky je od roku 1995 využíván silniční meteorologický informační systém METIS. Technologie podpory rozhodování v zimní údržbě, vyvinutá soukromou společností Cross Zlín. METIS obsahuje kvalitní dispečerský předpovědní modul a má tak významný vliv na rozhodování dispečerů zimní údržby. Svým unikátním softwarovým řešením umožňuje prezentaci silničních meteorologických informací se zaměřením na aktuální a budoucí situaci na silnicích. Hlavní výhody systému jsou: přístup k aplikaci online, veškeré informace o počasí na silnicích v jedné aplikaci, varovný systém využívající sms nebo email, prezentace dat pomocí obrázků, animací, map a grafů. Výchozí graf (obr. 8) poskytuje přesné informace o aktuálním stavu na silnicích a je na něm znázorněna teplota rosného bodu, teplota vzduchu, teplota povrchu, bod mrznutí, intenzita srážek, relativní vlhkost a rychlost a směr větru (http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy/metis.html).

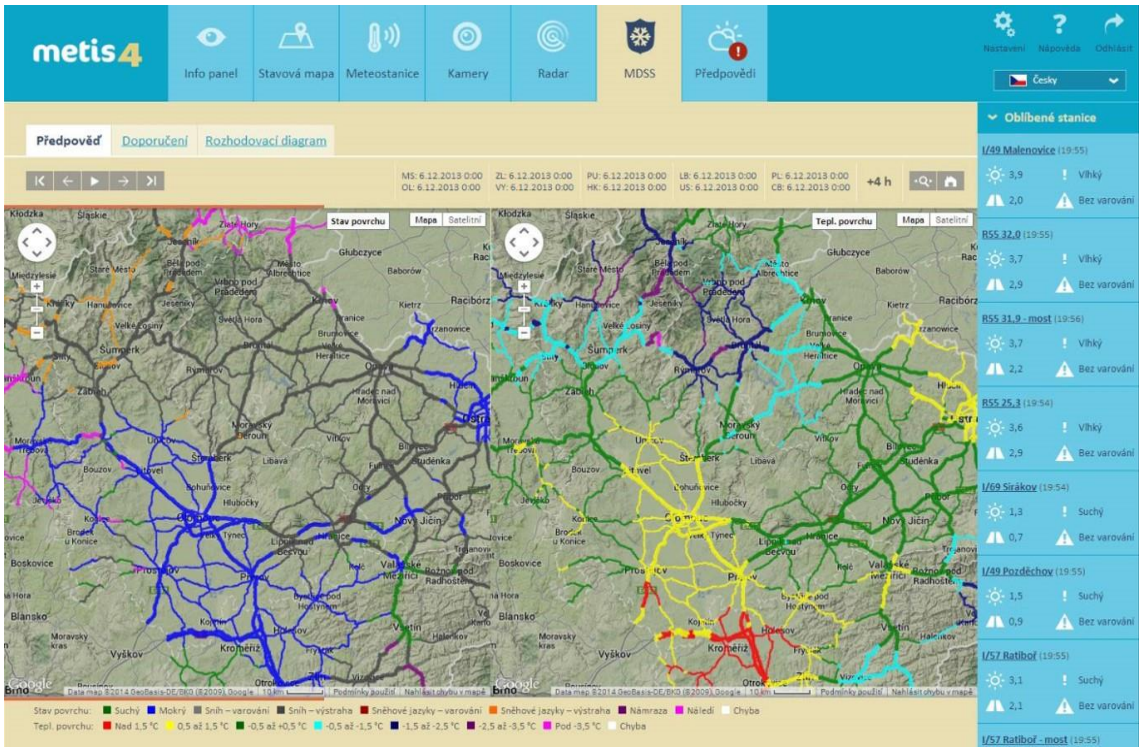
Obr. 13 Schéma grafu meteostanic v programu METIS (http://www.cross.Cz/cs/meteorologicke-systemy/metis.html)

3.6.1.3 Support system for winter maintenance (SSWM)

je systém pro podporu zimní údržby, který poskytuje pro jednotlivé silniční úseky krátkodobou předpověď kluzkosti vozovek, na základě analýzy informací o meteorologických a místních podmínkách.

Program informuje o budoucím stavu silnic a jejich teplotě v rozlišení po 1 km, v časovém horizontu až na 12 hodin dopředu. Vznikl dlouhodobou spoluprací společnosti Cross Zlín s firmou Klimator a je nejpřesnějším a nejkomplexnějším systémem pro podporu rozhodování v zimní údržbě.

Systém obsahuje dvě části, detailní předpověď teploty a stavu povrchu vozovky pro jednotlivé úseky silnic (obr. 10), která umožňuje uplatnění tzv. selektivní údržby s úsporou posypového materiálu. Druhá část zahrnuje modul doporučení, který je zaměřený na definované oblasti údržby a slouží pro podporu rozhodování (http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy/mdss.html).



Obr. 14 Měření teploty a stavu povrchu systémem SSWM v programu METIS (http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy/mdss.html)

3.6.2 Příklad informačních systémů zimní údržby

V Německu využívá data ze silničních stanic Německá meteorologická služba (DWD), která monitoruje aktuální počasí, předpovídá stav vozovek a vyvíjí nové metody prognóz.

Data ze stanic zpracovávali pracovníci telefonních center pro zimní údržbu. Právě nedostatečná znalost pracovníků měla vliv na nesprávné rozhodování při zimní údržbě a to byl hlavní důvod, k založení prvního informačního centra zimní údržby. Pracovníci informačního centra jsou vyškoleni a mají k dispozici aktuální informace o počasí a stavu silnic, které dále zpracovávají. Hlavními úkoly informačního centra pro zimní údržbu jsou porovnání aktuálního počasí s předpovědí, propojení s centry zimní údržby a jejich kontaktování pro spuštění údržby, kontrola technického stavu monitorovacího zařízení, vedení záznamů o činnosti zimní údržby, sledování dat o počasí a jejich vývoj a sledování vývoje počasí s využitím dalších informačních zařízení (radarů). Pro rychlé a správné rozhodnutí dispečerů se využívají různé zdroje informací, snímky z radarů o rozložení pole srážek, data ze sousedních meteorologických silničních stanic, podrobné dvaceti čtyřhodinové předpovědi pro menší regiony a třídenní předpovědi. S využitím všech těchto informačních zdrojů mají

pracovníci lepší přehled o meteorologické situaci na silnicích než zaměstnanci telefonních center. V zimním období je informační centrum otevřené dvacet čtyři hodin s pěti až šesti vyškolenými pracovníky a pro komunikaci s dalšími centry je vybaven moderními telefony a faxy. Vybudování informačního centra vedlo ke zvýšení efektivity v organizaci zimní údržby komunikací a ke zlepšení její kvality (Niebrügge and Raatz, 2002).

Benko (2012) uvádí, že na Slovensku se systém zimní údržby skládá z několika vzájemně propojených modulů. Základem pro přípravu předpovědi počasí je numerický model ALADIN, který je provozován přímo na Slovenském hydrometeorologickém ústavu. Výstupní data z modelu jsou dále rozšířena pomocí INCA (Integrovaná předpověď prostřednictvím komplexní analýzy) předpovědi a pomocí silničního předpovědního modulu Metro. Kombinace místních měření ze speciálních silničních a meteorologických stanic, jsou využívané k detailní předpovědi a k vydávání výstrah pro každý silniční úsek s podobnými mikroklimatickými podmínkami. Sběr, kombinace a vizualizace všech informací tvoří Systém podpory rozhodování při údržbě (MDSS), který slovenské silniční úřady zavedly na celém území Slovenska. Pro účely sledování aktuálního stavu počasí a stavu vozovky je na území Slovenska v provozu 115 silničních meteorologických stanic, které se nacházejí v délce více než 600 km dálnic a rychlostních silnic. Síť se skládá z patnácti středisek řízení a každá část silnice spadá do jednoho centra. Každé centrum je vybaveno silniční meteorologickou stanicí.

Slovensko využívá silniční meteorologické stanice od firmy Boschung a Vaisala. Firma Boschung vyrábí silniční stanice a další přístroje pro údržbu vozovek, které poskytují velmi přesné informace. Dále jsou využívány údaje z meteorologických stanic a srážkoměrů v SHMÚ. Tímto způsobem jsou získána velmi přesná data v souladu s pravidly Světové meteorologické organizace a jsou velmi významné při předpovědích počasí a stavu vozovky.

INCA (Integrovaná předpověď prostřednictvím komplexní analýzy) se zabývá podrobnou analýzou současného stavu teploty, srážek a ostatních prvků. Je založena na měření automatických meteorologických stanic a senzorů. Tento systém vyvíjí mezinárodní spolupráce realizovaná v rámci programu „Střední Evropa“ a je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj. Jednou z hlavních částí programu je bezpečnost silničního provozu.

Metro – Model životního prostředí a teploty silnic je systém algoritmů vyvinutých v Kanadě. Modul kombinuje informace ze silničních stanic s předpovědí počasí atmosférických podmínek a zlepšuje predikci stavu vozovky se zaměřením na povrchové teploty, hromadění sněhu, výskyt mrazu a mrznoucí déšť (Benko, 2012).

3.6.3 Základní technologické postupy zimní údržby komunikací

3.6.3.1 Odklízení sněhu pomocí mechanických prostředků

V zimním období je sníh z komunikací třeba odstraňovat dříve než dojde k jeho přimrznutí k povrchu nebo ujetí provozem automobilů. Na hlavních komunikacích se sníh odstraňuje v celé jejich šířce a délce, zatímco chodníky jsou upraveny v šířce 1 m. Sníh na místních komunikacích při náhlém spadu je jen odhrnut k okrajům vozovky. Vždy závisí na množství napadeného sněhu a důležitosti komunikací. Pokud vrstva sněhu přesáhne 5 cm, začnou se pro její odstranění používat sněžné pluhy. Posyp chemickými rozmrazovacími materiály do vrstvy čerstvě napadaného sněhu je neekonomický, proto je prováděn až po odstranění sněhu (Holibka a Kvapil, 2007). Po odhrnutí sněhu pluhem by vrstva na povrchu neměla přesáhnout více jak 3 cm. Vozidla pro údržbu jsou využívána v nepříznivých podmínkách i za provozu. Většinou jsou vybavena boční nebo přední radlicí a jejich součástí může být i nádrž pro tekuté chemické látky nebo násypka pro sůl. K odvozu většího množství sněhu jsou ideální nakladače s lopatou. Pro menší plochy na městských komunikacích se používají „grejdry“ s bočními radlicemi. Při odklízení sněhu ke kraji vozovky, v místech s omezeným prostorem se nejčastěji využívají sněžné frézy (White et al., 2006).

3.6.3.2 Posyp inertním materiálem

Na komunikacích, které nejsou soleny chemickými rozmrazovacími materiály, se provádí posyp štěrkem. Zrna posypového materiálu se usadí na povrchu ujetého sněhu nebo náledí, zvýší se koeficient tření a tím je snížena kluzkost vozovek. Pro posyp náledí se používá jemnozrnný materiál (zrna menší než 2 mm) a hrubozrnný materiál (zrna větší než 4 mm) je vhodnější na ujeté sněhové vrstvy bez náledí. Posyp se provádí v celé šířce vozovky a dávky se pohybují v rozmezí 100–300 g/m²; na frekventovaných vozovkách s náledím se dávka může zvýšit o 50 až 100 %. Do posypového materiálu se může přidávat podíl technické soli pro rychlejší odstranění zbytkového sněhu (Holibka a Kvapil, 2007).

3.6.3.3 Využití chemických rozmrazovacích materiálů

Chemické materiály se aplikují na zbytkovou vrstvu sněhu (pod 3 cm), kterou už nelze odstranit mechanickými prostředky. Do vyšší vrstvy sněhu je posyp neúčinný. Pro posyp se používá chlorid vápenatý a sodný; dávka pro tuto zbytkovou vrstvu je 20 g/m² a nechá se působit 2 hodiny. Nesmí se provádět na silnicích, které jsou vystaveny silnému větru. Celková spotřeba soli by za jeden den neměla překročit 60 g/m², překročení je možné pouze ve

výjimečných případech, kdy je potřeba co nejrychleji obnovit sjízdnost pro provoz na hlavních komunikacích (Holibka a Kvapil, 2007). Použití chemických látek nebo solí má podstatný význam při zimní údržbě a existuje mnoho faktorů, které jejich účinnost ovlivňují. Patří mezi ně: mechanické odstraňování sněhu, směs sněhu a vody na vozovce před aplikací, doba a vydatnost použití materiálu. Významný vliv má i množství soli na silnici, které způsobuje zhutnění sněhu, vznik ledovky a ovlivňuje stav povrchu vozovky. Z těchto důvodů je velmi důležité znát přesné množství soli na vozovce po její aplikaci. Měření soli na povrchu vozovky je vyjádřeno dvěma odlišnými charakteristikami: množstvím soli v g/m² a koncentrací soli v g/l. Množství soli obsahuje rozpuštěnou i nerozpuštěnou sůl, zatímco koncentrace soli se vztahuje pouze na rozpuštěnou sůl. Dispečeři v Norsku zahrnují měření koncentrace soli a množství soli jako významný prvek při rozhodovacím procesu v zimní údržbě. K měření používají silniční senzory a refraktometry (Lysbakken, 2008).

Používání chloridu sodného na úpravu vozovek vede ke korozi dopravních staveb (mostů) a automobilů, což vyžaduje vysoké náklady na jejich údržbu. Hammond et al. (2006) ve své studii uvádějí využití melasy v kombinaci s kamennou solí pro zimní údržbu komunikací. Testováním ve Velké Británii bylo prokázáno, že snižuje účinek soli až o 50 %. V USA je melasa s kamennou solí využívána již několik zim s výsledky, mezi které patří provozní výhody, antikorozní účinky a rychlejší tání ledu.

3.6.4 Program „COST Action 344“

S vývojem evropských a národních silničních sítí rostou požadavky na inovace, rozvoj kontrolních postupů a technik v údržbě vozovek. Je velmi důležité sbírat informace osvědčených postupů pro zavedení vhodných norem pro dispečery. Tímto plánem se zabýval evropský projekt „COST Action 344“, který byl spuštěn v dubnu 1999, zkoumal kontrolu vzniku ledu, sněhových vrstev a jejich vylepšením na dálnicích v Evropě. Do projektu bylo zapojeno osmnáct zemí včetně České republiky. Každý stát během tří let zpracoval svůj projekt, zahrnující sedm hlavních bodů: shromažďování dat a přehled literatury, vymezení požadavků, nejlepší ceny (nejnižší náklady), budoucí výzkum, správa silničního systému, informace pro účastníky provozu a závěrečnou zprávu. Cílem projektu bylo doporučit budoucí výzkumné projekty a opatření na zlepšení dostupnosti informací pro řidiče, přezkoumat stávající mezinárodní postupy, popsat osvědčené postupy údržby v různých evropských klimatických podmínkách a sepsat průvodce zimní údržbou pro správu silnic (Burtwell, 2001).

Kumala (2002) uvádí hlavní výsledky projektu: údržba vozovek v zimním období se v Evropě příliš neliší, postupy bývají stejné a rozdíly jsou pouze v používaném typu soli vzhledem k různým klimatickým pásmům. V sušších oblastech se využívá mokrá sůl a v přímořských oblastech, kde je vyšší vlhkost vzduchu se používá kamenná sůl.

Témata pro budoucí výzkum byla shromážděna prostřednictvím dotazníků zaslaných emailem devadesáti mezinárodním expertům. Konečný součet obsahoval 200 různých témat. Po prozkoumání a slučování se obsah zúžil na 90 prioritních témat na realizaci. V současné době se výzkum zabývá hlavně: vývojem informačních a řídicích systémů optimálních pro účinnost a bezpečnost provozu, měřením, modelováním a předpovídáním stavu povrchu vozovky, vlivem zimní kamionové dopravy, povětrnostních podmínek na bezpečnost, plynulost a chování účastníků silničního provozu.

4 Závěr

Cestování patří ke každodenní činnosti většiny lidí po celém světě. S dopravou je velmi úzce spojena předpověď počasí, která může ovlivnit její průběh. Stav povrchu vozovky a její teplotu ovlivňuje řada meteorologických prvků a místní podmínky. Je poměrně těžké určit převládající prvek, který má největší význam. Všechny prvky působí komplexně a v interakci, jen s tím rozdílem, že některé prvky ovlivňují stav povrchu s větší či menší intenzitou. Vlivem těchto faktorů se situace na silnicích velmi rychle mění a v různých polohách je odlišná. Účastníci silničního provozu by měli jezdit opatrně, sledovat předpověď počasí a nepřeceňovat své řidičské dovednosti.

Rozvoj a modernizace informačních systémů pro předpověď počasí nebo zimní údržbu musí být s rozrůstáním silniční sítě neustále zdokonalována. Tímto se společně zabývají zahraniční, významně i české firmy, instituce a sdružení. Pro bezpečné a plynulé cestování, především v zimním období, je nezbytné zajistit spolehlivou a účinnou kontrolu výskytu ledovky a sněhu na komunikacích. Zimní údržba musí být prováděna s minimálním dopadem na životní prostředí, bez narušení silničního provozu a s co nejnižšími náklady.

Tato práce může sloužit jako přehled a charakteristika informačních systémů, kde mohou řidiči a dispečeři sledovat předpověď počasí a situaci na silnicích. Významnou součástí práce je nejen popis silniční meteorologické stanice, ale i charakteristika jednotlivých povětrnostních prvků, které různé typy senzorů stanice zaznamenávají. Značná pozornost je věnována i interpretaci získaných údajů a s tím související terminologii a definicím jevů, které negativně ovlivňují bezpečnou dopravu.

Problematika řešená v rámci silniční meteorologie je a nadále bude předmětem dalších studií, které se zabývají zejména působením meteorologických prvků na stav povrchu a inovacemi informačních systémů.

5 Seznam literatury

Anonym. Český Hydrometeorologický Ústav [online]. Praha. ČHMÚ. 2013. [cit. 2015- 2- 2]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTContainer/P1_0_Home>.

Anonym. Evropský výstražný systém METEOALARM [online]. Praha. ČHMÚ. 2013. [cit. 2014- 12- 19]. Dostupné z <http://www.meteoalarm.eu/>.

Anonym. Meteorologické systémy [online]. Zlín. CROSS. 2009. [cit. 2014- 12- 16]. Dostupné z <http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy>.

Anonym. Silniční meteorologická stanice [online]. Sokolov. Changroup. 2010. [cit. 2015- 2- 11]. Dostupné z <http://www.changroup.cz/changroup/silnicni-meteorlogie>.

Anonymus. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO – No. 8 dokument. WMO. Ženeva. p. 680. ISBN 978-92-63-10008-5.

Anonymus. Dew – Point Measurement Solutions [online]. UK. MICHELL Instruments. 2012. [cit. 2014- 12- 14]. Dostupné z <http://www.michell.com/doclibrary.php?cat=dpt&type=ds&lang=us>.

Anonymus. Meteorology Glossary [online]. USA. American Meteorological Society. 2012. [cit. 2015- 2- 18]. Dostupné z <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page>.

Agah, M., Pape, C. Road Weather Information Systems (RWIS) Data Integration Guidelines [online]. Portland. Aurora. 2002. [cit. 2015- 3- 9]. Dostupné z <http://www.aurora-program.org/>.

Bednář, J., Kopáček, J. 2005. Jak vzniká počasí. Karolinum. Praha. 226 s. ISBN: 80-246-1002-7.

Benko, M. 2012. Road Weather Forecasts and MDSS in Slovakia. SIRWEC 2012, 16th International Road Weather Conference, Helsinki, Finland. Decision Support System. p. 7.

Bogren, J., Gustavsson, T., Karlsson, M. 2001, Temperature differences in the air layer close to a road surface. Meteorological Applications. 8. p. 385–395.

Boselly, E., Doore, S., Thornes, J. E., Ulberg, C., Erns, D. D. 1993. Road Weather Information System Volume 1: Research Report. National Academy of Sciences. Washington DC. p. 219. ISBN: 0-309-05273-4.

Burtwell, M. 2001. Improvements to snow and ice control on European highways. Meteorological Applications. 8. p. 475–479.

Český hydrometeorologický ústav. Přehled nebezpečných jevů a kritéria pro vydávání výstražných informací SIVS [online]. Český hydrometeorologický ústav. [cit. 2014 06 30]. Dostupné z <http://www.chmu-data.cz/vystrahy-a-zpravy/>.

Dvořák, P. Jak vznikají velké mrazy [online]. Praha. ČHMÚ. 2012. [cit. 2015- 2- 15]. Dostupné z <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1327929546&a0=anabaticky&a1=vitr&vyrazu>.

Eriksson, M. 2001. Regional influence on the occurrence of road slipperiness during winter precipitation events. Meteorological Applications. 8. p. 449–460.

Glanc, D., Škuthan, M. Road meteorology and international cooperation. [online]. Sirwec. 16. května 2008. [cit. 2014 06 27]. Dostupné z <http://www.sirwec.orgprague2008.htm>.

Greenfield, T. Laser Road Surface Sensor Camera Evaluation Project [online]. Iowa. Aurora program. 2008. [cit. 2015- 1- 5]. Dostupné z <http://www.aurora – program.org/>.

Gustavsson, T., Bogren, J., Green, C. 2001. Road Climate in Cities: A Study of the Stockholm Area, South – East Sweden. Meteorological Applications. 8. p. 481–489.

Gustavsson, T., Karlsson, M., Bogren, J., Lindqvist, S. 1998. Development of Temperature Patterns during Clear Nights. Journal of Applied Meteorology. 37. p. 559–571.

Hammond, D., S., Chapman, L., Baker, A., Thornes, J., E., Sandford, A. 2006. Fluorescence of road salt additives: Potential applications for residual salt monitoring. SIRWEC 2006, 13th International Road Weather Conference, Torino, Italy. Recording and evaluation of road weather data. p. 7.

Holibka, R., Kvapil, M. 2007. Zimní údržba komunikací. Marius Pedersen, a.s. Praha. 1 – 8 s.

Holmer, B., Postgárd, U., Eriksson, M. 2001. Sky view factor in forest canopies calculated with IDRISI. Theoretical and Applied Climatological. 68. p. 33–40.

Hořejší, J., Janda, T., Lidl, V. 70 let dálnic ve fotografii [online]. Česká republika. Ředitelství silnic a dálnic. 2009. [cit. 2015–3–17]. Dostupné z <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Historie/kniha-70-let-dalnic-ve-fotografii>.

Hrudička, B. 1937. O sněhových překážkách na silnicích v Československu. Věštník Silniční Obzor. 3 a 4. 1–8 s.

Chaloupecký, P., Kastner, J. 2005. Režim přízemních mlh v Praze. Meteorologické zprávy. 58. 79–84 s.

Klabzuba, J., Kožnarová, V. 2009. Aplikovaná meteorologie a klimatologie – Bilance tepla na aktivním povrchu, teplota půdy, vzduchu a vody. Česká zemědělská univerzita. Praha. 1 – 45 s. ISBN: 978-80-213-0778-0.

Klabzuba, J., Kožnarová, V. 2009. Aplikovaná meteorologie a klimatologie – Tlak vzduchu a tlakové útvary. Česká zemědělská univerzita. Praha. 1 – 20 s. ISBN: 978-80-213-0704-9.

Knollhoff, S., Takle, E. S., William, A., Gallus, J., Burkheimer, D. Use of Pavement Temperature Measurements for Winter Maintenance Decisions [online]. Iowa. Iowa State University – Institute for Transportation. 1998. [cit. 2015- 2- 24]. Dostupné z <http://www.ctre.iastate.edu/pubs/crossroads/33use.pdf>.

Kobzová, E. 1998. Počasí – knížka pro každého. Rubico. Olomouc. 275 s. ISBN: 80-85839-26-1.

Koldovský, M., Kopáček, J. 1981. Meteorologie pro piloty závěsných kluzáků. Svazarm. Praha. 62 s. ISBN: 0936310111.

Konecny, D. 2014. Advances in winter maintenance decision support in the Czech Republic. SIRWEC 2014, 17th International Road Weather Conference, La Massana, Andorra. The effect of local features to road surface temperature. p. 6.

Král, D., Rada, J., Šálek, M. 2006. Vliv automatizace a informačních technologií na meteorologickou předpovědní praxi. Meteorologické zprávy. 59. 172–182 s.

Kulmala, R. et al. Documentation for the final seminar COST 344 – Iprovements to snow and ice control on European roads and bridges [online]. Ljubljana. 2002. [cit. 2015- 3- 9]. Dostupné z <http://www.brrc.be/brrc/e15/e15intro.php>.

Liechti, O. 2004. Industrial snow. SIRWEC 2004, 12th International Road Weather Conference, Bingen, Germany. Climatology, weather conditions. p. 5.

Lysbakken, K., R. 2008. Measuring salt on road surfaces – A discussion of salt concentration versus salt amount. SIRWEC 2008, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic. Winter maintenance/ Cost benefit. p. 5.

Norrman, J. 2000. Slipperiness on roads – an expert system classification. Meteorological Applications. 7. p. 27–36.

Paulsen, T., A., Schmokel, P. 2004. Laser Road Surface Sensor – LRSS. SIRWEC 2004, 12th International Road Weather Conference, Bingen, Germany. Sensors and equipment. p. 6.

Perry, A. H., Symons, L. J. 2003. Highway Meteorology. Taylor & Francis e – Library. London. p. 215. ISBN: 0-203-78173-2.

Podzimek, J. 1959. Fysika oblaku a srážek. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha. 476 s.

Postgard, U., Lindqvist, S. 2001. Air and road surface temperature variations during weather change. Meteorological Applications. 8. p. 71 84.

Raatz, W. E., Niebrügge, L. 2002. Road Weather Forecasts foe Winter Road Maintenance Information Center. SIRWEC 2002, 11th International Road Weather Conference, Sapporo, Japan. p. 5.

Racko, S. Teplotní inverze [online]. Praha. ČHMÚ. 2011. [cit. 2015- 2- 10]. Dostupné z <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1319971231>.

Roth, G. D. 2000. Malá encyklopedie počasí. Euromedia Group k. s. Praha. 293 s. ISBN: 80-242-0228-X.

Sobíšek, B., a kol. 1993. Meteorologický slovník výkladový & terminologický. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky. 594 s. ISBN: 80-85368-45-5.

Sokol, Z., Bliznak, V., Chladova, Z., Hosek, J., Pesice, P., Sedlak, P., Zacharov, P. 2014. First experience with application of the model METRO in the Czech Republic. SIRWEC 2014, 17th International Road Weather Conference, La Massana, Andorra. Winter road forecasting techniques and methods. p. 8.

Sulan, J. 2006. Jíní – jev nebezpečný pro silniční dopravu. Meteorologické zprávy. 59. 37–42 s.

Sulan, J. 2012. Příručka silničního meteorologa [online]. Praha. ČHMÚ. Listopad 2010. Leden 2012 [cit. 2015- 1- 25]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather_links/Pocasi/>.

Sulan, J., Skuthan, M. 2008. Road meteorology evaluation in the Czech Republic. SIRWEC 2008, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic. Education/ Cooperation. p. 5.

Sulan, J., Škuthan, M. 2005. Silniční meteorologie v provozu Českého Hydrometeorologického Ústavu. Meteorologické zprávy. 58. 33–40 s.

Terpstra, J. Ledent, T. 2003. Instruments and observing methods report No. 77 Road managers and meteorologists over road meteorological observations. Word meteorological organization. WMO. Ženeva. p. 45.

Toivonen. K. 2002. Web – based distribution of road weather information to winter road maintenance contractors in a multiple contractor enviroment. SIRWEC 2002, 11th International Road Weather Conference, Sapporo, Japan. Sensors & Equipment/ RWIS/ ITS Technology – Management Support. p. 6.

Urbanová, E., Ondráš, M., Dostálová, J., Kott, I. 1985. Metodický předpis č. 6 – Návod pro kreslení dat na synoptické mapy a jiné podklady. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 47 s.

White, S. P. A Guide to Road Weather Information System [online]. UK. Sirwec. 2006. [cit. 2015- 3- 9]. Dostupné z <http://www.sirwec.org/links.htm>.

Žalud, Z. Bioklimatologie [online]. Brno. Mendelova Univerzita. 2014. [cit. 2015- 1- 3]. Dostupné z <http://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/kestazeni/bioklimatologie/>.

6 Seznam zkratek

ALADIN	Aire limitée adaptation dynamique development interNational
CERWIS	Cenral european road weather information system
COST Action	(European) Cooperation in science and technology
CPU	Central processing unit
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DWD	Der deustche wetterradarverbund
ESS	Environmental sensors station
INCA	Intergrated nowcasting through comprehensive analysis
JSMIS	Jednotný silniční meteorologický informační systém
LRSS	Laser road sufrace sensor
MDSS	Made desicion support system
METIS	Meteorologický informační systém
RPU	Remote processing unit
RWIS	Road weather information system
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SIRWEC	Standing international road weather commision
SIVS	Systém informační výstražné služby
SSWM	Support system for winter maintenance
SWIS	Satellite weather information system
UHI	Urban heat island