

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Hodnocení trvání slunečního svitu a výskytu mlhy
v období 1951–2010 na stanici Praha – Karlov**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Jakub Zemen

Obor studia: AMVV – Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci "Hodnocení trvání slunečního svitu a výskytu mlhy v období 1951–2010 na stanici Praha Karlov" vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11. dubna 2017

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Věře Kožnarové, CSc. za velkou ochotu, pomoc, cenné rady a čas při zpracování diplomové práce, dále bych rád poděkoval své rodině za podporu a zázemí při studiu na vysoké škole.

Hodnocení trvání slunečního svitu a výskytu mlhy v období 1951–2010 na stanici Praha – Karlov

Souhrn

Práce má experimentální charakter a navazuje na bakalářskou práci s názvem „Mlha a sluneční svit na stanici Praha – Karlov“. Na meteorologické stanici Praha – Karlov se měří trvání slunečního svitu a výskyt mlhy jako součást termínových pozorování. Cílem práce bylo analyzovat data a potvrdit, nebo vyvrátit hypotézu, že mezoklimatické podmínky ovlivnily rozložení výskytu mlhy a trvání slunečního svitu v období 60 let za různých povětrnostních situací na stanici Praha Karlov, která se nachází v blízkosti Nuselského mostu. Dále se práce zabývá problematikou znečištění z automobilové dopravy, které má vliv na rozložení dvou již zmíněných meteorologických prvků v čase.

Literární rešerše je zaměřena na vznik, rozdělení a složení mlhy. Druhá část je věnována měření trvání slunečního svitu. Poslední kapitola literární rešerše popisuje vznik a dopad emisí z automobilové dopravy v centru hlavního města Prahy.

V experimentální části byla zpracována data o výskytu mlhy a trvání slunečního svitu, které pochází z měření na meteorologické stanici Praha – Karlov. Pro danou metodiku byla použita data z publikace „Měsíční přehled meteorologických měření a pozorování observatoře Praha – Karlov“ z časového úseku 60 let (od roku 1951 do roku 2010). Výsledky jsou prezentovány v grafech a tabulkách a jejich součástí je i statistické vyhodnocení.

Z analýzy dat vyplývá, že rostoucí automobilová doprava na Nuselském mostě a úbytek ploch zeleně zastavěním způsobuje vyšší teplotu a nižší vlhkost vzduchu a tím vzniká městský tepelný ostrov (Urban Heat Island – UHI). Tento jev vede ke snížení počtu dnů s mlhou na observatoři Praha – Karlov. Při úbytku dnů s mlhou roste i počet hodin slunečního svitu.

Klíčová slova: mlha, sluneční svit, synoptická situace, Praha – Karlov

Evaluation of sunshine duration and fog occurrence in period 1951–2010 at Prague – Karlov station

Summary

The work has an experimental character and follows the bachelor thesis called "Fog and sunshine at the weather station Prague Karlov." There are evaluated sunshine duration and occurrence of fog at the weather station in Prague – Karlov. The aim is to analyze the data and confirm or disprove the hypothesis that mesoclimatic conditions affected the extent of occurrence of fog and sunshine duration in different weather conditions at the Prague weather station near the Nusle bridge in past 60 years. Moreover, the work deals with air pollution of cars, which has an influence on the extent of the two already mentioned meteorological elements.

Literature research is focused on the creation, distribution and composition of the fog. The second part is focused on measurement and duration of sunshine. The last chapter of the literature research describes the creation and impact of vehicle emissions in the center of Prague.

Experimental part processes information about the occurrence of fog and sunshine duration, whose come from the measurement device from the Weather Station Prague – Karlov. For the methodics is used publication *Monthly Review meteorological measurements and observations of observatory Praha – Karlov/Měsíční přehled meteorologických měření a pozorování observatoře Praha – Karlov*. The data are in 60 year interval from 1951 to 2010. Statistical evaluation and graphs are drafted from the data.

The analysis show, that increasing vehicle traffic on the Nusle bridge and the loss of greenery causes a higher temperature and lower humidity and then forms so-called Urban Heat Island (UHI). This phenomenon leads to a reduction number of foggy days on the observatory Prague – Karlov. With a loss of that foggy days grows a number of hours with sunshine.

Keywords: fog, sunshine, synoptic situation, Prague – Karlov

Obsah

| | |
|---|---------------|
| 1 Úvod | - 8 - |
| 2 Cíl práce | - 9 - |
| 3 Literární rešerše | - 10 - |
| 3.1 Sluneční svit | - 10 - |
| 3.1.1 Měření trvání slunečního svitu..... | - 11 - |
| 3.1.2 Charakteristiky slunečního svitu..... | - 12 - |
| 3.2 Mlha | - 12 - |
| 3.2.1 Rozdělení mlhy | - 13 - |
| 3.2.1.1 Advekční mlha | - 13 - |
| 3.2.1.2 Radiační mlha | - 13 - |
| 3.2.1.3 Mlha frontální | - 13 - |
| 3.2.1.4 Mlha městská | - 13 - |
| 3.2.2 Vznik mlhy..... | - 14 - |
| 3.2.3 Klimatologické charakteristiky mlhy..... | - 15 - |
| 3.2.4 Mlhy v Praze | - 16 - |
| 3.3 Meteorologické měření na stanici Praha – Karlov | - 17 - |
| 3.4 Emise v Praze | - 18 - |
| 3.4.1 Automobilová doprava v Praze..... | - 20 - |
| 3.5 Synoptické situace | - 22 - |
| 4 Materiál a metody | - 24 - |
| 4.1 Klimatické podmínky stanice Praha – Karlov | - 24 - |
| 4.2 Měření doby slunečního svitu a mlhy | - 27 - |
| 4.2.1 Přístroje k měření slunečního svitu..... | - 27 - |
| 4.2.1.1 Campbell–Stokesovův slunoměr | - 27 - |
| 4.2.1.2 Slunoměr SD4..... | - 29 - |
| 4.2.2 Přístroje k měření mlhy..... | - 29 - |
| 4.2.2.1 PWD22 měřící vertikální dohlednost..... | - 30 - |
| 4.2.2.2 Ceilometr CT25K měřící výšku oblačnosti | - 30 - |
| 4.3 Postup zpracování dat | - 31 - |
| 5 Výsledky | - 32 - |
| 5.1 Sluneční svit | - 32 - |
| 5.1.1 Variabilita ročních sum slunečního svitu za období 60 let..... | - 33 - |
| 5.1.2 Četnost sumy slunečního svitu v jednotlivých měsících za období 60 let..... | - 34 - |
| 5.1.3 Sluneční svit za období 60 let..... | - 36 - |

| | | |
|------------|--|---------------|
| 5.1.4 | Krabicový graf slunečního svitu na stanici Praha – Karlov..... | - 40 - |
| 5.2 | Mlha..... | - 41 - |
| 5.2.1 | Roční charakteristiky mlhy za období 60 let | - 42 - |
| 5.2.2 | Četnost výskytu mlhy v jednotlivých měsících za období 60 let..... | - 43 - |
| 5.2.3 | Mlha za období 60 let | - 45 - |
| 5.2.4 | Krabicový graf mlhy na stanici Praha – Karlov..... | - 49 - |
| 5.3 | Závislost slunečního svitu a mlhy | - 50 - |
| 5.3.1 | Měsíční suma slunečního svitu a mlhy | - 51 - |
| 5.4 | Nejnižší a nejvyšší hodnoty slunečního svitu a mlhy | - 58 - |
| 6 | Diskuze | - 60 - |
| 7 | Závěr..... | - 63 - |
| 8 | Seznam použité literatury..... | - 64 - |

1 Úvod

Stejně jako každé město, tak i Praha je z krajinně – ekologického hlediska naprosto přetvořený ekosystém. V důsledku urbanizace došlo ke změnám vlastností aktivního povrchu. Tyto změny způsobil zejména úbytek zeleně na úkor málo propustných či dokonce nepropustných povrchů (asfalt, beton, dlažba apod.), umělá výroba tepelné energie (nejvíce v zimním období) a další efekty lidské činnosti, především průmysl, doprava a kanalizace.

V neurbanizované krajině se plocha pokrytá zelení pohybuje v rozpětí 90–100 %, ale ve městech se pokryv zeleně vyskytuje v rozpětí 10–50 % (Malberg, 2007).

Trvání slunečního svitu je doba, po kterou dopadají rovnoběžné paprsky od slunečního disku na zemský povrch. Délku trvání slunečního svitu určuje počet hodin za určité časové období (den, měsíc nebo rok), po které přímé sluneční záření dopadá na zemský povrch. Trvání slunečního svitu ovlivňují různé faktory např. délka dne, výskyt oblačnosti a mlh, či překážky v místě pozorování. Doba trvání slunečního svitu nám udává časový interval, kdy svítilo slunce.

Mlha je kapalný aerosol nacházející se ve spodní vrstvě atmosféry. Kapalný aerosol vznikl kondenzací přesycených vodních par a snižuje dohlednost pod 1 km.

Mlhy výrazně ovlivňují lidský život. Při výskytu se zmenšuje rozptyl částic. Největší problém představují antropogenní znečišťující částice, které nejvíce pocházejí z průmyslu a dopravy. V automobilové dopravě je jedním z negativních faktorů omezující dohlednost řidičů a tím má zásadní vliv na bezpečnost provozu. Řidiči oprávněně mlhu nazývají „bílou tmou“.

Výskyt mlhy snižuje dobu, po kterou dopadají sluneční paprsky na zemský povrch. Trvání slunečního svitu s mlhou se navzájem determinují.

2 Cíl práce

Měření slunečního svitu a pozorování výskytu mlhy patří mezi základní meteorologická pozorování na meteorologických stanicích. Jedná se o prvky, které jsou navzájem propojené, a proto lze jejich analýzu považovat za vhodný nástroj pro posouzení variability počasí v dlouhé časové řadě.

Cílem práce bylo analyzovat data o trvání slunečního svitu a výskytu mlhy na meteorologické stanici Prahy – Karlov za období 1951 až 2010 za různých povětrnostních situací.

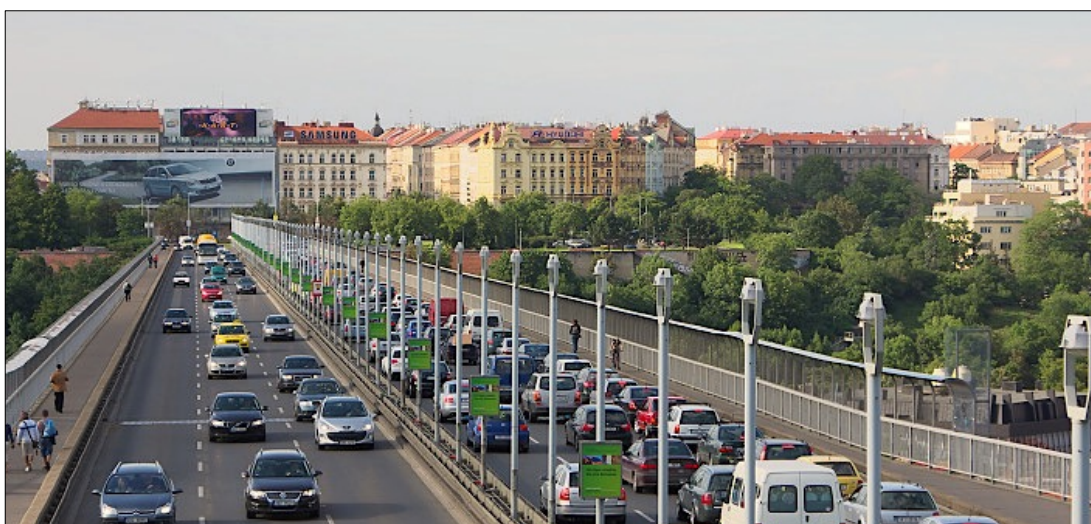
Hypotézou bylo potvrzení nebo vyvrácení předpokladu, že nastala změna mezoklimatických podmínek v šedesátiletém období v oblasti centra Prahy, která se projevila v rozložení těchto dvou meteorologických prvků.

3 Literární rešerše

Za základní zdroje energie z meteorologického hlediska se považuje Slunce a planeta Země s atmosférou. Jejich radiace prochází atmosférou ve formě zářivých toků. Pro různé účely, zejména ve výzkumné praxi se sledují tyto toky z různých hledisek, tj. jako sluneční svit, aktinometrická a fotometrická měření (Klabzuba, Kožnarová, 1991). Pro účely této práce byl jako nejvhodnější charakteristika použit sluneční svit. Trvání slunečního svitu závisí především na tom, jak dlouho je Slunce nad obzorem. Možná doba slunečního svitu může však být omezena překážkami nad horizontem (hory, lesy, stavby). Skutečně registrovaná doba svitu je však v našich podmínkách ovlivňována čistě meteorologickými faktory – oblačností a mlhou, případně velkoměstskou atmosférou. Lze tedy shrnout, že sluneční svit a mlha jsou v těsné příčinné vazbě – trvání slunečního svitu je „zrcadlovým“ obrazem výskytu mlhy (Coufal a kol., 1991).

3.1 Sluneční svit

Sluneční svit nezahrnuje rozptýlenou složku slunečního záření. Postihuje jen dobu, po kterou přímé rovnoběžné paprsky od slunečního disku dopadají na zemský povrch (obr. 1). Do slunečního svitu se též nezapočítává doba, kdy je Slunce při východu a západu tak nízko nad obzorem, že intenzita přímého záření nepřesahuje práh citlivosti heliografu, která činí asi 200 W.m^{-2} (Klabzuba, 2001).



Obr. 1 Slunečný den v Praze nad Karlovem (www.pavelkarmelita.blog.cz)

Slunce nad obzorem určuje trvání slunečního svitu. Časový úsek (počet hodin, kdy je Slunce nad obzorem) mezi východem a západem Slunce se nazývá astronomicky možná délka slunečního svitu. Potencionální doba slunečního svitu na určitém místě je

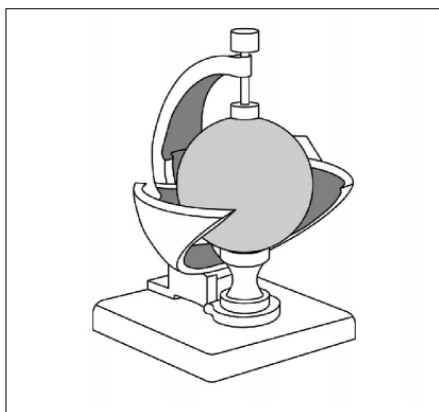
závislá na překážkách v okolí a na meteorologických faktorech jako jsou oblačnost, mlha, ročním období a délka dne. Meteorologické faktory působí až do té míry, že sluneční svit v průběhu většinou nedosáhne ani poloviny případné doby (Červený a kol., 1984; Klabzuba a Kožnarová, 1991; Glickman, 2000; Tolasz, 2007).

3.1.1 Měření trvání slunečního svitu

Dobu, po kterou dopadají rovnoběžné paprsky od slunečního disku na zemský povrch, popisujeme jako měření trvání slunečního svitu. Tento pojem není dost zřetelný, nebereme-li v potaz tzv. prahovou citlivost přístroje. Sluneční svit od určité hranice nevystihuje intenzitu přímé radiace a nepřímé rozptýlené záření i při vyšších intenzitách, než je prahová citlivost přístroje. Údaje měření se uvádí absolutně v časových jednotkách (hodinách) nebo relativně přepočtené na procenta astronomicky možného slunečního svitu.

K měření slouží heliograf (slunoměr), (Klabzuba a Kožnarová, 1991). V zásadě se používají tři typy:

- I) Marvinův heliograf, který zapisuje dopadající záření Slunce pomocí registračního kontaktního elektrického teploměru.
- II) Campbellův a Stokesův slunoměr (obr. 2), který využívá tepelného záření slunečních paprsků, soustředěného do ohniska skleněné koule k vyznačení stopy na registrační pásku.
- III) Jordanův slunoměr zaznamenává sluneční paprsky na speciální fotografický papír (Sobíšek, 1993).



Obr. 2 Campbellův a Stokesův slunoměr (Židek, 2003)

3.1.2 Charakteristiky slunečního svitu

Trvání slunečního svitu záleží zejména na tom, jak dlouho je Slunce nad obzorem. Časový interval, kdy je Slunce nad obzorem, nazýváme *astronomicky možnou dobou slunečního svitu*. Počet hodin slunečního svitu na měřeném místě závisí i na tom, zda není redukován překážkami nad horizontem, jako jsou stromy, hory, stavby apod. Pro odstranění chyby vzniklé zastíněním heliografu je třeba odečíst od astronomicky možné doby slunečního svitu dobu připadající na průchod Slunce za překážkou. Tuto upravenou dobu slunečního svitu nazýváme *efektivně možnou dobou slunečního svitu*.

V našich podmínkách je skutečně registrovaná doba svitu natolik ovlivněna čistě meteorologickými faktory, že zpravidla nedosahuje ani poloviny efektivně možné doby svitu. Globální znečišťování atmosféry v posledních desetiletích snižuje naměřené hodnoty např. v Praze až o 30 %. Pro srovnávání různých míst navzájem užíváme jako klimatologické charakteristiky jednak *relativní trvání slunečního svitu* a také *dobu slunečního svitu přepočtenou na ideální horizont*. Relativní trvání je vztah naměřené doby svitu a efektivně možné doby slunečního svitu vyjádřený v procentech. Doba slunečního svitu přepočtená na ideální horizont se stanovuje jako součin relativní doby svitu a astronomicky možné doby svitu (Coufal a kol., 1991; Anon., 2007).

3.2 Mlha

V meteorologickém slovníku je mlha popisována jako atmosférický aerosol, jenž je složen z vodních kapek nebo malých ledových krystalků, které zmenšují přízemní vodorovnou viditelnost pod jeden kilometr. Pokud je viditelnost snižena pod dva kilometry jedná se o kouřmo a nad dva kilometry se nazývá opar. (Potužníková a Sedlák, 2003; Novák, 2004; Nováková a kol., 2010; Miklín, 2011).

Atmosférickými aerosoly jsou všechny tuhé a kapalné částičky vyskytující se v atmosféře. Částičky se do prostředí dostávají přirozenou nebo antropogenní činností. Přirozenou činností se rozumí vulkanická činnost, aeroplankton (bakterie, pyl), chemická reakce mezi plyny a kapalinami v atmosféře, přirozená kondenzace a průlet meteorů. Antropogenní činností se částičky dostávají do atmosféry kouřem z komínů, vypouštěním zbytkových plynů a výparů z průmyslových a převážně chemických továren a spalováním fosilních paliv v automobilové, letecké a vodní dopravě (Dvořák, 2012; Ruda, 2014).

3.2.1 Rozdělení mlhy

Ochlazování vzduchu nad zemským povrchem, které způsobuje vznik mlhy, může být vyvoláno různými faktory a podle toho lze mlhu rozdělit na různé typy:

3.2.1.1 Advekční mlha

je mlha, tvořená ochlazením relativně vlhkého a teplého vzduchu, při jeho přesunu nad chladnější povrch. Mlhou advekční můžeme označit mlhu vznikající zvýšeným výparem při přemístění studeného vzduchu nad teplý a vlhký povrch (Sobišek, 1993).

3.2.1.2 Radiační mlha

je mlha, která vzniká izobarickým radiačním ochlazením vzduchu od aktivního povrchu, jehož teplota klesá následkem efektivního vyzařování. Takto vznikají mlhy zvláště v zimním období (Sobišek, 1993). Radiační mlha převládá převážně v noci. Většinou se začíná vytvářet za večerního soumraku a často se nerozptýlí před svítáním. Radiační mlhu často nazýváme pozemní mlha (Glickman, 2000).

3.2.1.3 Mlha frontální

Vznik tohoto typu souvisí jak s advekčními změnami teploty vzduchu, tak s dočasným nasycením způsobeným frontálními srážkami a předfrontálním poklesem tlaku vzduchu. Rozlišujeme dva typy frontální mlhy. Záleží, zda je výskyt mlhy hlavně před frontou, nebo za ní. Podle tohoto kritéria se rozlišuje mlha předfrontální, či zafrontální.

Předfrontální mlha se tvoří před teplou nebo okluzní frontou v oblasti atmosférických srážek, jejichž vypařováním se zvyšuje vlhkost vzduchu. Zafrontální mlha se vyskytuje po přechodu atmosférické fronty. Za teplou frontou je mlha zafrontální podmíněna advekcí teplého a vlhkého vzduchu nad studený povrch. Po přechodu studené fronty má zafrontální mlha obvykle radiační charakter a vytváří se nad povrchem zvlhčeným frontálními srážkami při následujícím nočním radiačním ochlazení (Sobišek, 1993).

3.2.1.4 Mlha městská

vzniká a houstne v prostoru velkých (převážně průmyslových) měst působením nečistot v ovzduší, a to převážně exhalátů z procesů hoření. Mlha má vlivem sazí, kouře a dalších látek nejčastěji tmavě šedé zbarvení. Taktéž se označuje jako smog nebo zákal (Sobišek, 1993).

Smogem je nazýváno silné znečištění různorodého původu nad rozlehlejším územím, tvořené souborem látek, které se dostávají do ovzduší převážně lidskou činností (nejvíce průmyslové exhalace). Smog zimního typu vyjma znečišťujících látek, zahrnuje

také výskyt mlhy. Původně byla smogem zimním označována směs mlhy a kouře s četným obsahem převážně oxidu siřičitého (SO₂).

Zvýšená koncentrace plynů ze spalin automobilových motorů ve vrstvě vzduchu při zemi, které se následkem sluneční radiace přeměňují v aerosol a vyvolávají zhoršení dohlednosti, se nazývá fotochemický smog nebo smog losangeleského typu (Štekl, 1988; Knozová a Hora, 2010).

3.2.2 Vznik mlhy

Bez přítomnosti pevných přirozených nebo antropogenních aerosolových částic ve vzduchu se neuskuteční vznik žádné mlhy ani oblaku, neboť vodní pára v atmosféře musí kondenzovat na pevné částici. Mlha se tvoří tehdy, když se v přízemní hladině zvýší hladina relativní vlhkosti vzduchu nad hodnotu 100 %. Prahová hodnota relativní vlhkosti určuje vlastnosti kondenzačních a hygrokopických jader, díky kterým vznikají kapky mlhy (Podzimek, 1959; Papež, 1973; Potužníková a Sedlák, 2003; Gultepe et al., 2007; Řezáčová a kol., 2007; Möller, 2008; Nováková a kol., 2010).

Mlhy mohou vznikat i v podmínkách, kdy relativní vlhkost vzduchu nedosáhne 100 % a také díky přítomnosti atmosférických aerosolů v ovzduší, které jsou antropogenního původu. Relativní vlhkost vzduchu, která je nezbytná pro vznik mlhy, klesá s rostoucím znečištěním ovzduší.

V 60. až 80. letech 20. století byly primárními škodlivinami ve velkoměstském ovzduší oxidy dusíku (NO_x) a oxid siřičitý (SO₂), tyto škodliviny mohly sloužit jako kondenzační jádra po spojení s dalšími látkami (nejčastěji s amoniakem) a mlhy tak mohly vznikat, aniž by relativní vlhkost vzduchu dosáhla 100 % (Chaloupecký a Kastner, 2005).

Podmínky povrchu (urbanizace, stavem půdy a vegetace) výrazně ovlivňují vznik a vývoj mlhy. Účinky povrchu mohou být přímé a nepřímé. Přímé účinky povrchu ovlivňují teplotu, profil větru, lokální cirkulaci a vlhkost. Účinky nepřímé jsou modifikace radiačních vlastností atmosféry, aerosolových spekter a mikrofyzikálních procesů (Gultepe et al., 2007).

Radiační mlha vzniká za stejných podmínek počasí, za kterých vzniká i městský tepelný ostrov. Husté mlhy vznikají mimo městský tepelný ostrov v přilehlých oblastech, které jsou vhodné pro vznik radiační mlhy. Při ideální situaci vznikají tzv. čisté tepelné ostrovy, které jsou tvořeny městským tepelným ostrovem v oblasti mlhy. Během dne, kdy přetrvává mlhové pokrytí, se zesiluje účinek městského tepelného ostrova, jelikož

v nočních hodinách jsou teploty zachovány díky krytu mlhy v okolí. Teplota tepelného ostrova roste a zrychluje zpětné procesy mezi tepelnou bilancí a zářením, v důsledku suchého a adiabaticky vyhřátého vzduchu přes vrstvu svislého míšení. Tento průběh napomáhá rozkladu přízemní inverze a propouštění slunečního záření. Na území přechodu mezi venkovem a městem figurují strmé změny stavu teploty. Takové přechody jsou silnější než přechod městského tepelného ostrova, kvůli blízkosti území s velmi rozdílným zářením a energetickou rovnováhou. Následkem je posílení přízemního vánku a posunutí denního maxima z noci (Lee, 1987; Sachwe and Koepke, 1997).

Mlha se vyskytuje ve třech stádiích. Formování mlhy je prvním stádiem a v tomto stádiu se s časem zvyšuje koncentrace kapek jako následek růstu vodního obsahu při trvalé střední velikosti kapek. Ve zralém stádiu dochází k poměrně silným odchylkám v koncentraci kapek vodního obsahu i střední velikosti kapek. Třetím stádiem je rozpouštění mlhy. Charakteristiky mlhy se s časem mohou měnit (Potužníková a Sedlák, 2003; Řezáčová a kol., 2007).

3.2.3 Klimatologické charakteristiky mlhy

Mlhy výrazně ovlivňují každý druh dopravy, převážně leteckou a automobilovou. Znemožňují různou lidskou činnost a značně nepříznivě ovlivňují životní prostředí a zmenšují rozptyl průmyslových exhalátů. Mlhy přeměňují radiční bilanci zemského povrchu a jsou největším zdrojem horizontálních srážek (Štekl, 1988). Sledování výskytu mlhy se provádí na profesionálních i dobrovolnických meteorologických stanicích.

Na profesionálních meteorologických stanicích se sleduje trvání mlhy během dne, kde z dat o dohlednosti odvodíme i intenzitu mlhy. Charakteristiky trvání mlhy jsou určeny jako začátek a konec výskytu mlhy v dobách měření ostatních prvků.

Na dobrovolnických klimatologických stanicích se mlhy evidují podle klíče:

- ma – časně ráno,
- a – dopoledne,
- p – odpoledne,
- n – v noci,
- v – večer,
- np – od večera do půlnoci,
- na – od půlnoci do rána,
- i – střídavě.

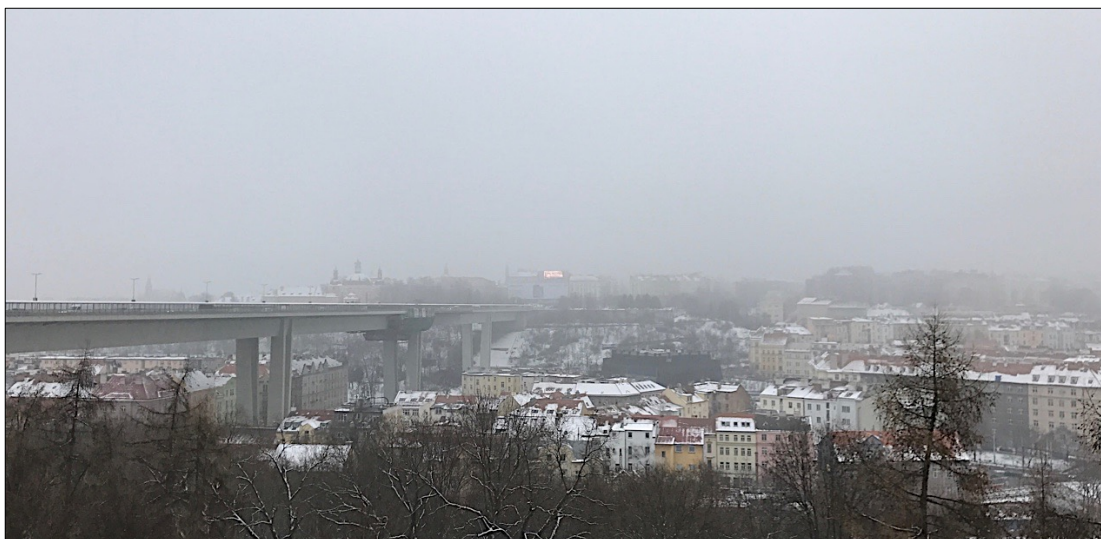
Stupnice pro dobrovolnické klimatologické stanice rozděluje intenzitu mlhy do 4 stupňů:

- stupeň 0 – slabá (meteorologická dohlednost je v rozmezí 500–1000 metrů),
- stupeň 1 – mírná (meteorologická dohlednost je v rozmezí 200–500 metrů),
- stupeň 2 – silná (meteorologická dohlednost je v rozmezí 50–200 metrů),
- stupeň 3 – velmi silná (meteorologická dohlednost menší než 50 metrů).

Stupeň 3 byl zaveden teprve v roce 1971.

3.2.4 Mlhy v Praze

Meteorologická stanice Praha – Karlov pozoruje výskyt mlhy v centru Prahy a v posledních letech zaznamenává výrazně klesající tendenci výskytu mlhy. Výzkum Chaloupeckého a Kastnera (2005) určil, že v důsledku zvyšování znečištění ovzduší v centru Prahy v 60. až 80. letech 20. století ve dnech s mlhou klesla průměrná relativní vlhkost vzduchu na meteorologické stanici Praha – Karlov.



Obr. 3 Mlha nad Karlovem při smogové situaci v únoru 2017 (orig., 2017)

Od poloviny 70. let byl pozorován silný pokles četnosti výskytu mlh v Praze. Výskyt mlhy ve městech klesá s úbytkem rostlinného pokryvu, který je následkem nárůstu počtu obyvatel ve městě a s tím i nárůstem počtu domů, průmyslových skladů a dopravních komunikací. Nárůstem těchto faktorů se zvětšuje trend městského tepelného ostrova (Urban Heat Island UHI). Městský tepelný ostrov je oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní vrstvě atmosféry nad městem. Proti údolním oblastem je

meteorologická stanice Praha – Karlov postavena v konvexní poloze (obr. 3), ve které je výskyt mlh nižší.

Jako každé velkoměsto i Praha byla v 80. letech 20. století výrazně znečištěna oxidy dusíku (NO_x) a oxidem siřičitým (SO_2) díky neekologickému provozu vytápění obydlí, spalování fosilních paliv a vypouštěním velkého množství škodlivin (převážně oxidu siřičitého (SO_2)) v průmyslových zónách.

90. léta přinesla pro Prahu ekologicky šetrnější výrobní provozy, zavedením přísnějších norem pro vypouštění škodlivin do ovzduší. Snížilo se uvolňování škodlivin síry z velkých provozů, jelikož většina z nich dostala odsiřovací filtry. Díky tomu se snížila koncentrace oxidu siřičitého (SO_2). A to vedlo k nárůstu průměrné relativní vlhkosti ve dnech s výskytem mlhy. Oxid uhličitý (NO_x) je vypouštěn zvláště dopravou, která v Praze stále roste. I když doprava stále roste, znečištění ovzduší se zřetelně zlepšilo a tím poklesl počet aerosolů antropogenního původu, jež podporují vznik mlhy. V centru Prahy se klesající trend výskytu mlhy prohloubil a možnost vzniku a výskytu mlhy je stále menší (Chaloupecký a Kastner, 2005).

3.3 Meteorologické měření na stanici Praha – Karlov

Meteorologická stanice Praha – Karlov sídlí v ulici Ke Karlovu na Praze 2 v jihozápadní části budovy Matematicko – fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Meteorologické přístroje jsou umístěné na plošině věže, ve výši 27 m nad terénem a 260,5 m nad mořem, budova svou výškou převyšuje ostatní stavby. Stanice začala své měření a pozorování 1. 1. 1920. Kombinovaný provoz, který k pozorování využívá lidskou obsluhu, je v době od 7:00 hod. do 21:00 hod. SEČ. Od 21:00 hod. do 7:00 hod. SEČ má stanice automatizovaný provoz, který byl zahájen v srpnu 2002. Začátkem kombinovaného provozu se stala stanice profesionální meteorologickou stanicí s nepřetržitým provozem (Anon., 2011a).

Zaznamenávají se zde meteorologické a hydrologické informace. Vedle základních fyzikálních vlastností přízemní atmosféry jsou na stanici zaznamenávány informace o znečištění ovzduší s radioaktivitou (Anon., 2011b).

3.4 Emise v Praze

Jedním z faktorů, který ovlivňuje trvání slunečního svitu a mlhy ve velkých městech a průmyslových zónách, jsou emise.

Výraz emise pochází z latinského slova *emitto*, jehož významem je vypouštět, vysílat či vydávat. Používá se výhradně v souvislosti s kvalitou ovzduší a znamená uvolňování polutantů do ovzduší, ve kterých je obsaženo četné množství kondenzačních a hygroskopických jader a vody (Papež, 1973; Ruda, 2014).

Kvalitu a znečištění ovzduší lokalit nejvíce ovlivňuje množství emisí znečišťujících látek v nich se vyskytujících. Významné jsou i rozptylové podmínky. Ty jsou souborem geografických parametrů sledované oblasti a meteorologické situace.

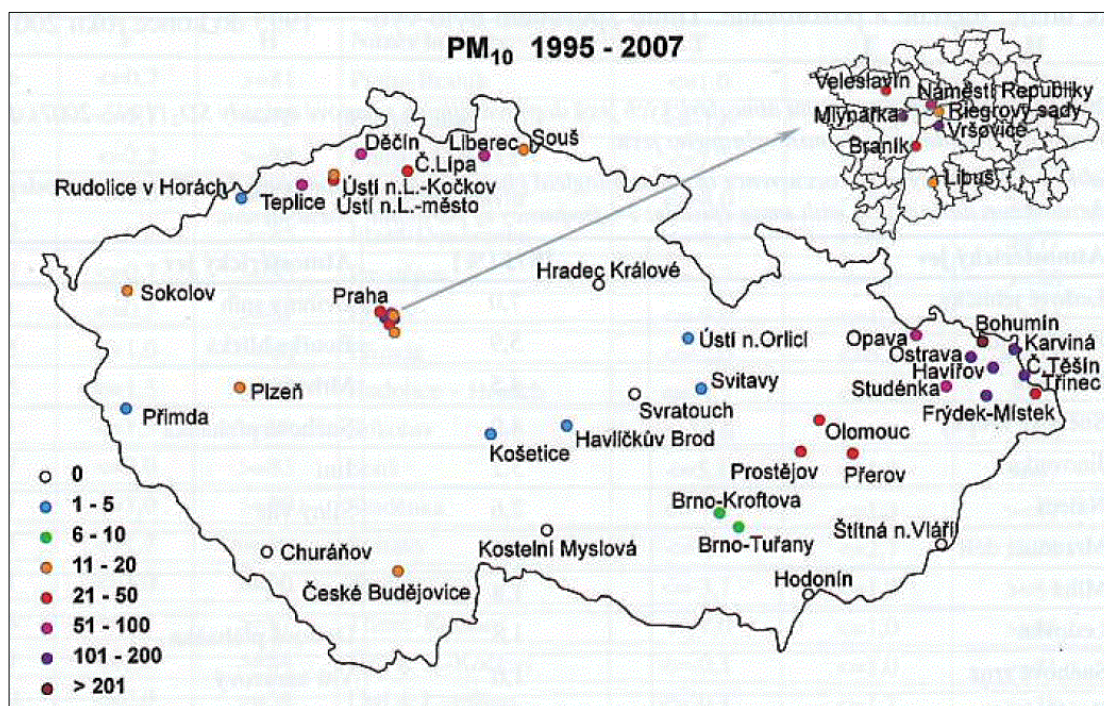
Množství emisí škodlivin souvisí zejména se změnou struktury původců znečištění. Rostoucí problém znečištění již nepředstavují velké průmyslové zdroje, ale lokální topeniště a rostoucí doprava. Extrémní hodnoty znečištění ohrožující lidské zdraví představuje okolí emisních zdrojů, jako jsou průmyslové oblasti a velká města (Knozová a Šimková, 2009; Novák, 2004).

Suspendované částice PM_{10} pocházejí z výfukových sazí převážně diesellových automobilů (obr. 7). Dále se vyskytují jako jemné částice z obrušování pneumatik a brzdových destiček osobních i nákladních automobilů. Neméně důležitá je sekundární prašnost, která vzniká zvířením sekundárních částic z povrchu vozovky. Sekundární částice jsou prachové částice, které vznikají v atmosféře chemickými procesy díky SO_2 , NO_x , NH_3 a VOC (Knozová a Šimková, 2009; Anon., 2010).

Smogové situace jsou uvedeny v zákonně č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Tento zákon stanovuje informativní prahové hodnoty úrovně znečištění suspendovanými částicemi PM_{10} ve 24hodinovém průměru, který překročil na alespoň jedné stanici hodnotu $100 \mu g \cdot m^{-3}$ ve dvou po sobě následujících dnech. tj. klouzavá 24hodinová průměrná koncentrace PM_{10} byla překročena ve 25 po sobě následujících hodinách. Signál regulace nastává, jestliže 24hodinová průměrná koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na nejméně polovině stanic překročila hodnotu $150 \mu g \cdot m^{-3}$ ve třech po sobě následujících dnech (Anon., 2010).

Knozová a Hora (2010) v období 1995–2007 zkoumali částice PM_{10} . Na obr. 4 jsou vidět smogové situace, které se vyskytly v České republice, převážně ve velkých městech a průmyslových oblastech.

Zlepšující se kvalita ovzduší ve městech České republiky započala v minulých desetiletích. Od počátku 90. let 20. století byla v Praze sledována klesající tendence znečišťujících látek v ovzduší.



Obr. 4 Počet dní se smogovou epizodou v období od 1995 až 2007 (Knozová a Hora, 2010)

V současnosti se v Praze nevyskytují zdraví ohrožující koncentrace SO_2 , které způsobují smogové epizody. V posledních letech ohrožují zdraví lidí suspendované částice PM_{10} , jelikož jejich koncentrace neklesají. Roční chod smogových situací způsobený suspendovanými částicemi PM_{10} je charakteristický s maximálním výskytem v lednu, ale ve městech jsou velké koncentrace dokonce v teplých měsících. Při porovnání ve velkých městech dny s mlhou se dny s mlhou doprovázené smogovou epizodou, lze tak zjistit, že dny s mlhou doprovázené smogovou epizodou jsou oproti dnům s mlhou jen výjimečně. Česká republika se nachází v klimatických podmínkách, kde je mlha běžným atmosférickým jevem s výskytem v průběhu celého roku. Smogové epizody jsou extrémním jevem a vyskytují se převážně v zimním období. Ve městech v 90. letech 20. století při snížení emisního znečištění se snížilo i množství výskytu mlh (Knozová a Hora, 2010; Knozová a Šimková, 2009; Tolasz, 2007).

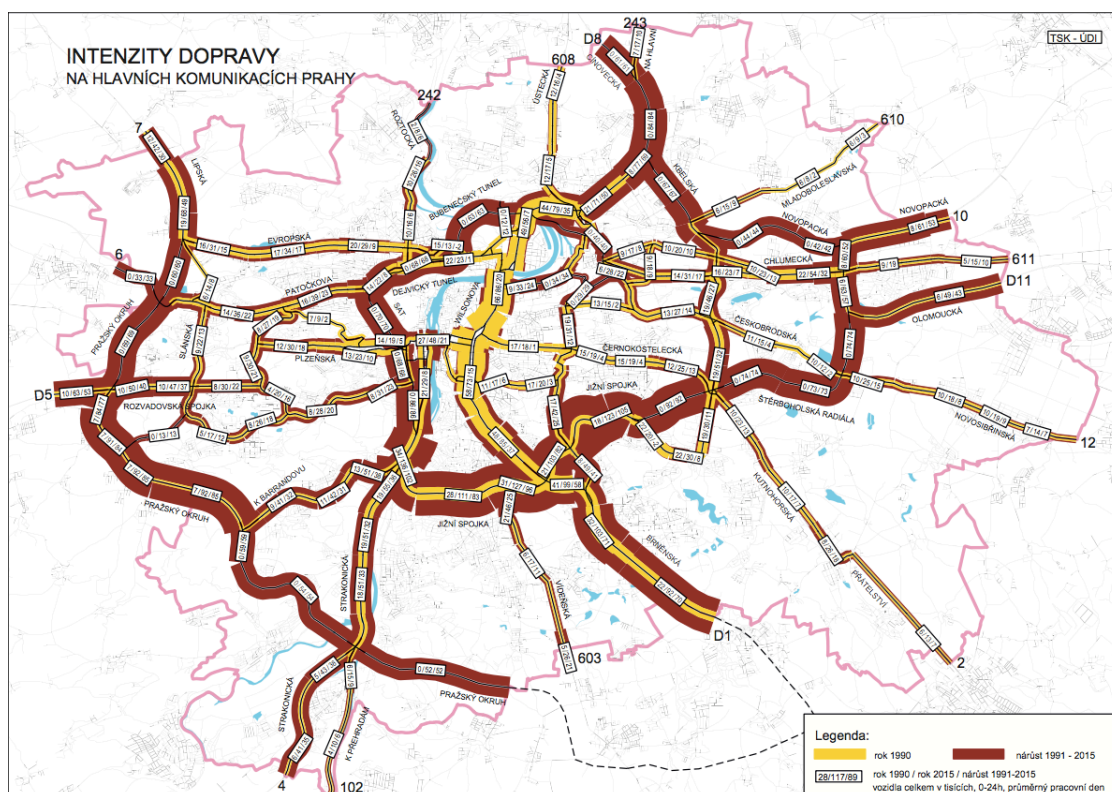
I když se ve městech České republiky výrazně snížily emise většiny škodlivin, tak ohrožení zimním smogem zůstává. Současným problémem jsou suspendované částice

PM₁₀, díky nimž vznikají smogové situace v průměru 63 dnů za rok (Knozová a Šimková, 2009).

3.4.1 Automobilová doprava v Praze

Stoupající automobilová doprava ve městech má stále větší vliv na prostředí a obyvatelstvo měst. Nejvíce se tento problém týká velkoměst a obzvláště Prahy. V hlavním městě Praze se vykazuje vysoká intenzita a vysoce nadprůměrné výkony automobilové dopavy, při srovnání s dálnicemi a jinými městy České republiky (Adámek a kol., 2016, Sadílek, 2001). Počet motorových vozidel registrovaných v Praze výrazně rostl až do roku 1999, posléze nárůst zvolnil. Ke konci roku 2015 příslušel v Praze jeden registrovaný osobní automobil na 1,7 obyvatele (Adámek a kol., 2014; Adámek a kol., 2016).

Od roku 1978 jsou v Praze sledovány dopravní výkony. Dopravní výkon je měření ujetých vozokilometrů na celé komunikační síti, jedná se o hlavní ukazatel automobilové dopavy. Veškeré zápisy o dopravních výkonech jsou z doby 0:00 hod až 24:00 hod všedního pracovního dne a jsou uváděny bez autobusů MHD.

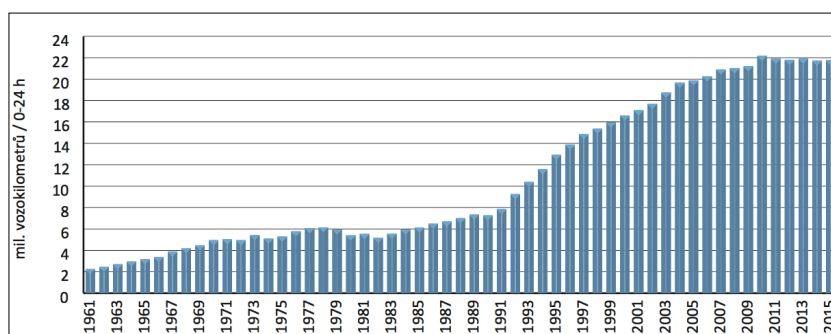


Obr. 5 Intenzity dopavy na hlavních komunikačních Prahy (Adámek a kol., 2016)

Na území Prahy se stále zvyšuje počet registrovaných motorových vozidel a jejich dopravní výkony ve městě. Na obr. 5 je znázorněn nárůst intenzity automobilové dopavy

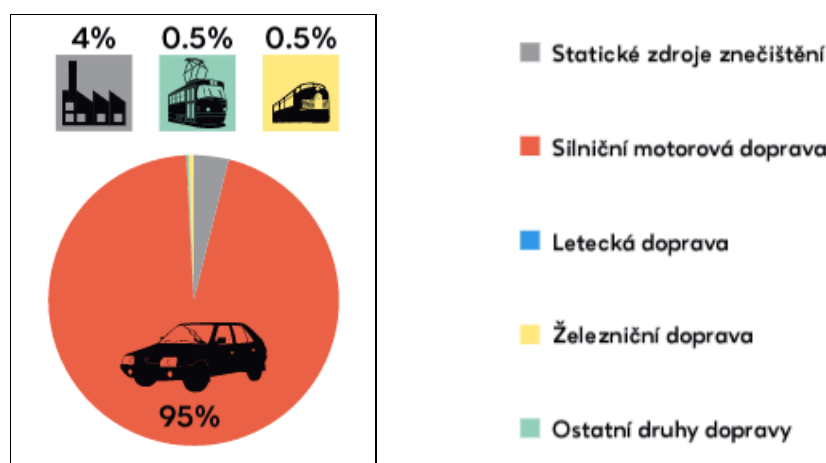
na hlavních komunikacích Prahy. Tloušťka čar vyznačuje množství automobilové dopravy, kde rok 1990 je znázorněn žlutou barvou a vínovou barvou je vyjádřen nárůst z let 1991–2015 (Adámek a kol., 2016).

Dopravní výkony automobilové dopravy v Praze jsou zaznamenávány od roku 1961. Z obr. 6 můžeme pozorovat prudký nárůst dopravy v Praze (s mírnými výkyvy) mezi lety 1961 až 2009. V roce 2010 se počet dopravních výkonů mírně zvýšil a následně ustálil až do roku 2015.



Obr. 6 Vývoj dopravních výkonů automobilové dopravy v Praze (Adámek a kol., 2016)

Automobilová doprava vytváří okolo 26 % celkových emisí těkavých organických látek (VOC), 65 % emisí NO_x a 93 % emisí amoniaku na území hlavního města Prahy. Suspendované částice mají podle vědeckého výzkumu nepříznivý vliv na lidské zdraví, proto jsou sledovány smogové epizody obsahující částice o aerodynamickém průměru do 10 μm a značí se PM₁₀ (Knozová a Hora, 2010; Nováková a kol., 2010).



Obr. 7 PM₁₀ v Praze rok 2015 (www.auto-mat.cz/wp-content/uploads/am-znec.png)

3.5 Synoptické situace

Jedním z faktorů, které oba meteorologické prvky (sluneční svit mlhu) ovlivňují, jsou synoptické situace.

Slovo „synoptický“ pochází z řeckého slova přehled nebo uvážení. Synoptickou situací se nazývá konkrétní rozsah atmosférického pohybu s typickým rozsahem až mnoha stovek kilometrů. V meteorologii je synoptická situace celkem specializovaný komplex a přehled o stavu atmosféry. Přitom se odvolává na využívání meteorologických údajů získaných přes širokou oblast (Skřehot, 2006; Glickman, 2000; HMÚ, 1972). Nejčastější prezentací povětrnostní situace je synoptická mapa. Mapa slouží k zobrazení širokého spektra meteorologických prvků a výrazů počasí a předpovědím vývoje počasí. Pro co nejspolehlivější údaje je třeba sbírat meteorologická data z široké sítě pozorovacích stanic. Data jsou následně zpracována a směřována s ostatními státy a díky tomu vznikají mapy širokého rozměru, které jsou používány k předpovědím počasí (Skřehot, 2006). Pro tyto účely byla provedena typizace synoptických situací. Typizace bere v úvahu nejen okamžitý stav přízemního a výškového proudění, ale také polohu frontální zóny, vzduchové hmoty a charakter tlakového pole. Tato kritéria jsou důležité při rozložení vertikálních pohybů a tím i na projevy počasí. (Křivancová a Vavruška, 1997). Mezi typy patří např.

Anticyklóna nad střední Evropou (A): nad Evropou se udržuje kvazistacionární tlaková výše, vyjádřená i ve vyšších hladinách. Je vyplněna relativně teplým vzduchem s výjimkou studené přízemní vrstvy v zimním období.

Brázda nízkého tlaku nad střední Evropou (B): udržuje se zde zvlněné frontální rozhraní oddělující teplý vzduch na východě a studený na západě. Dráha frontálních vln probíhá nejčastěji z Itálie přes Moravu nad Polsko.

Brázda postupující přes střední Evropu (Bp): situace se od brázdy nízkého tlaku nad střední Evropou liší v tom, že brázda není kvazistacionární, ale přesunuje se zvolna k východu.

Cyklóna nad střední Evropou (C): střed cyklóny ve výšce leží nejčastěji nad západní částí střední Evropy. Frontální systémy s přízemními cyklónami postupují ze Středozemního moře nad východní část střední Evropy a zde se retrográdně stáčí k západu. Území České republiky zahrnují jejich srážková pásma, nikoliv ale teplé sektory.

Jihozápadní cyklonální situace (SWc₁): řídicí tlaková níže se udržuje nad západní Evropou, frontální systémy postupují přes Pyrenejský poloostrov, Alpy a území České republiky k severovýchodu až severu. Nad východní Evropou se udržuje blokující anticyklóna.

Jižní anticyklonální situace (Sa): tlaková výše se nachází nad východní Evropou, po jejím okraji proudí ze Středomoří do střední Evropy teplý vzduch.

Severovýchodní cyklonální situace (NEc): tlaková níže východně od území České republiky přivádí studený vzduch od severu až severovýchodu, ve výšce se občas uplatňuje advekce teplého vzduchu retrogradně přetočeného přes Ukrajinu a Polsko k jihu západu.

Severozápadní anticyklonální situace (NWa): na rozdíl od NWc prochází frontální zóna východněji a území České republiky je převážně pod vlivem tlakové výše nad západní a částečně i střední Evropou v převládající teplé advekci.

Severozápadní cyklonální situace (NWc): frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Severní moře a Polsko k jihovýchodu. V severozápadním proudění zpravidla rychle postupující fronty (teplé, studené, podružné studené, okluzní) zasahují aktivně i území České republiky.

Východní anticyklonální situace (Ea): střední Evropa leží na jižním okraji tlakové výše nebo zonálního hřebene ve východním proudění kontinentálního vzduchu.

Západní cyklonální situace (Wc): frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Britské ostrovy k východu nad Pobaltí, přitom fronty zasahují aktivně i území České republiky a střídají se zde teplé a studené maritimní (oceánské) vzduchové hmoty (Křivancová a Vavruška, 1997; Brádka a kol., 1961).

4 Materiál a metody

K vyhodnocení a analýze dat byly použity soubory dat z „*Meteorologického přehledu stanice Praha – Karlov*“, kde jsou k dispozici denní údaje.

Lokalita Praha – Karlov odpovídá kritériím požadovaným pro hodnocení mezoklimatu, tj. dějů, které probíhají převážně v mezní vrstvě ovzduší (do výšky vrstvy 1–1,5 km), nebo v celé troposféře a je ovlivněno antropologickými aktivitami (Klabzuba a Kožnarová, 2002).

4.1 Klimatické podmínky stanice Praha – Karlov

Klimatické podmínky lokality lze charakterizovat podle různých kritérií:

- Zařazení podle klasifikace podle Quitta uvádí tab. 1:

Tab. 1 Klimatologické charakteristiky pro oblast Prahy

| Charakteristika | Charakteristiky teplé oblasti |
|---|-------------------------------|
| Počet letních dní | 50 až 60 |
| Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více | 160 až 170 |
| Počet dní s mrazem | 100 až 110 |
| Počet ledových dní | 30 až 40 |
| Průměrná ledová teplota | -2 až -3 °C |
| Průměrná červencová teplota | 18 až 19 °C |
| Průměrná dubnová teplota | 8 až 9 °C |
| Průměrná říjnová teplota | 7 až 9 °C |
| Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více | 90 až 100 |
| Suma srážek ve vegetačním období | 350 až 400 mm |
| Suma srážek v zimním období | 200 až 300 mm |
| Počet dní se sněhovou pokrývkou | 40 až 50 |
| Počet zatažených dní | 120 až 140 |
| Počet jasných dní | 40 až 50 |

Popis geografických podmínek stanice Praha – Karlov je uveden v tab. 2.

Tab. 2 Geografické podmínky území

| | |
|--------------------------------------|---|
| Zeměpisné souřadnice | 50° 04' severní šířky 14° 25' východní délky |
| Nadmořská výška | 254 metrů nad mořem |
| Odchylka středního místního času SEČ | +3 minuty |
| Fytogeografická oblast | Středočeská tabule |
| Geomorfologická oblast | Pražská plošina |

- Zařazení podle Köppenovy klasifikace:
Cfb – podnebí listnatých lesů mírného pásma, kde:
C: průměrná teplota nejteplejšího měsíce přesahuje 10 °C, průměrná teplota nejchladnějšího měsíce je mezi -3 až 18 °C,
f: úhrn srážek v nejvlhčím letním měsíci je větší než v nejsušším zimním měsíci a to méně než 10krát, zároveň nejvlhčí zimní měsíc má úhrn srážek menší než je trojnásobek úhrnu srážek v nejsušším letním měsíci,
b: průměrná teplota nejteplejšího měsíce je menší než 22 °C a čtyři měsíce mají průměr větší než 10 °C (Tolasz, 2007; Klabzuba a kol., 1999).
- Zařazení dle klasifikace Atlasu podnebí ČSR (1958):
klimatické oblast: B, mírně teplá,
klimatický okrsek: B₂, mírně teplý, mírně suchý, převážně s mírnou zimou.
- Zařazení podle Agroklimatických podmínek ČSSR:
makrooblast: teplá,
oblast: převážně teplá,
podoblast: s poměrně mírnou zimou.
- Zařazení podle Taylorovy klasifikace:
oblast střeoevropská s cyklonální cirkulací a s působením polární fronty a střídavým vlivem oceánu a kontinentu.
- Zařazení podle hydrotermického koeficientu Seljaninova:
vláhová oblast mírně výsušná s hydrotermickým koeficientem $HTK = 1,0-1,3$, (Klabzuba a kol., 1999).

Hlavními klimatologickými prvky je průměrná teplota vzduchu a srážky. Teplotu vzduchu popisují teplotní charakteristiky v tab. 3, srážkové podmínky pak tab. 4.

Tab. 3 Teplotní charakteristiky (Klabzuba a kol., 1999).

| Měsíc | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| a) | 14,7 | 18,1 | 22,1 | 29,1 | 32,7 | 36,4 | 40,2 | 38,4 | 33,4 | 28,1 | 20,3 | 13,2 |
| b) | 1,4 | 3,5 | 8,4 | 13,9 | 19,3 | 22,3 | 23,4 | 24 | 19,7 | 13,8 | 6,9 | 3,1 |
| c) | -1,1 | 0,7 | 4,5 | 9,1 | 13,9 | 17,2 | 18,7 | 18,3 | 14,9 | 9,8 | 4,4 | 0,8 |
| d) | -3,6 | -2,1 | 0,6 | 4,3 | 8,6 | 12,1 | 14 | 12,6 | 10,1 | 5,8 | 1,9 | -1,5 |
| e) | -23,7 | -29,1 | -23,6 | -7,8 | -1,7 | 2,5 | 6,4 | 4,8 | -0,8 | -6,2 | -8,8 | -21,7 |
| f) | | | | > 0 | > 0 | 2 | 4 | 3 | > 0 | | | |
| g) | | | | 1 | 4 | 9 | 14 | 13 | 4 | > 0 | | |
| h) | 21 | 17 | 11 | 3 | > 0 | | | | | 2 | 9 | 19 |
| i) | 10 | 6 | 1 | | | | | | | | 1 | 8 |
| j) | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | > 0 | 2 |
| k) | 1 | > 0 | | | | | | | | | | > 0 |

- a) Nejvyšší denní maximum g) Počet letních dní
 b) Měsíční průměr denních maxim h) Počet mrazových dní
 c) Průměrná měsíční teplota i) Počet ledových dnů
 d) Měsíční průměr denních minim j) Počet dní se silným mrazem
 e) Nejnižší denní minimum k) Počet arktických dní
 f) Počet tropických dní

Tab. 4 Srážkové charakteristiky (Klabzuba a kol., 1999).

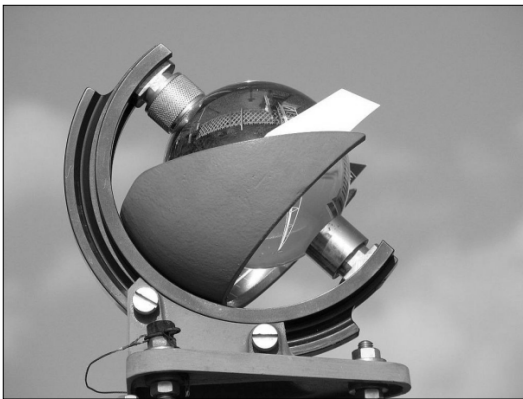
| Měsíc | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. |
|-------|-----|-----|------|-----|----|-----|------|-------|-----|-----|-----|------|
| a) | 21 | 19 | 27 | 34 | 62 | 61 | 61 | 66 | 40 | 31 | 28 | 22 |
| b) | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 12 | 13 | 12 | 13 |
| c) | 6 | 5 | 5 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| d) | > 0 | > 0 | > 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | > 0 |
| e) | | > 0 | 1 | 1 | 5 | 6 | 4 | 4 | 2 | | | > 0 |
| f) | 10 | 9 | 7 | 2 | 1 | | | | | 1 | 3 | 8 |
| g) | 11 | 10 | 5 | 1 | | | | | | > 0 | 1 | 8 |
| h) | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | > 0 | 1 | 1 | 5 | 9 | 5 | 4 |

- a) Měsíční úhrn srážek e) Počet dní s bouřkou
 b) Počet dní se srážkami $\geq 0,1$ mm f) Počet dní se sněžením
 c) Počet dní se srážkami $\geq 1,0$ mm g) Počet dní se sněhovou pokrývkou
 d) Počet dní se srážkami $\geq 10,0$ mm h) Počet dní s mlhou

4.2 Měření doby slunečního svitu a mlhy

4.2.1 Přístroje k měření slunečního svitu

Meteorologická stanice Praha–Karlovy Vary používá k měření slunečního svitu dva typy heliografů. Prvním typem je Campbell–Stokesův slunoměr (obr. 8) registrující sluneční svit pomocí skleněné kulové čočky, přes jejíž střed vypalují sluneční paprsky stopu na papírové pásky. Druhý heliograf SD4 (obr. 9) je elektrický, plně automatizovaný a na stanici pracuje bez lidské obsluhy.



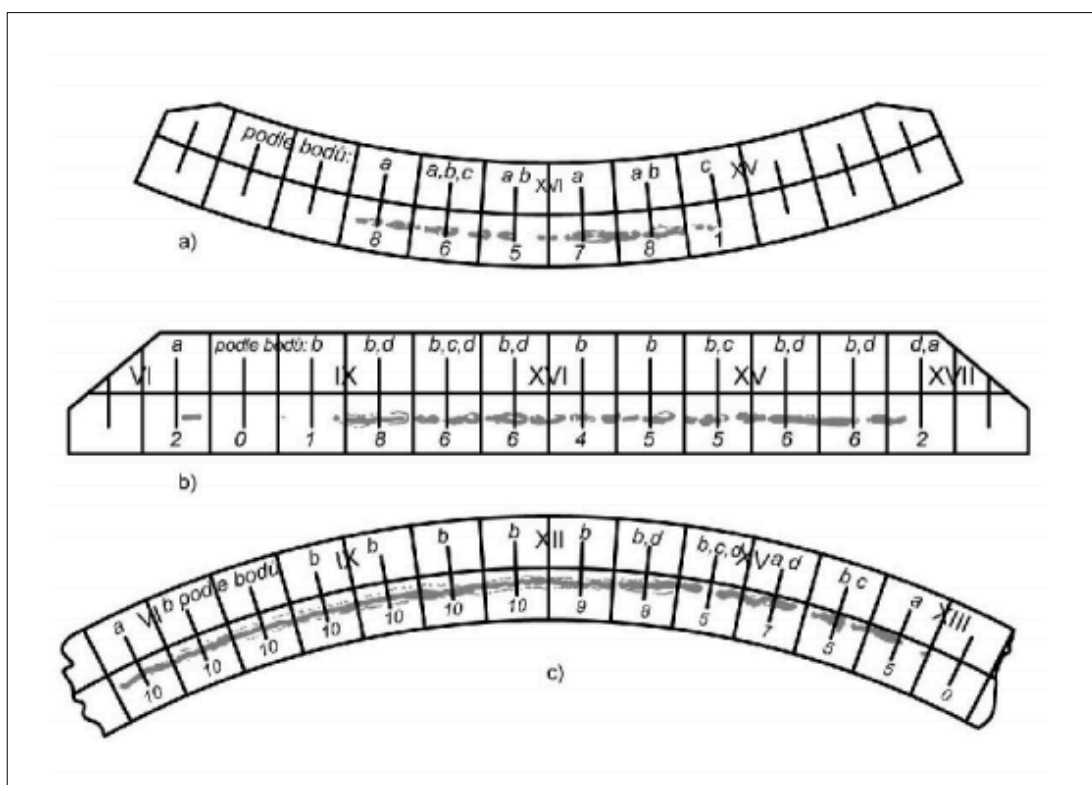
Obr. 8 Campbell–Stokesův heliograf
(www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Heliograph_%28Lisca%29.jpg)



Obr. 9 Elektrický slunoměr SD4
(Černošek, 2017)

4.2.1.1 Campbell–Stokesův slunoměr

Základ heliografu tvoří koule vytvořená ze speciálního skla, jemně broušená a leštěná o velikosti 48 mm. Jde o kulovou čočku, která soustřeďuje paprsky procházející koulí do jednoho bodu. Koule je usazena v misce na stojánku, který je pohyblivý všemi směry. Kulovou čočku částečně obklopuje kulový prstenec sloužící pro uložení registrační pásky. Prstenec je umístěn na podstavci blízko ohniskové vzdálenosti koule. Poloha prstence je nastavitelná dle stupňů zeměpisné šířky vyznačených na stupnici na straně stojánku. Záznam se provádí na registrační pásky (obr. 10), které jsou ze slabého kartonu. Páska se označí datem a názvem stanice a každý den se po západu Slunce vymění (i ve dnech, kdy sluneční svit nebyl zaznamenán). Používají se tři druhy registračních pásek podle ročního období (obr. 10 a tab. 5).



Obr. 10 Registrační pásy všech typů s příkladem vyhodnocení (Fišák, 1994)

Tab. 5 Registrační pásy Campbella – Stokesova slunoměru

| Typ pásy | od | do |
|----------|----------|---------------------------------------|
| a) | 12.října | 28.února (v přestupném roce 29.února) |
| b) | 1.března | 11.dubna |
| | 1.září | 11.října |
| c) | 12.dubna | 31.srpna |

V zimním období se používají pásy, které jsou krátké zakřivené a vsunují se do horních drážek misky. Pásy používané na jaře a na podzim jsou rovné. Dávají se do prostředních drážek. Dlouhé zakřivené pásy se používají v letním období a vkládají se do spodních drážek. Registrační pásy mají zelenou či modrou barvu a pro lepší orientaci je každá půlhodina a hodina oddělena vertikální čarou. Průchodem slunečních paprsků v ohnisku kulové čočky barva pásu žloutne, hnědne a popřípadě se pásek propálí. Po západu Slunce se vyhodnotí délka slunečního svitu (Slabá, 1972; Fišák, 1994, Židek a Lipina, 2003; Anon., 2007)

4.2.1.2 Slunoměr SD4

Digitální detektor slunečního záření SD4 byl vyvinut, vyroben a patentován českou firmou Meteoservis v.o.s. Princip měření elektrického slunoměru je optický. Optický systém přístroje je vybaven skleněnou kopulí, umožňující průchod slunečních paprsků, zároveň slouží jako horizontální clona s podélnou štěrbinou a zabezpečuje voděodolnost vnitřního prostoru. K jímání vnitřní vlhkosti je snímač opatřen vyměnitelným pouzdrem naplněným silikagelem. Pod štěrbinou je uložena soustava fotocitlivých diskretních článků z monokrystalického křemíku, které jsou připojeny na vyhodnocovací elektroniku snímače. Na každém článku se promítá výřez oblohy. Když je Slunce nad obzorem a přitom ho nezakrývá např. mlha, tak při pohybu na obloze stále ozařuje jeden z článků s nejvyšší intenzitou.

Vyhodnocovací elektronický systém vybere článek, který je během dne nejvíce osvětlený a porovnává intenzitu toku dopadajícího slunečního záření s prahovou citlivostí čidla, která je nastavena na 120 W/m^2 . Detektor je vybaven autokalibrací na tuto prahovou citlivost. Rozdíl intenzity osvětlení jednotlivých článků řídící program vyhodnotí, a určí, zda na snímač dopadá přímé sluneční záření, nebo pouze rozptýlené. Jestliže intenzita záření přesáhne prahovou citlivost čidla, přístroj vyšle do vyhodnocovací elektroniky snímače signál o slunečním svitu.

Při instalaci se musí orientovat snímač tak, aby podélný otvor pod skleněnou kopulí probíhal ve směru sever – jih. Snímač je vybaven vytápěním, aby nedošlo k ovlivnění měření námrazou nebo zamlžením skleněné kopule (Pokorný a Vaníček, 2007; Černošek, 2017).

4.2.2 Přístroje k měření mlhy

Stanice na Karlově k měření mlhy používá dva přístroje, které vyhodnocují množství pokrytí oblohy. Přístroj měřící vertikální dohlednost s názvem: Present weather detector (PWD) a Ceilometr (obr. 12), který měří výšku oblačnosti.



Obr. 11 PWD22
(www.label.pl/img/pwd.jpg)



Obr. 12 Ceilometr CT25K
(Anon., 2014)

4.2.2.1 PWD22 měřící vertikální dohlednost

PWD22 (obr. 11) je přístroj vyrobený firmou Vaisala a slouží k měření vertikální viditelnosti. Dohlednost se měří prostřednictvím rozptylové techniky za jakýchkoliv povětrnostních situací, díky automatickému vyrovnání srážek. Rozsáhlý komplex automaticky diagnostikovaných postupů, nám dává možnost, neustále sledovat stav senzorů. Senzor pro zjišťování srážek najdeme v horní části regulátoru. Optické části na konstrukci jsou mírně skoseny dolů na ochranu čidla před znečištěním a kryty slouží jako ochrana čočky proti prachu či kondenzaci vodní páry. Nevýhoda přístroje je malá délka měření, která je pouze 20 km, je-li větší, dohlednost určuje pozorovatel (Anon., 2013; Anon., 2015a; Anon., 2015b).

4.2.2.2 Ceilometr CT25K měřící výšku oblačnosti

Laserový ceilometr CT25K je taktéž vyrobený firmou Vaisala a slouží k měření vertikální dohlednosti a pokrytí oblohy laserovým paprskem. Přístroj vysílá laserové pulzy a měří zpětný rozptyl světla. Zaznamenává výšku dvou nejnižších vrstev (pokud je druhá nejnižší vrstva přítomna) oblačnosti. Počítač z dat vytvoří ceilograf (obr. 13) a pomocí osy s výškou v metrech a osy s časem se určuje výše oblačnosti. Ceilometr lze ručně naklánět od -15° do $+90^\circ$ a tím můžeme paprsek směřovat libovolným směrem. Přístroj měří v rozsahu 7500 m a s rozlišením 15 m (Flynn, 2004; Anon., 2014; Anon., 2015a)



Obr. 13 Ceilograf (Anon., 2015a)

Ceilograf je záznam, na kterém žluté křížky zaznamenávají nejnižší vrstvu oblačnosti a zelené křížky druhou nejnižší vrstvu oblačnosti. Vlevo je umístěna stupnice výšky v metrech a dole stupnice času. Na obr. 13 je zaznamenáno, jak od 9:30 UTC klesá Stratus pod 200 metrů (Anon., 2015a).

4.3 Postup zpracování dat

Pro analýzu byla použita denní data slunečního svitu a mlhy z měření Českého hydrometeorologického ústavu z období 1951–2010 publikované v Měsíčním přehledu meteorologických měření a pozorování observatoře Praha – Karlov. Hodnoty byly zpracovány v programu Microsoft Excel a Statistika a následně převedeny do tabelární a grafické podoby.

5 Výsledky

Na základě výsledků naměřených na meteorologické stanici Praha – Karlov byly vytvořeny statistické, grafické a tabelární výstupy vyjadřující sumy hodin slunečního svitu a počet dnů s mlhou.

5.1 Sluneční svit

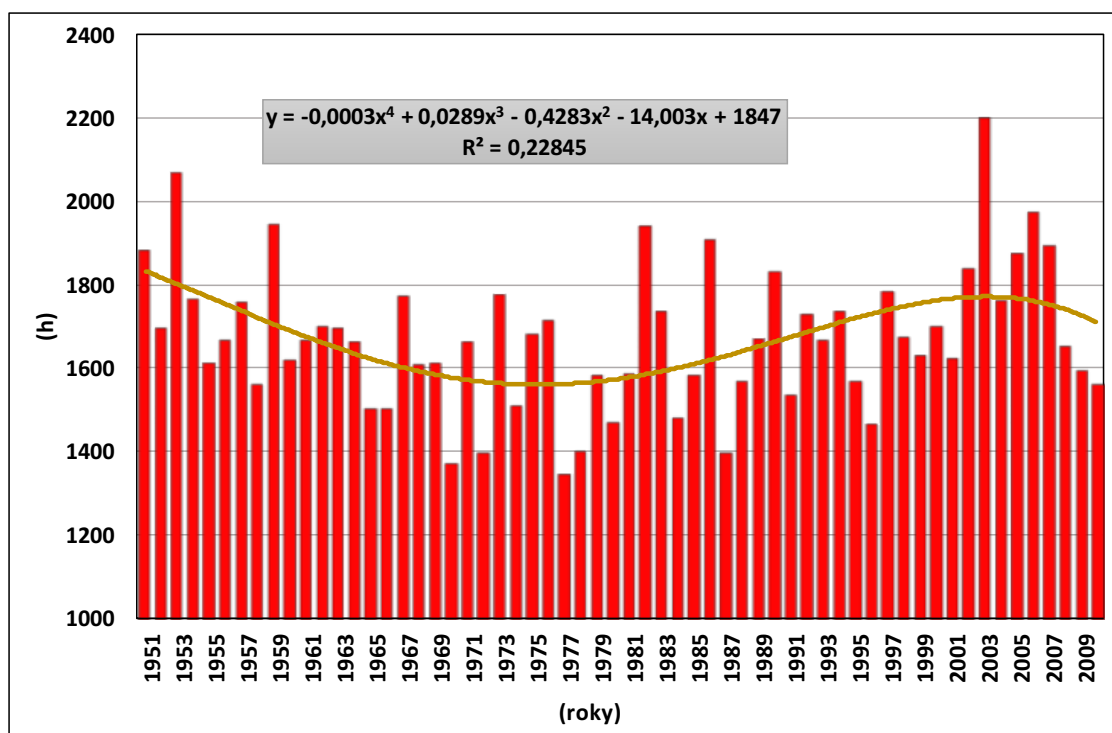
Tab. 6 Statistické charakteristiky měsíčních sum slunečního svitu (1951 – 2010)

| | leden | únor | březen | duben | květen | červen |
|--------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Průměr | 49,4 | 73,4 | 122,1 | 173,6 | 217,8 | 218,4 |
| Chyba stř. hodnoty | 2,3 | 3,3 | 4,1 | 5,2 | 5,7 | 5,3 |
| Medián | 50,1 | 68,7 | 121,5 | 167,5 | 229,7 | 224,3 |
| Modus | 68,5 | 70,1 | - | 167,5 | 219,9 | - |
| Směr. odchylka | 17,8 | 25,1 | 31,1 | 40,1 | 43,3 | 40,2 |
| Rozptyl výběru | 315,6 | 631,6 | 964,6 | 1629,9 | 1877,9 | 1617,4 |
| Špičatost | -0,1 | 0,0 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| Šikmost | 0,0 | 0,7 | 0,3 | 0,5 | -0,6 | 0,2 |
| Amplituda | 85,4 | 115,7 | 169,9 | 194,6 | 203,0 | 196,8 |
| Minimum | 7,9 | 31,4 | 51,7 | 100,7 | 86,0 | 139,7 |
| Maximum | 93,3 | 147,1 | 221,6 | 295,3 | 289,0 | 336,5 |

| | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| Průměr | 227,4 | 221,1 | 161,9 | 116,9 | 49,1 | 42,3 |
| Chyba stř. hodnoty | 6,1 | 4,5 | 5,6 | 4,4 | 2,2 | 1,8 |
| Medián | 232,3 | 220,8 | 161,7 | 116,7 | 50,3 | 42,1 |
| Modus | 212,1 | 252,3 | 211,4 | - | 75,5 | 38,5 |
| Směr. odchylka | 46,7 | 34,7 | 42,3 | 34,3 | 17,2 | 13,7 |
| Rozptyl výběru | 2180,9 | 1207,2 | 1789,7 | 1178,4 | 296,7 | 188,1 |
| Špičatost | 0,4 | 0,4 | -0,7 | -0,7 | -1,1 | 0,5 |
| Šikmost | 0,1 | 0,3 | -0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| Amplituda | 237,2 | 177,5 | 168,9 | 141,4 | 66,6 | 68,8 |
| Minimum | 107,8 | 148,4 | 76,2 | 59,2 | 16,5 | 16,4 |
| Maximum | 345,0 | 325,9 | 245,1 | 200,6 | 83,1 | 85,2 |

Z tabulky je patrné, že průměr, který ukazuje nejnižší hodnoty, byl v prosinci (42,3 h.) a nejvyšší hodnoty byly dosaženy v červenci (227,4 h.). Medián vykazuje nejnižší hodnotu v prosinci a nejvyšší v květnu. Modus nebyl ve třech případech vůbec zaznamenán. Nejvyšší hodnota minima je v srpnu s hodnotou 148,4 hodin a maxima v červenci s hodnotou 345 hodin.

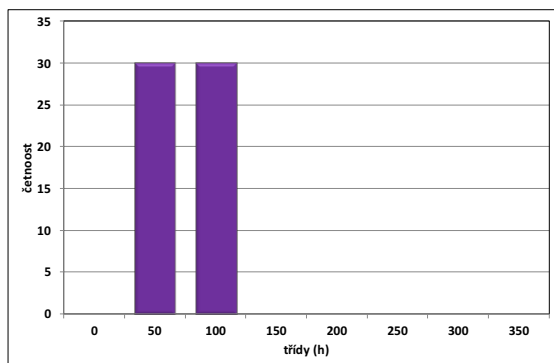
5.1.1 Variabilita ročních sum slunečního svitu za období 60 let



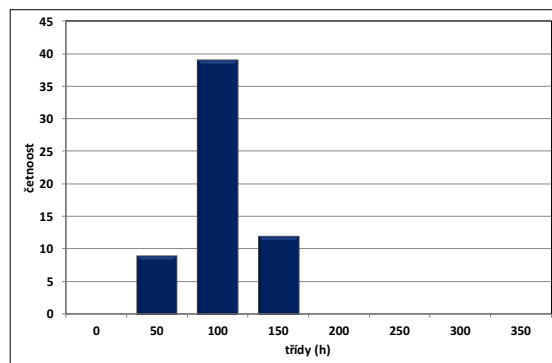
Obr. 14 Roční chod slunečního svitu, žlutě vyznačen polynomický trend

Na obr. 14 je graficky vyjádřena časová řada slunečního svitu v šedesátiletém období, které trvá od roku 1951 do roku 2010. Praha – Karlov vykazuje mírně stoupající polynomický trend (žlutá křivka) čtvrtého stupně. Nejvyšší hodnoty se vyskytly v roce 2003 v množství 2199,3 hodin slunečního svitu a nejnižší naměřené údaje byly v roce 1977 a to v hodnotě 1346,2 hodin slunečního svitu.

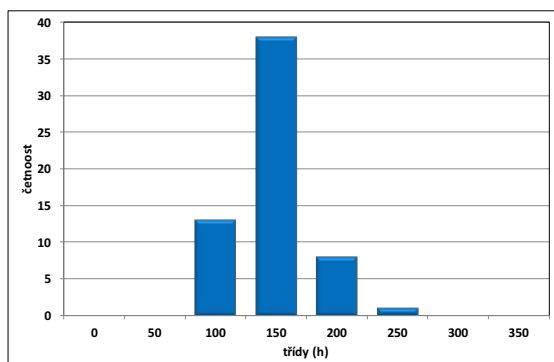
5.1.2 Četnost sumy slunečního svitu v jednotlivých měsících za období 60 let



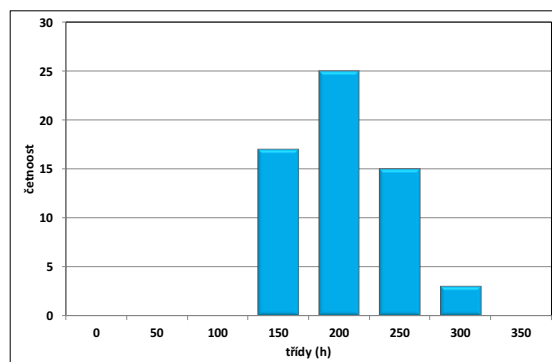
Obr. 15 Četnost v měsíci leden



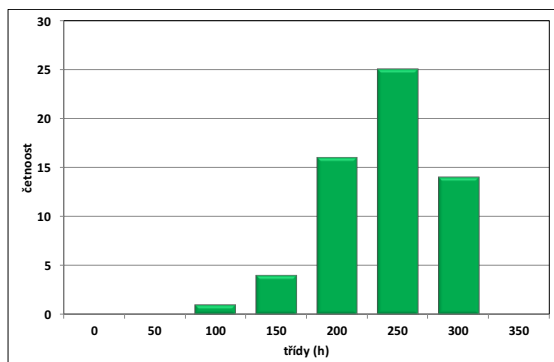
Obr. 16 Četnost v měsíci únor



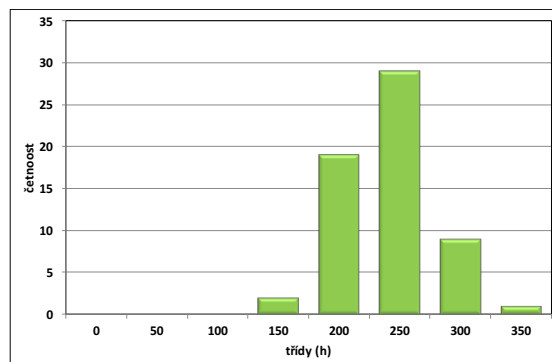
Obr. 17 Četnost v měsíci březen



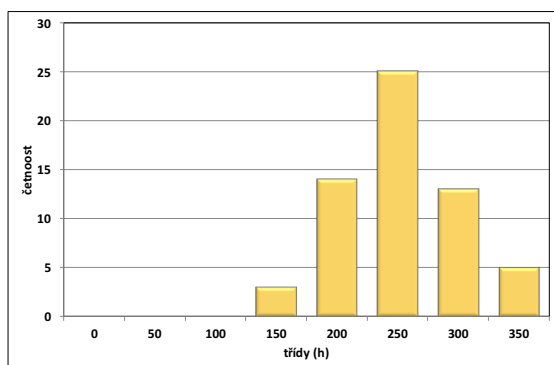
Obr. 18 Četnost v měsíci duben



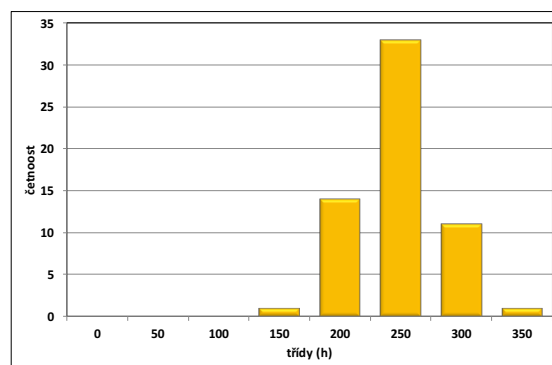
Obr. 19 Četnost v měsíci květen



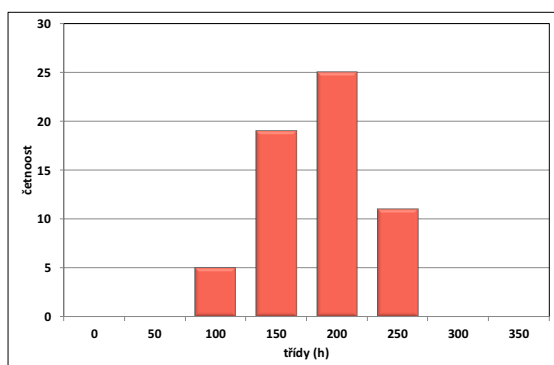
Obr. 20 Četnost v měsíci červen



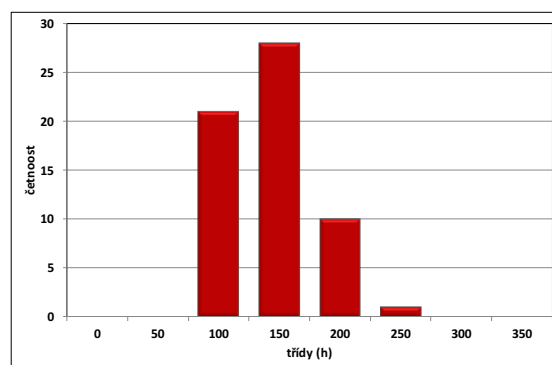
Obr. 21 Četnost v měsíci červenec



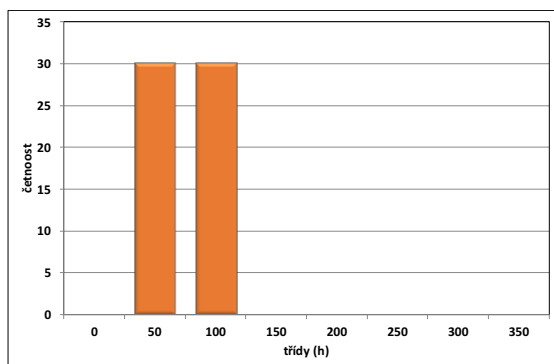
Obr. 22 Četnost v měsíci srpen



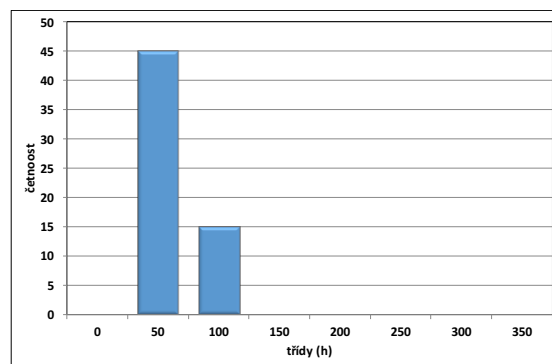
Obr. 23 Četnost v měsíci září



Obr. 24 Četnost v měsíci říjen



Obr. 25 Četnost v měsíci listopad

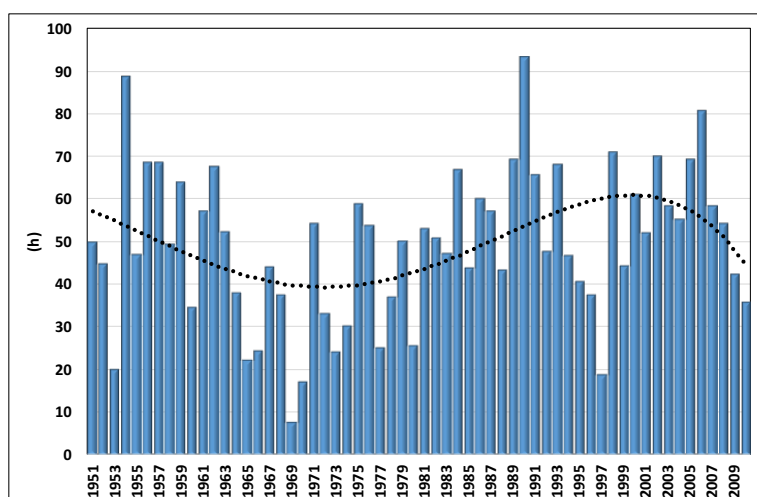


Obr. 26 Četnost v měsíci prosinec

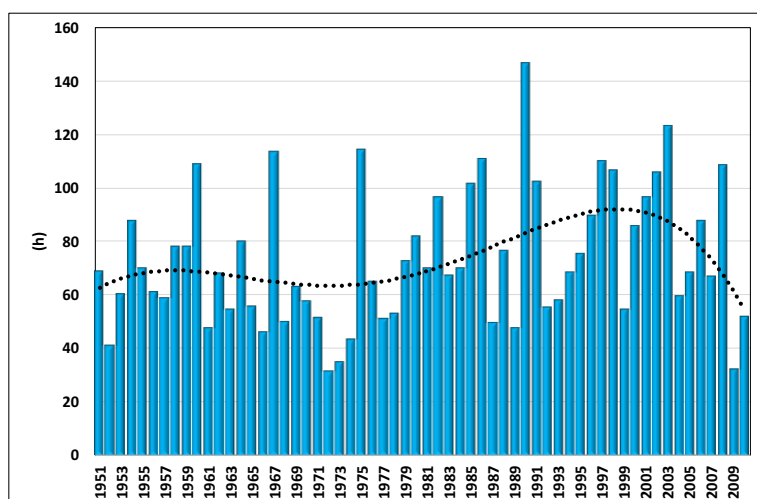
Grafické vyjádření (obr. 15 – 26) četnosti slunečního svitu v hodinovém intervalu za období 1951 až 2010 je rozděleno do jednotlivých měsíců. Při vyjádření četnosti slunečního svitu za šedesátileté období je záměrně dodržené stejné měřítko u všech měsíců pro možnost porovnání.

Měsíce od října do ledna vykazují nejvyšší hodnoty od 50 do 100 hodin. V období od února postupně stoupá počet hodin s vrcholem v červenci (obr. 21), kdy četnost vzrůstá až na 350 hodin. Od srpna začíná počet hodin klesat.

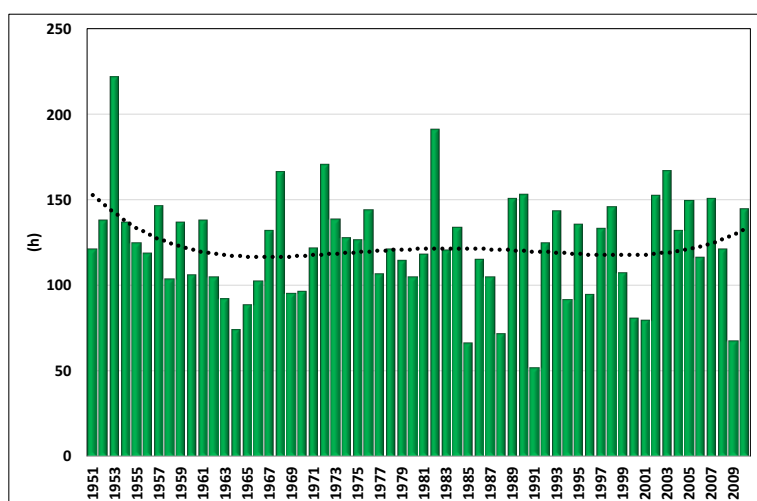
5.1.3 Sluneční svit za období 60 let



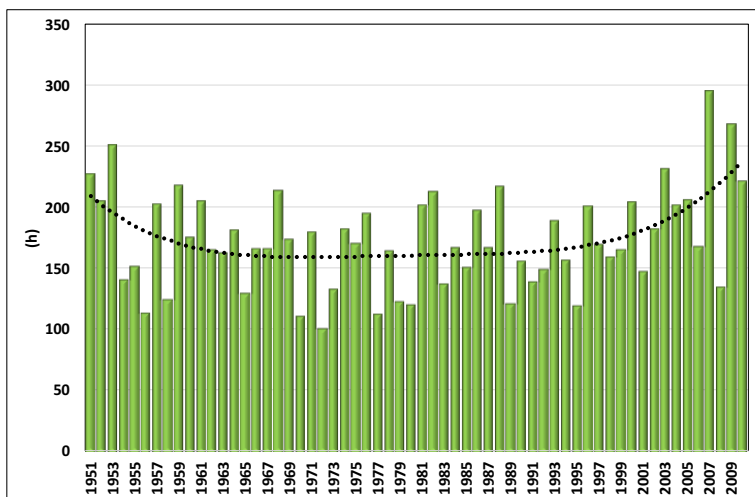
Obr. 27 Sluneční svit v měsíci lednu za období 1951 – 2010



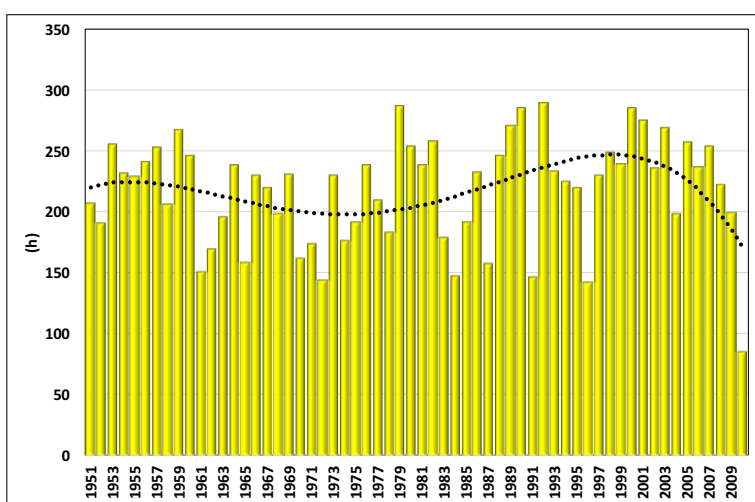
Obr. 28 Sluneční svit v měsíci únoru za období 1951 – 2010



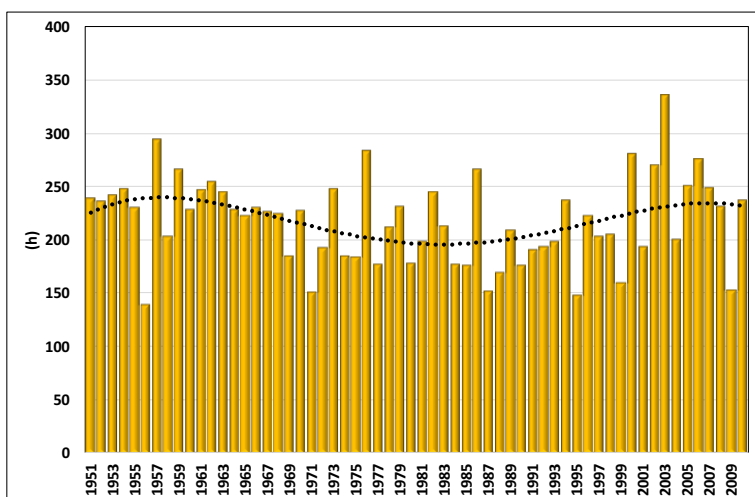
Obr. 29 Sluneční svit v měsíci březnu za období 1951 – 2010



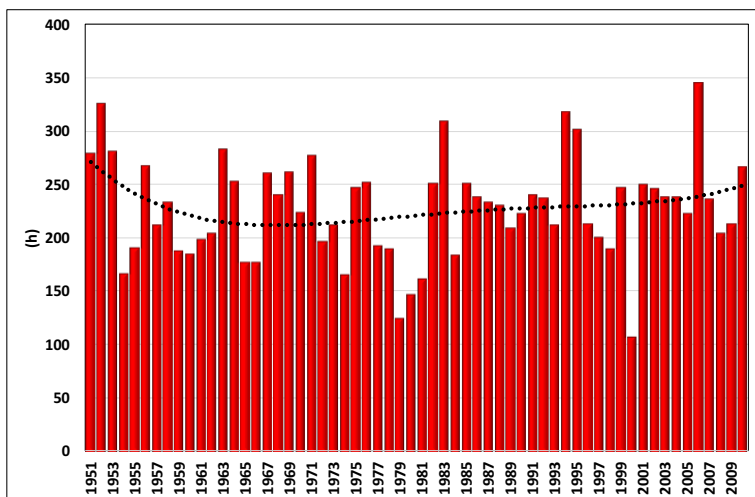
Obr. 30 Sluneční svit v měsíci dubnu za období 1951 – 2010



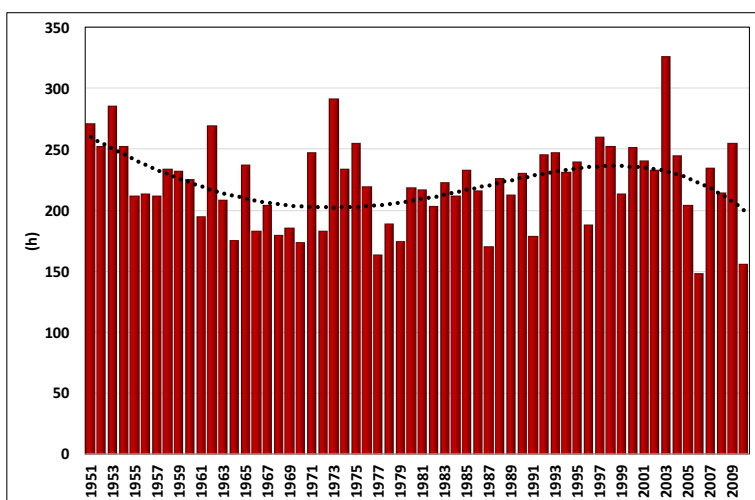
Obr. 31 Sluneční svit v měsíci květnu za období 1951 – 2010



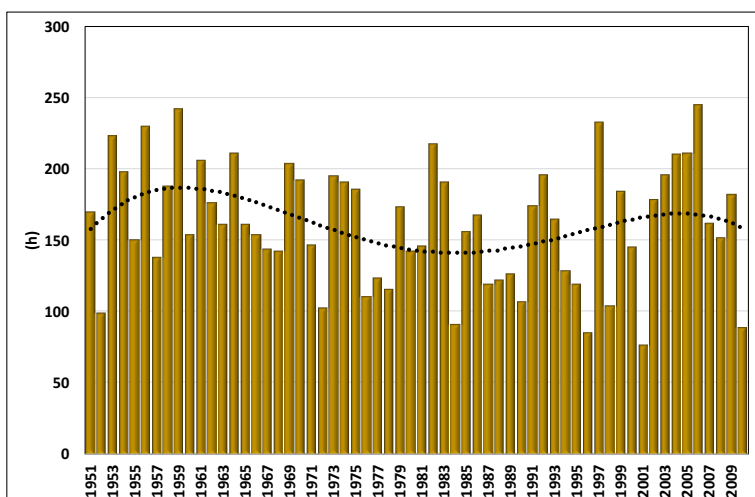
Obr. 32 Sluneční svit v měsíci červnu za období 1951 – 2010



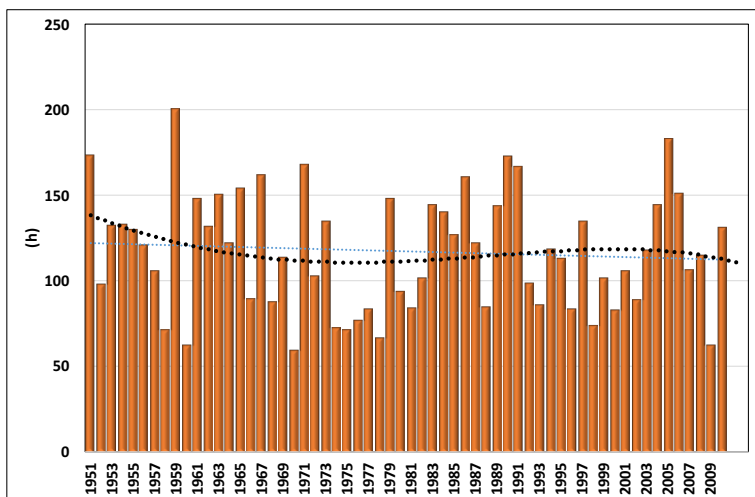
Obr. 33 Sluneční svit v měsíci červenci za období 1951 – 2010



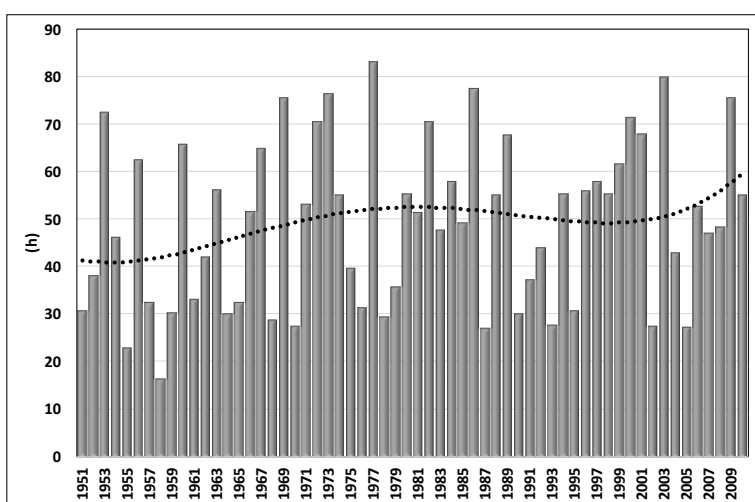
Obr. 34 Sluneční svit v měsíci srpnu za období 1951 – 2010



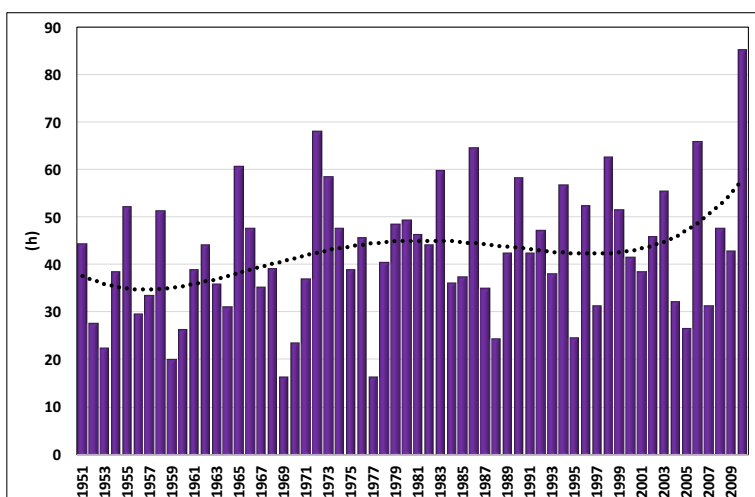
Obr. 35 Sluneční svit v měsíci září za období 1951 – 2010



Obr. 36 Sluneční svit v měsíci říjnu za období 1951 – 2010



Obr. 37 Sluneční svit v měsíci listopadu za období 1951 – 2010



Obr. 38 Sluneční svit v měsíci prosinci za období 1951 – 2010

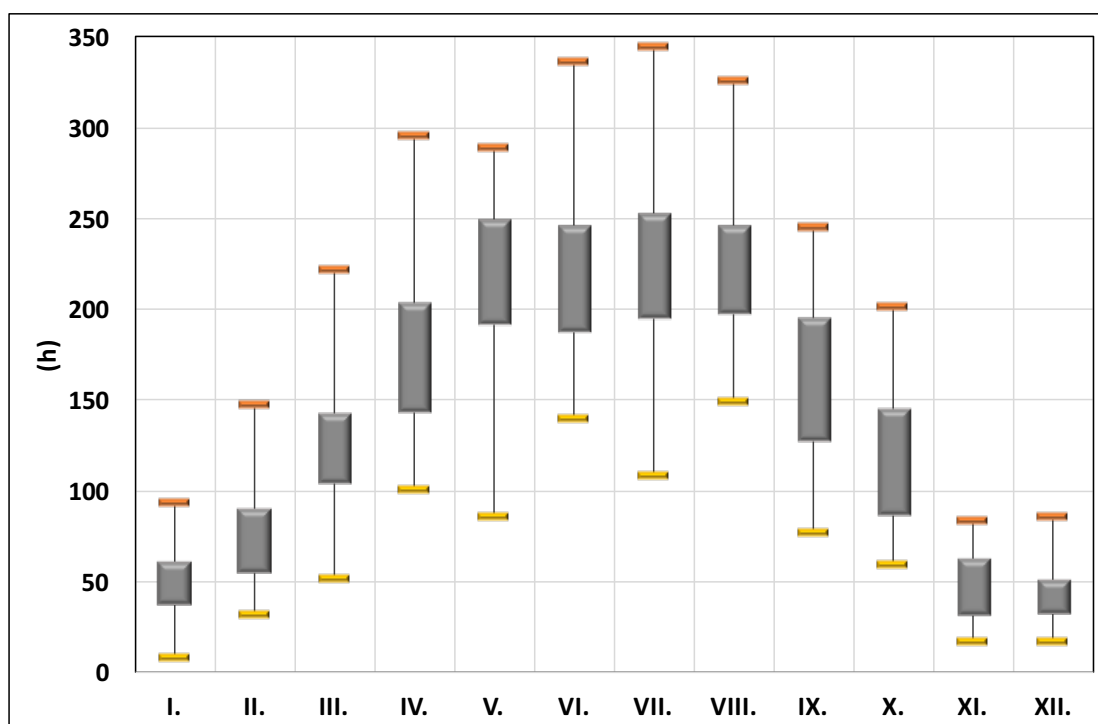
Grafy na obr. 27 až 38 znázorňují trvání slunečního svitu za období 1951 až 2010 v jednotlivých měsících. Nejnižší hodnoty jsou zaznamenány od listopadu do ledna s průměrnou hodnotou okolo 50 hodin/rok. V každém grafu se nachází polynomičká

spojnice trendu čtvrtého stupně v podobě černé tečkované křivky. Jejich rovnice jsou uvedené v tab. 7.

Tab. 7 Hodnoty polynomické rovnice v jednotlivých měsících

| | rovnice grafu | hodnota spolehlivosti |
|----------|---|-----------------------|
| leden | $y = -4E-05x^4 + 0,0031x^3 - 0,0469x^2 - 0,9563x + 58,05$ | $R^2 = 0,17043$ |
| únor | $y = -9E-05x^4 + 0,0089x^3 - 0,2741x^2 + 2,7929x + 60,037$ | $R^2 = 0,16878$ |
| březen | $y = 6E-05x^4 - 0,0085x^3 + 0,3868x^2 - 6,9682x + 159,59$ | $R^2 = 0,05559$ |
| duben | $y = 9E-05x^4 - 0,0102x^3 + 0,4478x^2 - 8,457x + 216,95$ | $R^2 = 0,22774$ |
| květen | $y = -0,0002x^4 + 0,0169x^3 - 0,4918x^2 + 3,5514x + 217,27$ | $R^2 = 0,15884$ |
| červen | $y = -0,0001x^4 + 0,0142x^3 - 0,5565x^2 + 6,0913x + 219,71$ | $R^2 = 0,14503$ |
| červenec | $y = 7E-05x^4 - 0,0098x^3 + 0,5032x^2 - 10,103x + 280,52$ | $R^2 = 0,07581$ |
| srpen | $y = -5E-05x^4 + 0,0034x^3 + 0,0478x^2 - 4,9817x + 264,67$ | $R^2 = 0,18122$ |
| září | $y = -0,0001x^4 + 0,0181x^3 - 0,7417x^2 + 9,5485x + 148,79$ | $R^2 = 0,11712$ |
| říjen | $y = -8E-06x^4 + 0,0002x^3 + 0,0535x^2 - 2,5073x + 140,57$ | $R^2 = 0,03439$ |
| listopad | $y = 3E-05x^4 - 0,0031x^3 + 0,0982x^2 - 0,5901x + 41,869$ | $R^2 = 0,06426$ |
| prosinec | $y = 4E-05x^4 - 0,0041x^3 + 0,1454x^2 - 1,4229x + 38,951$ | $R^2 = 0,12524$ |

5.1.4 Krabicový graf slunečního svitu na stanici Praha – Karlov



Obr. 39 Měsíční úhrn slunečního svitu za období 1951 – 2010

Krabicový graf obsahuje rozdělení hodin slunečního svitu podle měsíců do kvartilů. Jsou zde zobrazeny odlehlé hodnoty, vertikální čáry, které vyznačují

proměnlivost mimo horní a dolní kvartily. Jakýkoliv bod mimo vertikální čáry, je považován za odlehlou hodnotu. Hodnoty hodin slunečního svitu jsou od ledna stoupající s vrcholem v červenci. Od srpna pozorujeme klesající trend, který trvá až do prosince.

5.2 Mlha

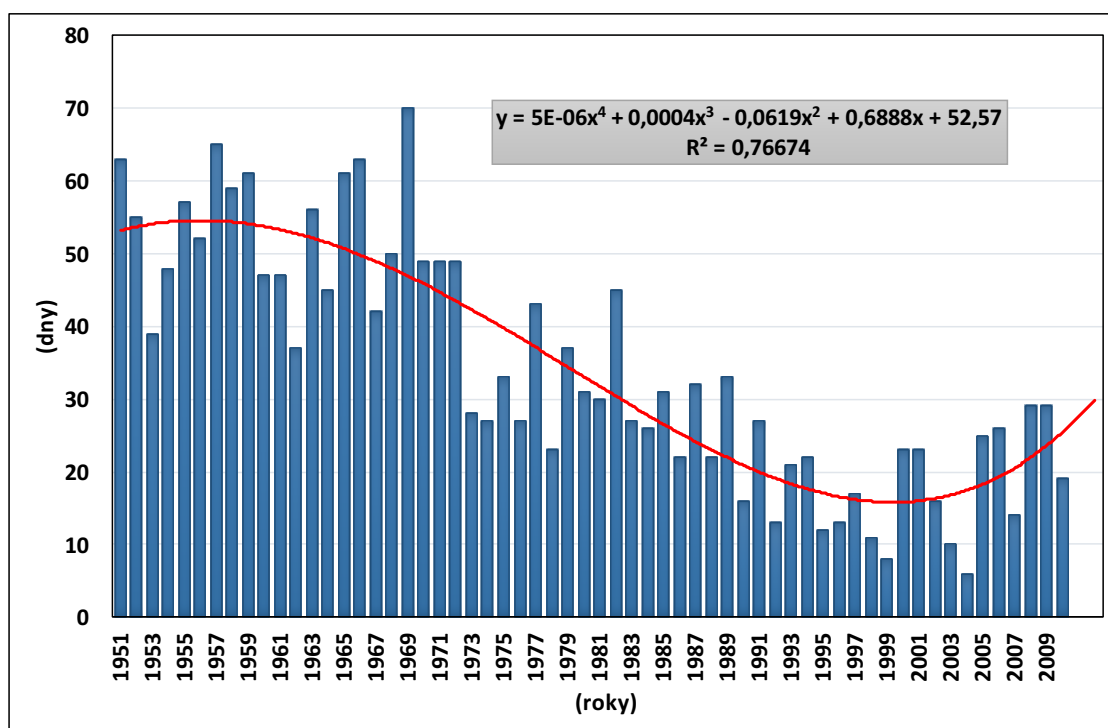
Tab. 8 Statistické charakteristiky mlhy (1951 – 2010)

| | leden | únor | březen | duben | květen | červen |
|--------------------|-------|------|--------|-------|--------|--------|
| Průměr | 4,08 | 3,68 | 2,93 | 1,28 | 0,73 | 0,33 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,46 | 0,51 | 0,39 | 0,20 | 0,12 | 0,07 |
| Medián | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Modus | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Směr. odchylka | 3,6 | 4 | 3 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| Rozptyl výběru | 12,9 | 15,8 | 9,3 | 2,3 | 0,9 | 0,3 |
| Špičatost | -0,6 | 1,5 | 2,6 | 2,3 | 1,3 | 1 |
| Šikmost | 0,7 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,4 |
| Amplituda | 12 | 15 | 14 | 7 | 4 | 2 |
| Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maximum | 12 | 15 | 14 | 7 | 4 | 2 |

| | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|--------------------|----------|-------|------|-------|----------|----------|
| Průměr | 0,30 | 1,32 | 4,05 | 7,62 | 4,43 | 3,58 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,09 | 0,20 | 0,38 | 0,64 | 0,40 | 0,41 |
| Medián | 0 | 1 | 3 | 7 | 4 | 2,5 |
| Modus | 0 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2 |
| Směr. odchylka | 0,7 | 1,5 | 3 | 5 | 3,1 | 3,2 |
| Rozptyl výběru | 0,5 | 2,3 | 8,8 | 24,9 | 9,5 | 10,3 |
| Špičatost | 13,4 | 6,7 | -0,5 | 1,1 | -0,3 | 0,2 |
| Šikmost | 3,3 | 2,2 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 |
| Amplituda | 4 | 8 | 11 | 23 | 12 | 13 |
| Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maximum | 4 | 8 | 11 | 23 | 12 | 13 |

Statistické ukazatele (tab. 8) jsou hodnoty, které jsou výstupem z programu Statistika. Z tabulky lze vyčíst, že největší průměrný výskyt mlhy je v listopadu s hodnotou 7,62 dní, následuje leden a září s hodnotami mírně nad 4 dny. Medián se pohybuje v podobných hodnotách jako průměr s nejvyšší hodnotou v říjnu a s hodnotou nula od května do července. Modus má nízké hodnoty, které jsou většinou nulové, výjimku tvoří období od září do listopadu s nejvyšší hodnotou opět v říjnu. Minimum je v každém měsíci nula a nejvyšší počet dnů s mlhou je dosažen od října do března s maximem v říjnu 23 dní.

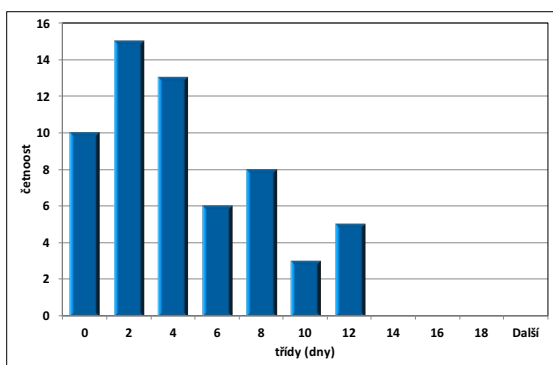
5.2.1 Roční charakteristiky mlhy za období 60 let



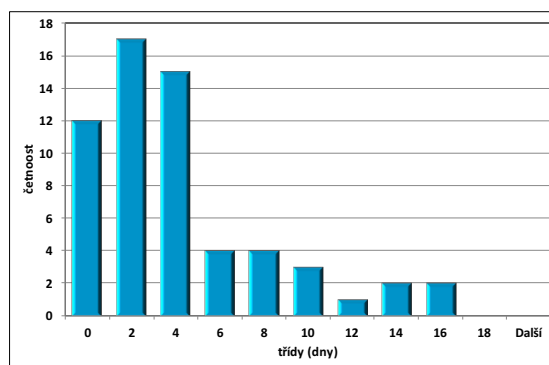
Obr. 40 Roční chod mlhy, červeně znázorněn polynomický trend

Časová řada na obr. 40 znázorňuje četnost výskytu mlhy v období od roku 1951 až 2010. Šedesátileté období vyjadřuje klesající polynomický trend čtvrtého stupně, který je vyznačen červenou křivkou. Z pozorovaného období byla řada vyrovnaná v rozmezí 37 – 65 dní/rok až do roku 1969, kdy byl výskyt nejvyšší s hodnotou 70 dní. Od roku 1970 byl výrazný pokles s nejnižší hodnotou 6 dní v roce 2004.

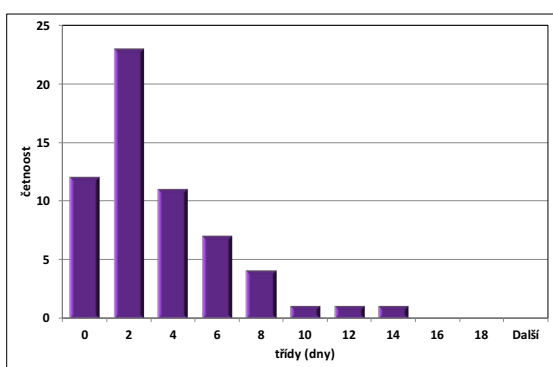
5.2.2 Četnost výskytu mlhy v jednotlivých měsících za období 60 let



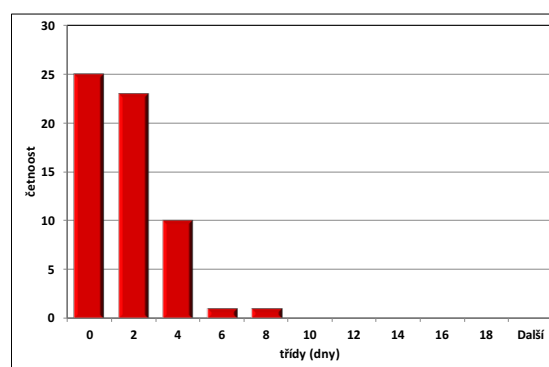
Obr. 41 Četnost mlhy v měsíci lednu



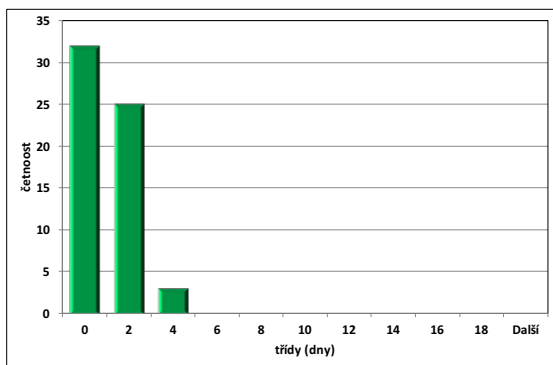
Obr. 42 Četnost mlhy v měsíci únoru



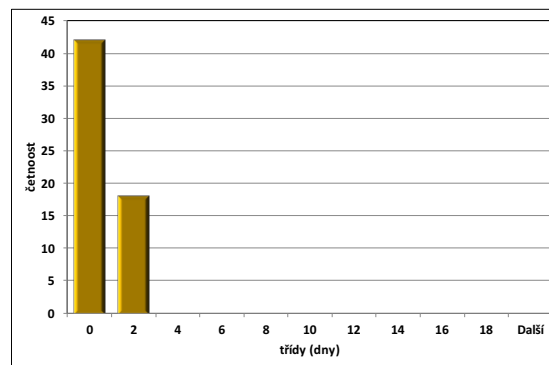
Obr. 43 Četnost mlhy v měsíci březnu



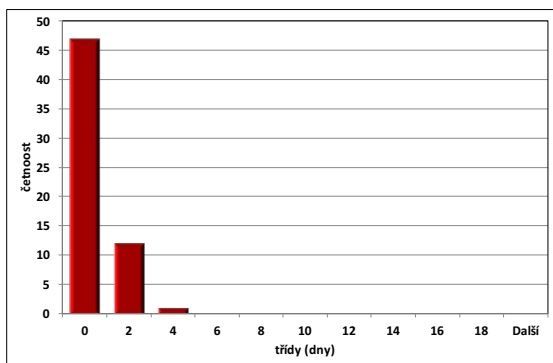
Obr. 44 Četnost mlhy v měsíci dubnu



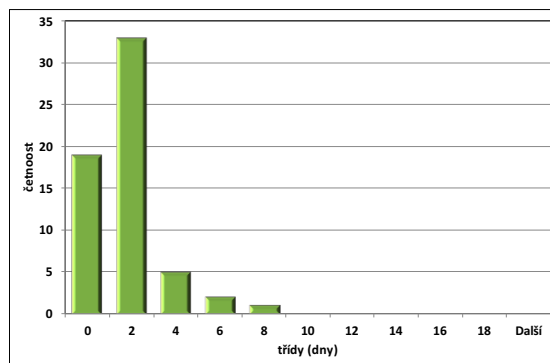
Obr. 45 Četnost mlhy v měsíci květnu



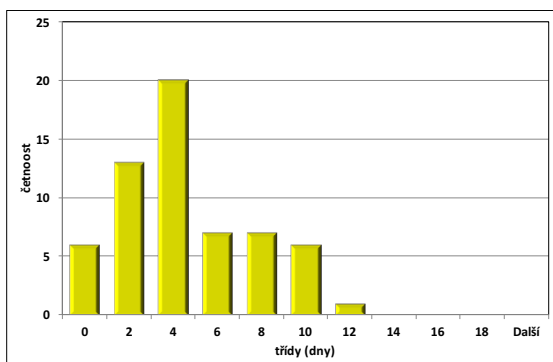
Obr. 46 Četnost mlhy v měsíci červnu



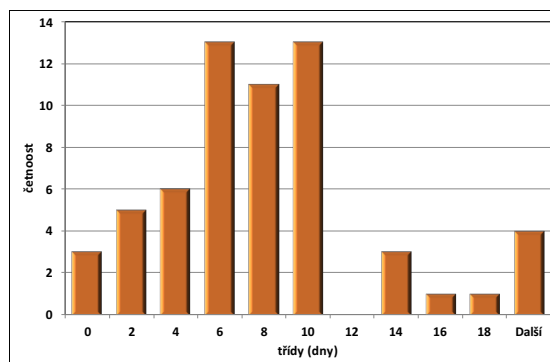
Obr. 47 Četnost mlhy v měsíci červenci



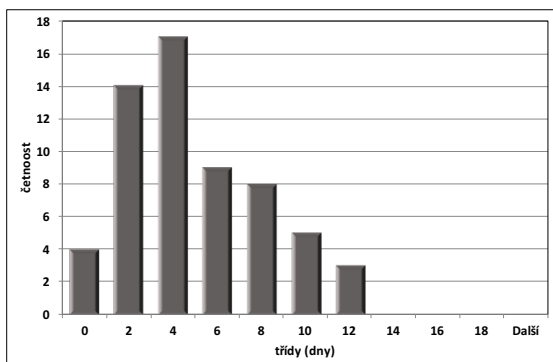
Obr. 48 Četnost mlhy v měsíci srpnu



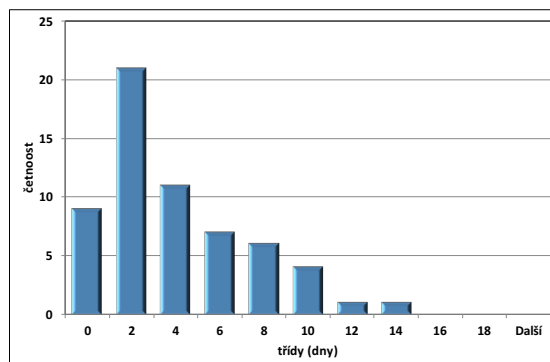
Obr. 49 Četnost mlhy v měsíci září



Obr. 50 Četnost mlhy v měsíci říjnu



Obr. 51 Četnost mlhy v měsíci listopadu

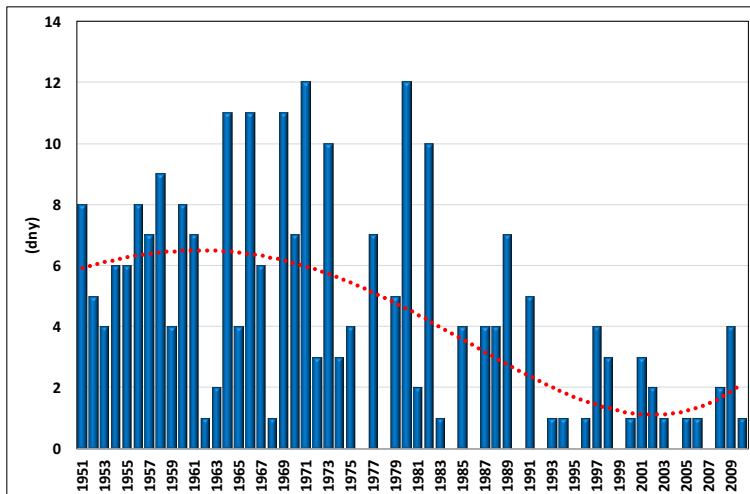


Obr. 52 Četnost mlhy v měsíci prosinci

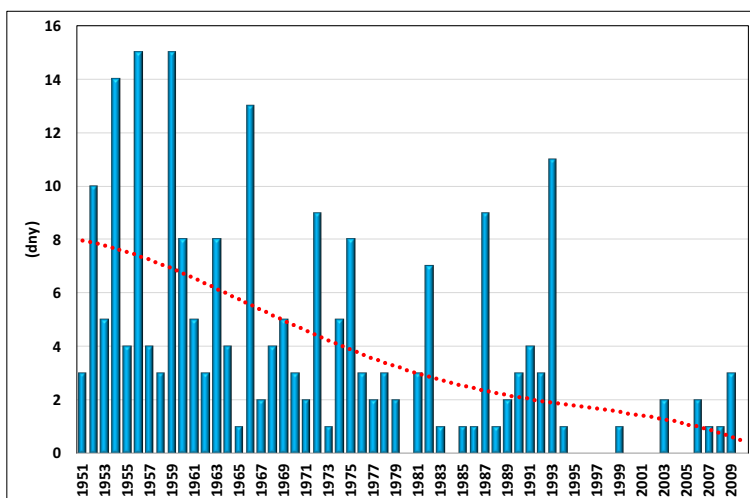
Měsíční přehled v období 1951 až 2010 na obr. 41 až 52 vyjadřuje četnosti výskytu mlhy ve dnech v jednotlivých měsících. Při vyjádření četnosti dnů s mlhou z období 1951 – 2010 je záměrně dodrženo stejné měřítko.

Nejvyšší četnost výskytu lze pozorovat v říjnu (obr. 50) a nejnižší výskyt je v měsíci červnu (obr. 46). V období od září do února byla četnost výskytu mlhy vysoká. V březnu je klesající výskyt dnů s mlhou, který přetrvává až do srpna.

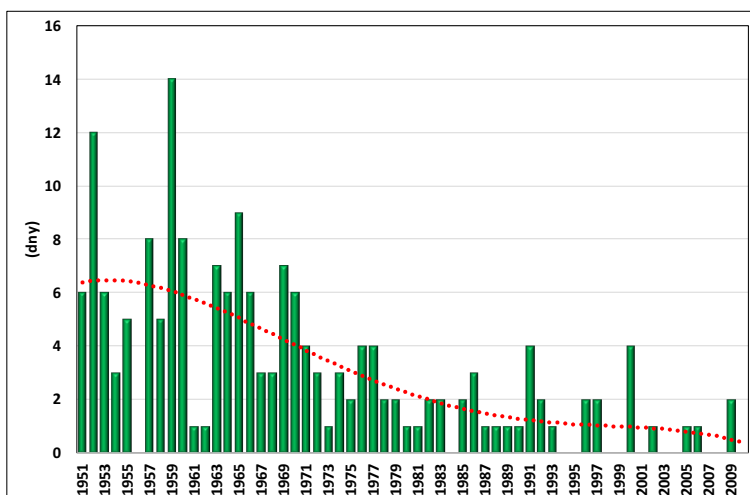
5.2.3 Mlha za období 60 let



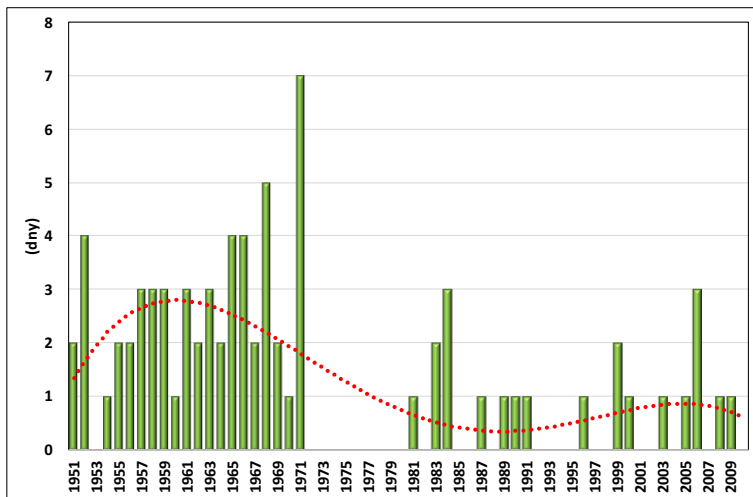
Obr. 53 Mlha za měsíc leden v období 1951 až 2010



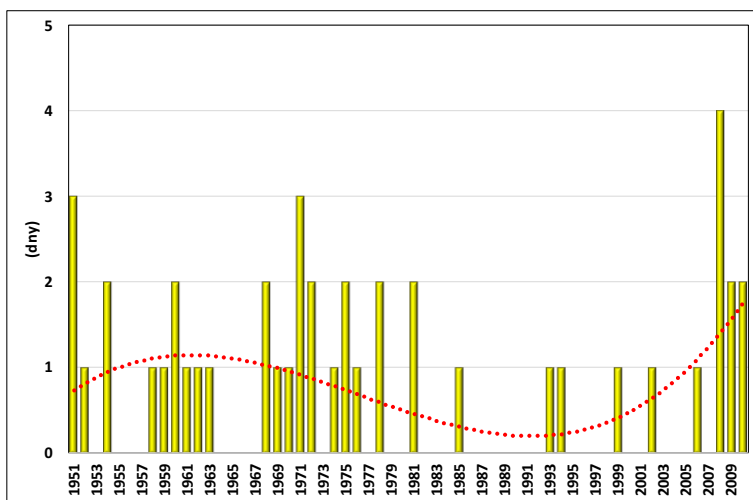
Obr. 54 Mlha za měsíc únor v období 1951 až 2010



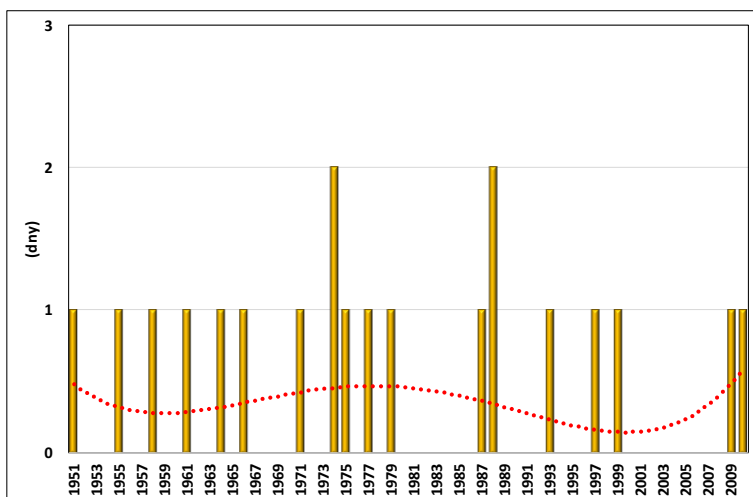
Obr. 55 Mlha za měsíc březen v období 1951 až 2010



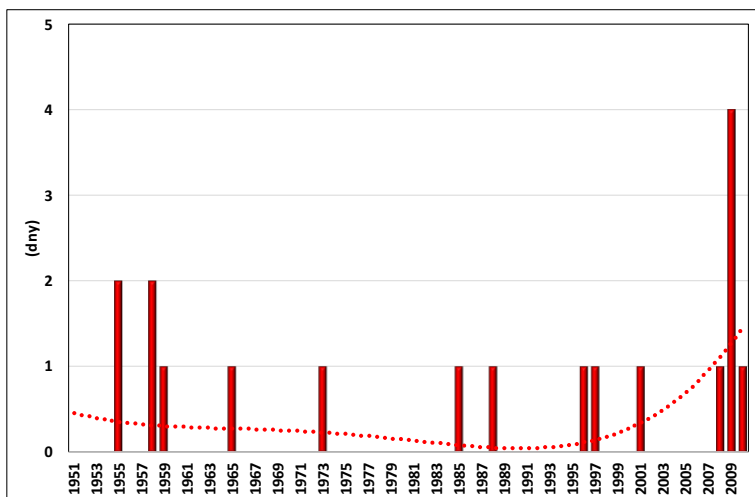
Obr. 56 Mlha za měsíc duben v období 1951 až 2010



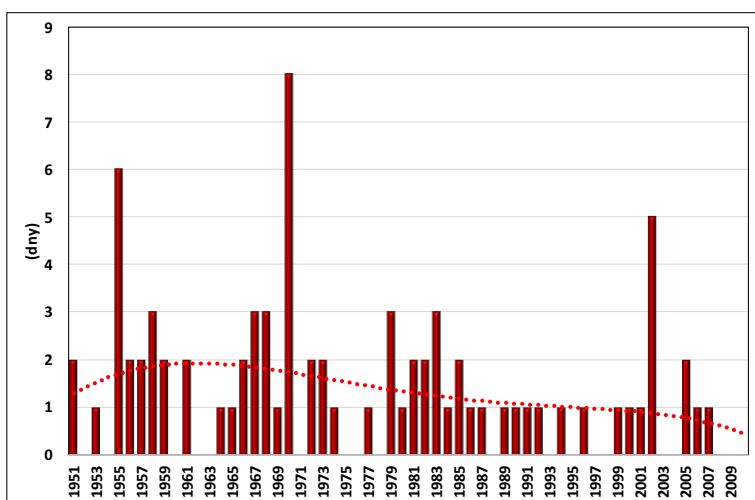
Obr. 57 Mlha za měsíc květen v období 1951 až 2010



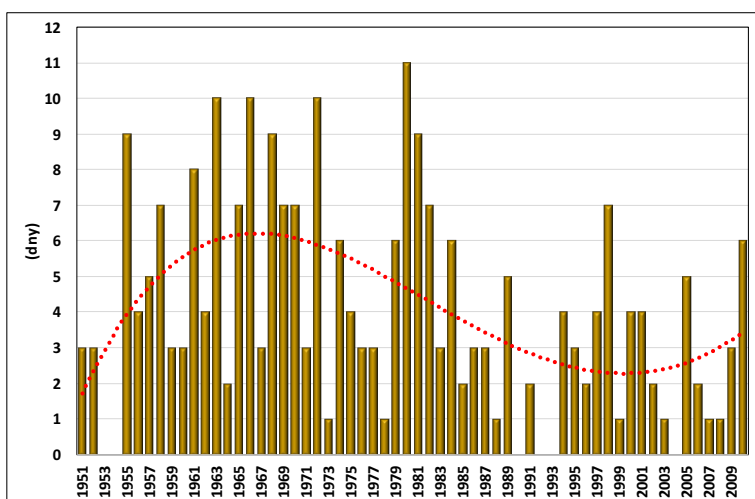
Obr. 58 Mlha za měsíc červen v období 1951 až 2010



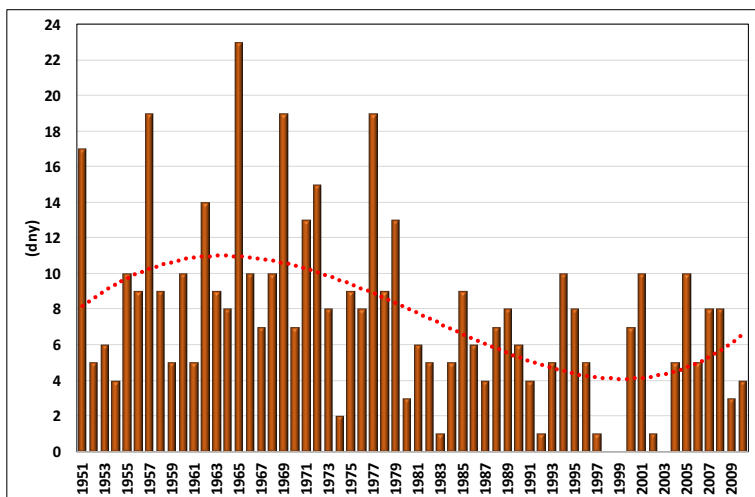
Obr. 59 Mlha za měsíc červenec v období 1951 až 2010



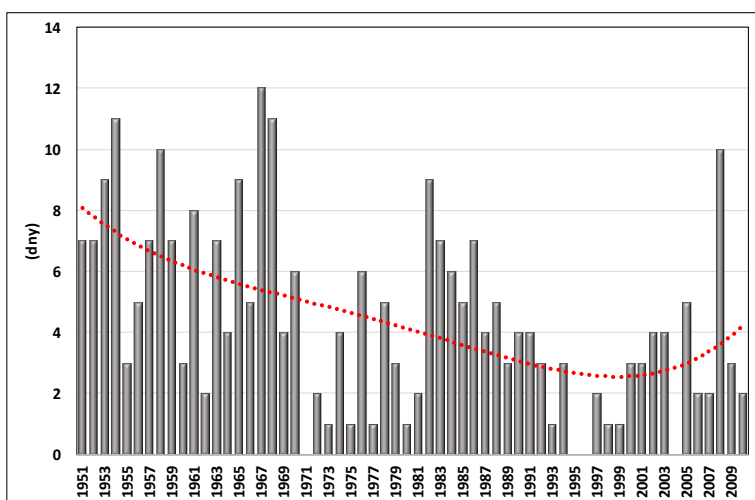
Obr. 60 Mlha za měsíc srpen v období 1951 až 2010



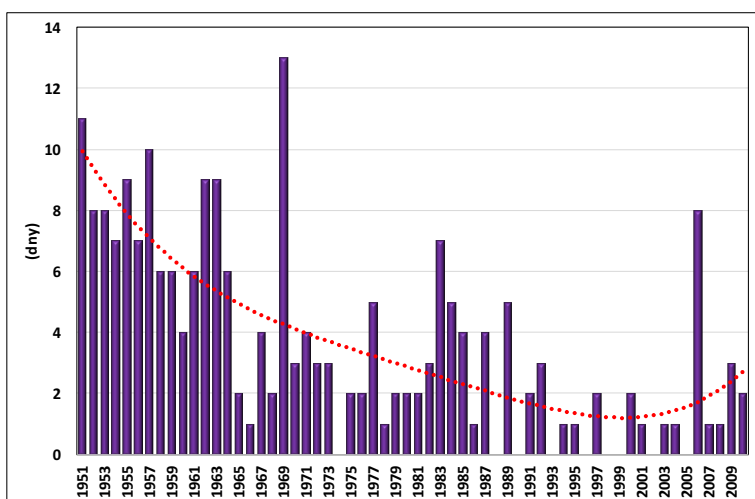
Obr. 61 Mlha za měsíc září v období 1951 až 2010



Obr. 62 Mlha za měsíc říjen v období 1951 až 2010



Obr. 63 Mlha za měsíc listopad v období 1951 až 2010



Obr. 64 Mlha za měsíc prosinec v období 1951 až 2010

Tab. 9 Hodnoty polynomické rovnice v jednotlivých měsících

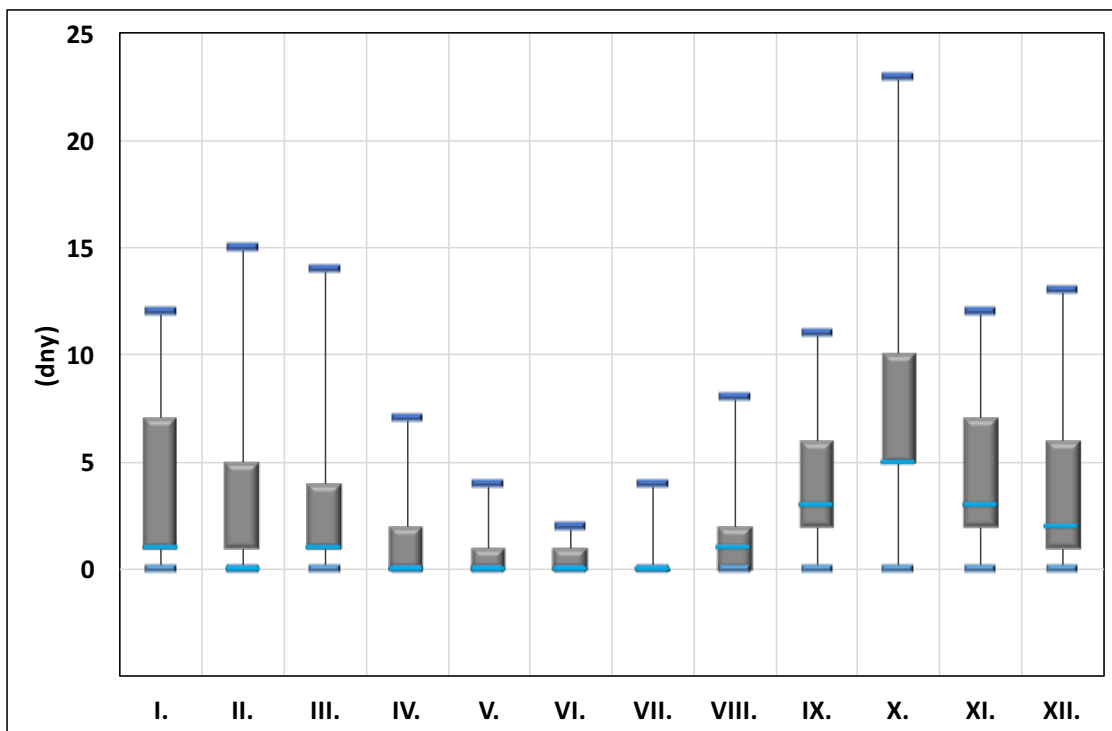
| | rovnice grafu | hodnota spolehlivosti |
|----------|--|-----------------------|
| leden | $y = 2E-06x^4 - 0,0001x^3 - 0,0026x^2 + 0,1041x + 5,8282$ | $R^2 = 0,3369$ |
| únor | $y = -2E-06x^4 + 0,0003x^3 - 0,0106x^2 - 0,0514x + 8,0166$ | $R^2 = 0,33388$ |
| březen | $y = -4E-06x^4 + 0,0005x^3 - 0,0191x^2 + 0,1073x + 6,3017$ | $R^2 = 0,47632$ |
| duben | $y = -5E-06x^4 + 0,0007x^3 - 0,0312x^2 + 0,4332x + 0,929$ | $R^2 = 0,32066$ |
| květen | $y = 7E-05x^3 - 0,0055x^2 + 0,0983x + 0,6323$ | $R^2 = 0,16439$ |
| červen | $y = 1E-06x^4 - 0,0002x^3 + 0,006x^2 - 0,071x + 0,54$ | $R^2 = 0,03977$ |
| červenec | $y = 1E-06x^4 - 0,0001x^3 + 0,0031x^2 - 0,0414x + 0,4871$ | $R^2 = 0,17373$ |
| srpen | $y = -2E-06x^4 + 0,0002x^3 - 0,0103x^2 + 0,1614x + 1,1236$ | $R^2 = 0,07672$ |
| září | $y = -2E-06x^4 + 0,0004x^3 - 0,0324x^2 + 0,7342x + 1,0209$ | $R^2 = 0,24019$ |
| říjen | $y = 1E-06x^4 + 0,0002x^3 - 0,0237x^2 + 0,531x + 7,6437$ | $R^2 = 0,25865$ |
| listopad | $y = 4E-06x^4 - 0,0004x^3 + 0,0149x^2 - 0,3353x + 8,4029$ | $R^2 = 0,25563$ |
| prosinec | $y = 4E-06x^4 - 0,0006x^3 + 0,0258x^2 - 0,6544x + 10,573$ | $R^2 = 0,52405$ |

Měsíční přehled výskytu mlhy za šedesátileté období ukazuje, kdy je výskyt nejvyšší a kdy minimální. Nejvyšší absence výskytu mlhy je červnu a červenci, kdy ve většině roků není vůbec žádný výskyt. Nejvyšší výskyt mlhy je za měsíc říjen, s výjimkou roku 1999 a 2003, kdy se mlha v říjnu nevyskytovala. Křivka v grafech vyjadřuje trend, tabulka 9 pak rovnice těchto křivek (polynom 4. stupně).

5.2.4 Krabicový graf mlhy na stanici Praha – Karlov

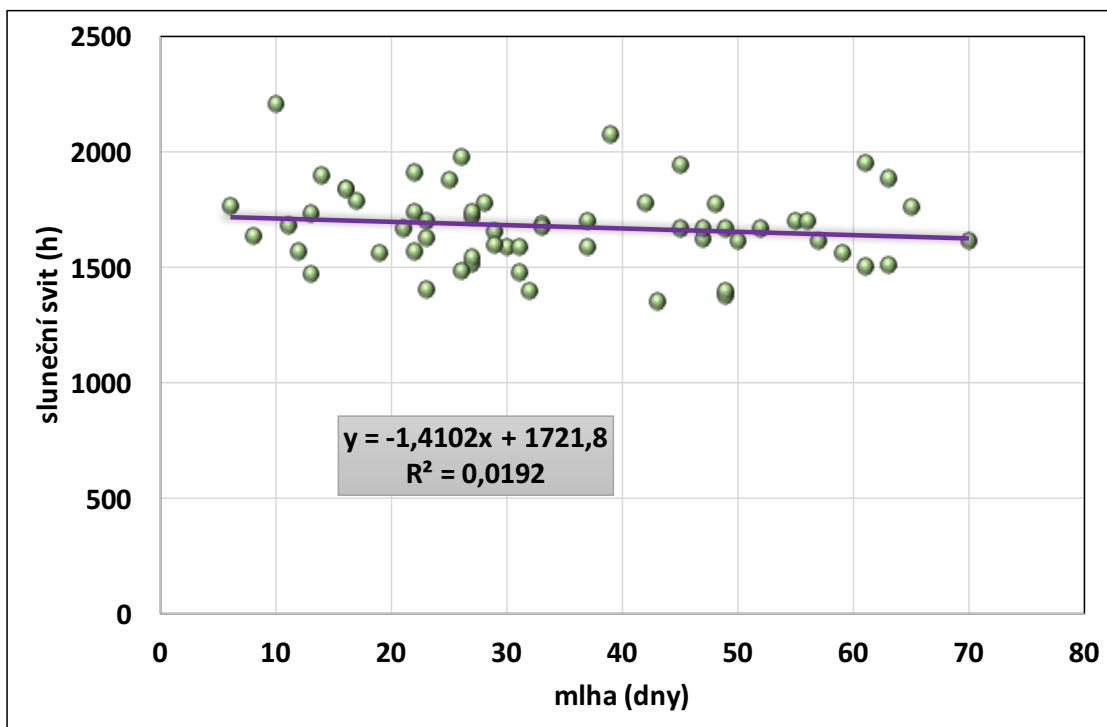
V krabicovém grafu (obr. 65) je znázorněno rozdělení dnů s mlhou do kvartilů. Dále jsou v grafu zobrazeny odlehlé hodnoty a medián. Vertikální čáry vyznačují proměnlivost mimo horní a dolní kvartily a výskyt hodnoty mimo vertikální čáry, je považován za odlehlou hodnotu.

Od ledna do dubna se hodnoty pohybují mezi deseti až patnácti dny. Květen až srpen vykazuje hodnoty nižší s nejnižším rozpětím hodnot v červnu. Od září do prosince je rozpětí hodnot stejné jako od ledna do března s výjimkou října, kdy je nejvyšší rozpětí hodnot. Světle modrou barvou je vyjádřen medián.



Obr. 65 Měsíční úhrn mlhy za období 1951 – 2010

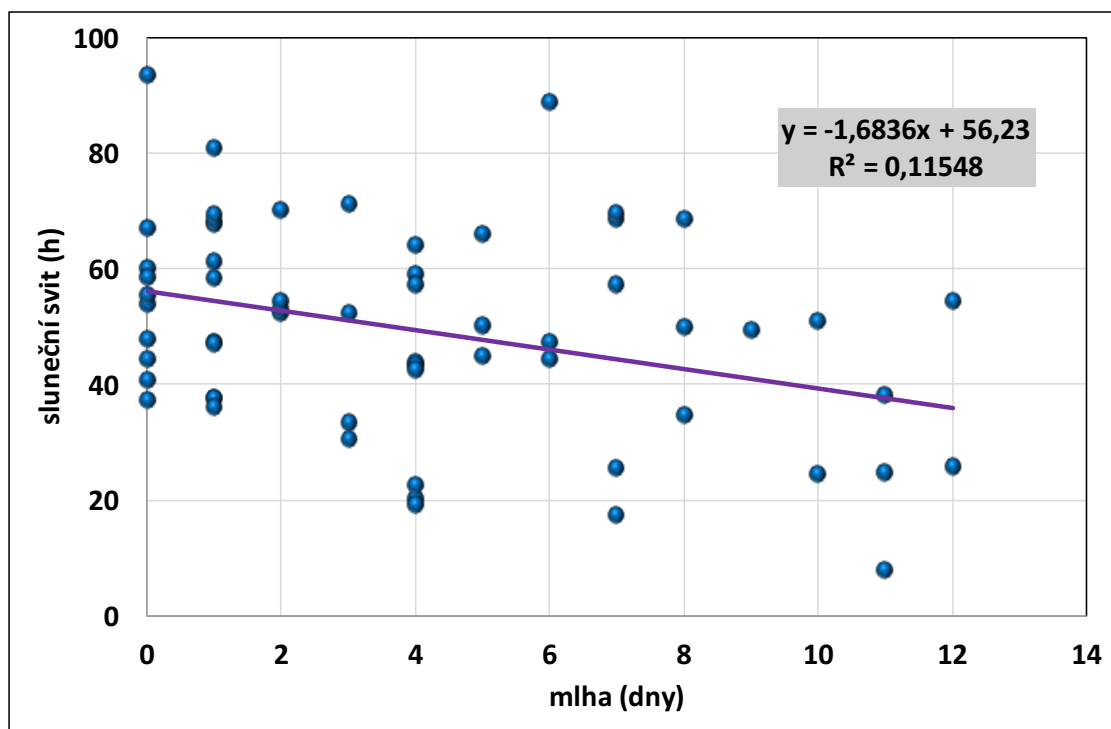
5.3 Závislost slunečního svitu a mlhy



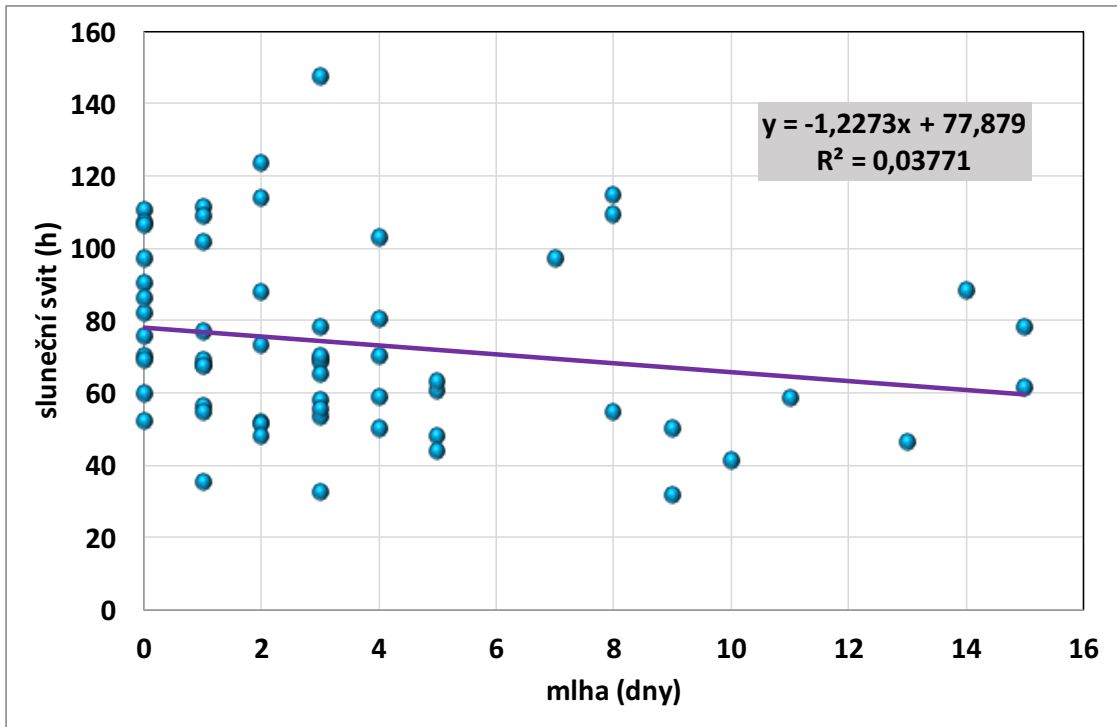
Obr. 66 Vztah slunečního svitu a mlhy v šedesátiletém období (1951 – 2010)

Vzájemný vztah roční sumy slunečního svitu s mlhou za šedesát let v období 1951 až 2010 (obr. 66) znázorňuje hodnoty slunečního svitu mírně nad 1700 hodin. Celoroční průměr za jasných dnů je 1721,8 hodin slunečního svitu a za každý den s mlhou se počet hodin v celoroční sumě snížil o 1,4102, což znamená, že rozdíly jsou malé. Maximální počet dnů s mlhou snižuje hodnotu o 98 hodin slunečního svitu.

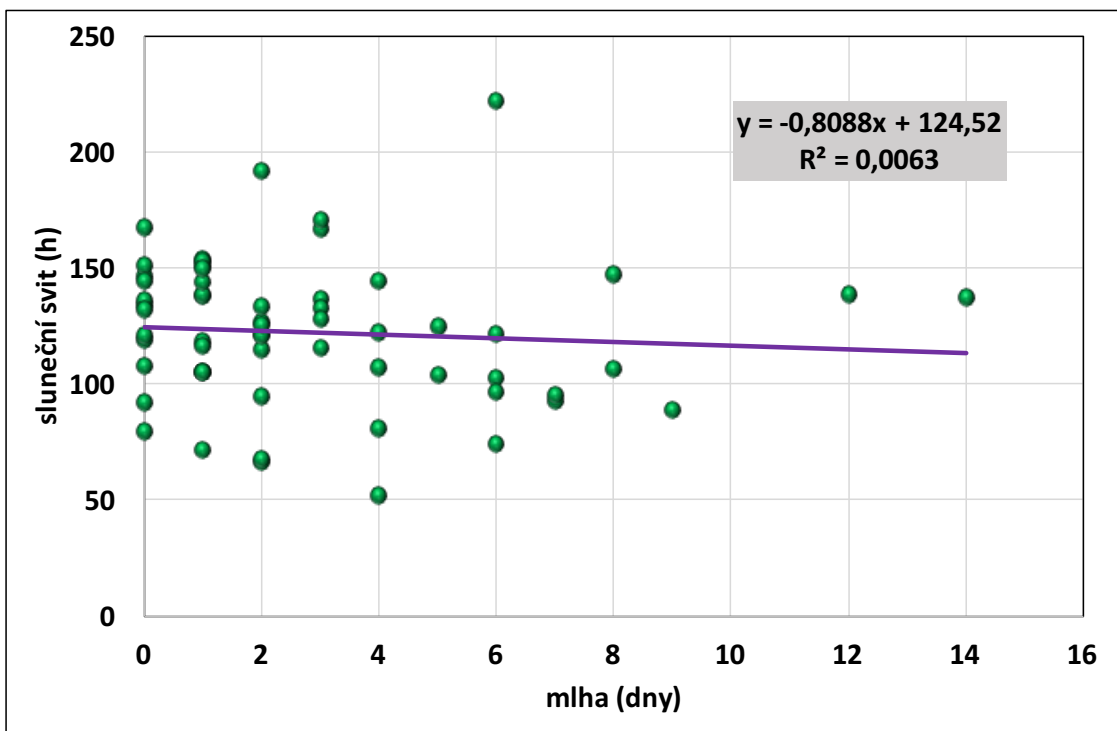
5.3.1 Měsíční suma slunečního svitu a mlhy



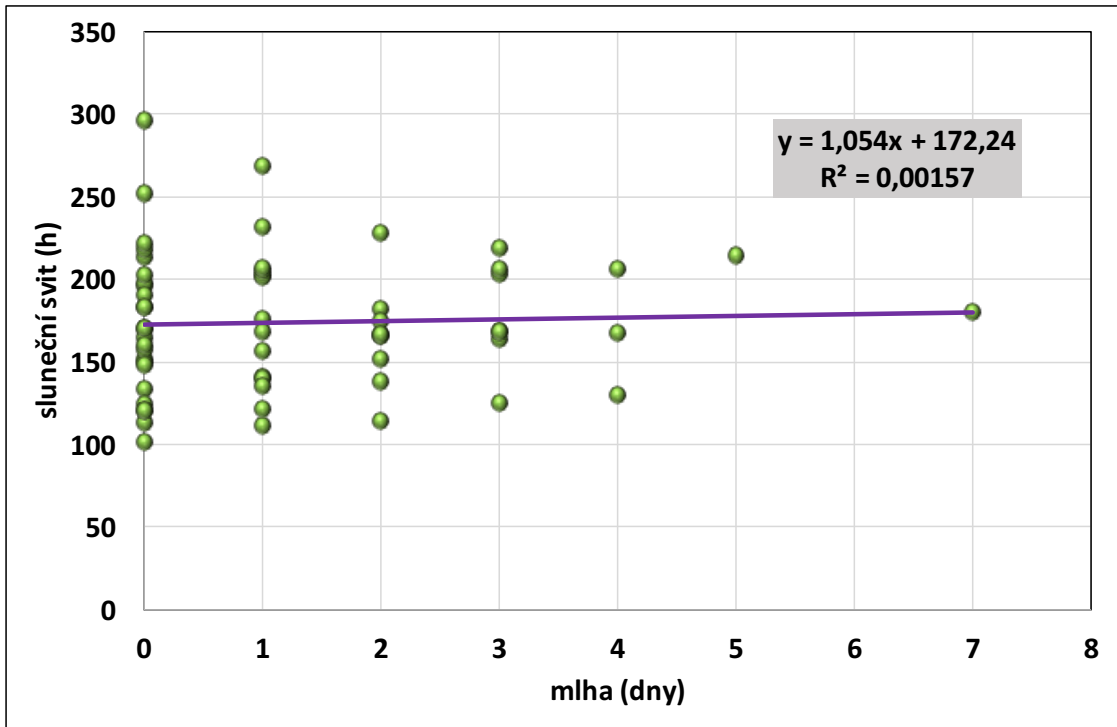
Obr. 67 Závislost slunečního svitu a mlhy v lednu za 60 let



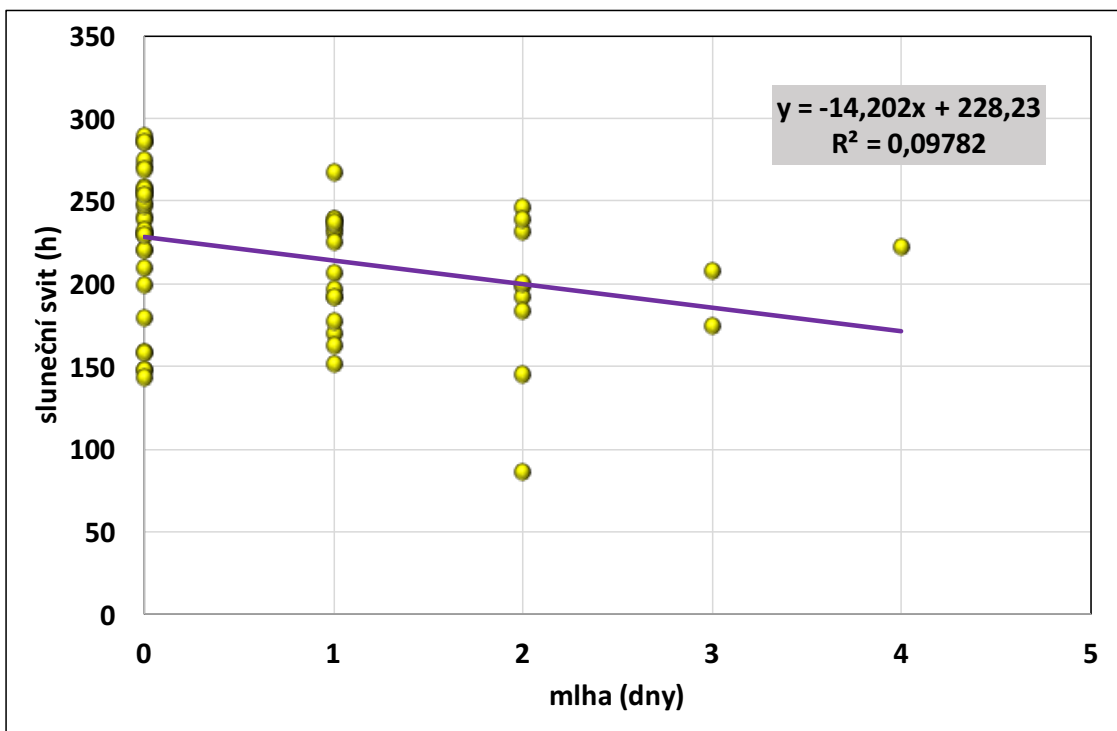
Obr. 68 Závislost slunečního svitu a mlhy v únoru za 60 let



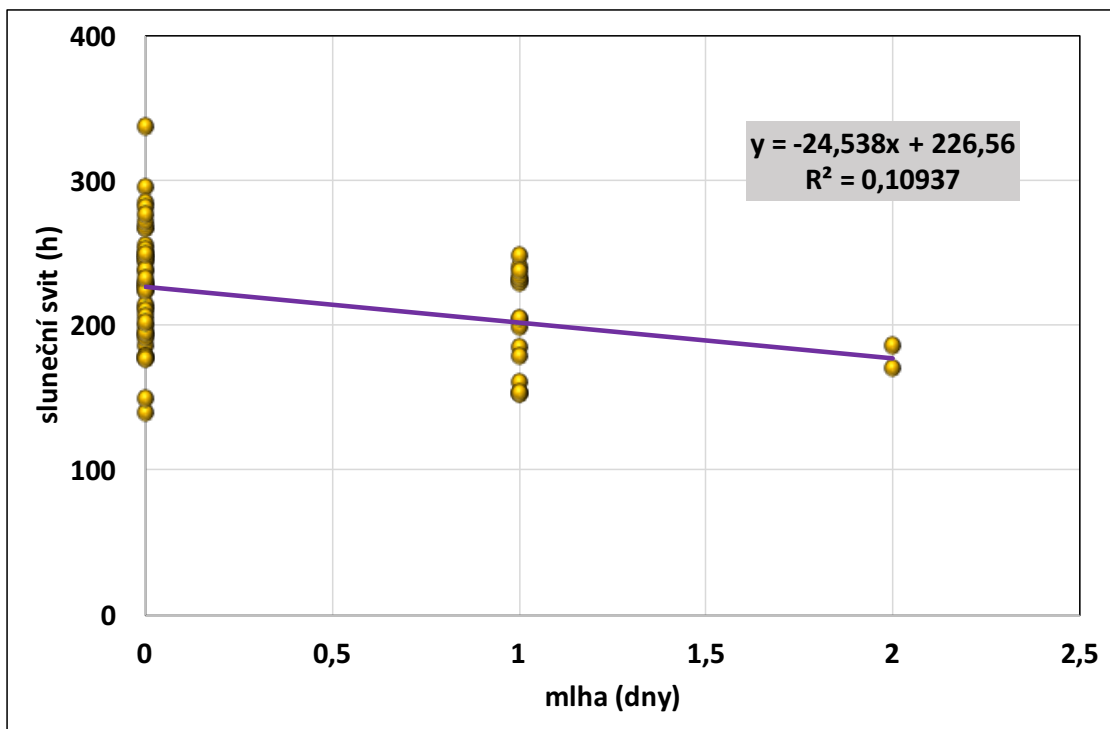
Obr. 69 Závislost slunečního svitu a mlhy v březnu za 60 let



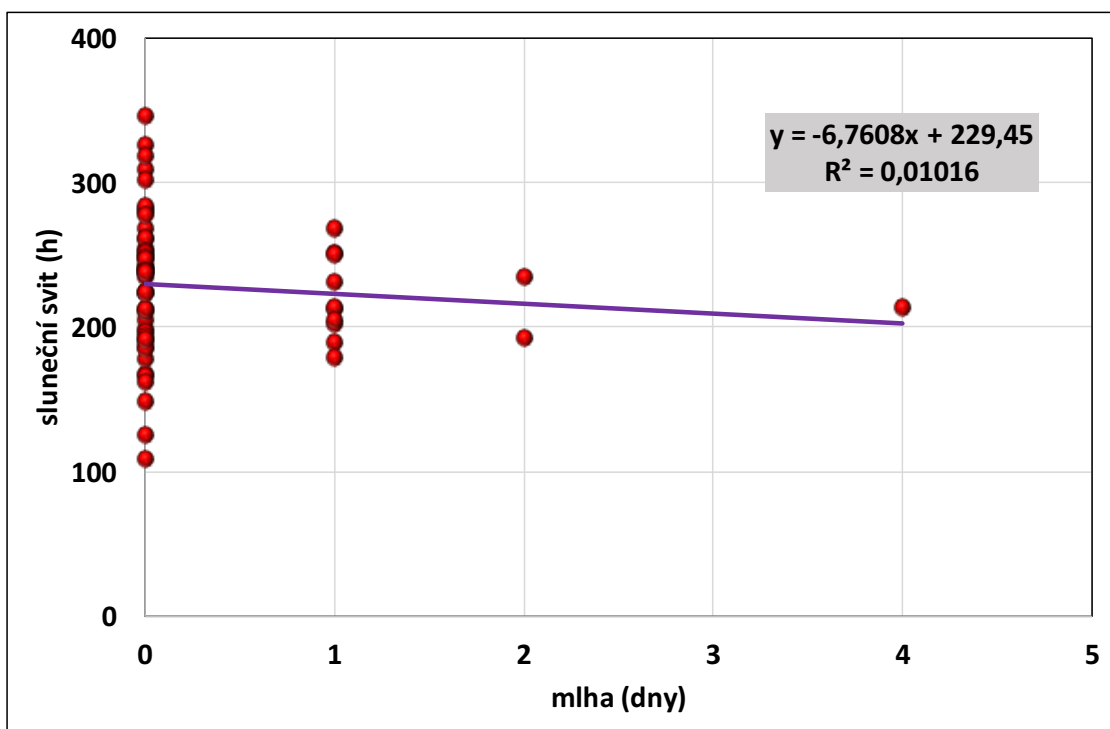
Obr. 70 Závislost slunečního svitu a mlhy v dubnu za 60 let



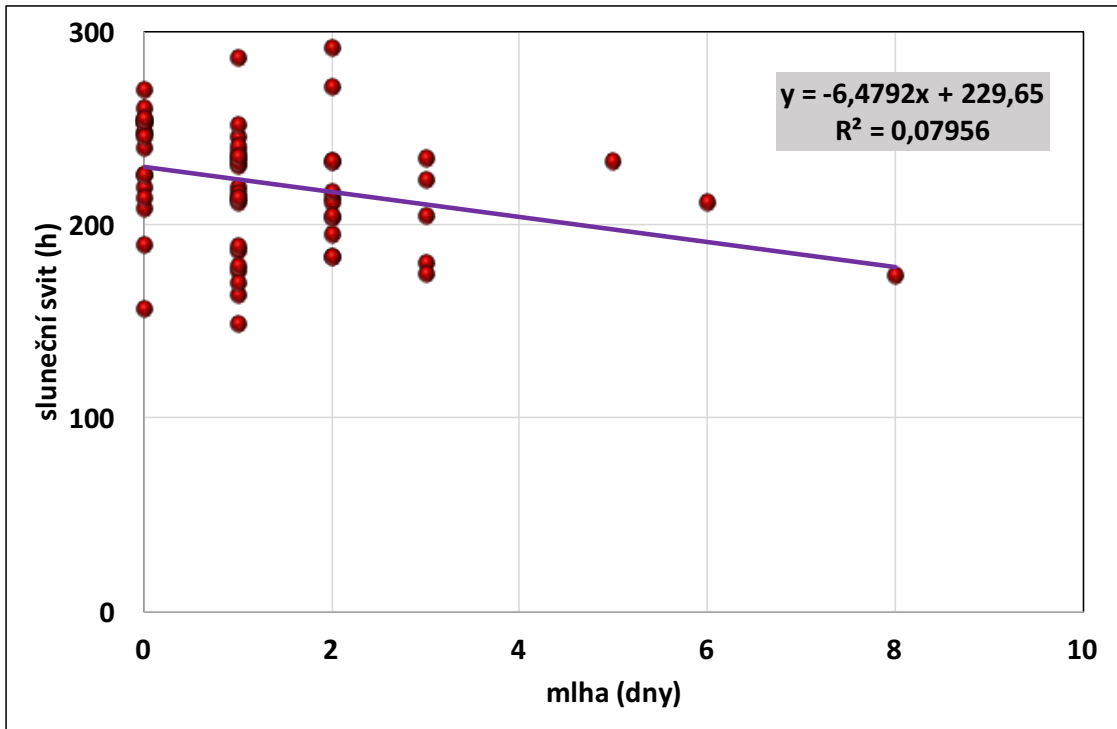
Obr. 71 Závislost slunečního svitu a mlhy v květnu za 60 let



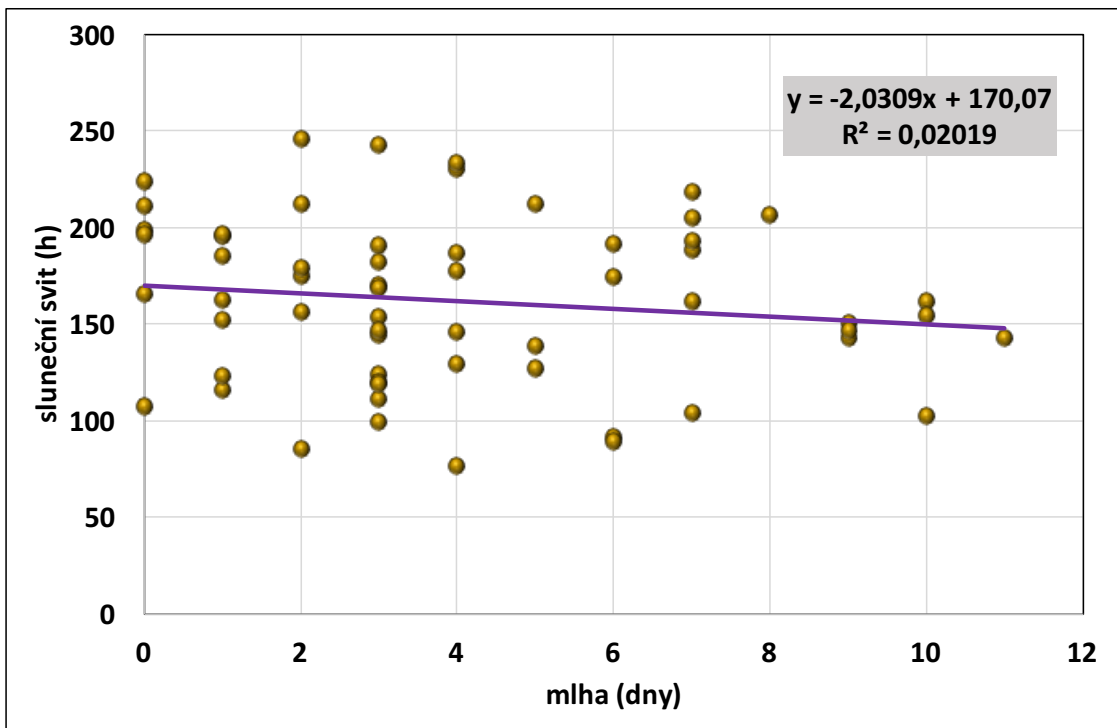
Obr. 72 Závislost slunečního svitu a mlhy v červnu za 60 let



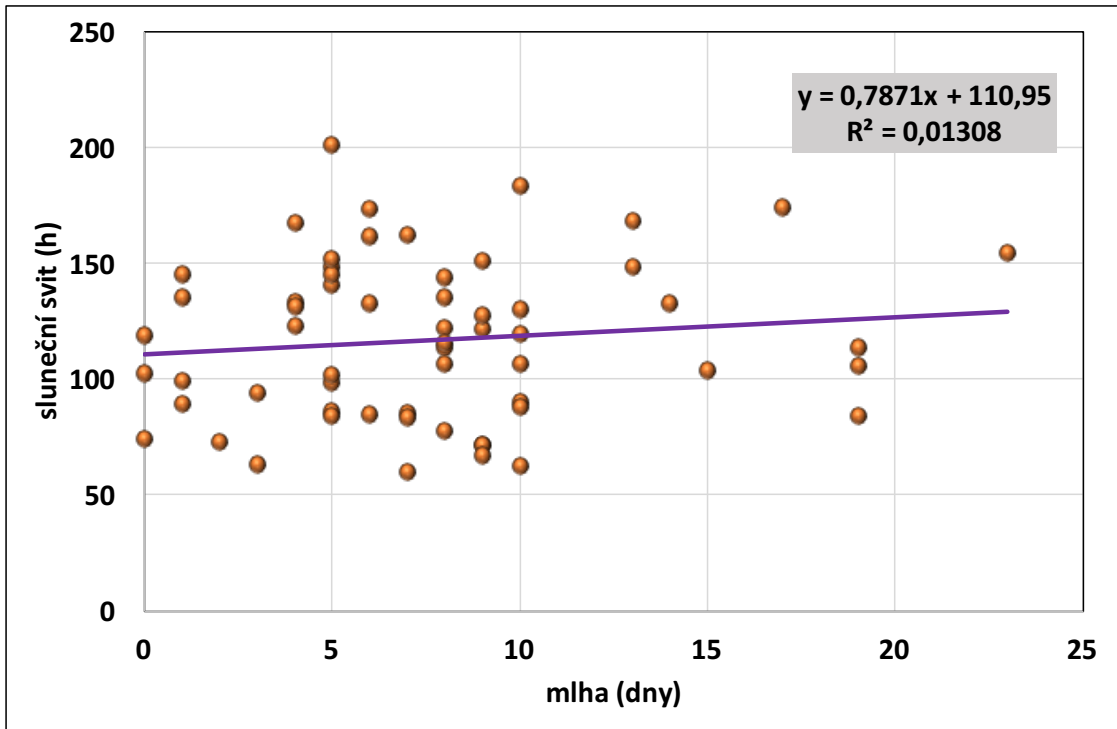
Obr. 73 Závislost slunečního svitu a mlhy v červenci za 60 let



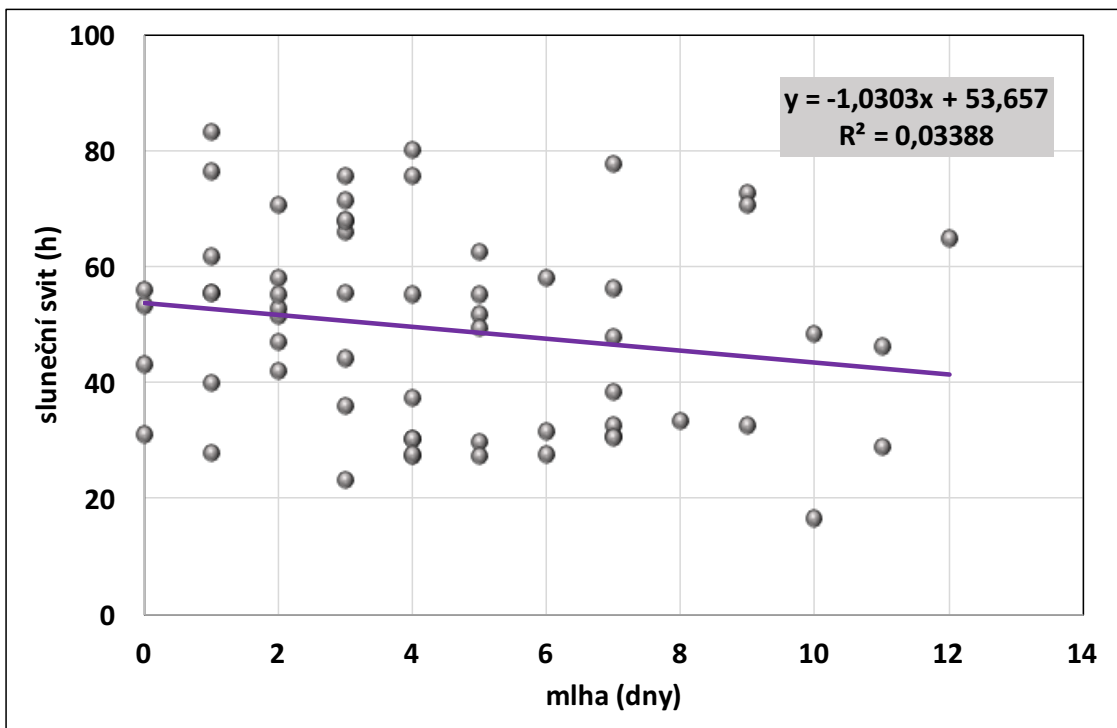
Obr. 74 Závislost slunečního svitu a mlhy v srpnu za 60 let



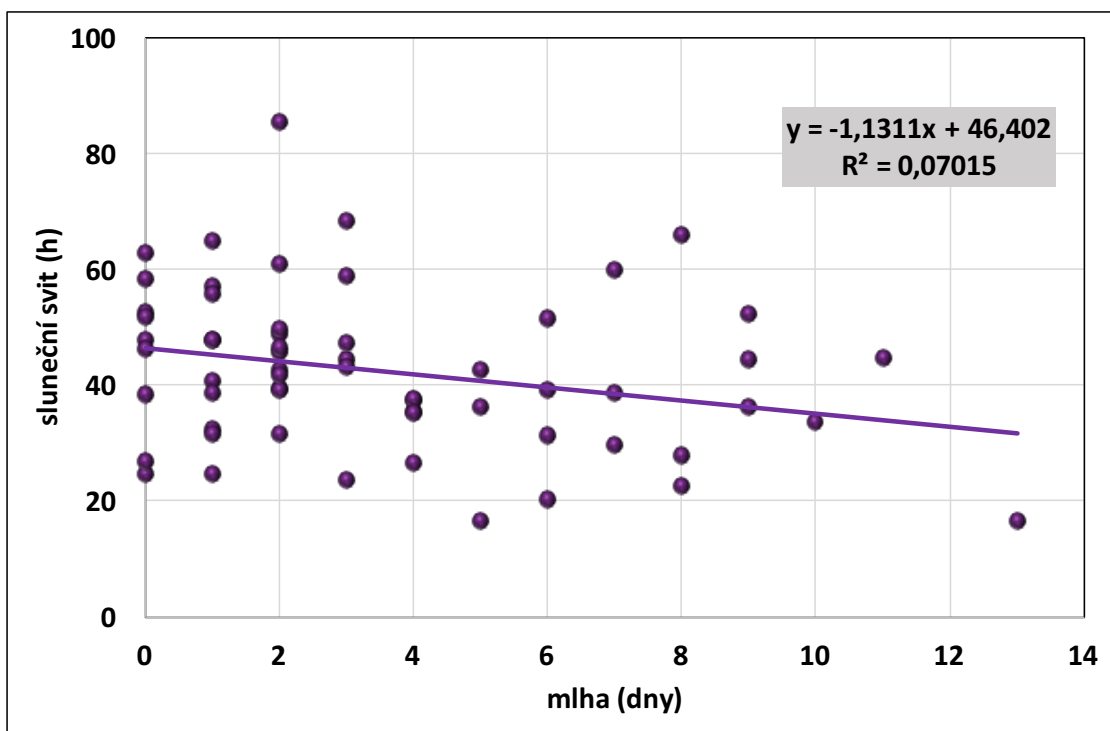
Obr. 75 Závislost slunečního svitu a mlhy v září za 60 let



Obr. 76 Závislost slunečního svitu a mlhy v říjnu za 60 let



Obr. 77 Závislost slunečního svitu a mlhy v listopadu za 60 let



Obr. 78 Závislost slunečního svitu a mlhy v prosinci za 60 let

Závislost slunečního svitu a mlhy je vyjádřena v grafech po jednotlivých měsících a znázorňuje vzájemný vztah těchto dvou prvků. V každém grafu je fialovou křivkou vyznačena lineární závislost. U většiny měsíců za šedesátileté období je mírný pokles výskytu slunečního svitu s rostoucím počtem dnů s mlhou. V dubnu a říjnu se za každý den s mlhou počet hodin v měsíční sumě zvýšil. V dubnu o 172,24 hodin slunečního svitu a v říjnu o 110,95 hodin slunečního svitu (tab. 10).

Tab. 10 Hodnoty lineární rovnice v závislosti slunečního svitu a mlhy

| | rovnice grafu | hodnota spolehlivosti |
|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| leden | $y = -1,6836x + 56,23$ | $R^2 = 0,11548$ |
| únor | $y = -1,2273x + 77,879$ | $R^2 = 0,03771$ |
| březen | $y = -0,8088x + 124,52$ | $R^2 = 0,0063$ |
| duben | $y = 1,054x + 172,24$ | $R^2 = 0,00157$ |
| květen | $y = -14,202x + 228,23$ | $R^2 = 0,09782$ |
| červen | $y = -24,538x + 226,56$ | $R^2 = 0,10937$ |
| červenec | $y = -6,7608x + 229,45$ | $R^2 = 0,01016$ |
| srpen | $y = -6,4792x + 229,65$ | $R^2 = 0,07956$ |
| září | $y = -2,0309x + 170,07$ | $R^2 = 0,02019$ |
| říjen | $y = 0,7871x + 110,95$ | $R^2 = 0,01308$ |
| listopad | $y = -1,0303x + 53,657$ | $R^2 = 0,03388$ |
| prosinec | $y = -1,1311x + 46,402$ | $R^2 = 0,07015$ |

5.4 Nejnižší a nejvyšší hodnoty slunečního svitu a mlhy

Tab. 11 Nejnižší a nejvyšší hodnoty slunečního svitu a mlhy v období 1951 až 2010

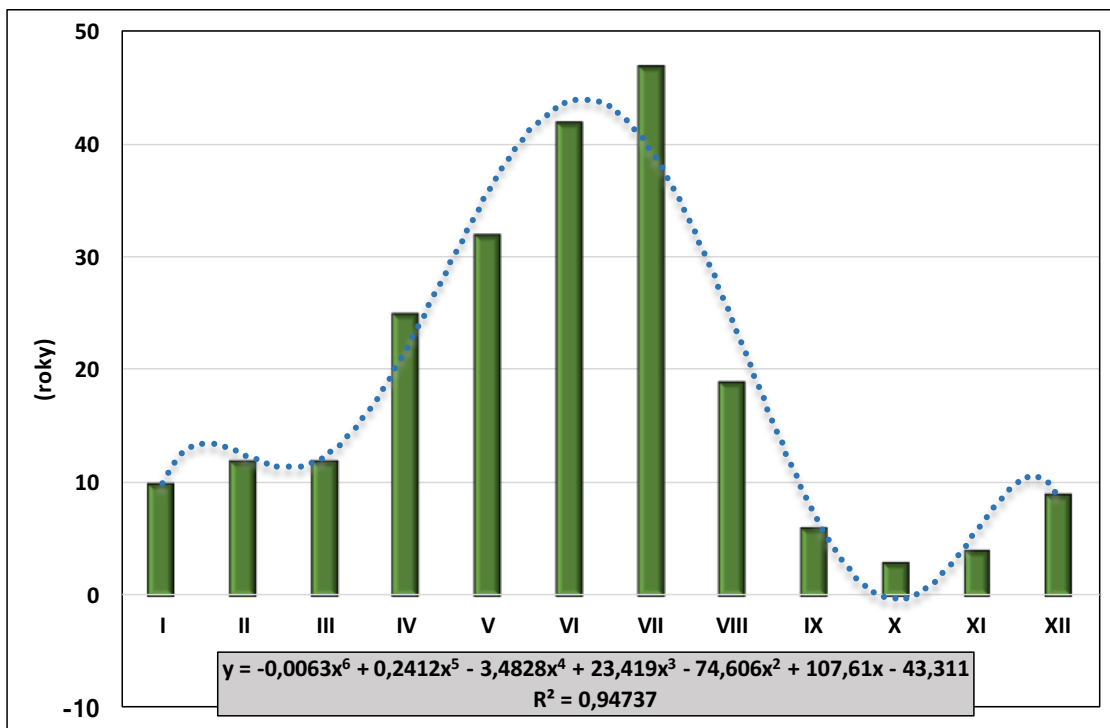
| | sluneční svit (h) | | | |
|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------|
| | minimální výskyt | | maximální výskyt | |
| leden | 1969 | 7,9 | 1990 | 93,3 |
| únor | 1972 | 31,4 | 1990 | 147,1 |
| březen | 1991 | 51,7 | 1953 | 221,6 |
| duben | 1972 | 100,7 | 2007 | 295,3 |
| květen | 2010 | 86,0 | 1992 | 289,0 |
| červen | 1956 | 139,7 | 2003 | 336,5 |
| červenec | 2000 | 107,8 | 2006 | 345,0 |
| srpen | 2006 | 148,4 | 2003 | 325,9 |
| září | 2001 | 76,2 | 2006 | 245,1 |
| říjen | 1970 | 59,2 | 1959 | 200,6 |
| listopad | 1958 | 16,5 | 1977 | 83,1 |
| prosinec | 1969 | 16,4 | 2010 | 85,2 |

| | výskyt mlhy | | |
|-----------------|---|------------|-------|
| | bez mlhy | maximum | (dny) |
| leden | 10x | 1971, 1980 | 12 |
| únor | 12x | 1956, 1959 | 15 |
| březen | 12x | 1959 | 14 |
| duben | 25x | 1971 | 7 |
| květen | 32x | 2008 | 4 |
| červen | 42x | 1974, 1988 | 2 |
| červenec | 47x | 2009 | 4 |
| srpen | 19x | 1970 | 8 |
| září | 6x (1953, 1954, 1990, 1992, 1993, 2004) | 1980 | 11 |
| říjen | 3x (1998, 1999, 2003) | 1965 | 23 |
| listopad | 4x (1971, 1995, 1996, 2004) | 1967 | 12 |
| prosinec | 9x (1974, 1988, 1990, 1993, 1996, 1998, 1999, 2002, 2005) | 1969 | 13 |

Nejnižší hodnoty slunečního svitu v období 1951 až 2010 jsou zaznamenány tabulce 11. V lednu roku 1969 byl zaznamenán nejnižší počet hodin (7,9 hod.) slunečního svitu ze všech měsíců. Nejvyšší počet hodin byl zaznamenán v červenci 2006 s hodnotou 345 hodin.

Stejně jako u slunečního svitu jsou nejnižší a nejvyšší hodnoty za šedesátileté období znázorněny v tab. 11. Nejnižší hodnota mlhy je ve všech měsících (leden až prosinec) stejná – žádný den (obr. 79). Nejčastěji se dny bez mlhy vyskytují v červenci ve 47 případech. Nejvyšší hodnota byla v roce 1965 v říjnu s hodnotou 23 dnů. V červnu byla nejvyšší hodnota pouze 2 dny, a to v letech 1974 a 1988. Na obr. 79 je modrou

barvou znázorněna polynomická křivka šestého stupně. Hodnota spolehlivosti R^2 se rovná 0,94737, a to znamená, že bylo dosaženo dobrého přizpůsobení křivky k datům.



Obr. 79 Počet roků bez výskytu mlhy za sledované období 1951 až 2010

6 Diskuze

Trvání slunečního svitu v centru Prahy na stanici Praha – Karlov má mírně rostoucí trend. Standardní klimatologický normál trvání slunečního svitu v oblasti stanice dosahuje hodnoty 1611 hodin/rok. Šedesátileté časové řady z období 1951 až 2010 zobrazené na obr. 14 mají poměrně vyrovnané hodnoty po celé období. Největší sumy slunečního svitu byly zaznamenány v roce 2003 s naměřenou hodnotou 2199,3 hodin. V roce 1977 byl naměřen nejmenší počet hodin ze sledovaného období a to 1346,2 hodin. Za šedesátileté období byla difference hodnot slunečního svitu mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou 853,1 hodin.

Papež (1973) ve své studii zkoumal působení znečištění na trvání slunečního svitu. Studie byla prováděna v Praze na Karlově v období 1946 – 1970. Výsledkem bylo zjištění, že došlo k snižování slunečního svitu v důsledku rostoucího znečišťování ovzduší převážně v teplé roční době. Pokračován tohoto trendu se neprokázalo, jak je patrné z grafů 32 až 34 vyjadřujících variabilitu v letních měsících (červen až srpen). Ani trvání slunečního svitu v ročním přehledu za 60 let (obr. 14) nevykazuje pokles slunečního svitu; měl mírně klesající trend jen do konce 80. let.

Histogramy vyjadřující četnost definovaných hodnot slunečního svitu po měsících jsou vyjádřeny v grafické podobě (obr. 15 – 26). V zimních měsících je rozptýl hodnot malý, což je způsobeno nižší polohou Slunce nad obzorem, sníženou intenzitou přímého slunečního záření, které může být detekováno páskou v heliografu a v neposlední řadě i vyšším počtem dnů s oblačností a mlhou (obr. 41 až 52)

Observatoř na Karlově vykazuje prudké snižování četnosti výskytu mlhy od roku 1970, což potvrzují výsledky Chaloupeckého a Kastnera (2005). Na obr. 53 až 56 a obr. 61 až 63 jsou zřetelně vidět největší četnosti výskytu mlhy v období přibližně od roku 1955 do 1975. Zvýšený výskyt mlhy v podzimních měsících je výraznější až po roce 1960, v zimních měsících je posunut více do padesátých let, což může být způsobeno i lokálními topeništi.

V pozorovaném rozmezí je minimální četnost výskytu mlhy na Karlově v roce 2004 s hodnotou 6 dnů/rok. V období 1951–2010 je rozpětí mezi maximem a minimem výskytu mlhy 64 dnů s mlhou za rok. Největší amplituda ve dnech s mlhou byla mezi rokem 1972 s hodnotou 49 dnů/rok a rokem 1973 s četností výskytu 28 dnů/rok, kde je obrovský rozdíl 21 dnů/rok.

V detailní analýze byl zjištěn úbytek dnů, kdy byla na stanici Praha – Karlov

pozorována v průběhu dne mlha. Knozová a Šimková (2009), ve své studii zjistily snižující trend smogových situací převážně od 90. let 20. století, což může mít za následek snížení výskytu mlhy. Výsledky šedesátiletého období analyzovaného výskytu mlhy v centru hlavního města Prahy potvrzuje práci Chaloupeckého a Kastnera (2005), kteří se zabývali sledováním režimu přízemních mlh v Praze za čtyřicet let. Došli k závěru, že v centru Prahy se četnost výskytu mlhy rapidně snižovala z důvodu vysoké teploty a nízké vlhkosti vzduchu ve městě. Dále přišli s tvrzením, že hodnoty četnosti výskytu mlhy v centru Prahy, sledované v období 1961 – 2001, byly v posledním desetiletí tak nízké, že dále již klesat nebudou. Analyzované období v této práci však toto tvrzení zcela nepotvrzuje na obr. 40, kde je graficky vyjádření rozložení počtu dnů s mlhou za šedesát let včetně intervalu 2002 až 2016, je na křivce trendu vidět mírně rostoucí tendence.

Grafické znázornění počtu dnů s mlhou pomocí histogramů je rozděleno do dvanácti měsíců (obr. 41 až obr. 52). V lednu se počet dnů s mlhou pohybuje do 12 a v únoru až do 16 dnů. Březnová četnost výskytu mlh se pohybuje v nižších hodnotách než předchozí měsíce s maximem četnosti 2 dnů. V období duben až srpen se hodnoty četnosti výskytů dnů s mlhou pohybují převážně do 2 dnů. Od září se začíná četnost výskytu mlhy zvyšovat a pohybuje se v rozmezí do 12 dnů. Nejvíce mlhy je naměřeno v říjnu, kdy počet převyšuje hranici 18 dnů a dosahuje jako jediný měsíc hranice další (počet vyšší jak 20 dnů). V listopadu a prosinci se četnost ustaluje na hodnoty do 14 dnů.

Bakalářská práce (2015) prokázala vzrůstající trend slunečního svitu a prudce klesající trend mlhy na Karlově. Delší časová řada v této práci vypovídá o skutečnosti, že stoupající trend sumy slunečního svitu na stanici Praha – Karlov nebyl stálý, jelikož časová řada jasně ukazuje, že do roku 1970 byl trend trvání slunečního svitu spíše klesající a od 70. let začal stoupat. Při pozorování mlhy na Karlově byl v bakalářské práci jasný výsledek prudce klesajícího trendu počtu dnů, který začal od roku 1973 a trval až do konce pozorování v roce 2010. Rozšířením časové řady o dvacet let do minulosti se zjistila skutečnost, že do začátku 70. let byl výskyt dnů s mlhou na observatoři Praha – Karlov nad normálem (normál = 40 dnů) a trend výskytu byl mírně rostoucí s vrcholem v roce 1969, kdy počet vystoupal na 70 dnů s mlhou.

Rozbor vzájemného vztahu slunečního svitu a mlhy z období 1971 – 2010, které bylo použito v bakalářské práci, se v diplomové práci prodloužilo na období 1951 – 2010 (obr. 66) a tím se projevilo snížení přibližné hodnoty lineární spojnice trendu z 1800 hodin na 1700 hodin. Každoroční pokles hodin trvání slunečního svitu se snížil oproti bakalářské práci z hodnoty 5,6 hodin/rok na hodnotu 1,4 hodin ročně ve spojitosti

výskytu dnů s mlhou.

Měsíční přehled závislostí slunečního svitu a mlhy ukázal skutečnost, že ve všech měsících je lineární závislost klesající až na duben a říjen, kdy je lineární závislost trendu rostoucí.

Křivancová a Vavruška (1997) ve své publikaci uvádějí, že trvání slunečního svitu v zimním období (prosinec až únor) je vysoké u všech putujících anticyklón, při nichž se nevyskytuje frontální oblačnost. Ostatní anticyklonální situace mají méně svitu, jelikož se při nich ve většině případů vytvářejí mlhy nebo nízká inverzní oblačnost. Cyklonální situace mají v zimě vyrovnanější frontální oblačnost. V letních měsících (květen až srpen) se v anticyklonální situaci téměř nezaznamenává intenzivní oblačnost, proto mají tyto měsíce delší dobu slunečního svitu. Cyklonální situace mají kratší trvání slunečního svitu, ale delší než v zimním období. Jarní období (březen a duben) se podobá poměrům v létě s kratší relativní dobou. Stejně je to i v podzimních měsících (září až listopad).

Obr. 79, znázorňuje počet roků bez výskytu mlhy v jednotlivých měsících. Směrem k letním měsícům narůstá období bez mlhy s vrcholem v červenci. Od srpna hodnoty klesají (zvyšují se počty dnů s mlhou). Polynomická křivka šestého stupně má vysokou hodnotu spolehlivosti (0,94737), což znamená vysoké přizpůsobení křivky k datům. Takové hodnoty odpovídají synoptickým situacím podle Křivancové a Vavrušky (1997).

7 Závěr

Záření Slunce prochází atmosférou ve formě přímého a difuzního záření. Nejjednodušší způsob jak popsat dobu jak dlouho je Slunce nad obzorem je vyjádření pomocí slunečního svitu. Je to doba, po kterou dopadají sluneční paprsky na zemský povrch s tím, že heliograf registruje pouze přímou složku. Registrovaná doba svitu je však v našich podmínkách ovlivňována čistě meteorologickými faktory – oblačností a mlhou, případně velkoměstskou atmosférou. Sluneční svit a mlha jsou tak v těsné příčinné vazbě, a proto byly v předložené práci analyzovány oba meteorologické prvky současně. Jako vhodnou lokalitou pro hodnocení dalšího vlivu – městské atmosféry – byla zvolena meteorologická stanice Praha – Karlov.

Počet dnů s mlhou v centru Prahy na observatoři Praha Karlov začal klesat již od 70. let 20. století. V tomto období byl stavěn a otevřen Nuselský most, který přivedl do blízkosti observatoře na Karlově velké množství automobilové dopravy. V 90. letech 20. století došlo k rapidnímu vzrůstu automobilové dopravy ve městě a s ní stoupající vývoj dopravních výkonů (obr. 6), který se ustálil až v roce 2011. Toho lze odvodit závěr, že automobilová doprava má momentálně vyšší vliv na znečištění ovzduší než průmysl. Největší problém přinášejí suspendované částice PM_{10} a menší, které mají nepříznivý vliv na lidské zdraví.

Snížení četnosti výskytu mlh v Praze na Karlově a okolí je zapříčiněno více faktory, ale jeden z nejzásadnějších faktorů je nižší vlhkost vzduchu společně s vyšší teplotou vzduchu. Tento jev se nazývá městský tepelný ostrov (Urban Heat Island UHI) a vyskytuje se ve všech větších městech v důsledku velkého zastavění ploch a s tím souvisejícím úbytkem zeleně. Zvyšující se počet uměle vybudovaných ploch (silnice, parkoviště, obchodní centra, domy, umělá hřiště apod.) a s tím související pokles zeleně ve městech zapříčiňuje snížené zadržování srážkové vody, rychlejší odtok a celkový úbytek srážkové vody ve městě, který způsobuje pokles obsahu vodní páry ve vzduchu. Menší vlhkost ve městě omezuje četnosti dnů s mlhou v centru Prahy a tím se zvětšuje suma hodin slunečního svitu, jak dokazuje analýza. Mírně stoupající trend počtu hodin slunečního svitu od 70. let 20. století tuto skutečnost potvrzuje.

8 Seznam použité literatury

- Adámek, J., Boučková, O., Coufalová, J., Černá, E., Dytrych, J., Introvič, P., Kadlec, V., Kapitán, J., Karban, M., Kosteasová, E., Krouský, O., Medek, J., Mikuškovice, J., Muchka, J., Myšková, D., Pivec, L., Sejková, M., Svoboda, J., Šembera, L., Štědrý, L., Šubrt, M., Tomsová, J., Vašica, D., Zeman, J. Ročenka dopravy 2013.[online] TSK hl. m. Prahy – Úsek dopravního inženýrství. Rok vydání 2014. [2016-05-01] Dostupné z <www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2013-cz.pdf>
- Adámek, J., Boučková, O., Burgr, R., Coufalová, J., Černá, E., Dytrych, J., Havlíček, T., Hošek, P., Introvič, P., Kadlec, V., Karban, M., Kosteasová, E., Krouský, O., Langerová, A., Medek, J., Mikuškovice, J., Muchka, J., Pivec, L., Secher, L., Sejková, M., Šembera, L., Štědrý, L., Šubrt, M., Tomsová, J., Vašica, D., Veselý, V., Voříšek, J., Zeman, J. Ročenka dopravy Praha 2015.[online] TSK hl. m. Prahy – Úsek dopravního inženýrství. Rok vydání 2016. [2016-05-06] Dostupné z <<http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2015-cz.pdf>>
- Anon. 1951 až 2010. Měsíční přehled meteorologických měření a pozorování observatoře Praha Karlov. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 4 s. ISSN 0373-6784
- Anon. Český hydrometeorologický ústav [online] Praha. ČHMÚ. 2011a [cit. 2015-10-26] Dostupné z <<http://pr-asv.chmi.cz/opssapp/historie.php?ukazatel=karlov>>
- Anon. Český hydrometeorologický ústav [online] Praha. ČHMÚ. 2011b [cit. 2015-10-26] Dostupné z <<http://pr-asv.chmi.cz/opssapp/stanice.php?ukazatel=karlov>>
- Anon. Integrovaný krajský program snižování emisí a zlepšení kvality ovzduší na území aglomerace města Prahy. [online] příloha ke zprávě z 36. jednání Rady hl. m. Prahy 16. listopadu 2010. [cit. 2016-11-17] Dostupné z <http://www.praha.eu/public/65/61/22/774095_62687_Aktualizace_Programu.pdf>
- Anon. Meteorologická stanice Holešov [online] Holešov. ČHMÚ. 2015a [cit. 2017-02-08] Dostupné z <<http://www.meteo-holesov.cz/holesov-pristroje.html>>
- Anon. PWD product family brochure. PWD10, PWD12, PWD20 and PWD22 Present Weather and Visibility Sensors [online] Vaisala. 2013 [cit. 2017-02-08] Dostupné z <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/MET-RDS-PWD-Family-brochure-B210385EN-D-LOW-v1.pdf>>

- Anon. Sluneční svit [online] meteocentrum.cz. 2007. [cit. 2017-01-08] Dostupné z <<http://www.meteocentrum.cz/zajimavosti/encyklopedie/slunecni-svit>>
- Anon. Vaisala CT25K Laser Ceilometer [online] Skyview the weather company. Suffolk 2014 [cit. 2017-02-10] Dostupné z <http://www.skyview.co.uk/acatalog/SupportDocs/d_CT25K.pdf>
- Anon. Visibility and Present Weather Detector / Ambient Light [online] 2015b [cit. 2017-02-08] Coastal Environmental Systems, Inc. Dostupné z http://www.coastalenvironmental.com/spec_sheets/s13642Visibility&PWwithAmbientLight.pdf
- Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesár J. 1961. Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha, HMÚ 1961. 32 s.
- Coufal, V., Klabzuba, J., Bureš, R., 1991. Cvičení z agrometeorologie. Vysoká škola zemědělská Praha v Editpressu. 174 s.
- Černošek, M., Slunoměr SD4 [elektronická pošta]. Zpráva od: info@meteoservis.cz 8. února 2017 13:44 [cit. 2017-02-09]. Osobní komunikace.
- Červený, J., a kolektiv. 1984. Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 s.
- ČESKO. Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: Sbírká zákonů České republiky. 2012. částka 69. Dostupný z <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/Z%20201_2012.pdf>
- Dvořák, P. 2012. Pozorování a předpovědi počasí. Vyd. 1. Cheb: Svět křídel. 135 s. ISBN 978-80-87567-20-3.
- Flynn, C., 2004. Vaisala Ceilometer (Model CT25K) Handbook. [online] November 2004. ARM TR-020 [cit. 2017-02-08] Dostupné z <https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/Z_instruments/vceil_handbook.pdf>
- Fišák, J., 1994. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. 3., přeprac. vyd. Praha: Český instalatér. Metodický předpis. ISBN 80-85813-12-2.
- Glickman, T., S. 2000. Glossary of meteorology. 2nd. Boston, American Meteorological Society, xii, 855 p. ISBN 1878220349.
- Gultepe, I. 2007. Fog and boundary layer clouds: fog visibility and forecasting. Boston: Birkhäuser, c2007, p. 1115-1421. ISBN 978-3-7643-8419-7.
- Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S. C., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., Müller, M. D., Pagowski, M., Hansen, B., Ellrod, G., Jacobs, W., Toth, G., Cober, S. 2007. Fog

- Research: A Review of Past Achievements and Future Perspectives. *Pure and Applied Geophysics*. 164. 1121–1159.
- HMÚ. 1972. Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. HMÚ. Praha. 40 s.
- Chaloupecký, P., Kastner, J. 2005. Režim přízemních mlh v Praze. *Meteorologické zprávy* 58(3). 79–83.
- Klabzuba, J., 2001. Aplikovaná meteorologie a klimatologie IV. díl. Praha. Česká zemědělská univerzita. 44 s. ISBN 80-213-0726-9.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. 1991. Zářivá energie jako faktor mikroklimatu porostu, VŠZ Praha, 118 s., ISBN 80-213-0117-1.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. 2002. Mikroklima stájí. Praha: Česká zemědělská univerzita, 30 s. ISBN 80-213-0870-2.
- Klabzuba, J., Voborníková, J. a Kožnarová, V. 1999. Hodnocení počasí v zemědělství. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. 122 s. ISBN 80-213-0584-3.
- Knozová, G., Šimková, J. 2009. Výskyt smogových epizod ve vybraných městech České republiky. *Meteorologické zprávy* 62. 121–128 s.
- Knozová, G., Hora, P. 2010. Vyhodnocení meteorologických podmínek doprovázejících smogové epizody v České republice. *Meteorologické zprávy* 63. 21–28.
- Křivancová, S., Vavruška, F. 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961–1990. Český hydrometeorologický ústav. 114 stran. ISBN: 8085813521.
- Lee, T. F. 1987. Urban Clear Islands in California Central Valley Fog. *Monthly weather review*. 115, 1794–1796 s. ISBN 0027-0644
- Malberg, H. 2007. *Meteorologie und Klimatologie eine Einführung*. 5., erw. und aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 395 s. ISBN 978-3-540-37222-6.
- Miklín, J. Mlhy a inverze. [online] 27. listopadu 2011. [cit. 2016-12-14] Dostupné z <<http://www.janmiklin.cz/clanek-mlhy-a-inverze/>>
- Möller, D. 2008. On the history of the scientific exploration of fog, dew, rain and other atmospheric water. *Die Erde* 139. 11–44.
- Novák, M. 2004. *Meteorologie a ochrana prostředí: úvod do meteorologie a klimatologie*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí. ISBN 80-7044-597-1. 184 s.

- Nováková, L., Brechler, J., Bednář, J. 2010. Aerosolové znečištění ovzduší ve vztahu k optickým úkazům v atmosféře a meteorologickým jevům snižujícím dohlednost. *Meteorologické zprávy* 63. 165–173.
- Papež, A. 1973. Pokles slunečního svitu vlivem znečištění ovzduší v Praze na Karlově. *Meteorologické zprávy* 26, č. 5, 136–140.
- Podzimek, J. 1959. *Fysika oblaků a srážek*. 1. vyd. Nakladatelství Československé akademie věd, 1959. 476 s.
- Pokorný, J., Vaníček, K. 2007. Automatizace měření slunečního svitu na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu pomocí elektrických slunoměrů. *Meteorologické zprávy* 60. 106–116.
- Potužníková, K., Sedlák, P., 2003. Numerická studie radiační mlhy. Část I. Popis charakteristických vývojových stádií radiační mlhy. *Meteorologické zprávy* 56. s. 33–39.
- Ruda, A. 2014. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. Brno: Fakulta informatiky Masarykovy Univerzity. 257 s.
- Řezáčová, D., Novák, P., Kašpar, M., Setvák, M. 2007. *Fyzika oblaků a srážek*. Academia. Praha. 574 s. ISBN: 978-80-200-1505-1.
- Sadílek, J. 2001. *Automobilová doprava – vyhodnocení, vývoj a předpoklady*. Sekce Útvaru rozvoje města hl. m. Prahy. 4s.
- Sachwe, M., Koepke, P. 1997. Fog Dynamics in an Urbanized Area. *Theoretical and Applied Climatology*. 58. 87–93.
- Skřehot, P. 2006. *Naučte se číst ze synoptické mapy*. Amatérská prohlídka oblohy, o.s., v Brně. 24 str.
- Slabá, N. 1972. *Návod pro provozovatele meteorologických stanic ČSSR*. Hydrometeorologický ústav v Praze. Sborník předpisů, sv. 7. 224 s.
- Sobíšek, B. 1993. *Meteorologický slovník výkladový*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky. 594 s. ISBN 80-853-6845-5.
- Štekl, J. 1988. *Zpracování klimatologických informací*. Český hydrometeorologický ústav nositel řádu práce. 1. vyd. 167 str.
- Tolasz, R. 2007. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- Zemen, J., Kožnarová, V. 2015. *Mlha a sluneční svit na stanici Praha Karlov*. Praha. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Katedra agroekologie a biometeorologie. 54 s.

Židek, D., Lipina, P., 2003. Metodický předpis č. 13: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ. Ostrava: ČHMÚ. 90 s.