

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



Mlha a sluneční svit na stanici Praha Karlov

Bakalářská práce

Autor práce: Jakub Zemen

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Mlha a sluneční svit na stanici Praha Karlov" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil práva třetích osob.

V Praze dne 15. dubna 2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Věře Kožnarové, CSc. za velkou ochotu a pomoc při zpracování bakalářské práce, dále bych rád poděkoval rodině za podporu a zázemí při studiu na vysoké škole.

Mlha a sluneční svit na stanici Praha Karlov

Souhrn

Práce má experimentální charakter a zabývá se trváním mlhy a slunečního svitu na meteorologické stanici Praha Karlov. Jejím cílem je potvrdit, nebo vyvrátit tvrzení, že došlo v důsledku narůstající automobilové dopravy ke změnám trvání mlhy a délky slunečního svitu v centru Prahy, respektive v blízkosti Nuselského mostu a jeho okolí.

Teoretická část se zabývá vznikem, složením a rozdělením mlhy podle druhu. Následující kapitola je zaměřena na sluneční svit, měření slunečního svitu a poznatky o měřicích přístrojích. Třetí část literární rešerše popisuje historii měření na meteorologické stanici Praha – Karlov. Poslední kapitola je o automobilové dopravě a emisním zatížení ve městech, zabývá se automobilovou dopravou v centru i okrajových oblastech Prahy v časové řadě a dopadem na znečištění ovzduší.

Experimentální část popisuje klimatologické informace stanice Praha – Karlov, přístroje použité pro měření mlh a slunečního svitu a metodiku zpracování databáze popisující výskyt mlhy a slunečního svitu na meteorologické stanici Praha – Karlov v rozmezí od roku 1971 do roku 2010. Základem dat pro přepis časových údajů trvání mlhy i slunečního svitu byla publikace Měsíční přehled meteorologických měření a pozorování observatoře Praha – Karlov. Data byla zpracována do grafů a vyhodnocena. Z analýzy vyplývá, že automobilová doprava v centru Prahy stále roste a výsledky ukazují klesající trend mlh a naopak rostoucí tendenci v době slunečního svitu za dané časové období. Lineární spojnice mlh a slunečního svitu ukázala, že sluneční svit každoročně klesá přibližně o 5 hodin s každým dnem výskytu mlhy.

Klíčová slova: mlha, sluneční svit, meteorologická stanice, Praha – Karlov, doprava

Fog and sunshine at Prague Karlov station

Summary

The work has an experimental character and deals with duration of fog and sunshine at the station Praha – Karlov. The main objective of it is confirmed or refutes the allegation of changes of fog and sunshine duration in the center of Prague in particular around Nusle Bridge.

The theoretical part deals with origin, composition and distribution fog by type. The following chapter focuses on the sunshine, sunshine measurement and findings of measuring instruments. The third part of literature research describes the history of measurements at the weather station Prague - Karlov. The last part is about vehicular traffic, emission load in cities and their repercussion on environmental.

The experimental part describes climatological information of meteorological station Prague – Karlov, instruments used for measuring fogs, sunshine and methodology of processing database describing the occurrence fog and sunshine at the weather station Prague – Karlov ranging from 1971 to 2010. Based on the data for transcribing time data of fog duration and sunshine was monthly overview of meteorological measurings and observations of Praha – Karlov observatory. The data was processed into graphs and then evaluated. From the research ensuing, that vehicular traffic in the center of Prague is still increasing. The results showed falling trend of fogs and on the contrary growing tendency of sunshine of the time period. Linear connector of fogs and sunshine showed that sunshine annually reduced by approximately 5 hours in a relationship with fog's occurrence.

Keywords: fog, sunshine, weather station, Prague - Karlov, transport

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Mlha	10
3.1.1	Vznik mlhy	10
3.1.2	Druhy mlhy	13
3.1.2.1	Advekční mlha	13
3.1.2.2	Radiační mlha (Mlha z vyzařování)	13
3.1.2.3	Mlha advekčně-radiační	13
3.1.2.4	Mlha frontální	13
3.1.2.5	Mlha zmrzlá (Mlha ledová)	14
3.1.2.6	Mlha přechlazená	14
3.1.2.7	Mlha městská	14
3.1.3	Mlhy v Praze	15
3.1.4	Klimatologické charakteristiky mlhy	16
3.2	Sluneční svit	17
3.2.1	Definice	17
3.2.2	Měření trvání slunečního svitu	17
3.2.2.1	Měření slunečního svitu Campbellovým –Stokesovým slunoměrem	18
3.2.2.2	Měření slunečního svitu elektronickými slunoměry	18
3.2.3	Charakteristiky slunečního svitu	20
3.3	Meteorologické měření na stanici Praha- Karlov	21
3.4	Automobilová doprava a emise v Praze	21
3.4.1	Emisní měření	23
4	Materiál a metody	26
4.1	Klimatologická charakteritika stanice Praha - Karlov	26
4.1.1	Přírodní a klimatické podmínky pokusné lokality	26
4.2	Přístroje použité k měření	29
4.2.1	Měření mlhy	29
4.2.2	Měření slunečního svitu	30
4.3	Metodika	31
5	Výsledky	32
5.1	Mlha	32
5.2	výskyt mlhy v měsíčním přehledu z období 1971–2010	32

5.3	Výskyt mlhy v ročním přehledu z období 1971 – 2010.....	39
5.4	Sluneční svit.....	41
5.5	Trvání slunečního svitu v měsíčním přehledu z období 1971 – 2010	41
5.6	Trvání slunečního svitu v ročním přehledu z období 1971 – 2010	48
5.7	Vztah mlhy a slunečního svitu	49
6	Diskuze.....	50
7	Závěr	51
8	Seznam použité literatury	52

1 Úvod

Mlhy zásadním způsobem ovlivňují všechny druhy dopravy, nejvíce leteckou a automobilovou. Zatěžují nebo znemožňují různé druhy lidské činnosti. Velmi nepříznivě ovlivňují životní prostředí a zmenšují difúzi průmyslových exhalátů. Jsou hlavním zdrojem tzv. horizontálních srážek a mění radiační bilanci zemského povrchu.

Mlha se nachází ve spodních vrstvách atmosféry a je produktem kondenzace vodní páry. Při jejím trvání se snižuje dohlednost pod jeden kilometr a zkracuje doba, po kterou dopadají sluneční paprsky na zemský povrch. Lze tedy konstatovat, že mlha a trvání slunečního svitu spolu navzájem úzce souvisejí, resp. se determinují.

Nejstarší definice obou pojmů lze najít v Ottově slovníku (1901): „Mlha jest zhuštěná pára vodní v dolních vrstvách vzduchových u samého povrchu zemského se vyskytující. Skládá se z jemných kuliček vodních, jež při velkém množství kalí vzduch činíce jej neprůhledným. Příčinou mlhy bývají rozdíly mezi teplotou povrchu zemského a teplotou vzduchu nad ním se rozkládajícího. Mlha vzniká, bývá-li povrch zemský studenější nežli vzduch přicházející s ním do styku. Ochlazením pod bod rosný počne se pára ve vzduchu obsažená zhušťovati a se z něho vylučovati. Tím tvoří se mlha nad povrchem zemským, když se tento za jasné oblohy a klidného vzduchu vyzařováním tepla do prostoru světového silně ochlazuje. Zvláště husté a dlouho trvající mlhy vyskytují se u nás na jaře a na podzim; v létě vyskytují se mlhy po deštích a nad vlhkou půdou; v horách bývají častější než v nížinách“.

„Sluneční záření světelné srovnáváno bylo od pokusů Bouguerových s umělými světly. Podle G. Müllera můžeme z těchto všech pokusů soudit, že světlo sluneční rovná se světlu 220.420 svíček normálních anglických ve vzdálenosti 1 m. Fizeau a Foucault našli fotograficky, že střední zdánlivá světlost povrchu slunečního je 146krát větší než světla Drummondova a asi 3krát tak veliká jako světlost elektrického světla obloukového. Langley shledal, že Slunce je 5300krát světlejší než světlo tekutého železa. Podle Bonda a Zöllnera je Slunce 569.500krát jasnější, než měsíc v úplňku. Jeť světlo sluneční nejsilnější, jež známe“ (Otto, 1901).

2 Cíl práce

Cílem práce je analyzovat četnosti výskytu mlhy a variabilitu trvání slunečního svitu v areálu Praha – Karlov a potvrdit nebo vyvrátit hypotézu, že došlo v důsledku narůstající dopravy v této části Prahy ke změnám u těchto prvků v období od 1971 do 2010.

Dílčími úkoly práce je:

- stanovit průměrný počet dní s mlhou v jednotlivých měsících,
- stanovit počet hodin trvání slunečního svitu v jednotlivých měsících,
- vyjádřit vztah mezi oběma meteorologickými prvky,
- analyzovat vliv nárůstu dopravy na tyto charakteristiky.

3 Literární rešerše

3.1 Mlha

3.1.1 Vznik mlhy

Mlha je vodním aerosolem a je sestavena z malých vodních kapiček, ale i z ledových krystalků, které jsou rozptýlené ve vzduchu v blízkosti zemského povrchu a snižují horizontální dohlednost alespoň v jednom směru pod hodnotu 1 km. Vzduch zde působí „sychravým“ dojmem. Mlhou můžeme nazvat také stratus nad zemí (Řezáčová a kol., 2007; Podzimek, 1959; Potužníková a Sedlák, 2003; Gultepe et al., 2007; Möller, 2008; Tolasz, 2007)

Atmosférickým aerosolem se pak rozumějí všechny kapalné a tuhé částičky, které se vyskytují v zemském ovzduší. Do atmosféry se dostávají přirozeně například vulkanickou činností, přirozenou kondenzací, chemickými reakcemi mezi jednotlivými plyny a kapalinami v atmosféře, průletem meteorů a antropogenní činností jako je kouř z komínů, výpar vody z průmyslových zdrojů, produkce různých plynů v chemických továrnách, spaliny z letadel, aut a dalších pohyblivých prostředků, které využívají k pohonu fosilních paliv (Dvořák, 2012).

Vodní pára, která kondenzuje v atmosféře, musí kondenzovat na nějaké pevné částice a bez přítomnosti prachu nebo jiné aerosolových částic ve vzduchu, nedojde ke vzniku žádného oblaku ani mlhy. Mlha se vyvíjí, když se zvýší v přízemních hladinách hladina relativní vlhkosti vzduchu na hodnotu přibližnou nebo rovnou až 100 %. Kapky mlhy vznikají na kondenzačních jádrech, na jejichž vlastnostech závisí prahová hodnota relativní vlhkosti (Řezáčová a kol., 2007; Podzimek, 1959; Potužníková a Sedlák, 2003; Gultepe et al., 2007; Möller, 2008).

Mlhy se mohou vytvářet, díky přítomnosti atmosférických aerosolů antropogenního původu v ovzduší, i v podmínkách, kdy relativní vlhkost vzduchu nedosahuje 100 %, mělo by platit, že s rostoucí úrovní znečištění ovzduší klesá relativní vlhkost vzduchu potřebná pro vznik mlhy (Chaloupecký a Kastner, 2005).

Autoři dále zjistili, že vlhkost vzduchu ve dnech s mlhou na Karlově je pravděpodobně důsledek zvyšování znečištění ovzduší ve vnitřní Praze v 60. až 80. letech 20. století. Hlavními škodlivinami působící na pražské ovzduší byly, jako v jiných velkoměstech, oxid siřičitý (SO₂) a oxidy dusíku (NO_x), které mohou po sloučení s dalšími látkami (nejčastěji

amoniakem) plnit funkci velkých kondenzačních jader a mlhy tak mohou vznikat i při nižší relativní vlhkosti vzduchu než je 100 %. Nejvyšší koncentrace těchto látek byly v Praze zaznamenávány v 80. letech. Na začátku 90. let byly zaváděny ekologicky šetrnější provozní úrovně znečištění ovzduší se výrazně zlepšovaly. Výrazně se snížily koncentrace oxidu siřičitého (SO₂). Proto se také zvýšila průměrná relativní vlhkost ve dnech s výskytem mlhy.

Vznik a vývoj mlhy je silně ovlivněn podmínkami povrchu. Ty jsou určeny současným stavem půdy a vegetací nebo urbanizací. Účinky podkladové plochy mohou být přímé, a to když povrch ovlivňuje profily větru, teplotu, vlhkost a lokální cirkulaci. Nebo mohou být nepřímé, a to modifikací radiačních vlastností atmosféry mikrofyzikální procesy a různými aerosolovými spektry (Gultepe et al., 2007).

Pohyb mlhy závisí na rozdílu tlaku Δp mezi povrchem a mlhou a oblastí bez mlhy závisící na teplotě. Existují ještě další faktory, které ovlivňují tvorbu mlhy a brání tak nebo urychlují postup mlhy vpřed. Těmito faktory jsou adiabatické procesy a míchací účinky. Zejména pak míchání teplejšího a suššího vzduchu na přední straně mlhy. Vyhřívání povrchu snižuje přední mlhové progresy. Ve střední Evropě je hlavní sezóna těchto mlh v chladné polovině roku, a to zejména v měsících říjnu a listopadu. Je to v tom období, ve kterém se mohou často vyskytnout výrazné teplotní rozdíly mezi oblastí s mlhou a oblastí bez mlhy. To je proto, že bilance záření v těchto měsících znamená intenzivnější radiační ohřev za jasné oblohy, ve srovnání s obdobím okolo zimního slunovratu, a také proto, že meteorologické podmínky jako je vlhkost vzduchu a inverze jsou příznivější pro vytváření husté mlhy, ve srovnání s koncem zimy a začátkem jara (Sachwe and Koepke, 1997).

Stejný typ počasí, který napomáhá vzniku městského tepelného ostrova, umožňuje rozvoj radiační mlhy. Proto často pozorujeme, husté mlhy mimo městský tepelný ostrov a podmínky v přilehlých regionech, které jsou příznivé pro vznik radiačních mlh. V ideální situaci vznikají „čisté“ městské ostrovy. Tyto „čisté“ městské ostrovy jsou tvořeny městským tepelným ostrovem v oblasti mlhy. Během podmínek přetrvávající mlhových pokrytím, zesiluje v průběhu dne efekt městského tepelného ostrova. Je to proto, že noční teploty jsou zachovány tzv. krytem mlhy v okolí, zatímco teplota ve „slunném“ městě roste, zrychluje pozitivní zpětné procesy mezi zářením a tepelnou bilancí, v důsledku strhávání suchého a adiabaticky vyhřátého vzduchu přes vrstvu vertikálního míšení. Tento proces podporuje rozpad přízemní inverze a propouštění slunečního záření. V zóně přechodu mezi městem a venkovem se vyskytují strmé přechody teploty. Tyto přechody jsou silnější než přechod běžného městského tepelného ostrova vzhledem k blízkosti oblastí s velmi odlišným zářením a energetickou rovnováhou. V porovnání s příkladem bez mlhy to má za následek posílení

přízemního vánku, také posunutí denního maxima z noci; za normální situace je jasno a bez mlhy v okolí, v poledne a brzy odpoledne je jasná „ostrovní“ situace tzn. jasno s mlhou v okolí (Lee, 1987; Sachwe and Koepke, 1997).

Řezáčová a kol. (2007) zjistili, že oproti oblakům se mlha vyznačuje poměrně nízkým vodním obsahem s hodnotami mezi $0,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ až $0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, zpravidla jsou nižší než $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Mlha obsahuje malé vodní kapky s průměrem od $2,5 \text{ }\mu\text{m}$ do velikosti řádu $10^1 \text{ }\mu\text{m}$ a střední hodnotou v průměru $10\text{--}20 \text{ }\mu\text{m}$. Objemová koncentrace kapek není vysoká a obvykle činí několik set kapek v jednom kubickém centimetru. Byly zjištěny i případy advekční mlhy, kdy koncentrace kapek o průměru 1 až $5 \text{ }\mu\text{m}$ dosahovala až řádové hodnoty 10^3 cm^{-3} .

Při výskytu mlhy je možné rozeznat tři stádia. Prvním stadiem je formování mlhy, ve kterém se zvyšuje koncentrace kapek s časem jako důsledek růstu vodního obsahu při neměnné střední velikosti kapek. Druhé stádium se nazývá zralé. Dochází v něm k poměrně silným výkyvům v koncentraci kapek vodního obsahu i střední velikosti kapek. Ve stadiu rozpouštění mlhy tyto hodnoty klesají. Charakteristiky mlhy se v daném místě pozorování mohou značně měnit s časem.

Koncentrace kapek některých velikostí se mohou měnit v rozsahu až dvou řádů a vodní obsah může rychle kolísat od téměř nulové hodnoty až do $0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Obecně se s rostoucí výškou v mlze množstvím kapek snižuje a střední velikost poněkud klesá. Kapalný vodní obsah nabývá svého maxima v místě, kde svou výškou doroste do určité hladiny.

Malé kapky mlhy zůstávají ve vzduchu delší dobu než padající srážky a tím mohou lépe zadržovat polutanty na daném místě. Sedimenty z mlhy tak mohou přispívat k zatížení lokalit chemickými příměsemi (Řezáčová a kol., 2007).

Autoři dále uvádějí, že existují tři základní procesy, které mohou potřebné zvýšení relativní vlhkosti vyvolat:

1. Ochlazení vzduchu, při kterém klesá hodnota napětí nasycení. Uplatňuje se při vzniku radiační mlhy.
2. Přidání vodní páry, které vyvolá zvýšení absolutní i relativní vlhkosti. S tímto se setkáváme při vývoji mlhy frontální.
3. Vertikální promíchávání částic vlhkého vzduchu o různé teplotě je dominantní při vývoji mlhy advekční.

Většina mlh vzniká při kombinaci všech tří procesů, ale přesto jeden z nich bude vždy dominovat. Pro podmínky, které podporují vývoj mlhy, je charakteristická stabilně zvrstvená mezní vrstva ochlazovaná zespod. Při ochlazení vzduchu od zemského povrchu vznikají

vodní kapky nebo ledové krystalky, které se váží na pevné částičky rozptýlené ve vzduchu a tím se tvoří mlha.

3.1.2 Druhy mlhy

3.1.2.1 Advekční mlha

je mlha, která se tvoří ochlazováním relativně teplého a vlhkého vzduchu, při jeho přesunu nad chladnější povrch. Za mlhu advekční se považuje někdy i mlha vznikající zvýšeným výparem při přesunu studeného vzduchu nad teplý a vlhký povrch (Sobíšek, 1993).

Glickman (2000) uvádí, že je to typ mlhy způsobený prouděním tepla a vlhkého vzduchu, přes chladný povrch a následné ochlazení tohoto vzduchu pod teplotu rosného bodu.

3.1.2.2 Radiační mlha (Mlha z vyzařování)

je mlha vzniklá izobarickým radiačním ochlazováním vzduchu od aktivního povrchu, jehož teplota se snižuje následkem efektivního vyzařování. Tímto způsobem vznikají mlhy především v noci, v zimním období se někde udržují po celý den (Sobíšek, 1993). Mlha z vyzařování je noční událostí. Může se začít tvořit za večerního soumraku, a často se nerozptýlí před svítáním. Radiační mlha je často a logicky nazývá pozemní mlha (Glickman, 2000).

3.1.2.3 Mlha advekčně-radiační

je mlha, při jejímž vzniku a trvání současně působí příčiny mlhy advekční a radiační (Sobíšek, 1993).

3.1.2.4 Mlha frontální

Její název je odvozen ze skutečnosti, že je spojená s atmosférickou frontou. Její vznik souvisí jak s advekčními změnami teploty vzduchu, tak s jeho dočasným nasycením způsobeným frontálními srážkami a předfrontálním poklesem tlaku vzduchu. Podle toho, zda se mlha vyskytuje v převážné míře před frontou nebo za ní, rozlišujeme mlhu předfrontální a zafrontální (Sobíšek, 1993). Předfrontální mlha se tvoří před teplou nebo okluzní frontou obvykle 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 advekci teplého a vlhkého vzduchu nad studený povrch. Po přechodu studené fronty má zafrontální mlha obvykle radiační charakter a tvoří se nad povrchem zvlhčeným frontálními srážkami při následném nočním radiačním ochlazení (Sobíšek, 1993).

3.1.2.5 Mlha zmrzlá (Mlha ledová)

je mlha, která je složena z ledových krystalků. Vyskytuje se při silných mrazech, zejména při teplotách pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a proto má nízký obsah vodní páry, takže nepůsobí ani při vysoké poměrné vlhkosti vzduchu sychravým dojmem. Na ledových krystalcích často dochází k optickým jevům („jiskření“ světla). Při mlze zmrzlé se netvoří žádné námrazky (Sobíšek, 1993)

Zmrzlá mlha se při velmi nízkých teplotách. Bývá jasné a klidné počasí. Slunce je obvykle viditelné a může způsobit halo jevy. Ledová mlha je vzácná při teplotách vyšších než $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Téměř vždy je přítomna při teplotě vzduchu od $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ v blízkosti zdroje vodní páry. Těmito zdroji jsou otevřené vody, rychle tekoucí potoky, stáda zvířat, sopky a zejména produkty vzniklé při spalování pro vytápění nebo pro pohon (Glickman, 2000).

3.1.2.6 Mlha přechlazená

je mlha tvořená přechlazenými vodními kapičkami při teplotách vzduchu často hluboko pod bodem mrazu. Protože má vyšší absolutní vlhkost vzduchu než zmrzlá mlha, působí sychravým dojmem. Jelikož se skládá s přechlazených vodních kapiček, nepozorujeme při ní „jiskření“ světla. Typickým projevem mlhy přechlazené je tvoření námrazkových jevů, někdy velmi intenzivních (Sobíšek, 1993). Obsahuje vodní kapky v kapalně formě, které existují při teplotách nižších než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a podchladí oblak bezprostředně nad povrchem (Glickman, 2000).

3.1.2.7 Mlha městská

vzniká, nebo houstne v prostoru velkých, hlavně průmyslových měst působením nečistot v ovzduší, hlavně zplodin procesů hoření. Má vlivem kouře, sazí a jiných látek nejčastěji špinavě šedé zbarvení. Také se dá nazvat smogem nebo zákalem (Sobíšek, 1993).

Smogem je označováno silné znečištění různého původu nad rozsáhlejším územím, tvořené složitým komplexem látek, které se nejčastěji dostávají do ovzduší lidskou činností. Smog zimního typu kromě znečišťujících látek, zahrnuje také výskyt mlhy. Původně byla

smogem zimním nazývána směs mlhy a kouře s četným obsahem hlavně oxidu siřičitého (SO₂), (Knozová a Hora, 2010).

Štekl (1988) uvádí, že smog vzniká v případě, že se na zhoršení meteorologické dohlednosti vedle kondenzačních produktů značnou měrou podílejí průmyslové exhalace různé fáze (hlavně kouř), jedná se o tzv. průmyslovou mlhu, v literatuře označovanou jako smog londýnského typu. 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 (smog losangeleského typu).

3.1.3 Mlhy v Praze

Meteorologická stanice Praha - Karlov udává výrazně klesající trend ve vývoji výskytu mlh. V polovině 70. let začala četnost výskytu mlh v centru Prahy rapidně klesat. Nárůst obyvatel v hlavním městě, s tím se zvyšující počet domů, budov či skladů a hlavně dopravních komunikací, to vše jsou faktory, které vytlačují rostlinné pokryvy a s tím pak souvisí i pokles výskytu mlhy. Nárůstem obyvatel se zvýšil i trend městského tepelného ostrova. Městský tepelný ostrov lze definovat jako oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní vrstvě atmosféry nad městem. Meteorologická stanice Praha-Karlov je umístěna v konvexní poloze, a to je oproti údolním oblastem horší stanoviště pro výskyt mlh.



Obr. 1 Mlha na Nuselském mostě

(<http://www.sorfovi.cz/imagecache/655/galleria/655-img.upl525473f79f6d9.jpg>)

Od 90. let se v Praze začaly zavádět ekologicky šetrnější výrobní provozy. Mnoho provozů dostalo odsiřovací filtry a zpřísnily se normy pro vypouštění škodlivin do ovzduší.

Díky tomu se zmírnilo uvolňování škodlivin z velkých provozů. To ale neplatí pro oxidy dusíku, ty jsou vypouštěny do ovzduší především dopravou, která stále roste (obr. 1). I přes stoupající dopravu se úroveň znečištění ovzduší výrazně zlepšila, tím se ale snížil počet aerosolů antropogenního původu, které napomáhají vzniku mlhy, ty pak mohou působit jako velká kondenzační jádra. Klesající výskyt mlhy v centru Prahy se ještě více prohloubil a pravděpodobnost vzniku je čím dál menší (Chaloupecký a Kastner, 2005).

3.1.4 Klimatologické charakteristiky mlhy

Mlhy zásadním způsobem ovlivňují všechny druhy dopravy, nejvíce leteckou a automobilovou. Zatěžují nebo znemožňují různé druhy lidské činnosti. Velmi nepříznivě ovlivňují životní prostředí a zmenšují difúzi průmyslových exhalátů. Jsou hlavním zdrojem tzv. horizontálních srážek. Mlhy rovněž mění radiační bilanci zemského povrchu (Štekl, 1988). Výskyt mlhy se sleduje na profesionálních a dobrovolnických meteorologických stanicích.

Trvání mlhy během dne se zjišťuje na profesionálních meteorologických stanicích, kde lze intenzitu mlhy odvodit prostřednictvím dat o dohlednosti. Jako charakteristiky trvání mlhy se určuje začátek a konec výskytu mlhy v termínech měření ostatních prvků.

Výskyt mlhy na dobrovolnických klimatologických stanicích se eviduje podle klíče:

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

Intenzita mlhy na dobrovolnických klimatologických stanicích se rozlišuje podle následující stupnice:

- stupeň 0 – slabá mlha (meteorologická dohlednost je 500 – 1000 metrů),
- stupeň 1 – mírná mlha (meteorologická dohlednost je 200- 500 metrů),
- stupeň 2 – silná mlha (meteorologická dohlednost je 50- 200 metrů),
- stupeň 3 – velmi silná mlha (meteorologická dohlednost je méně jak 50 metrů).

Stupeň 3 byl zaveden teprve v roce 1971.

3.2 Sluneční svit

3.2.1 Definice

Sluneční svit postihuje dobu, po kterou dopadají přímé rovnoběžné paprsky od slunečního disku na zemský povrch. Nezahrnuje tedy difúzní (rozptýlenou) složku slunečního záření a také nezapočítává dobu, kdy je Slunce tak nízko nad obzorem při východu a západu, že intenzita přímého záření nepřesahuje práh citlivosti přístroje – heliografu (asi $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), (Klabzuba, 2001).

Trvání slunečního svitu závisí na tom, jak dlouho je Slunce nad obzorem. Počet hodin, kdy je Slunce nad obzorem se nazývá astronomicky možná délka slunečního svitu (časový úsek mezi východem a západem Slunce). Možná doba slunečního svitu v určitém místě závisí také na tom, není-li měřené místo omezováno překážkami. Délka slunečního svitu je však v našich podmínkách ovlivněna čistě meteorologickými faktory, oblačností, mlhou apod., do té míry, že v průběhu většinou nedosahuje ani poloviny možné doby (Červený a kol., 1984; Klabzuba a Kožnarová, 1991; Glickman, 2000; Tolasz, 2007).

3.2.2 Měření trvání slunečního svitu

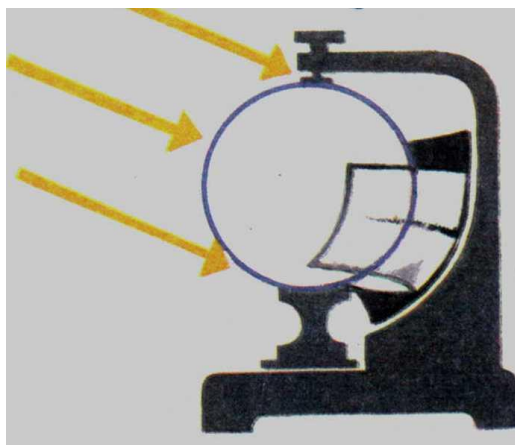
Měření trvání slunečního svitu charakterizuje dobu, po kterou dopadají rovnoběžné paprsky od slunečního disku na zemský povrch. Sám o sobě není tento pojem dost určitý, nebere-li se v úvahu tzv. prahová citlivost přístroje. Sluneční svit nevystihuje od určité hranice intenzitu přímé radiace a naprosto nepostihuje rozptýlené záření i při vyšších intenzitách než je prahová citlivost přístroje. Měřené údaje se uvádí buď absolutně v časových jednotkách (hodinách) nebo relativně přepočtené na procenta astronomicky možného slunečního svitu.

V biometeorologii se používá veličina sama o sobě nebo k výpočtu heliotermických konstant nebo k výpočtu některých aktinometrických veličin, hlavně globálního záření.

V posledních letech je vlivem globálního znečištění atmosféry překážkou snižování měřených hodnot. V Praze až o 30 %. K měření je používán slunoměr, nebo-li heliograf (Klabzuba a Kožnarová, 1991).



(<http://podlipa-smrecje.si>)



(<http://artemis.osu.cz>)

Obr. 2 Campbellův a Stokesův heliograf

V současnosti se pro měření používají tři typy slunoměrů:

a) Campbellův a Stokesův (obr. 2), ten využívá záření soustředěného do ohniska skleněné koule k vyznačení stopy na papíru.

b) Marvinův, ten zaznamenává dopadající záření Slunce pomocí kontaktního elektrického teploměru.

c) Jordanův, jež promítá sluneční paprsky na speciální foto papír (Sobíšek, 1993).

3.2.2.1 Měření slunečního svitu Campbellovým – Stokesovým slunoměrem

Campbellův a Stokesův heliograf se skládá ze skleněné koule a z registrační pásky. Skleněná koule, která funguje jako spojná čočka, soustřeďuje sluneční paprsky přicházející ve formě přímého slunečního záření ze slunečního kotouče. V jejím ohnisku je umístěna papírová páska, na které čočkou soustředěné paprsky vypalují registrační stopu, ale v některých případech slabého svitu dojde jen k odbarvení. Pomocí předčištěné časové stupnice lze z vypálené stopy vyhodnotit denní průběh a celodenní sumu slunečního svitu s přesností na desetiny hodiny. Pásky se vyměňují po západu Slunce (Pokorný a Vaníček, 2007). Práh citlivosti používaných pásek je asi 200 W.m^{-2} (Coufal a kol., 1991).

3.2.2.2 Měření slunečního svitu elektronickými slunoměry

V druhé polovině 90 let se začaly využívat v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) pro měření trvání slunečního svitu automatizované elektronické slunoměry.

Nejpřesněji je možné určovat dobu trvání slunečního svitu měřením přímého slunečního záření pomocí pyrheliometrů nebo aktinometrů napojených na registrační

jednotky, které zaznamenávají dobu, kdy je intenzita toku na vyšší než $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Obecně lze elektronické slunoměry rozdělit na dva základní typy.

První skupinu zastupují slunoměry s rotujícím stínítkem, zrcátkem nebo štěrbinou, které střídavě vrhají světelný odraz na světelný fotočlánek nebo termočlánek. Tím se vytváří pulzující elektrický signál. Ten vzniká díky době rychlosti otáčení, která je nejčastěji nižší než 1 sekunda. Signál, jenž jde do registrační jednotky je zaznamenán jako doba trvání slunečního svitu v digitální formě. Pomocí zvolené úrovně registrovaného signálu je možno nastavit citlivost čidla na požadovaných $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Patří sem přístroje japonské firmy EKO model MS – 091. Rotující slunoměry mají i nevýhody a tou je jejich rotující část, která je při dlouhodobém používání zdrojem rychlejšího poškození a tím i častějších oprav (Pokorný a Vaníček, 2007).

Druhou skupinu tvoří slunoměry, ve kterých je přímé sluneční záření separováno pevnými štěrbinami a snímáno různým počtem fotodiód. Funkce slunoměru je při různých polohách Slunce během dne i celého roku, zajištěna nezávislým geometrickým umístěním otvorů a fotočláneků. Jestliže je fotoelektrické napětí mezi osvětlenou a stíněnou fotodiódou vyšší než hraniční hodnota $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, zaznamenává se tato, jako doba trvání slunečního svitu. Hraniční hodnota se určuje buď pomocí přímého slunečního záření, nebo kalibrací umělým zdrojem. Patří sem např. slunoměr SD 5 (obr. 3), kde je systém 16ti štěrbin ve válcové cloně. Tyto slunoměry mají nižší pořizovací a provozní náklady než slunoměry rotující (Pokorný a Vaníček, 2007).



Obr. 3 Slunoměr SD 5

<http://www.meteo-holesov.cz/ikony/stit04a.jpg>

V polovině 90. let bylo v ČHMÚ započato měření slunečního svitu prostřednictvím elektrických slunoměrů DSU 12 (obr. 4). Toto zařízení bylo postupně instalováno do všech profesionálních stanic Českého hydrometeorologického ústavu (Pokorný a Vaniček, 2007).



Obr. 4 Slunoměr DSU 12

(<http://www.docstoc.com/docs/152493678/DSU12-Sunshine-Duration-Sensor---Hobeco>)

3.2.3 Charakteristiky slunečního svitu

Trvání slunečního svitu závisí především na tom, jak dlouho je Slunce nad obzorem. Počet hodin, kdy je Slunce nad obzorem, nazýváme *astronomicky možnou dobou* slunečního svitu. Možná doba slunečního svitu v určitém místě však také závisí na tom, není-li sluneční svit omezován překážkami nad horizontem (hory, lesy, stavby apod.). Chceme-li vyloučit chyby vzniklé zastíněním slunoměru, musíme od astronomicky možné doby slunečního svitu odečíst dobu připadající na průchod slunce za překážkami. Takto korigovanou dobu možného slunečního svitu nazýváme *efektivně možnou dobou* slunečního svitu. Skutečně registrovaná doba svitu je však v našich podmínkách natolik ovlivňována čistě meteorologickými faktory (oblačností, mlhou), že většinou nedosahuje ani poloviny efektivně možné doby svitu. Aby bylo možné srovnávat vzájemně různá místa, užíváme jako klimatologické charakteristiky jednak *relativní trvání slunečního svitu* a jednak *dobu slunečního svitu přepočtenou na ideální horizont*. Relativním trváním rozumíme poměr naměřené doby svitu a efektivně možné doby svitu vyjádřený v procentech, trvání svitu pro ideální obzor určujeme jako součin relativní doby svitu a astronomicky možné doby svitu (Coufal a kol., 1991).

3.3 Meteorologické měření na stanici Praha- Karlov

Meteorologická stanice je umístěna v jihozápadní části budovy, kde sídlí matematicko – fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, v ulici Ke Karlovu v Praze 2, a převyšuje okolní stavby. Meteorologické přístroje jsou na plošině věže, ve výšce 27 m nad terénem a 260,5 m nad mořem. Měření a pozorování bylo zahájeno na stanici Praha – Karlov 1. 1. 1920. V srpnu 2002 byl na této stanici zahájen provoz kombinovaného typu, to znamená, že lidská obsluha se stará o pozorování od 7:00 do 21:00 h SEČ, a v době 21:00–7:00 h SEČ je stanice automatická a nepotřebuje lidskou obsluhu. Dnem zahájení kombinovaného provozu se pracoviště ČHMÚ v Praze na Karlově stalo profesionální meteorologickou stanicí s nepřetržitým provozem (Anon., 2010a)

Dlouhodobě se zde zaznamenávají meteorologické a hydrologické údaje. Kromě základních fyzikálních vlastností přízemní atmosféry jsou na meteorologické stanici získávány i údaje o znečištění ovzduší, včetně jeho radioaktivity (Anon., 2010b).

3.4 Automobilová doprava a emise v Praze

Automobilová doprava ve městech má díky stoupajícímu počtu vozidel stále větší vliv na obyvatelstvo v prostředí i ve městě. Nejvíce se tento problém týká velkých měst a především Prahy. Hlavní město Praha vykazuje nadprůměrně vysoké výkony automobilové dopravy a také intenzitu, ve srovnání s jinými velkými městy ČR, dokonce i ve srovnání s dálnicemi (Sadílek, 2001).

Tab. 1 Dopravní výkon automobilové dopravy v Praze

(pracovní den, oba směry celkem, období 00-24 h), (Adámek a kol., 2014)

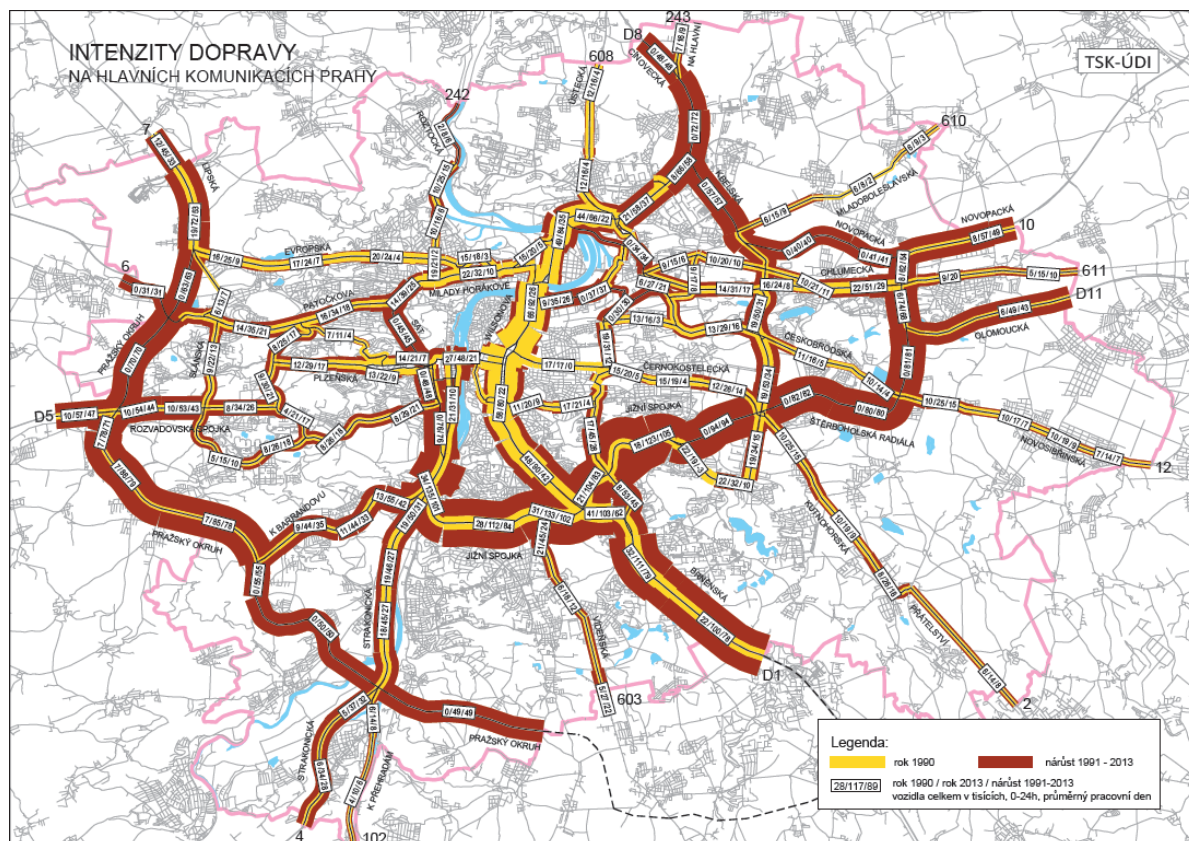
Rok	motorová vozidla celkem		z toho osobní automobily		podíl osobních automobilů na celkových dopravních výkonech (%)
	mil. vozokm	%	mil. vozokm	%	
1961	2,273*	31%	1,273*	23%	56%
1971	5,061*	69%	3,543*	65%	70%
1981	5,562	76%	4,338	79%	78%
1990	7,293	100%	5,848	100%	80%
2000	16,641	228%	15,131	259%	91%
2010	22,205	304%	20,435	349%	92%
2011	21,936	301%	20,221	346%	92%
2012	21,812	299%	20,131	344%	92%
2013	21,875	300%	20,167	345%	92%

100% = rok 1990 *odhad podle trendů vývoje intenzit na kordorech (dopravní výkony jsou v Praze sledovány až od roku 1978).

V Praze jsou od roku 1978 sledovány dopravní výkony. Tím se myslí měření ujetých vozokilometrů na celé komunikační síti. Dopravní výkon je hlavním kontinuálním ukazatelem

vývoje automobilové dopravy. Všechny záznamy o dopravních výkonech jsou z období od 0:00 do 24:00 h průměrného pracovního dne. Údaje jsou uváděny bez autobusů městské hromadné dopravy.

Celkový počet motorových vozidel registrovaných na území Prahy stále stoupá a rostou i intenzita a dopravní výkony automobilové dopravy na komunikační síti města, což je zřejmé z tab. 1 a obr. 5 (Adámek a kol., 2014).



Obr. 5 Nárůst Intenzity dopravy v Praze (Adámek a kol., 2014)

Z tabulky je patrné, že každý rok roste počet automobilové dopravy, který je zaznamenáván na území Prahy, v období po roce 1990. V letech 2008 až 2009 se růst prakticky zastavil a po opětovném významnějším nárůstu v roce 2010 došlo v letech 2011 a 2012 k mírnému poklesu. V roce 2013 intenzita automobilové dopravy víceméně ustrnula.

Kordonová sledování, tzn. dopravní sčítání, se opakují v určitých intervalech na místech vytvářejících ucelený kordon všech významných vstupních komunikací do vymezené oblasti. Nárůst dopravy uvnitř města je monitorován na centrálním kordonu, vývoj vnější dopravy je sledován na vnějším kordonu. Časové řady na obou kordonech jsou k dispozici od roku 1961 (tab. 2).

Tab. 2 Intenzita dopravy a) na centrálním a b) vnějším kordonu v Praze (pracovní den, oba směry celkem, období 00-24 h), (Adámek a kol., 2014)

a)

Rok	Centrální kordon					
	Osobní		Nákladní		Vozidla celkem	
	počet	%	počet	%	počet	%
1961	76 000	18%	35 000	81%	141 000	29%
1971	265 000	62%	42 000	98%	314 000	66%
1981	272 000	64%	43 000	100%	321 000	67%
1990	424 000	100%	43 000	100%	479 000	100%
2000	653 000	154%	25 000	58%	690 000	144%
2010	598 000	141%	14 000	33%	625 000	130%
2011	582 000	137%	13 000	30%	608 000	127%
2012	562 000	133%	17 000	40%	586 000	122%
2013	546 000	129%	11 000	26%	569 000	119%
100% = rok 1990						

b)

Rok	Vnější kordon					
	Osobní		Nákladní		Vozidla celkem	
	počet	%	počet	%	počet	%
1961	15 000	14%	15 000	41%	40 000	26%
1971	56 000	50%	25 000	68%	85 000	55%
1981	74 000	67%	34 000	92%	114 000	74%
1990	111 000	100%	37 000	100%	154 000	100%
2000	334 000	301%	47 000	127%	386 000	251%
2010	505 000	455%	58 000	157%	572 000	371%
2011	517 000	466%	54 000	146%	581 000	377%
2012	518 000	467%	54 000	146%	581 000	377%
2013	532 000	479%	52 000	141%	597 000	388%
100% = rok 1990						

3.4.1 Emisní měření

Znečištění ovzduší v konkrétní lokalitě závisí v první řadě na množství emisí znečišťujících látek, které lokalitu ovlivňují. Důležitým faktorem jsou nicméně i rozptylové podmínky, které jsou souhrnem geografických parametrů sledovaného místa a meteorologické situace.

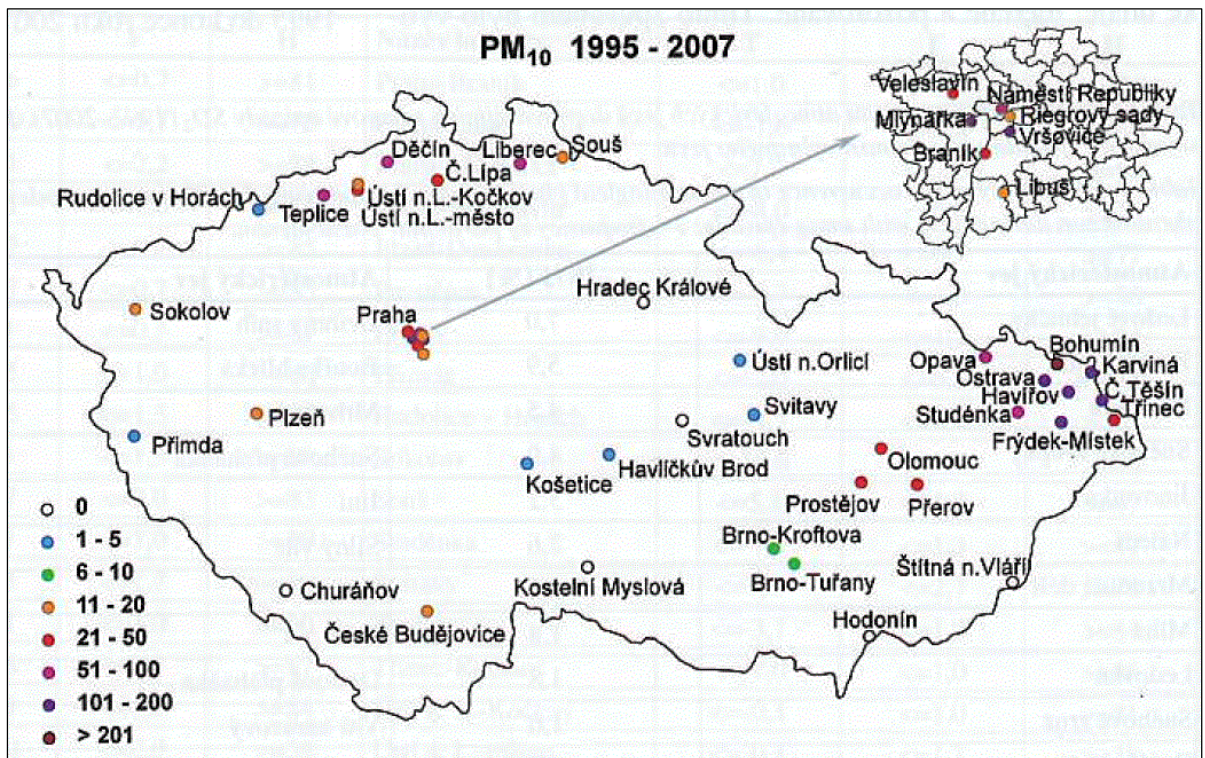
Trendy změny emisí škodlivin souvisejí především se změnou struktury zdrojů znečištění. Počet velkých zdrojů se omezil, ale čím dál větší problém představuje stále se zvětšující doprava a lokální topeniště. Ohrožení extrémně vysokou koncentrací znečištění existuje především v okolí zdrojů emisí škodlivin, to je ve velkých městech, nebo průmyslových zónách (Knozová a Šimková, 2009). Automobilová doprava tvoří kolem 65 %

emisi NO_x , 26 % celkových emisí těkavých organických látek a 93 % emisí amoniaku na území Prahy. Protože je vědecky prokázáno, že suspendované částice mají negativní vliv na zdraví lidí, tak jsou sledovány smogové epizody s částicemi s aerodynamickým průměrem do $10 \mu\text{m}$, které se značí PM_{10} (Knozová a Hora, 2010).

PM_{10} jsou suspendované částice, které pocházejí ze sazí výfuků hlavně diesellových automobilů. Mohou to být i jemné částice z obrušování pneumatik a obrušování brzd automobilů. Velmi důležitá je tzv. sekundární prašnost, což je zviření prachových částic, které vznikají kondenzací plynných látek a jsou usazené na povrchu komunikací.

Vyhláška 373/2009 Sb. stanovuje přehled zvláštních smogových limitů s vysokou koncentrací PM_{10} . Signál upozornění je stanoven limit 24 hodinového průměru, který je $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Signál regulace následuje po limitu 24 hodinového průměru $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. (Knozová a Šimková, 2009; Anon., 2010c).

Knozová a Hora (2010) studovali částice PM_{10} od roku 1995 do 2007. Jak je patrné z obr. 6, smogové situace jsou v České republice hlavně ve velkých městech a průmyslových oblastech.



Obr. 6 Počet dnů se smogovou epizodou za období 1995 – 2007 (Knozová a Hora, 2010)

V minulých desetiletích se výrazně zlepšovala kvalita ovzduší ve městech České republiky. V Praze byla pozorována klesající tendence převážně znečišťujících látek v ovzduší, od začátku 90. let 20. století. V současné době se v Praze už nevyskytují ohrožující

koncentrace SO_2 způsobující smogové epizody. Avšak koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na mnohých místech v posledních letech vůbec neklesají a v některých lokalitách ohrožují zdraví obyvatel. Smogové situace způsobené částicemi PM_{10} mají typický výrazný roční chod s maximem v lednu, a ve městech se vyskytují také v teplých měsících (Knozová a Šimková, 2009).

Ve velkých městech je docela malé procento dnů s mlhou spolu se smogovou epizodou, s porovnáním všech dnů s mlhou (Knozová a Hora, 2010). Hlavní příčinou vysokého výskytu mlh je fakt, že v klimatických podmínkách České republiky je mlha častým atmosférickým jevem, a tvoří se během celého roku, kdežto smogové epizody jsou extrémní a jsou hlavně v zimním období. Snížení emisního znečištění v devadesátých letech dvacátého století bylo ve městech doprovázeno poklesem množství mlh (Knozová a Šimková, 2009; Tolasz, 2007).

Ohrožení smogem zimního typu v České republice stále přetrvává, a to hlavně ve městech, i přes výrazné snížení emisí většiny škodlivin v devadesátých letech dvacátého století. Smogové situace zapříčiněné velkými koncentracemi SO_2 mohou nastat při špatných meteorologických podmínkách, ale pravděpodobnost výskytu je velmi malá. Stále aktuálním problémem jsou suspendované částice PM_{10} , které vytváří smogové situace průměrně v 63 dnech za rok (Knozová a Šimková, 2009).

4 Materiál a metody

Pro analýzu byla použita databáze vytvořená z Meteorologického přehledu stanice Praha – Karlov, zahrnující dva základní meteorologické prvky – mlhu a sluneční svit.

4.1 Klimatologická charakteritika stanice Praha - Karlov

4.1.1 Přírodní a klimatické podmínky pokusné lokality

Nadmořská výška: 254 m n.m.
Zeměpisné souřadnice: 50° 04' severní šířky
14° 25' východní délky
Odchylka středního místního času SEČ: +3 minuty
Fytogeografická oblast: Středočeská tabule
Geomorfologická oblast: Pražská plošina

Zařazení podle Atlasu podnebí ČSR (1958):

- **klimatická oblast:** B mírně teplá,
- **klimatický okrsek:** B₂, mírně teplý, mírně suchý, převážně s mírnou zimou.

Zařazení podle Agoklimatických podmienok ČSSR:

- **agroklimatická makrooblast:** teplá,
- **agroklimatická oblast:** převážně teplá,
- **agroklimatická podoblast:** s poměrně mírnou zimou.

Klasifikace Taylorova: oblast středoevropská s cyklonální cirkulací a s působením polární fronty a střídavým vlivem oceánu a kontinentu.

Klasifikace podle Köppena: Cfb - podnebí listnatých lesů mírného pásma, kde:

- **C:** průměrná teplota nejteplejšího měsíce převyšuje 10 °C, průměrná teplota nejchladnějšího měsíce mezi -3 až 18 °C
- **f:** úhrn srážek v nejvlhčím letním měsíci je vyšší než v nejsušším zimním měsíci (méně než 10krát) a současně 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 (Klabzuba a kol., 1999).

Klasifikace podle Quitta:

Tab. 3 Klimatické charakteristiky. Praha

Charakteristika	Klimatické 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

Vláhová oblast podle hydrotermického koeficientu Seljaninova: mírně výsušná (HTK = 1,0–1,3), (Klabzuba a kol., 1999).

Tab. 4 Teplotní charakteristiky (standardní klimatologický normál 1961–1990) (Klabzuba a kol., 1999).

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

Tab. 5 Srážkové charakteristiky (Klabzuba a kol., 1999).

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

4.2 Přístroje použité k měření

4.2.1 Měření mlhy

K měření mlhy na stanici Praha – Karlov se používá přístroj pro měření vertikální dohlednosti PWD (Present weather detector) a Ceilometr pro měření výšky oblačnosti. Tyto přístroje mohou vyhodnocovat množství pokrytí oblohy.

PWD22

Viditelnost na PWD22 od firmy Vaisala se měří pomocí forwardscatter (přímý rozptyl) techniky, a spolehlivý provoz je pojištěný za všech povětrnostních podmínek prostřednictvím automatické kompenzace srážek. Rozsáhlý soubor automaticky diagnostických postupů umožňuje průběžně sledovat stav senzorů. Kapacitní senzor pro detekci srážky se nachází v horní části regulátoru. Čidlo je dobře chráněno proti znečištění, protože optické komponenty jsou mírně dolů a kryty chrání čočky proti kondenzaci kapek a prachu (Anon., 2015b). Nevýhodou je, že měří jen do 20 km (pokud je lepší dohlednost, musí ji určit pozorovatel) a také během srážek zkresluje nejmenší dohlednost (Anon., 2015a).

Laserový ceilometr CT25K

Přístroj zaznamenává výšku oblačnosti (obr. 7), vertikální dohlednost a pokrytí oblohy pomocí laserového paprsku. Přesněji zaznamenává výšku základny nejnižší oblačnosti, přičemž zvládne i druhou nejnižší vrstvu, pokud je přítomna.



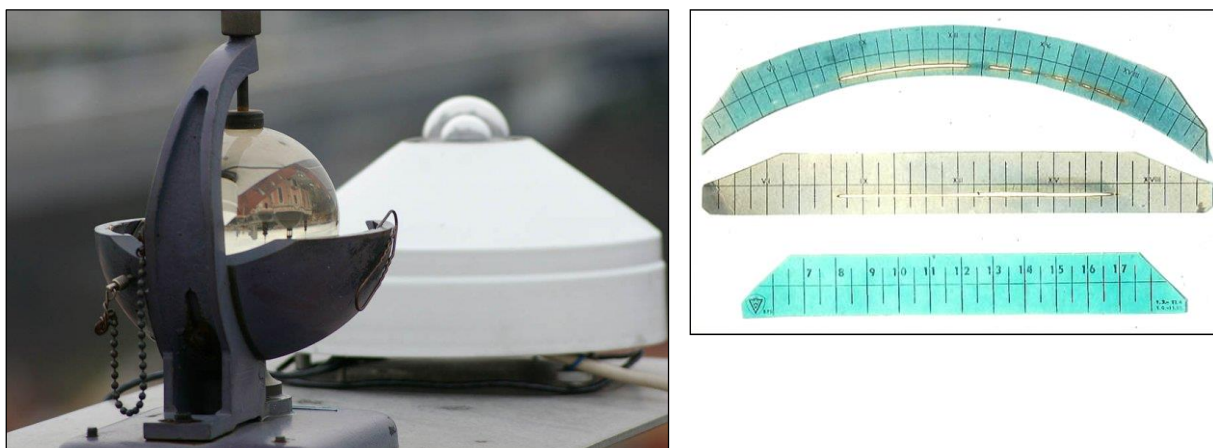
Obr. 7 Laserový ceilometr CT25K na stanici Praha – Karlov

(<http://www.infomet.cz/pix/pix1296895431-2.jpg>)

Data se zaznamenávají do grafů (ceilografů) a pomocí osy s výškou (v metrech) a osy s časem se určuje výška zaznamenané oblačnosti. Rozsah měření přístroje je 7500 m a rozlišení 15 m (Anon., 2015a).

4.2.2 Měření slunečního svitu

Na meteorologické stanici Praha - Karlov se používá slunoměr podle Campbella – Stokesese (obr. 8), který na papírových páskách propalováním registruje tepelný účinek slunečních paprsků soustředěných kulovou čočkou. Vlivem pohybu Slunce vzniká na papíru propálená čára. Dále se používá elektronický heliograf SD4, který umí pracovat bez lidské obsluhy.



Obr. 8 Campbell – Stokesův slunoměr na stanici Praha – Karlov, v pozadí slunoměr SD4, na pravé straně pásky do heliografu (<http://www.infomet.cz/pix/pix1296895431-1.jpg>)

Konstrukce Campbell – Stokesova slunoměru:

Základní částí slunoměru tvoří koule o průměru 48 mm ze speciálního skla, jemně broušená a leštěná. Koule je umístěna na misce na stojánku, který se může pohybovat všemi směry. Pro registrační pásky má slunoměr kulový prstenec, jehož poloměr je blízký ohniskové vzdálenosti kulové čočky. Prstenec je uložen na stojánku a jeho poloha je nastavená podle stupňů zeměpisné šířky, které jsou vyznačené na stupnici upevněné na boku stojánku. Registrační pásky z tenkého kartonu jsou trojího druhu (obr. 8). Pro zimní období se používají krátké zakřivené pásky, které se vsunují do horních drážek misky. Rovné pásky se používají pro období kolem rovnodennosti (6 týdnů) se vsunují do prostředních drážek. A dlouhé zakřivené pásky pro letní období zasunujeme do spodních drážek. Pásky mají zelenou nebo modrou barvu a jsou čarami děleny po hodinách a půlhodinách. Vlivem světla v ohnisku

skleněné koule barva žlutne až hnědne, popřípadě se páska i propálí. To umožňuje vyhodnocování délky slunečního svitu. K určení přesné polohy pásku slouží ryska uprostřed misky, která označuje, kde Slunce pálí v pravé poledne (Slabá, 1972).

Slunoměr SD4

Slunoměr SD4 byl prvním modelem řady SD vyvinutým a patentově chráněným firmou Meteoservis, v.o.s., Vodňany. Přístroj je se stínícím krytem. Optický systém slunoměru, který skleněnou polokoulí, tvoří horizontální clonu s podélnou štěrbinou orientovanou od jihu k severu. Pod štěrbinou je umístěna soustava fotovoltaických článků z monokrystalického křemíku. Na každý článek se promítá výřez (pruh) oblohy. Pokud je Slunce nad obzorem a není zakryto oblačností nebo jinou překážkou, tak při svém pohybu po obloze vždy osvětluje jeden z článků s maximální intenzitou. Elektronický systém slunoměru vybírá během dne nejvíce osvětlený článek, měří intenzitu toku dopadajícího slunečního záření H_s a porovnává ji s prahovou citlivostí čidla nastavenou na $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Pokud intenzita záření překročí tuto hodnotu, přístroj vysílá do registrační jednotky signál o slunečním svitu. Výstupem měření je hodnota napětí (proudu). Prahovou citlivost slunoměru je možno elektronicky upravit. Nezávislá úprava citlivosti jednotlivých fotočlánků není možná. Slunoměr má horizontální provozní polohu. Přístroj má vytápění, které zamezuje vzniku rosy, jíní nebo námrazy na krycí polokouli a zajišťuje správnou pracovní teplotu pro elektroniku, je vodotěsný a neobsahuje žádné pohyblivé části. Jeho pouzdro je vyrobeno z hliníkové slitiny (Pokorný a Vaníček, 2007).

4.3 Metodika

V experimentální části byla využita databáze z měření a pozorování publikované v Meteorologickém přehledu počasí ze stanice Praha Karlov.

Volba délky intervalu pro zpracování se volí taková, aby řada pozorování měla klimatologickou reprezentativnost. Musí mít délku alespoň 10 až 12 roků, lépe však, když je nejméně patnáctiletá (Štekl, 1988). Tento požadavek byl v rámci předložené práce splněn, zvolené období je čtyřicetileté. Data jsou z období od roku 1971 do roku 2010.

Jako charakteristiky pro analýzu byly zvoleny dny s výskytem mlhy a trvání slunečního svitu v hodinách. Za den s mlhou je považován každý den, kde se vyskytla mlha, bez ohledu v jaké intenzitě a době se vyskytovala. Data byla podrobena statistické analýze. Výsledky jsou prezentovány v tabulkách a grafech.

5 Výsledky

5.1 Mlha

Tab. 6 Základní statistické charakteristiky mlhy z období 1971-2010

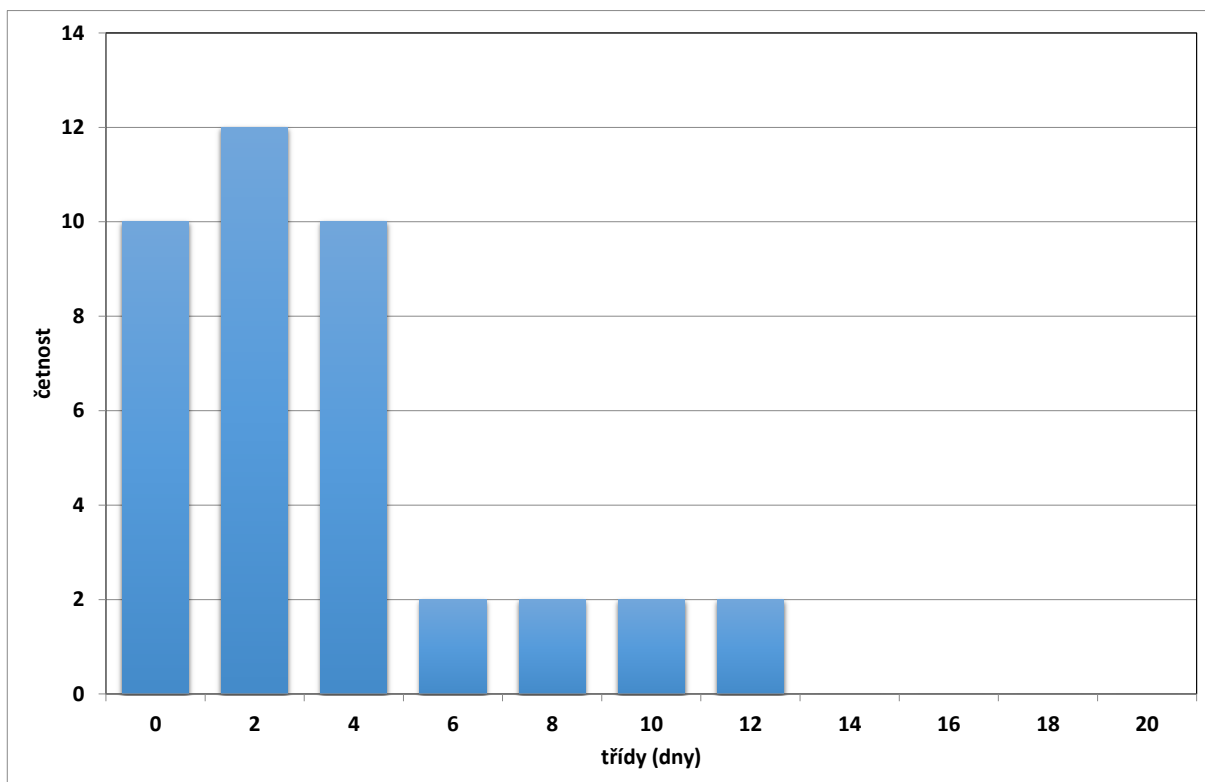
	leden	únor	březen	duben	květen	červen
Průměr	3	2,3	1,5	0,7	0,7	0,4
Chyba stř. hodnoty	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1
Medián	2	1	1	0	0	0
Modus	0	0	1	0	0	0
Směr. odchylka	3,3	2,8	1,3	1,3	1	0,6
Rozptyl výběru	11,2	8	1,7	1,7	1	0,3
Špičatost	1,5	2,2	-0,6	13,7	2	1,3
Šikmost	1,4	1,7	0,6	3,3	1,5	1,5
Amplituda	12	11	4	7	4	2
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	12	11	4	7	4	2

	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Průměr	0,3	1	3,5	6,3	3,2	2,1
Chyba stř. hodnoty	0,1	0,2	0,4	0,7	0,4	0,3
Medián	0	1	3	6	3	2
Modus	0	1	3	8	1	0
Směr. odchylka	0,7	1,1	2,7	4,3	2,4	2
Rozptyl výběru	0,5	1,1	7,4	18,1	5,8	3,8
Špičatost	17,5	4	0,7	0,9	0,7	1,3
Šikmost	3,7	1,6	1	0,7	0,9	1,2
Amplituda	4	5	11	19	10	8
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	4	5	11	19	10	8

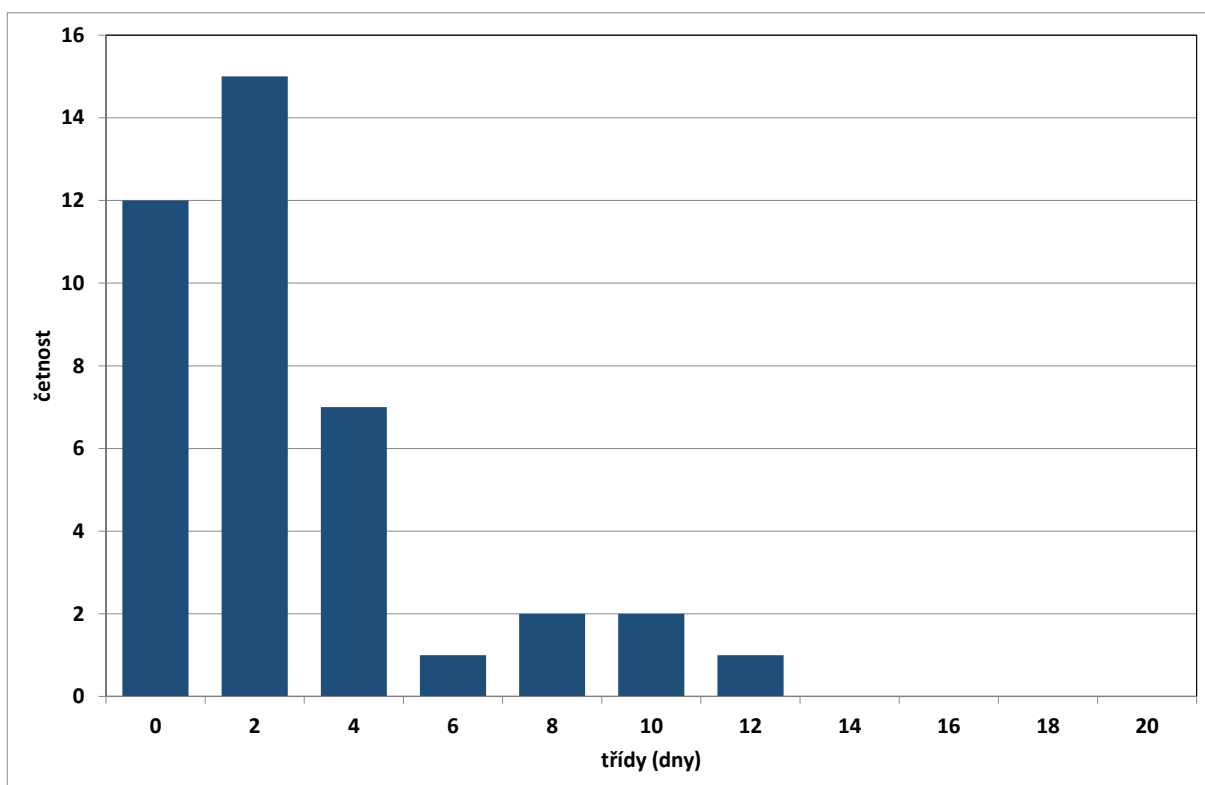
Základní statistické charakteristiky (tab. 6) vyjadřují hodnoty, které jsou z meteorologického přehledu stanice Praha Karlov. Medián a modus se pohybují na nízkých hodnotách, v první polovině roku jsou většinou hodnoty kolem nuly. Maximální výskyt mlhy je nejvíc v druhé polovině roku s nejvyšší hodnotou v říjnu.

5.2 výskyt mlhy v měsíčním přehledu z období 1971–2010

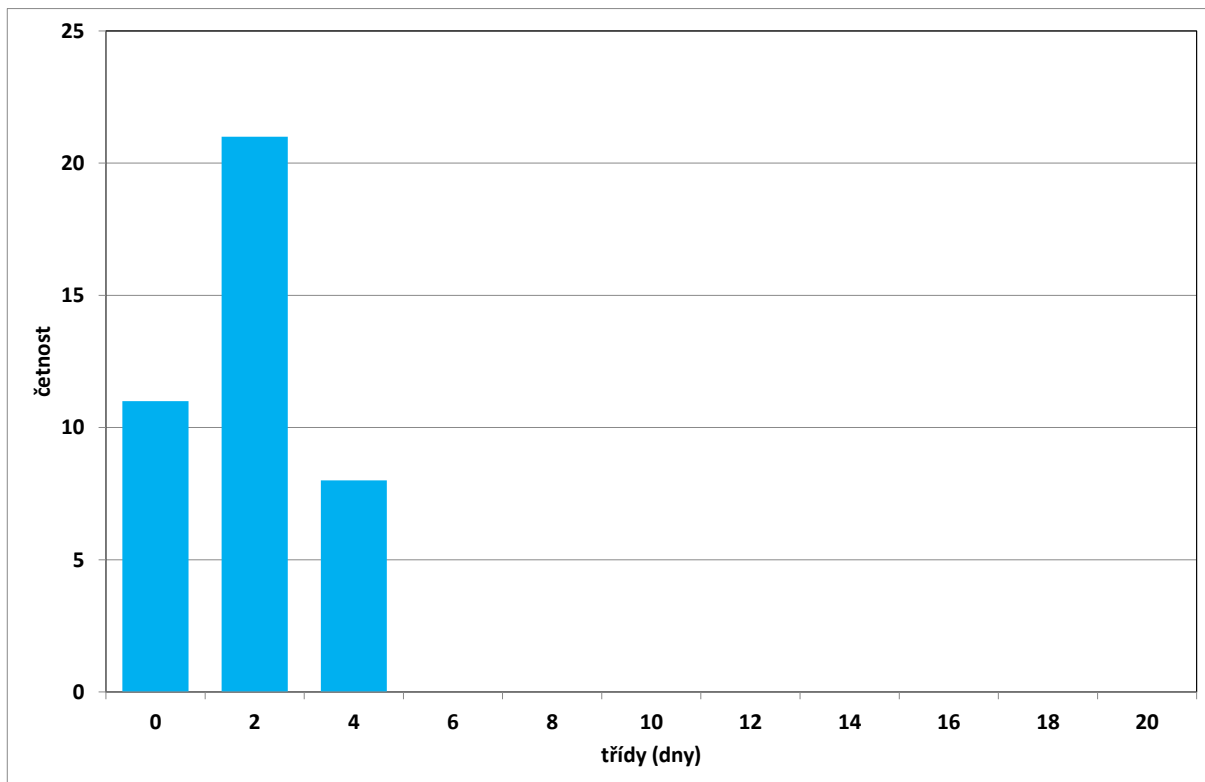
V histogramech jsou uvedeny četnosti dnů s mlhou v jednotlivých měsících v období 1971–2010.



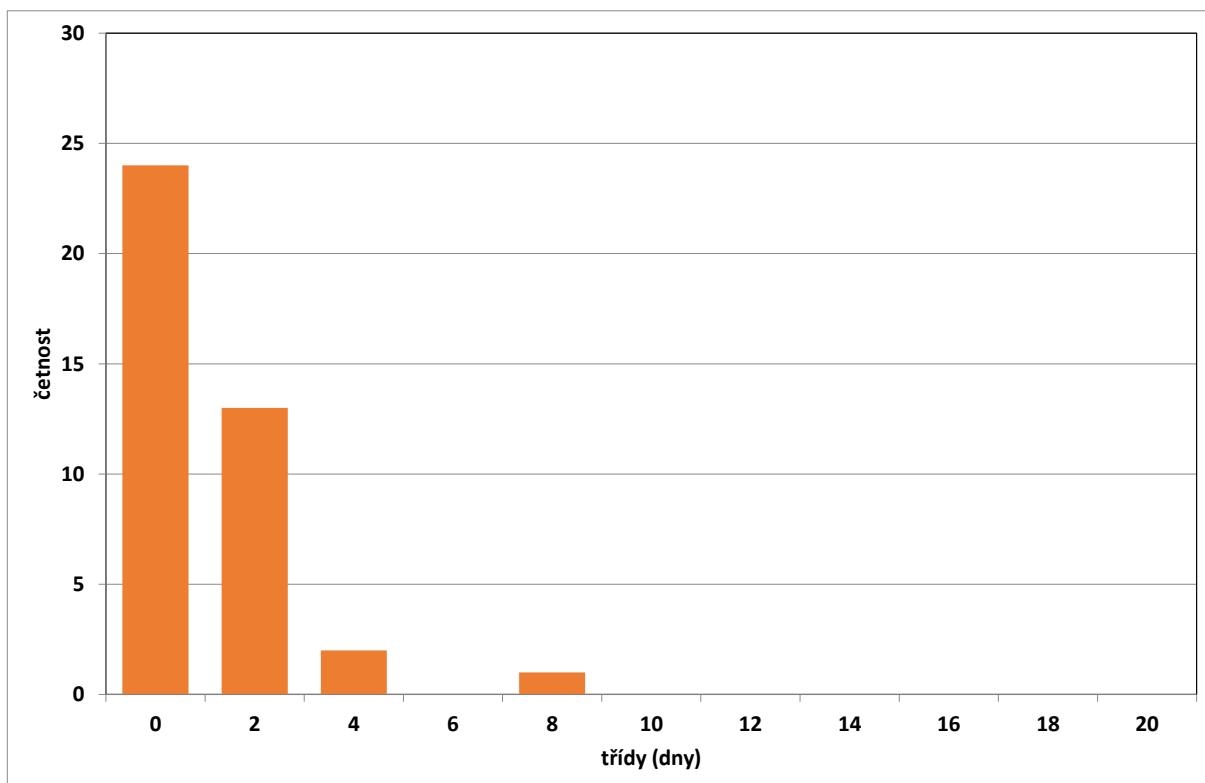
Obr. 9 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc leden



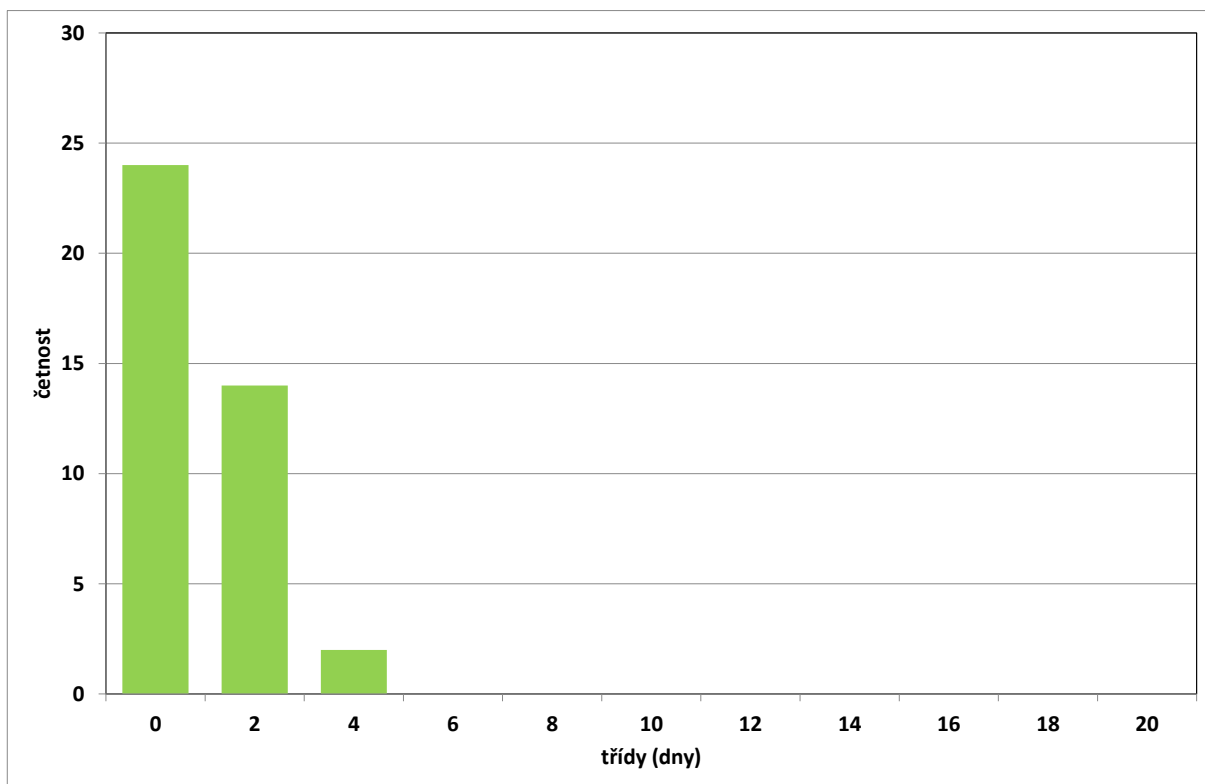
Obr. 10 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc únor



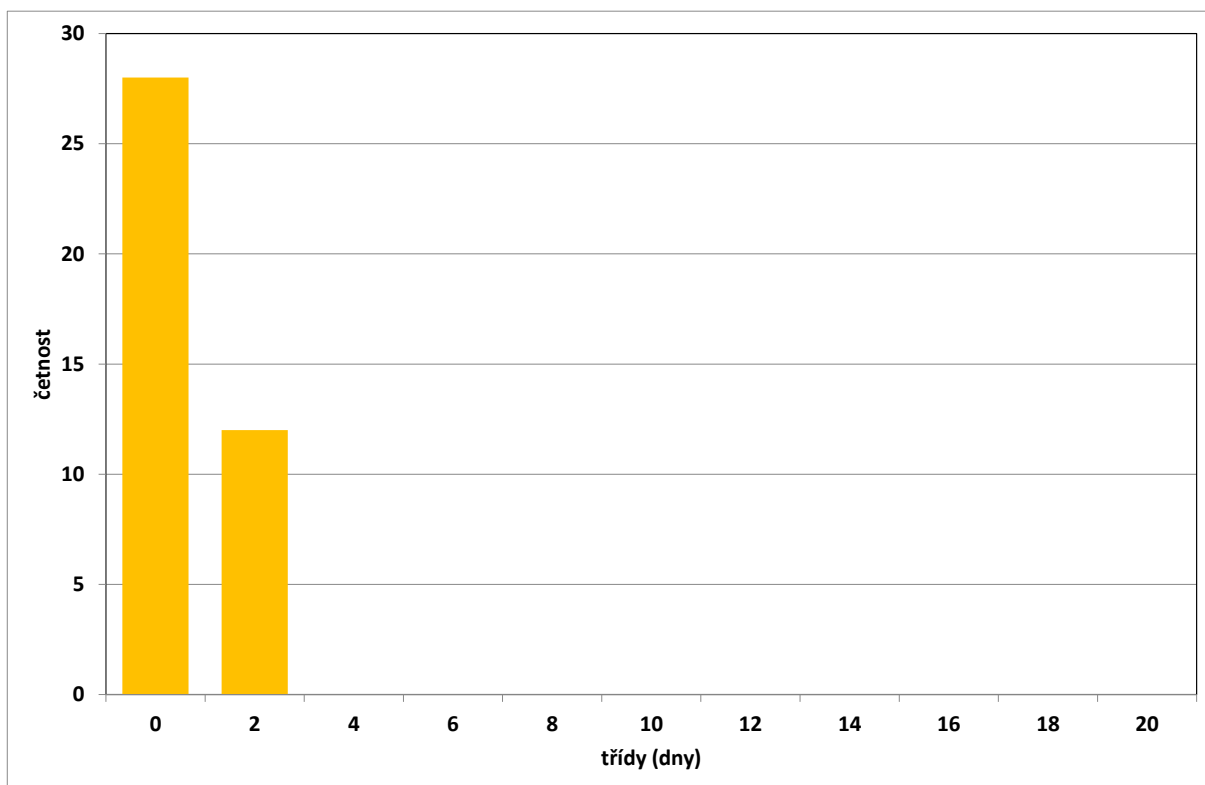
Obr. 11 Četnost výskytu mlhy za 40 let v měsíci březen



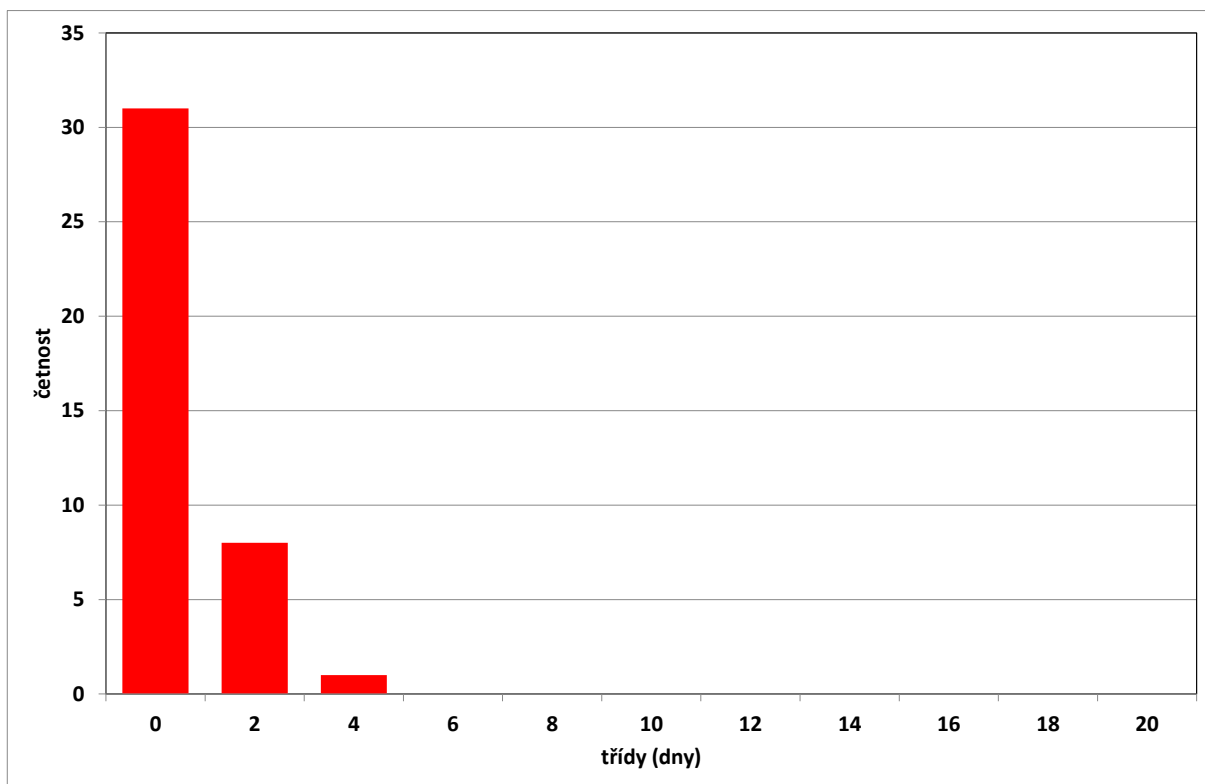
Obr. 12 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc duben



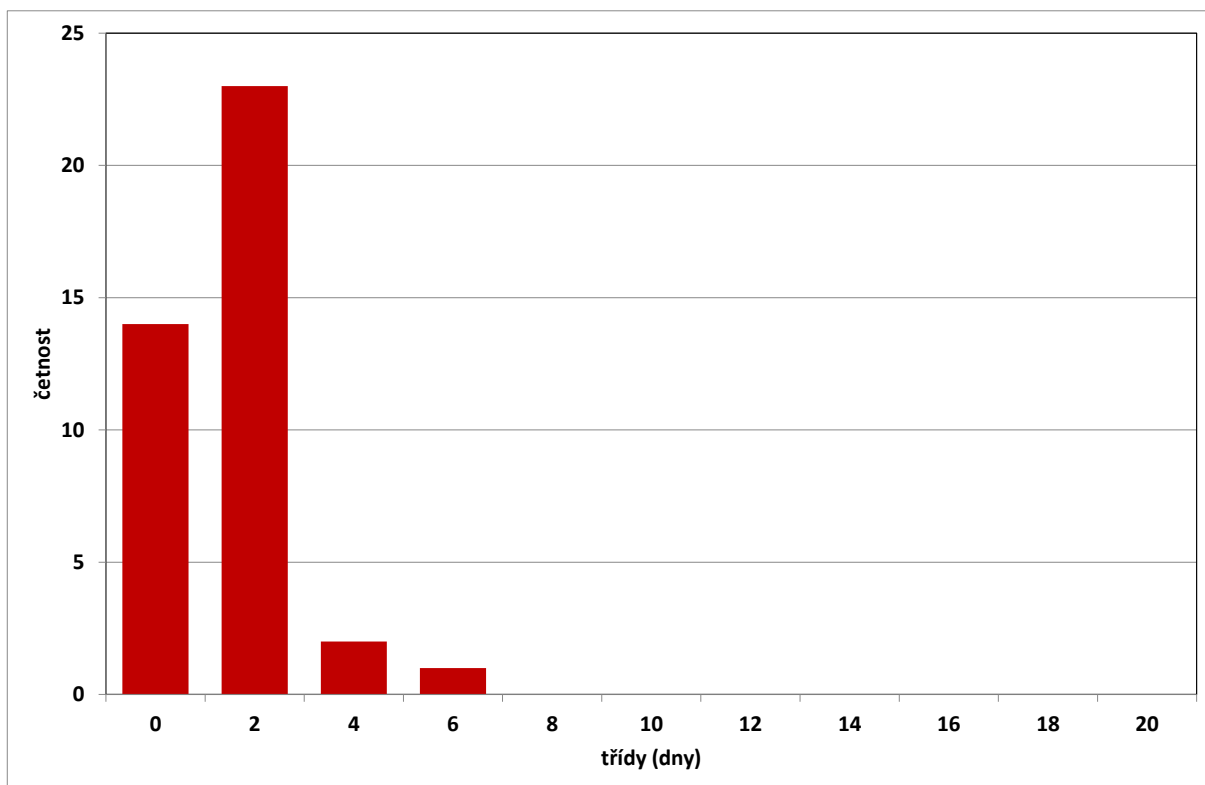
Obr. 13 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc květen. Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc květen



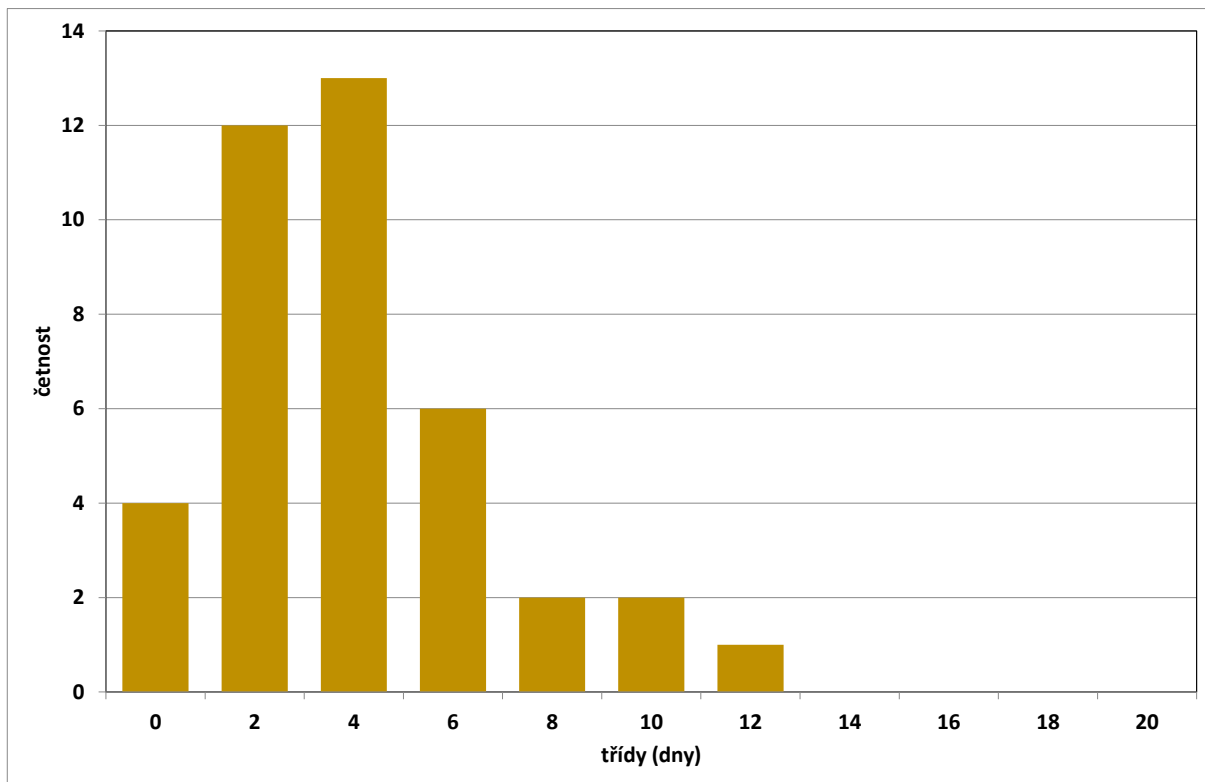
Obr. 14 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc červen



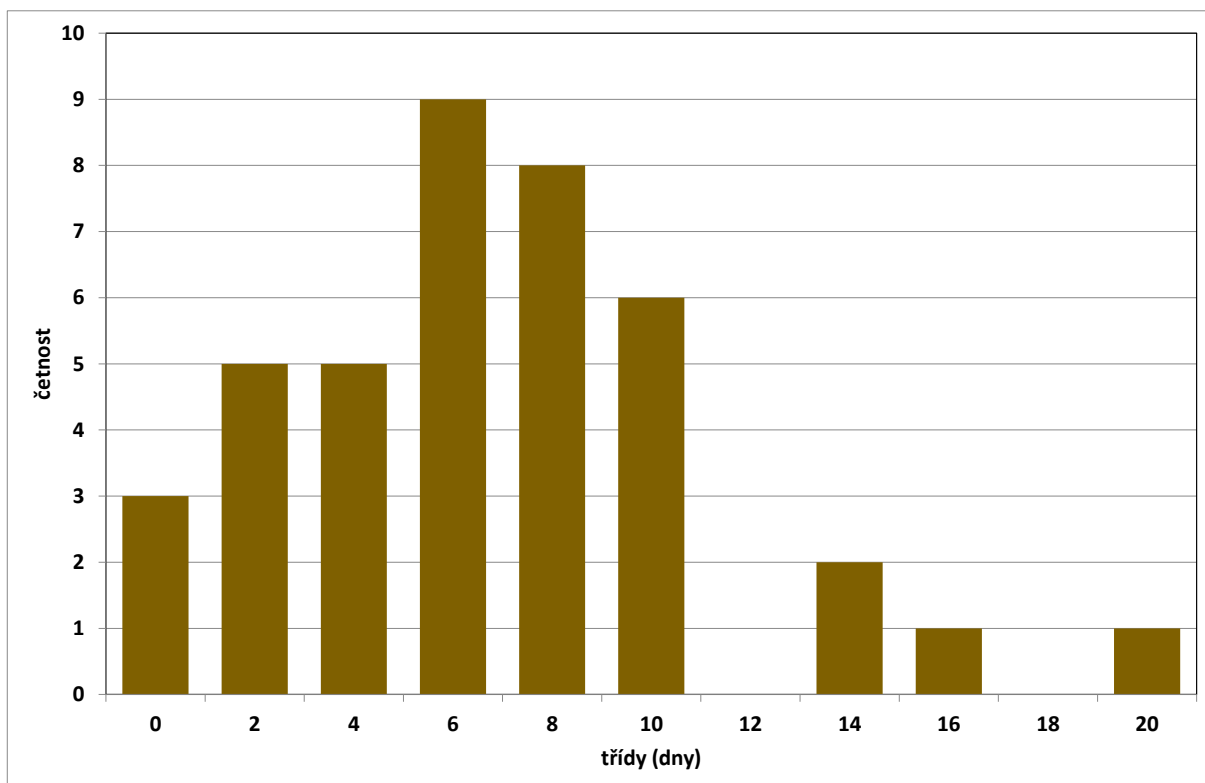
Obr. 15 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc červenec



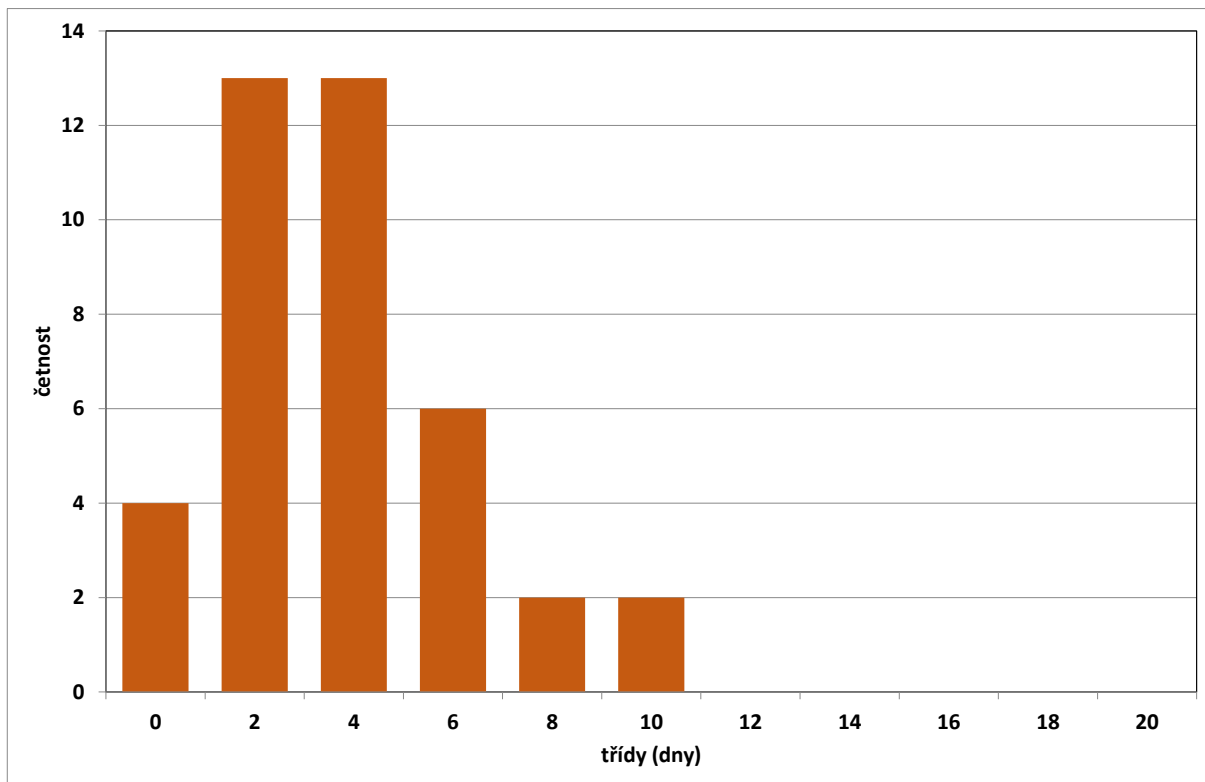
Obr. 16 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc srpen



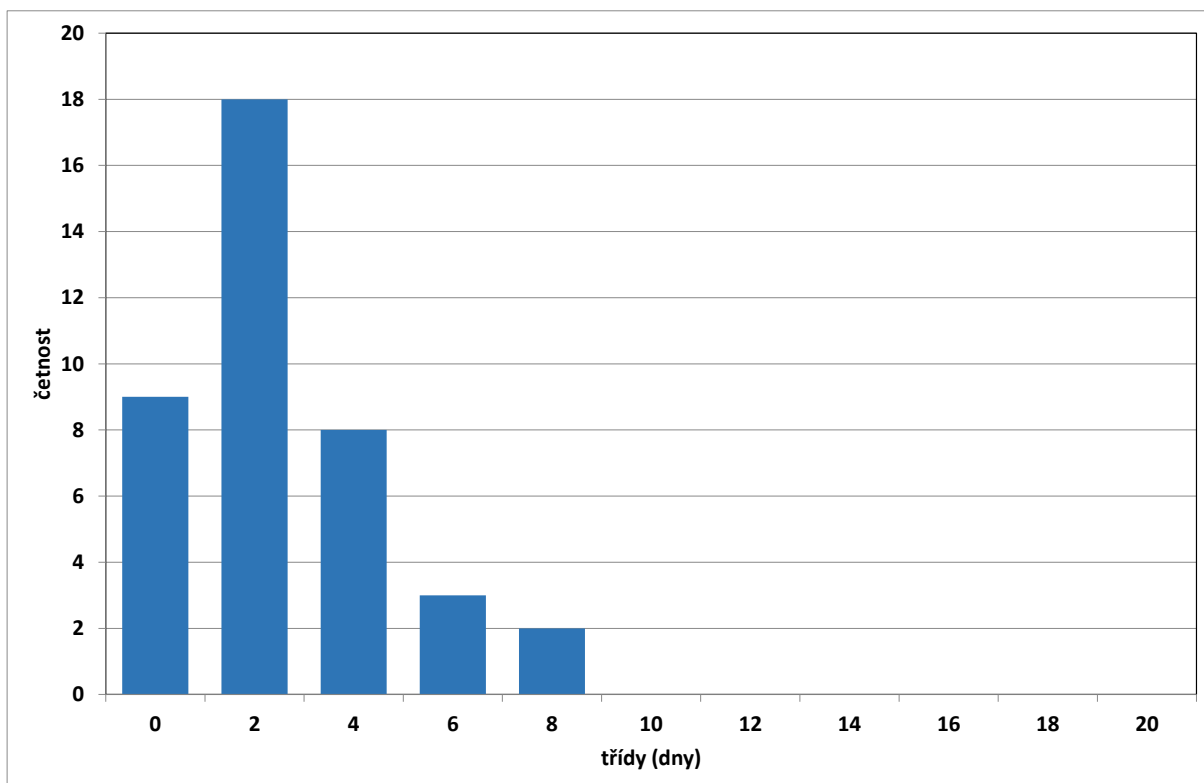
Obr. 17 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc září



Obr. 18 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc říjen



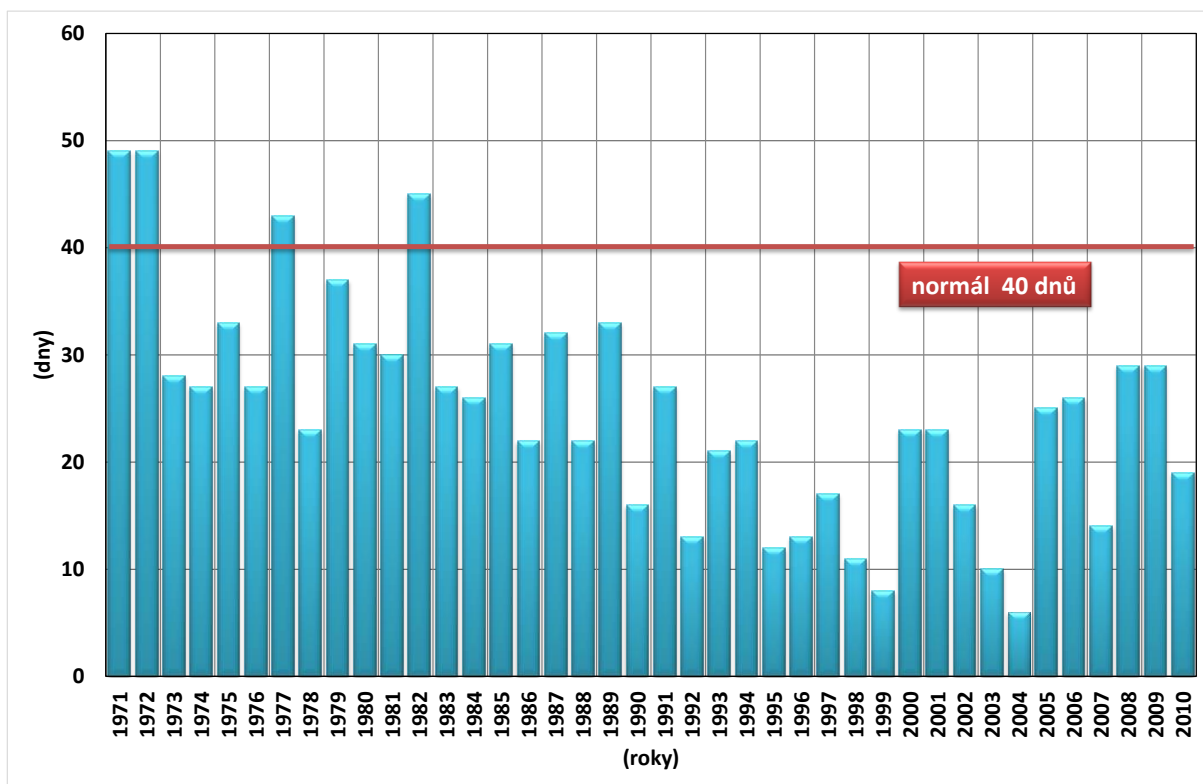
Obr. 19 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc listopad



Obr. 20 Četnost výskytu mlhy za 40 let za měsíc prosinec

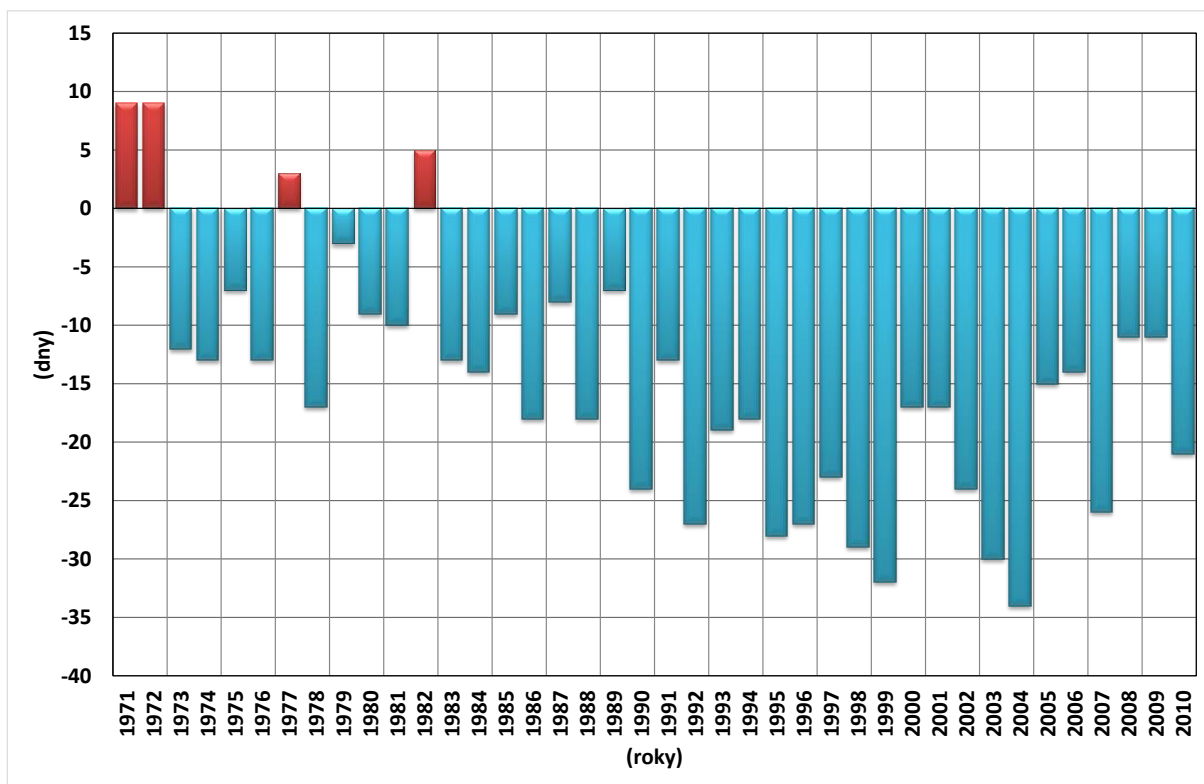
V jednotlivých měsících v období od ledna do srpna se nejčastěji vyskytují maximálně 4 dny s mlhou. V dalších měsících se počet dnů zvyšuje, nejvyšší je v říjnu. V listopadu a prosinci se zmenšuje výskyt dnů s mlhou.

5.3 Výskyt mlhy v ročním přehledu z období 1971 – 2010



Obr. 21 Časová řada mlhy v období 1971 až 2010

Od roku 1971 je vidět v časové řadě (obr. 21) klesající trend, který je nejnižší v roce 2004. V Praze je normál 40 dní, kterého dosahuje jen malá část časové řady. Tato skutečnost je vyjádřena v obr. 22.



Obr. 22 Odchylky od normálu, který je 40 dnů/rok

Normál mlhy v klimatologických podmínkách, ve kterých se nachází meteorologická stanice Praha – Karlov je 40 dní za rok. Jak je vidět v grafu většina roků je podprůměrná rok od roku výrazněji. Nad hodnotu normálu se za 40 let dostali pouze 4 roky.

5.4 Sluneční svit

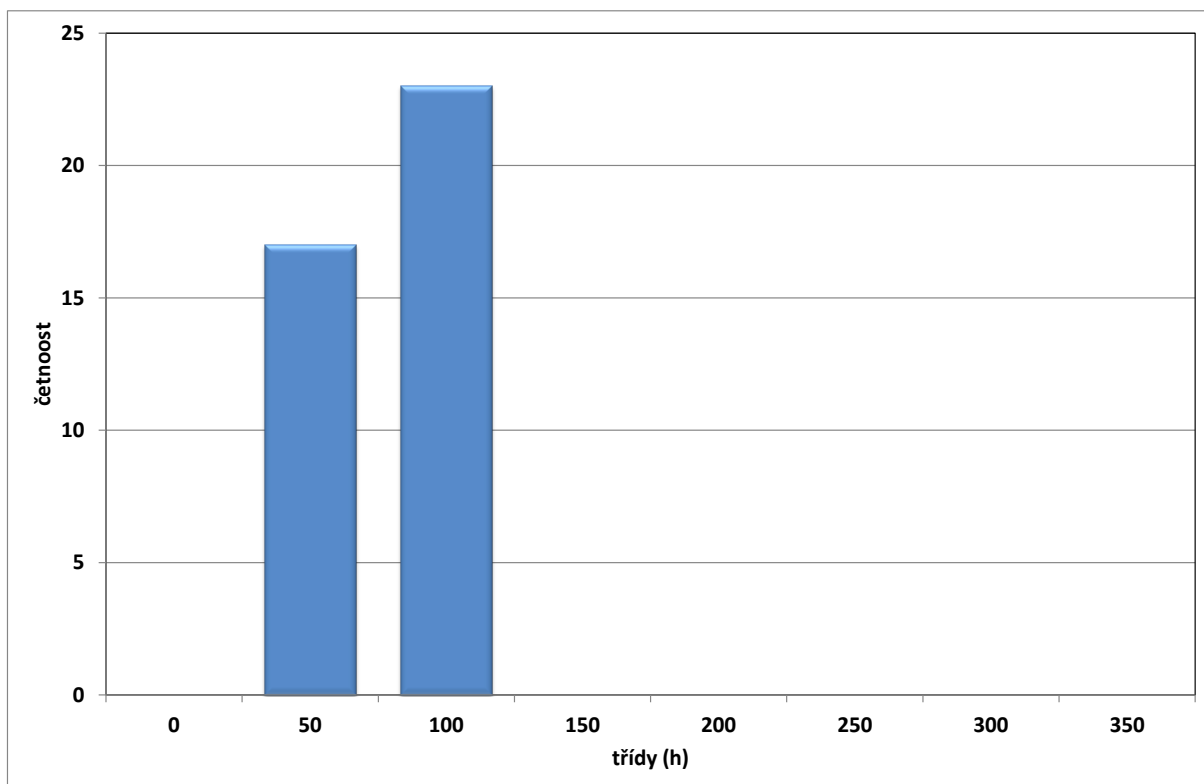
Tab. 7 Základní statistické charakteristiky slunečního svitu z období 1971-2010

	leden	únor	březen	duben	květen	červen
Průměr	51,4	104	122,2	168,3	218,9	209,3
Chyba stř. hodnoty	2,5	19,5	4,8	7,4	7,9	7,1
Medián	52,6	74,2	123,3	167,5	231,1	200
Modus	54,4			167,5		
Směr. odchylka	16,1	123,5	30,6	46,7	49,9	44,7
Rozptyl výběru	258,2	15258,9	933,4	2178,3	2494	1996,5
Špičatost	0,1	17,4	0	2	1,5	0,3
Šikmost	0,1	4,1	-0,3	0	-1	0,7
Amplituda	74,3	669,6	139,5	267,5	233,9	205,3
Minimum	19	31,4	51,7	27,8	55,1	131,2
Maximum	93,3	701	191,2	295,3	289	336,5

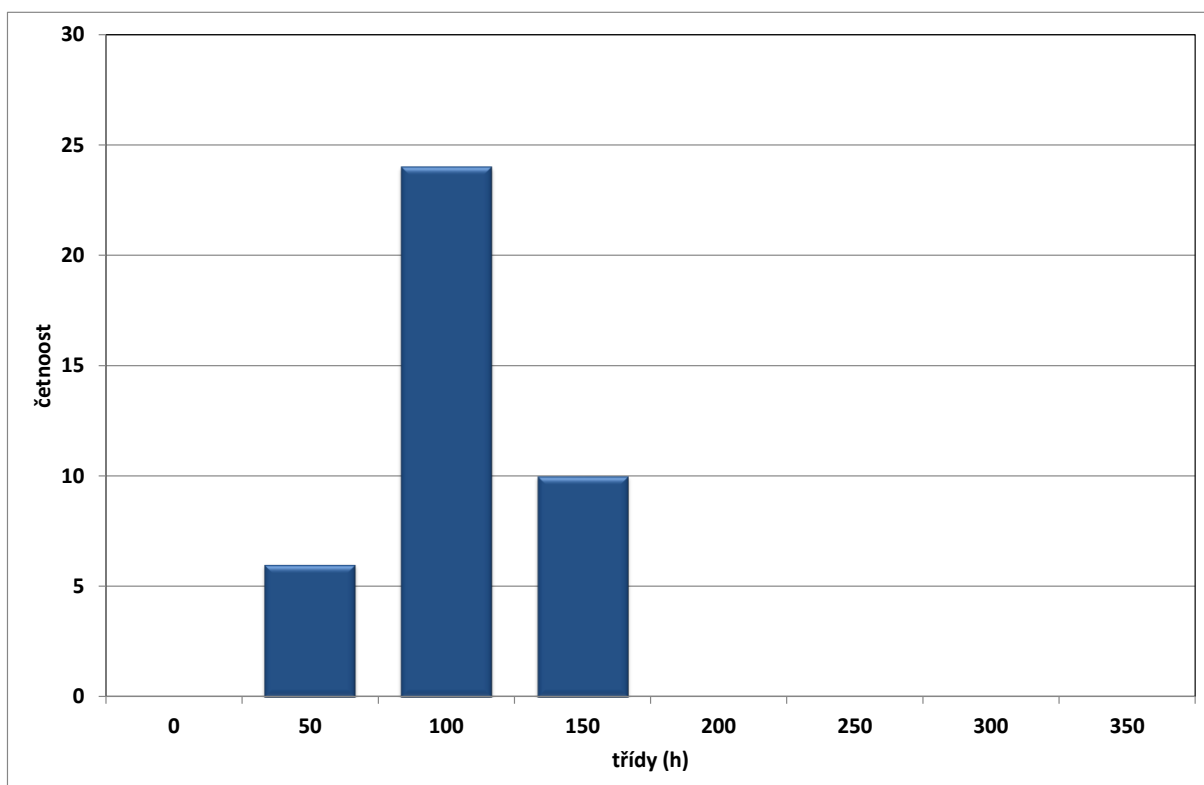
	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Průměr	222,7	223,4	154,1	116,9	57,4	47,3
Chyba stř. hodnoty	7,8	5,4	6,9	6	6	3,4
Medián	227	224,1	153,8	109,8	54,1	45
Modus	212,1				57,8	42,5
Směr. odchylka	49,5	34	43,5	38,1	37,7	21,3
Rozptyl výběru	2446,6	1156,8	1892,7	1453,2	1422,9	455,2
Špičatost	0,6	1,4	-0,8	1	25,4	17,2
Šikmost	0	0,3	0,1	0,9	4,5	3,4
Amplituda	237,2	177,5	168,9	174,8	239,9	139,5
Minimum	107,8	148,4	76,2	62,5	27,1	16,5
Maximum	345	325,9	245,1	237,3	267	156

5.5 Trvání slunečního svitu v měsíčním přehledu z období 1971 – 2010

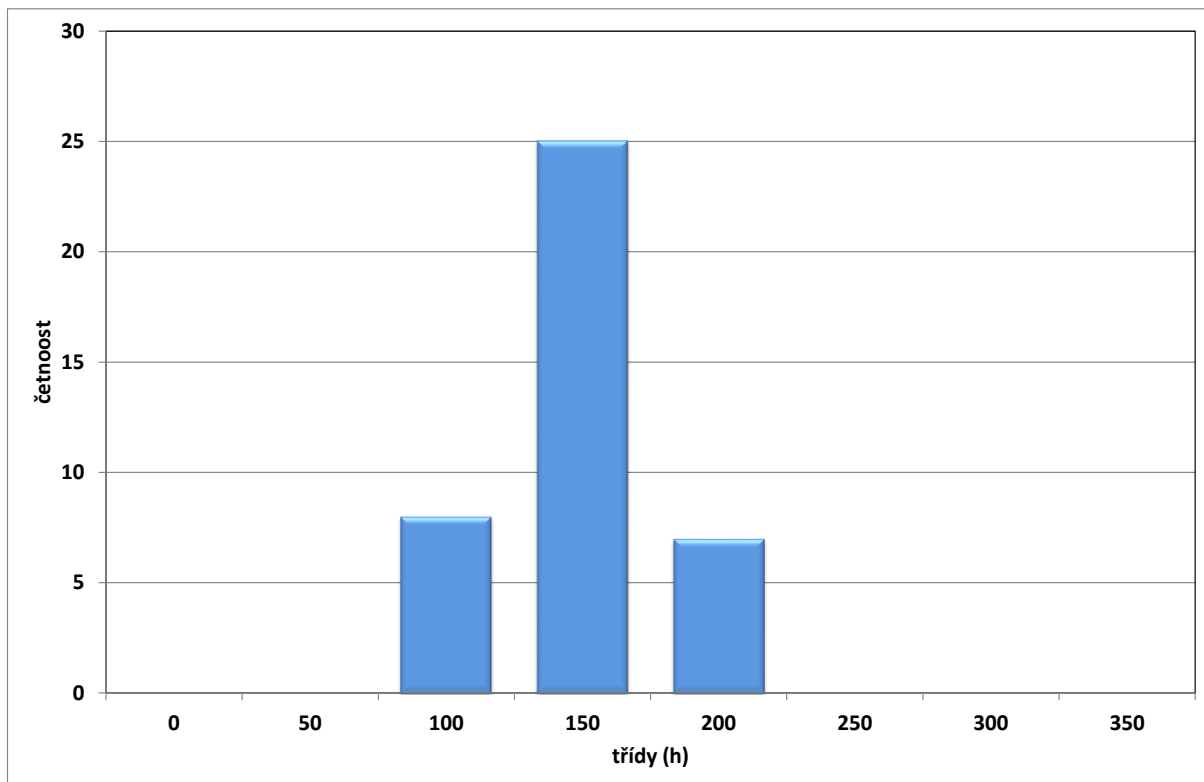
Sluneční svit je vyjádřen stejným způsobem jako mlha v dvanácti histogramech. Jednotky jsou v hodinách.



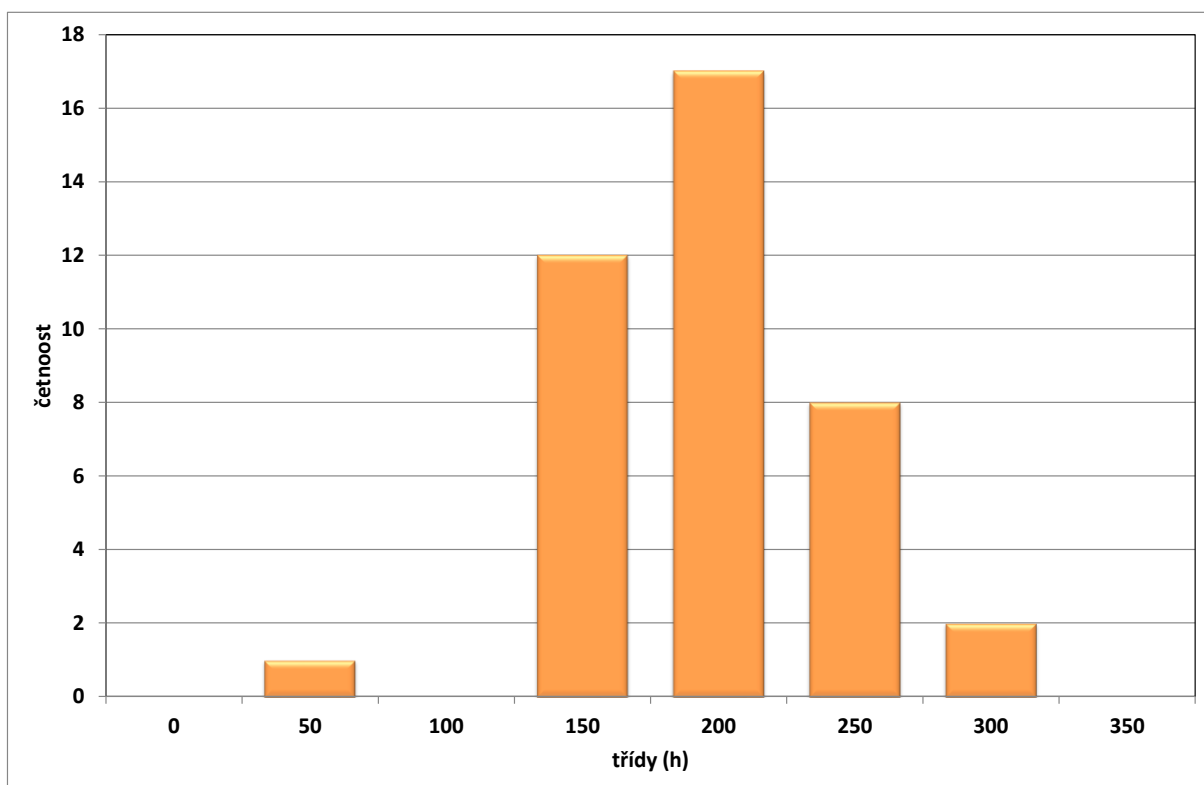
Obr. 23 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc leden



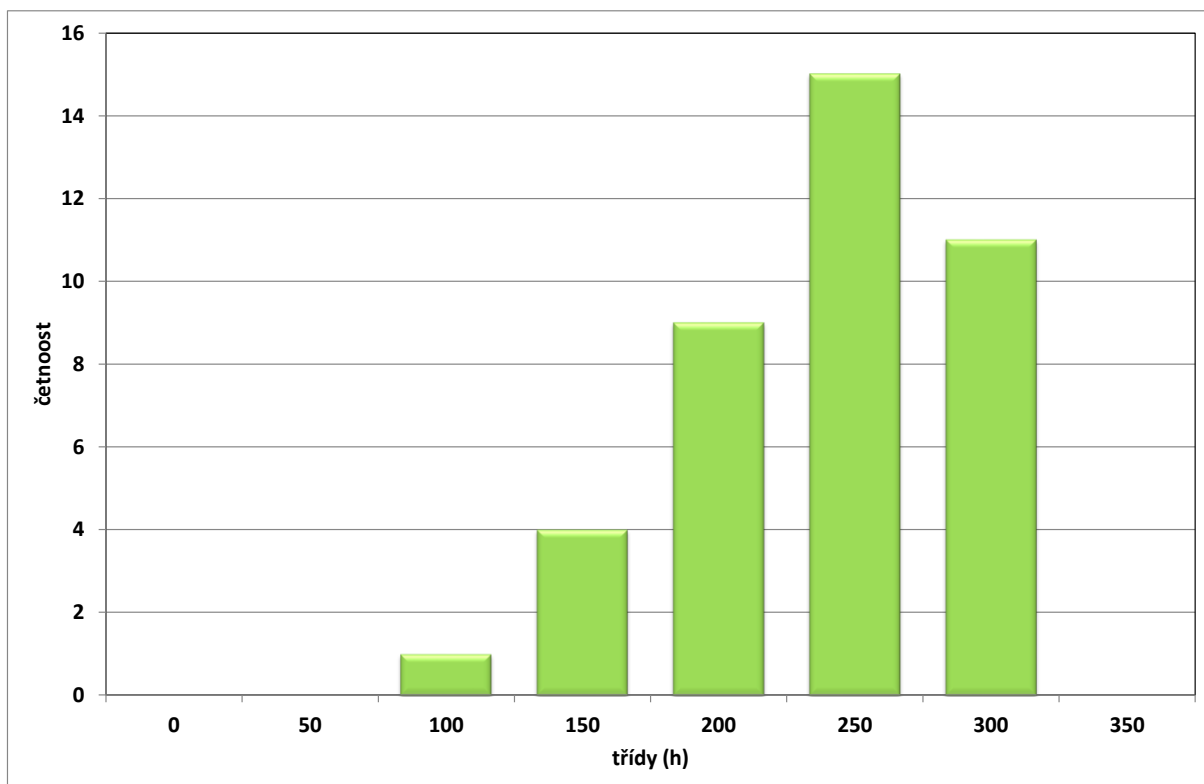
Obr. 24 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc únor



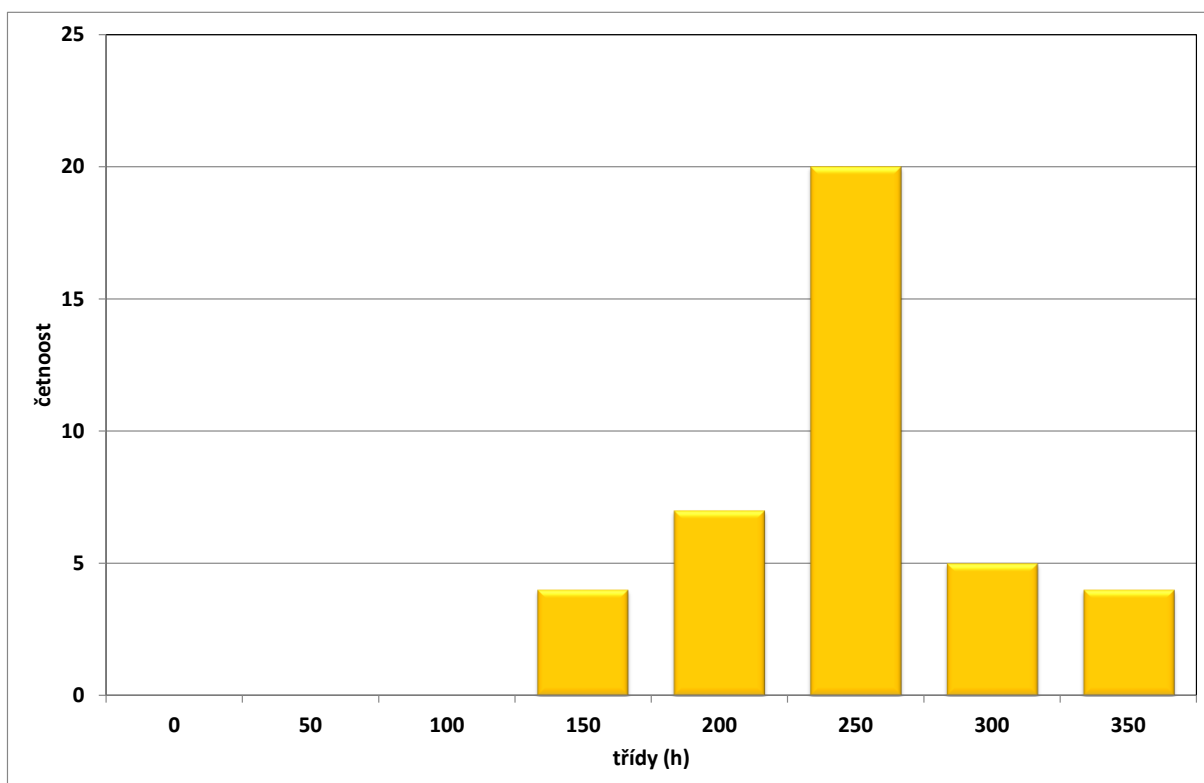
Obr. 25 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc březen



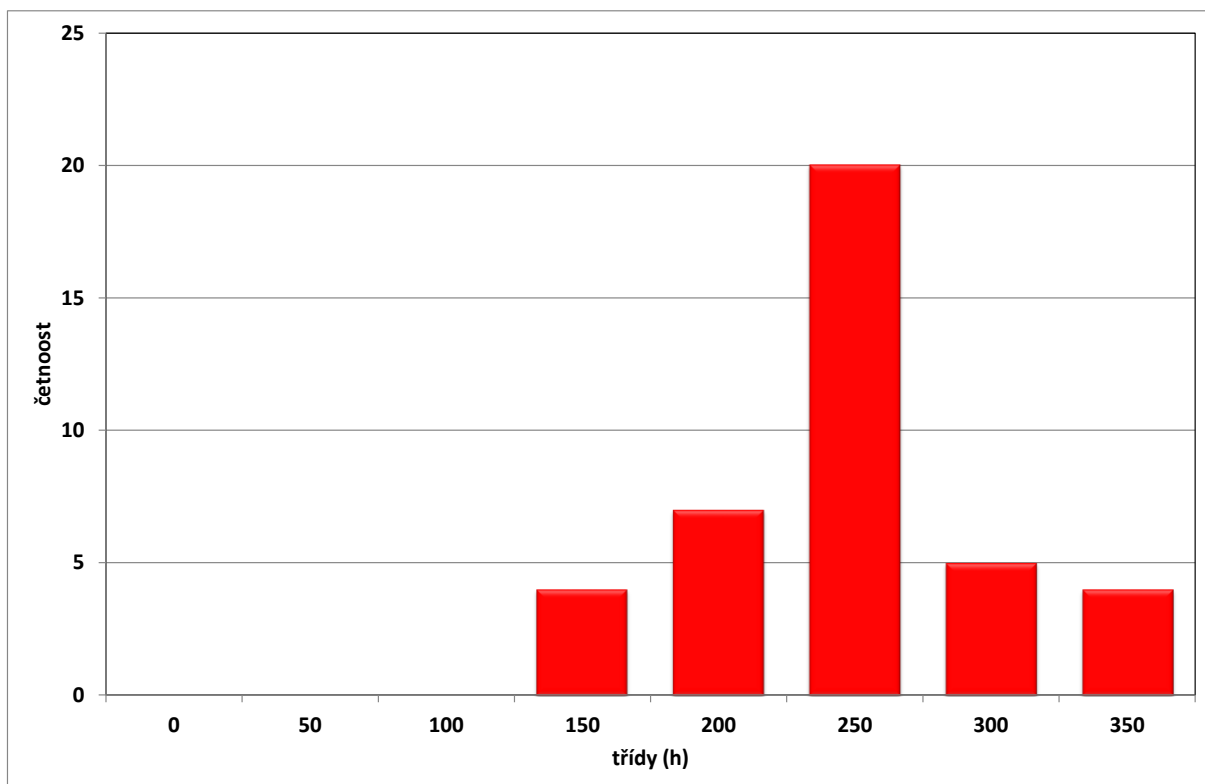
Obr. 26 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc duben



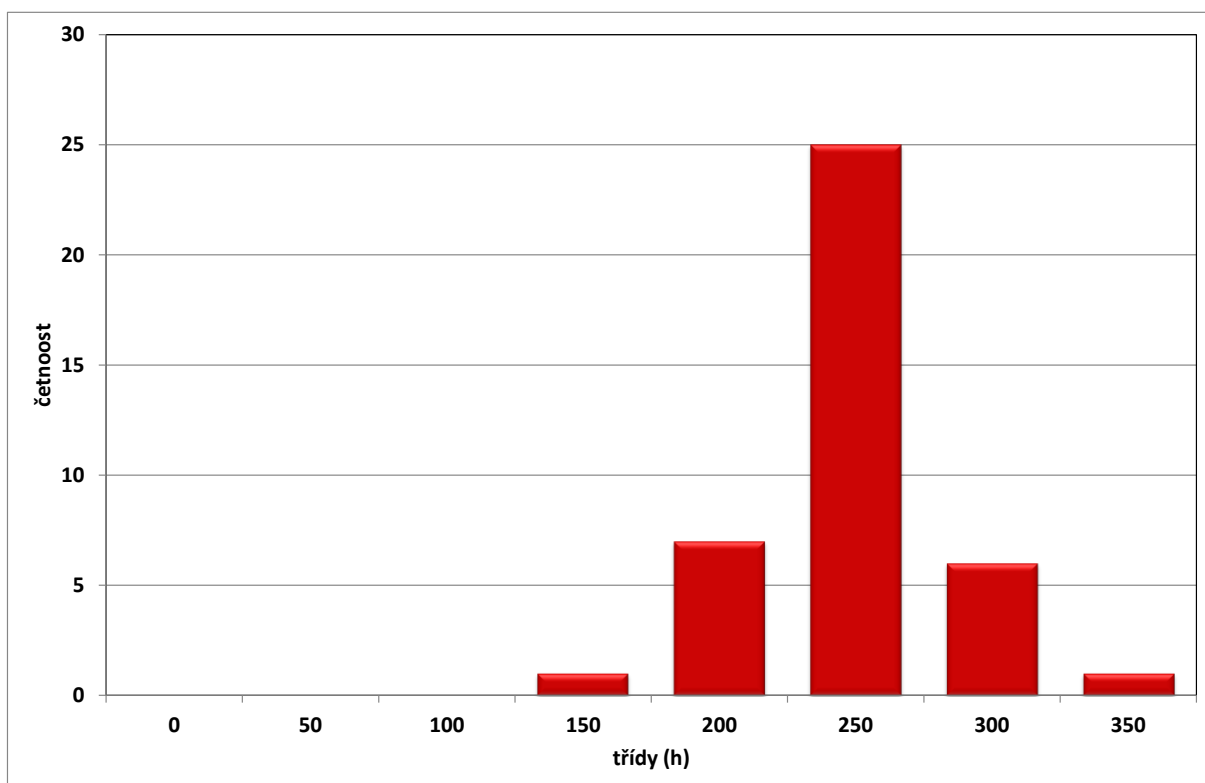
Obr. 27 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc květen



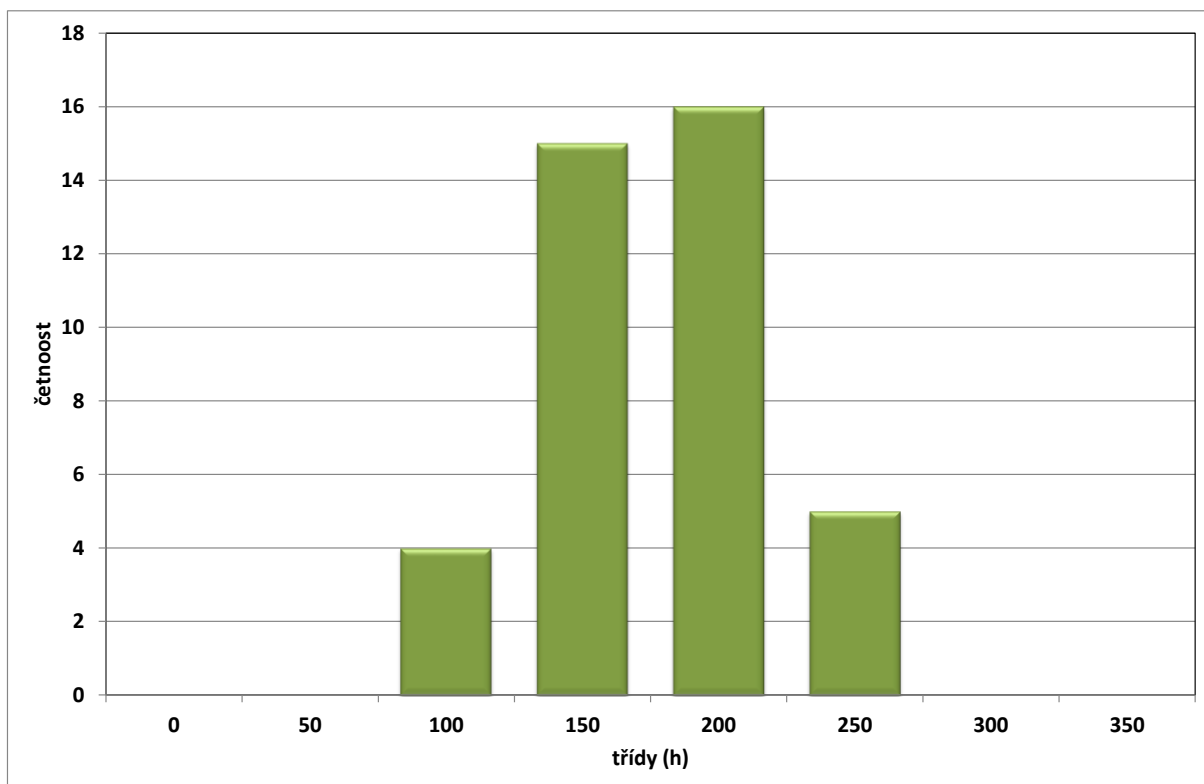
Obr. 28 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc červen



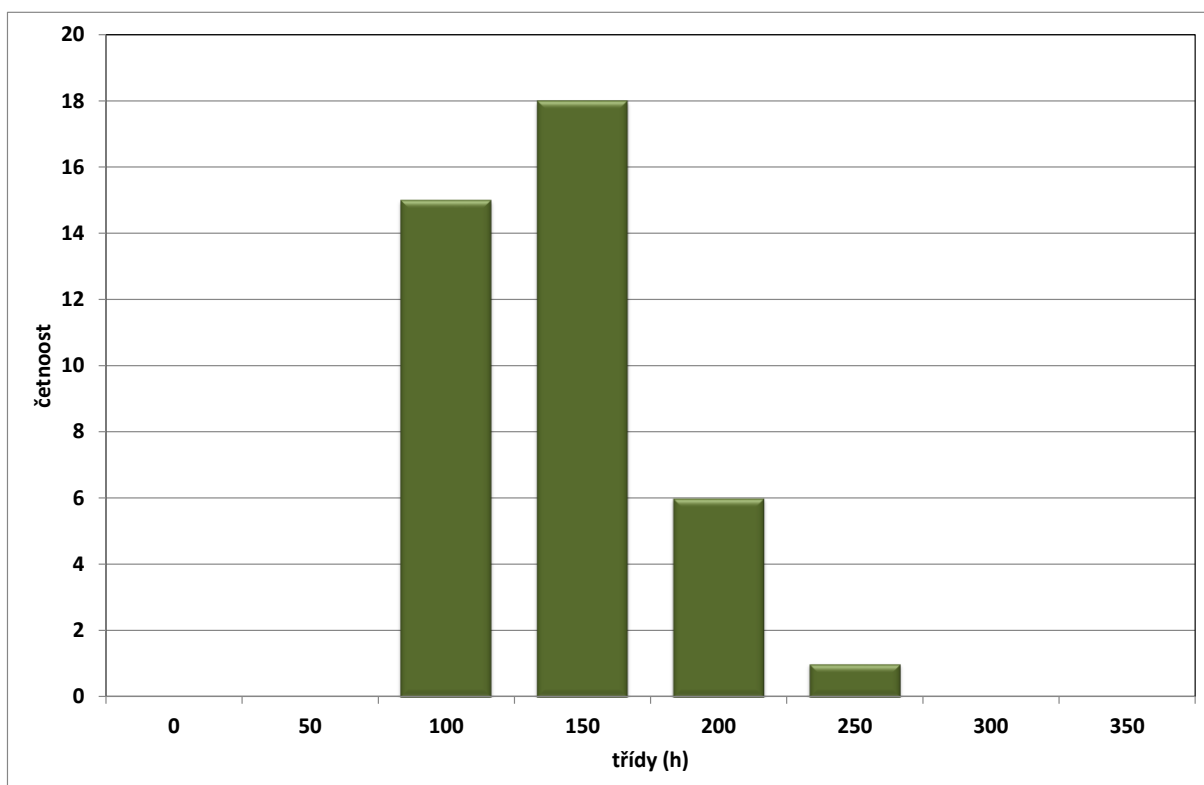
Obr. 29 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc červenec



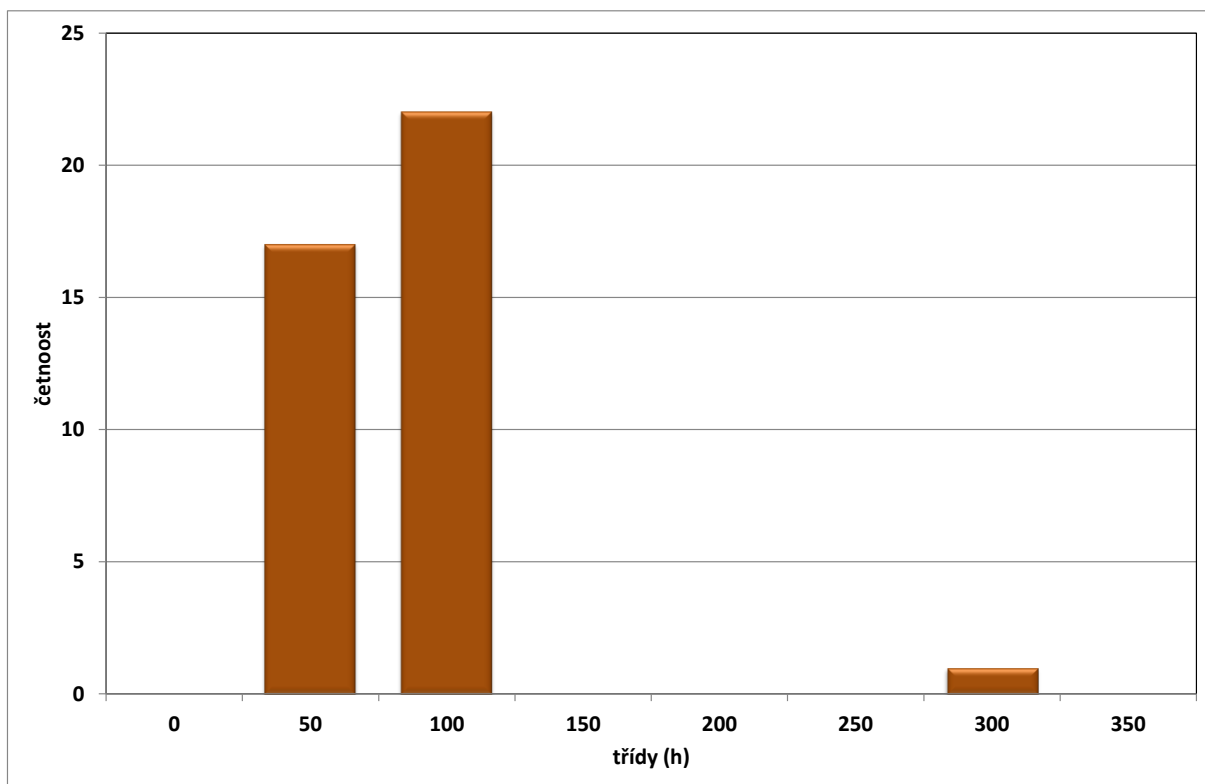
Obr. 30 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc srpen



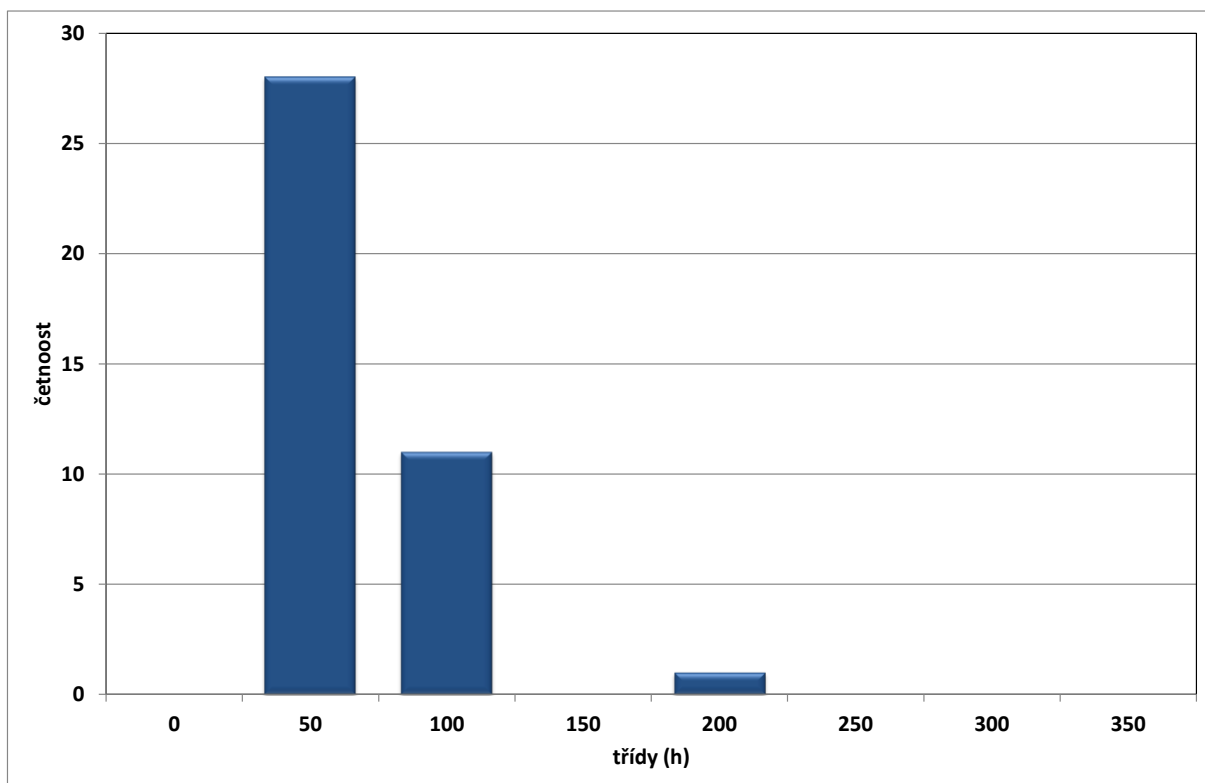
Obr. 31 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc září



Obr. 32 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc říjen



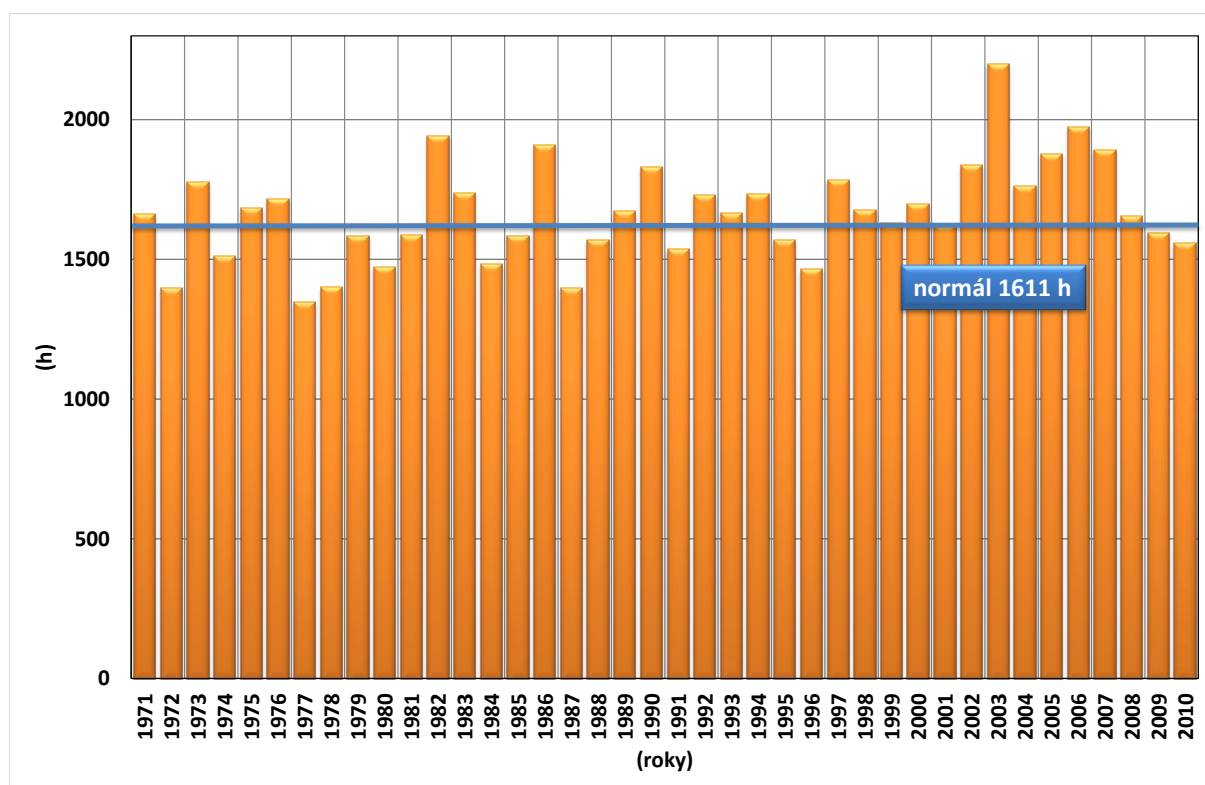
Obr. 33 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc listopad



Obr. 34 Přehled četnosti výskytu slunečního svitu za období 40 let za měsíc prosinec

Sluneční svit je rozdělen do grafů podle četností, v hodinových intervalech. V období od ledna do dubna se vyskytuje okolo 100 až 150 hodin slunečního svitu. Od května se počet četnosti hodin zvýšil a pohyboval se kolem 250 hodin. V červnu a červenci je výskyt nejvyšší. V následujících měsících se počet hodin snižuje.

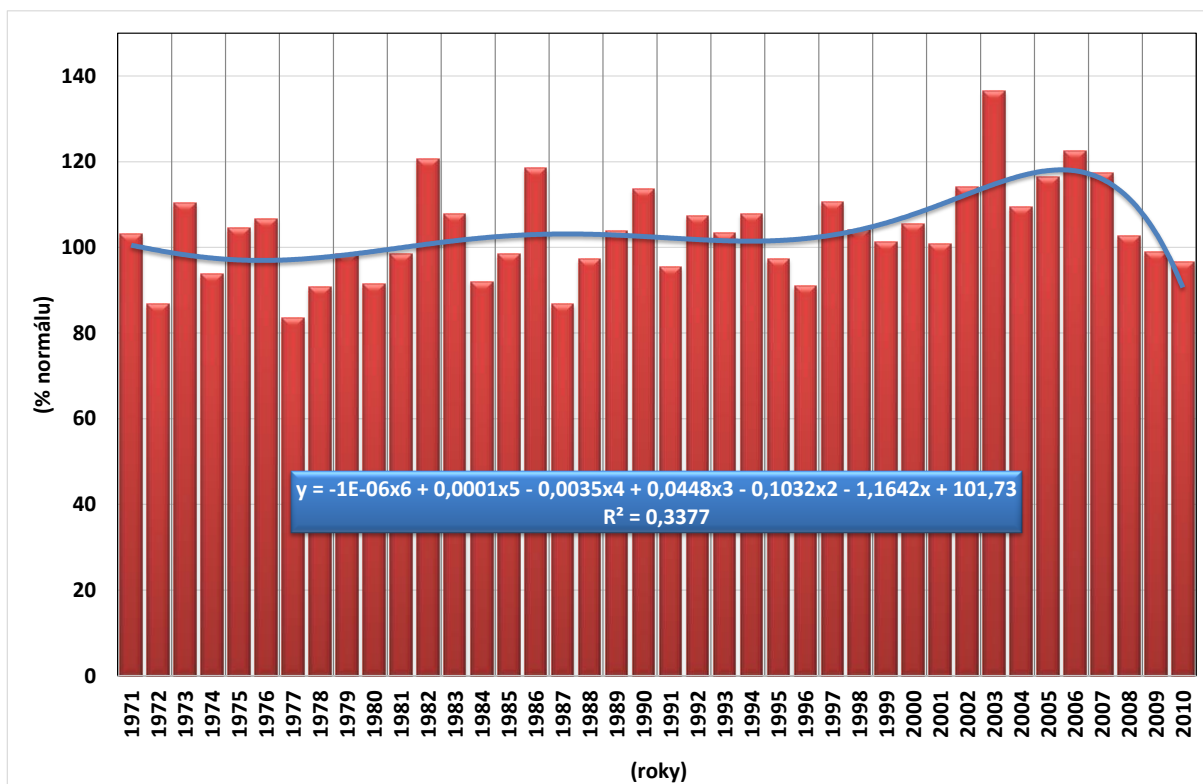
5.6 Trvání slunečního svitu v ročním přehledu z období 1971 – 2010



Obr. 35 Přehled řady slunečního svitu, kde je červeně vyznačen normál

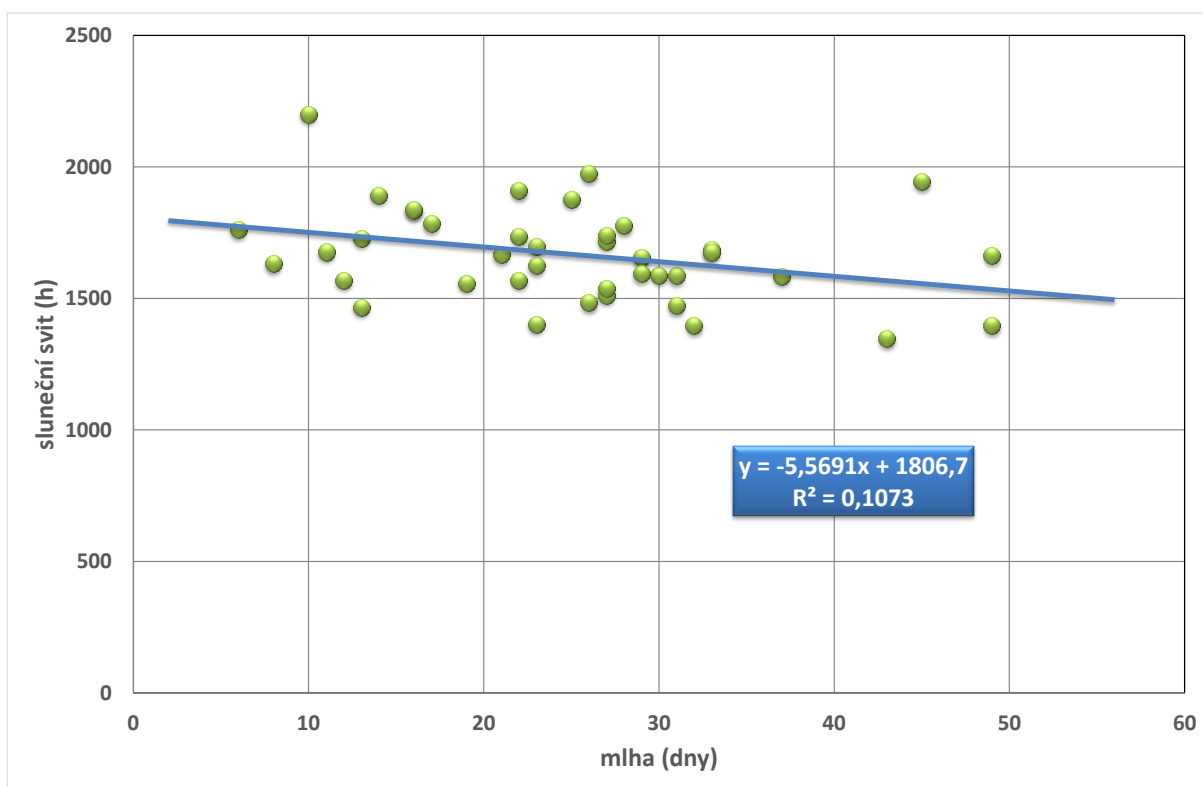
V časové řadě slunečního svitu (obr. 35) můžeme pozorovat trend na stanici Praha – Karlov. Hodiny slunečního svitu jsou vyšší, než je normál v podmínkách, kde se stanice vyskytuje. Normál hodnot slunečního svitu můžeme vidět v grafu na poslední pozici vyznačený červenou barvou.

V procentuálním vyjádření (obr. 36) můžeme pozorovat mírně nadprůměrný trend slunečního svitu, který je oproti normálu (100%) v časové řadě v období 1971 až 2010 střídavě rostoucí.



Obr. 36 Procentuální vyjádření trendu slunečního svitu od normálu (100 %)v časové řadě

5.7 Vztah mlhy a slunečního svitu



Obr. 37 Vzájemný vztah mlhy a slunečního svitu za období 1971 až 2010

I když má sluneční svit rostoucí trend, lineární spojnice trendu na obr. 37 ukazuje, že sluneční svit, který se pohybuje kolem 18 000 hodin, každoročně klesá přibližně o 5 hodin ve vztahu s výskytem mlhy.

6 Diskuze

Práce se zabývá sledováním mlhy a slunečního svitu na stanici Praha Karlov, během čtyřiceti let. Úkolem bylo zjistit, jak působí automobilová doprava na vývoj mlhy. Pro analýzu bylo použito období 1971 až 2010. Každý rok byl rozdělen na jednotlivé měsíce, od ledna do prosince, a pro každý měsíc byl zjištěn počet dní s mlhou a u slunečního svitu trvání v hodinách. Výsledky jsou prezentovány v grafech.

U mlhy můžeme sledovat nejvyšší výskyt četnosti v případech od 0 do 4 dnů. Výrazně se změnila četnost v období červen – srpen, kdy byl výskyt mlh minimální. V září se četnost začíná pomalu měnit a přecházet do vyššího výskytu. V říjnu se dny četnosti hodně zvyšují a jsou zde největší výskyty mlhy. V listopadu a prosinci se tendence mlh pomalu snižuje.

Jak uvádí Knozová ve svých publikacích, snížení emisního znečištění v devadesátých letech dvacátého století bylo ve městech doprovázeno poklesem množství mlh, to potvrdila i naše analýza prezentovaná v grafu s časovou řadou (obr. 21). S autory použité literatury lze souhlasit. Pokles výskytu je velmi výrazný, při dohledání starších informací jsme zjistili, že desetileté průměry se velmi výrazně liší:

desetiletí	průměr (dny)	desetiletí	průměr (dny)
1931–1940	104,0	1971–1980	35,6
1941–1950	47,4	1981–1990	29,0
1951–1960	54,7	1991–2000	22,0
1961–1970	52,3	2001–2010	20,3

Nejnižší výskyt mlh byl zaznamenán v roce 2004, pak se trend obrací v mírně vzrůstající. V první tabulce (tab. 1) vidíme, že počet ujetých vozokilometrů v Praze od roku 1971 rapidně stoupá a tím výkon automobilové dopravy v Praze, když se ale zaměříme na tabulku 2, můžeme od roku 2000 vidět klesající intenzitu dopravy uvnitř města (centrální kordon), která přetrvává až do současnosti. Je proto pravděpodobné, že za klesající trend výskytu mlhy mohou každoročně přísnější emisní kritéria pro automobilovou dopravu a výstavba okružních silnic kolem Prahy. V roce 2005 začali výrobci automobilů instalovat do automobilů s dieselovým motorem filtry pevných částic. Od roku 2009 se nevyrábějí dieselové

automobily bez těchto filtrů. Zda i přes vzrůstající automobilové zatížení výrazně napomáhají filtry pevných částic, se dozvíme až v následujících desetiletích, kdy budeme moci určit pomocí další časové řady, zda trend mlh roste nebo klesá.

Sluneční svit má nejnižší četnost od ledna do dubna, zhruba 100 – 150 hodin. Od května se začíná délka slunečního svitu zvyšovat a pohybuje se kolem 250 hodin. Nejvíce svitu je na stanici Praha Karlov v červnu a v červenci, kdy se četnost zvýšila až na 350 hodin. V září nastává pokles a v prosinci je slunečního svitu nejméně, protože v tomto období přibývá sychravého počasí. V analyzovaném období se trvání slunečního svitu na stanici Praha – Karlov prodlužuje, což koresponduje i s nižším počtem dnů s mlhou.

7 Závěr

Podle výsledků pozorování je znečištění automobilovou dopravou v Praze větší riziko, než velké továrny, spalovny či teplárny. Tento trend je vyjádřen v tabulkách (tab. 1, tab. 2), které ukazují velký růst dopravy hlavně v centru Prahy. Tím je zvýšen i efekt tepelného ostrova města (Urban Heat Island - UHI). Zastavěná část města se stále zvětšuje a ubývá zatravněná plocha. Díky tomu a skutečnosti, že srážková voda je rychle odváděna z povrchu kanalizací, snižuje se výpar a tím i obsah vodní páry ve vzduchu. To vede i k omezení výskytu mlhy v centru Prahy. Stanice Praha – Karlov se nachází v konvexní poloze, a díky tomu je sluneční svit vyšší, než je normál v této klimatické oblasti. Při poklesu počtu dnů s mlhou se prodlužuje doba slunečního svitu a narůstá měsíční a roční suma této charakteristiky. Tento vztah lze vyjádřit jednoduchou formulí, na každý den bez mlhy se roční suma prodlužuje o 5 hodin.

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., Mikuškovic, 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. [2014-11-09] <www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2013-cz.pdf>
- Anon. 1971 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. 2010a [cit. 2014-12-22] Dostupné z <<http://pr-asv.chmi.cz/opssapp/historie.php?ukazatel=karlov>>
- Anon. Český hydrometeorologický ústav [online] Praha. ČHMÚ. 2010b [cit. 2014-12-22] 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 2010c. [cit. 2014-12-25] Dostupné z <http://www.praha.eu/public/65/61/22/774095_62687_Aktualizace_Programu.pdf>
- Anon. Meteorologická stanice Holešov [online] Holešov. ČHMÚ. 2015a [cit. 2015-03-26] Dostupné z <http://www.meteo-holesov.cz/holesov-pristroje.html>
- Anon. Sluneční svit [online] meteocentrum.cz. 2007. [cit. 2015-4-8] Dostupné z <<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/slunecni-svit.php>>
- Anon. Visibility and Present Weather Detector w/ Ambient Light [online] 2015b [cit. 2015-03-26] Coastal Environmental Systems, Inc. Dostupné z http://www.coastalenvironmental.com/spec_sheets/s13642Visibility&PWwithAmbientLight.pdf
- Coufal, V., Klabzuba, J., Bureš, R., 1991. Cvičení z agrometeorologie. Vysoká škola zemědělská Praha v Editpressu. 174 s.
- Červený, J., a kolektiv. 1984. Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 s.
- Dvořák, P. 2012. Pozorování a předpovědi počasí. Vyd. 1. Cheb: Svět křídel. 135 s. ISBN 978-80-87567-20-3.
- 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.
- 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. Jana 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.
- Lee, T. F., 1987. Urban Clear Islands in California Central Valley Fog. Monthly weather review. 115, 1794–1796 s. ISBN 0027-0644
- Miklín, J. Mlhy a inverze. [online] 27. listopadu 2011. [cit. 2015-4-4] 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.
- Otto, J. 1901. Ottův slovník naučný. Sedmnáctý díl, Vydavatel a nakladatel J. Otto v Praze 1901, 1078 s.
- 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. 33-39.

- 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.
- 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.