https://doi.org/10.26552/ pas.Z.2025.1.43

PROJEVY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA VYBRANÝCH LETIŠTÍCH SLOVENSKA

Alena Janošková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Miriam Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The topic of this article is focused on the impact of climate change on the increasing tendency in the occurrence of hazardous weather phenomena at selected airports in Slovakia. The aim of the article is to confirm or refute the influence of climate change on the increasing frequency of meteorological phenomena in the specified time frame from 2000 to 2019 by means of a comprehensive statistical analysis and statistical summarization of meteorological data. The first part of the article defines the basic terminology related to the climate change and specifies the importance of addressing the issue in the context of aviation safety. For the practical part of the article meteorological reports provided by the Slovak Hydrometeorological Institute were used. In the practical part, various statistical methods, and a comprehensive evaluation of the frequency of individual weather phenomena during the analyzed years, were used. The hypothesis of increasing frequency of weather phenomena over the years was statistically confirmed only for thunderstorm activity at one meteorological station.

Keywords

air transport, climate change, dangerous meteorological phenomena, global warming, aviation meteorology

1. Úvod

Globálně je zaznamenáván nepřetržitý technologický rozvoj, který přímo úměrně souvisí s demografickým přírůstkem a také nadbytečnými požadavky lidské civilizace a její závislosti na různých typech zdrojů. Přestože v prvopočátcích industrializace se tyto jednotlivé pokroky zdály pro fungování lidské společnosti ulehčující a prosperující, jejich důsledky se dramaticky začaly podepisovat masivním poškozováním životního prostředí. Klimatický systém naší planety se v minulosti přirozeně několikrát dlouhodobě i krátkodobě měnil a také se jeho přirozené změny v budoucnu očekávají. Klimatickou změnu a její důsledky, které pozorujeme v současné době, ovšem nelze přisuzovat přirozenému kolísání klimatického systému, které probíhalo v minulosti, nýbrž nenávratným důsledkům antropogenních zásahů. Klimatická změna a její projevy v globálním rozsahu se negativním způsobem dotýkají i sektoru letecké dopravy. Pro leteckou dopravu představuje změna klimatu určitou výzvu nejen po obchodní a ekonomické stránce, ale především představuje bezpečnostní překážky z pohledu růstu četnosti a zvýšení intenzity pro letectví nebezpečných meteorologických jevů. Cílem tohoto vědeckého článku je kontinuálně navázat na tuto problematiku z hlediska sledování růstu a variability výskytu těchto nebezpečných povětrnostních jevů v průběhu let s ohledem na probíhající klimatickou změnu a nabídnout také komplexní sumarizaci a statistickou analýzu nasbíraných dat, která vykreslí vývoj četnosti výskytu povětrnostních jevů na dvou vybraných slovenských letištích.

1.1. Teoretická východiska

První část tohoto článku obeznamuje se základní terminologií a pojmoslovím týkajícím se klimatické změny a také propojením této problematiky v kontextu narušení plynulosti a bezpečnosti letecké dopravy.

1.1.1. Klimatická změna

Klimatická změna je obecně definována jako vývoj podnebí, který se sleduje v uvažovaném časovém intervalu po relativně velmi dlouhou dobu v jednom směru, to znamená k oteplení či ochlazení. Projevy klimatické změny mohou být regionálního nebo globálního charakteru, kdy mohou působit různou intenzitou. Jedná se o dlouhodobou změnu meteorologických prvků, což následně ovlivňuje i klimatologické charakteristiky. Klimatický systém naší planety je přirozeně podmíněn rozličnými klimatotvornými faktory. Z tohoto důvodu je nutné rozlišovat pojem změny klimatu týkající se změny způsobené přirozenými faktory, či momentálně nejdiskutovanějším problémem, a to změnou klimatu, která je antropogenně podmíněná růstem skleníkového efektu od začátku průmyslové revoluce [1,2,3.4,5].

1.1.2. Projevy klimatické změny v sektoru letecké dopravy

Vliv klimatické změny je provázaný se změnou režimu počasí v celosvětovém měřítku. Narůstá projev extrémnosti určitých povětrnostních prvků, jedná se například o silné bouřky, tropické cyklóny nebo vlny veder. Dalším projevem jsou také významné změny cirkulačních podmínek. Na základě rozličných mechanismů podporuje současná změna klimatu extrémnost těchto již extrémních povětrnostních jevů. Všechny tyto formy změn projevu a intenzity povětrnostních prvků se mohou negativně projevit ve všech aspektech sektoru letecké dopravy [6,7].

Dle poslední hodnotící zprávy o změně klimatu, kterou vydává nezávislý orgán IPCC (Mezinárodní panel pro změnu klimatu), je častěji zaznamenáván výskyt extrémních vysokých teplot vzduchu ve srovnání s 50. roky minulého století. Nárůst globální povrchové teploty s sebou nese řadu pro letectví nežádoucích a nebezpečných dopadů. Faktor vysokých teplot se značně negativně projevuje například na výkonnostních charakteristikách letadel generováním nižšího aerodynamického vztlaku. Od problému rostoucích teplot se

také odráží veškeré změny v režimech dalších povětrnostních jevů. Sumárně teplota vzduchu ovlivňuje prostorově i časově stav atmosféry a podílí se na veškerých fyzikálních procesech [7,8,9,10].

V souvislosti s klimatickou změnou se mění také hydrologický cyklus planety. Konkrétně dochází v důsledku rostoucích teplot k jeho určitému urychlování. To se projevuje vyšší potenciální evaporací, která podporuje i vzniku vyšších srážkových úhrnů. V některých oblastech světa se naopak může globální oteplování projevit dlouhodobými obdobími sucha. Z hlediska rostoucích srážek se v určitých regionech mohou letiště potýkat se zaplavením VPD, pojezdových drah a další letištní infrastruktury nebo během letu mohou přinést výrazné snížení požadované dohlednosti [1,5,6,11,12].

Jedním z vůbec nejnebezpečnějších atmosférických jevů nejen pro leteckou dopravu je bouřka a její doprovodné jevy. Projevy bouřkové činnosti doprovází celá řada pro letadlo dalších nebezpečných jevů, mezi něž spadá námraza, turbulence, krupobití, sestupné a vzestupné proudy, snížení dohlednosti v případě srážek, nárazy větru a také střih větru. Tyto jevy jsou soustředěny v oblaku druhu cumulonimbus (v českém překladu bouřková kupa), na který se bouřka váže v jeho maximálním vývoji. V souvislosti s nárůstem průměrné teploty vzduchu, která je hlavním projevem globální změny klimatu a také dalších změn v klimatických prvcích a charakteristik přízemní vrstvy atmosféry, jsou očekávány možné změny v dynamice a také intenzitě projevu těchto specifických meteorologických úkazů. Očekávaný nárůst bouřkových činností i v budoucnu je podmíněn teplejší atmosférou, která je schopna udržovat větší množství vodní páry. Zvýšená vlhkost v přízemní vrstvě podporuje konvekční instabilitu atmosféry a také potřebné vzestupné proudění. Všechny tyto faktory vytváří nevyhnutné předpoklady pro vznik a vývoj bouřkového oblaku. Mimo bezpečnostní rizika spojená s letovou způsobilostí a výkonností letadla představuje nárůst a zvýšení intenzity projevu bouřkové činnosti také narušení plynulosti průběhu leteckého provozu a provozu letišť z hlediska možných zpoždění či zrušení letů, omezení provozního využití vzletových a přistávacích drah, poškození či disfunkci některých letištních zařízení [1,5,6,11,12,13,14].

Určité změny ve variabilitě a intenzitě jsou očekávány také ve větrných podmínkách, přičemž na tyto změny je potřebné včasně reagovat, poněvadž vítr ovlivňuje bezpečnost letadla ve všech fázích letu. Ve spodní troposféře se očekávají změny v síle větru a také jeho směru, což může ovlivnit letadla zejména v kritických fázích letu. V horní troposféře jsou predikovány změny v projevech tryskového proudění neboli jet streamu. V rámci zesilnění a změn prostorového rozložení bouřek se letadla mohou dostat do nebezpečných situací s nárazovitým větrem či vertikálním a horizontálním střihem větru. Očekávány jsou také změny v projevech turbulence, zejména je často zmiňována turbulence v bezoblačném prostředí [15].

2. Metodika a metody zkoumání

Cílem vědeckého článku je souhrnná statistická analýza meteorologických dat v průběhu stanoveného období dvaceti let od roku 2000 do roku 2019, která pomůže potvrdit či vyvrátit výzkumnou otázku o vlivu změny klimatu na zvyšující se tendence četnosti a variability vybraných pro letectví nebezpečných povětrnostních jevů na vybraných letištích Slovenska.

V rámci primární stanovené hypotézy je zkoumána závislost dvou proměnných. Konkrétně vyjadřuje vztah mezi přibývající četností zvolených povětrnostních jevů s přibývajícím roky v rámci analyzovaného období.

Data relevantní pro zpracování praktické části výzkumu v rámci vědeckého článku byla poskytnuta od Slovenského hydrometeorologického ústavu. Konkrétně se jednalo o meteorologické zprávy METAR vydané v období od roku 2000 do konce roku 2019. Pro výzkum byly zvoleny dvě letiště: Letiště M. R. Štefánika (meteorologická stanice Bratislava-letisko) a Letiště Košice (meteorologická stanice Košice-letisko). Výběr meteorologických stanic byl stanoven cíleně vzhledem k odlišnostem v klimatických, topografických a orografických podmínkách těchto dvou oblastí. Pro statistický výzkum byly vybrány tři hlavní skupiny povětrnostních jevů. Jedná se oblak druhu cumulonimbus a na něj navazující se bouřková činnost, silný vítr a také atmosférické srážky, které byly rozděleny do několika podskupin.

Z rozsáhlého souboru dat ve formátu meteorologických zpráv bylo potřebné vyfiltrovat pouze data relevantní pro daný výzkum. Tento krok byl učiněn pomocí programovacího nástroje. Z tohoto souboru dat s meteorologickými zprávami METAR, který obsahoval v některých případech vícečetný výskyt pozorovaných prvků během jednoho dne, byla pro jednoduchost jeho přítomnost vždy evidována pouze jednou v rámci daného konkrétního dne.

3. Výsledky

Navazující část článku se již zaměřuje na detailní statistické zpracování a analýzu nasbíraných dat ve formátu meteorologických zpráv METAR a celkové zhodnocení vývoje a změny charakteru vybraných meteorologických jevů v časovém rozhraní dvaceti let. Tyto statistické metody na základě korelační a regresní analýzy a veškeré grafické zpracování byly provedeny pomocí softwaru MS Excel.

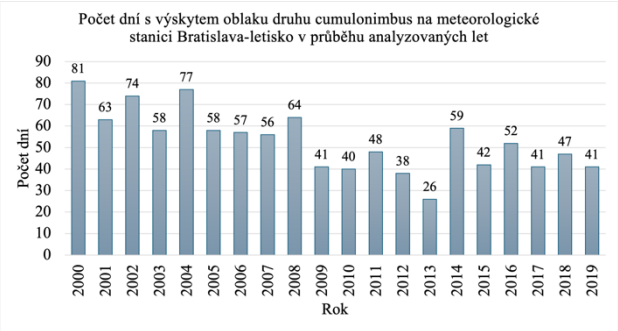
3.1. Zhodnocení vývoje výskytu oblaku druhu cumulonimbus

V rámci první části zpracování údajů z meteorologických zpráv METAR byl pozorován vývoj počtu dní s výskytem mohutného a nebezpečného oblaku druhu cumulonimbus.

3.1.1. Počet dní s výskytem bouřkového oblaku na LZIB

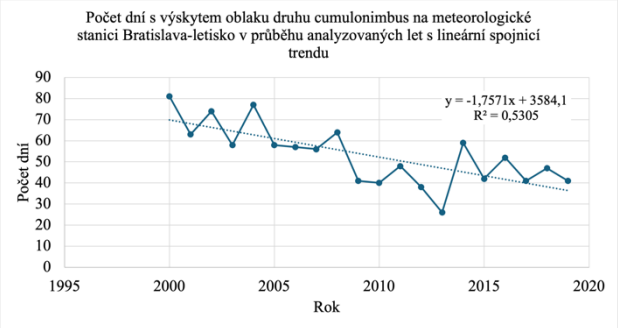
Při zpracování relevantních dat s výskytem bouřkového oblaku z meteorologické stanice Bratislava-letisko a agregace příslušných dat na jednotlivé dny vykazoval celkový počet dní s pozorovaným výskytem bouřkového oblaku hodnotu 1063 dní.

Dle následujícího grafického zpracování vývoje počtu dní s výskytem cumulonimbu lze pozorovat poměrně nestabilní trend vývoje v jednotlivých letech. Výsledky této trendové analýzy poukazují na určitý pokles počtu dní s výskytem cumulonimbu v průběhu let. Nejedná se ovšem o homogenní pokles.



Graf 1 Počet dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus na LZIB

Pro optimálnější a přesnější identifikaci trendu byl využit také lineární regresní model k analytickému zpracování závislosti závislé proměnné (počtu dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus) od nezávislé proměnné (vývoje časové řady). Klesající trend zde potvrzují výsledky grafického zpracování s lineární spojnicí trendu. Na základě rovnice se zápornou směrnicí i průběhu křivky lze vyčíst klesající trend počtu dní s výskytem bouřkového oblaku v průběhu času. Navíc hodnota *koeficientu determinace*, který se označuje R^2, procentuálně vyjadřuje, že je tento model spolehlivý z přibližně 53 %. Následně byl také vypočítán *koeficient korelace*, jehož hodnota dosáhla -0,73. Tento výsledek indikuje, že je mezi proměnnými středně silná závislost a proměnné jsou nepřímo lineárně závislé, což se projevuje klesajícím charakterem. K ověření skutečnosti, jestli se jedná o statisticky významný vztah či nikoli, byla využita takzvaná *nulová hypotéza*, která tvrdí, že proměnné jsou lineárně nezávislé. Z tohoto důvodu je potřebné zjistit také takzvanou *p-hodnotu*, která bude následně porovnána na 5 % *hladině významnosti* (0,05). Z výpočtu bylo zjištěno, že *hodnota p* po zaokrouhlení dosahuje hodnoty 0,0003. Tato hodnota je značně nižší než stanovená hladina významnosti, tudíž *nulová hypotéza* se zamítá a přijímá se *hypotéza alternativní*, která tvrdí, že mezi proměnnými existuje v tomto období statisticky významný vztah a proměnné jsou nepřímo lineárně závislé.

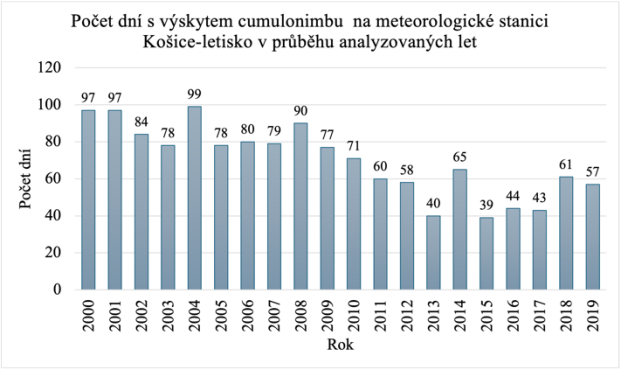


Graf 2 Počet dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus na LZIB s lineární spojnicí trendu

3.1.2. Počet dní s výskytem bouřkového oblaku na LZKZ

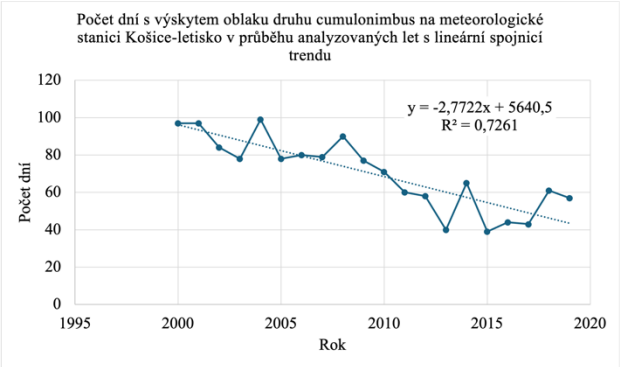
V případě meteorologické stanice Košice-letisko bylo po převedení na denní hodnoty zaznamenáno celkem 1 397 dní s výskytem bouřkového oblaku.

Podobně jako u grafického zpracování naměřených hodnot na meteorologické stanici Bratislava-letisko lze i na následujícím grafu vypozorovat určitý klesající trend v průběhu let.



Graf 3 Počet dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus na LZKZ

Viditelný klesající trend počtu dní s výskytem bouřkového oblaku bude potvrzen také využitím lineárního regresního modelu. Spolehlivost modelu s klesající linearitou také potvrzuje i vyšší procentuální hodnota *koeficientu determinace*, která činí 72,6 %. Pro určení intenzity závislosti těchto dvou proměnných je potřebné zjistit také hodnotu *korelačního koeficientu*. Hodnota vypočteného *korelačního koeficientu* (r = - 0,85) indikuje silnou nepřímou lineární závislost mezi proměnnými vyznačující se poklesem četnosti dní s bouřkovým oblakem v průběhu let. Pro ověření tohoto tvrzení je nutné položit si opět *nulovou hypotézu* a provést *test významnosti* pro určení statistického významu této závislosti. Po dalším výpočtu *p-hodnoty*, která dosáhla velmi nízké hodnoty 1,8561E-06, lze vyvrátit *nulovou hypotézu* a přijmout *alternativní hypotézu*, která konstatuje, že mezi zkoumanými proměnnými existuje statisticky významná závislost a proměnné jsou nepřímo lineárně závislé.



Graf 4 Počet dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus na LZKZ s lineární spojnicí trendu

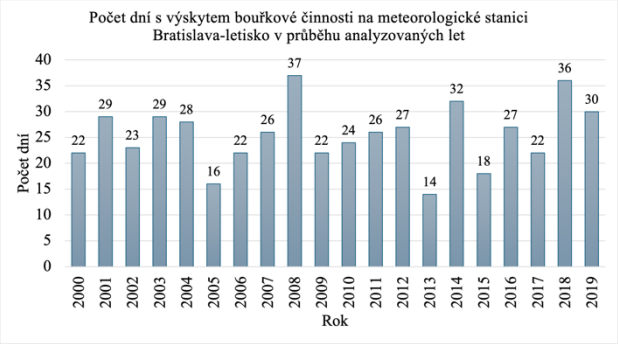
3.2. Zhodnocení vývoje výskytu bouřkové činnosti

Dalším potenciálně nebezpečným jevem vybraným pro statistické zhodnocení je bouřková činnost, která vzniká mezi bouřkovými oblaky cumulonimbus zkoumanými v předešlé podkapitole.

3.2.1. Počet dní s výskytem bouřky na LZIB

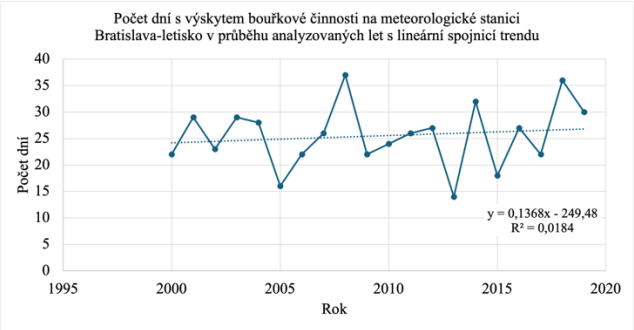
Na meteorologické stanici Bratislava-letisko po roztřídění a seskupení náležitých dat podle dnů vykazoval celkový počet dní s výskytem bouřky v celém zkoumaném období hodnotu 510 dní.

Následující sloupcový graf podává přehled o značně kolísavých hodnotách v průběhu jednotlivých let. Nelze zde vymezit ani žádný výrazný trend, který by naznačoval určité změny ve výskytu bouřek v rámci analyzovaného období.



Graf 5 Počet dní s výskytem bouřky na LZIB

Pomocí grafického zpracování s lineární spojnicí trendu však můžeme identifikovat mírně rostoucí trend na základě kladné směrnice v rovnici i průběhu samotné lineární spojnice. Tento trend však nelze potvrdit, jelikož *koeficient determinace* udává, že tento model je spolehlivý pouze z 1,84 %. Pro stanovení směru a síly závislosti je potřebné zjistit výsledky *korelačního koeficientu*, který vykazuje kladnou hodnotu 0,14. Kladné znaménko *koeficientu korelace* udává, že jsou proměnné přímo lineárně závislé, tedy počet dní s bouřkovou činností roste v čase. Ovšem tato nízká hodnota poukazuje na pouze slabou závislost mezi proměnnými. Pro potvrzení této skutečnosti zvolíme *nulovou hypotézu*, která pomůže určit statistikou významnost či naopak nevýznamnost těchto zkoumaných proměnných na základě *p-hodnoty*, po jejímž výpočtu byla zjištěna hodnota 0,57. Jelikož je tato hodnota vyšší než stanovená hodnota *hladiny významnosti*, *nulová hypotéza* je přijata. To znamená, že v tomto stanoveném období nelze s jistotou říci, že četnost dní s bouřkovou činností v průběhu let narůstá, ale také nelze tvrdit, že mírně rostoucí trend zde neexistuje. Jen není podložený dostatečným množstvím dat.

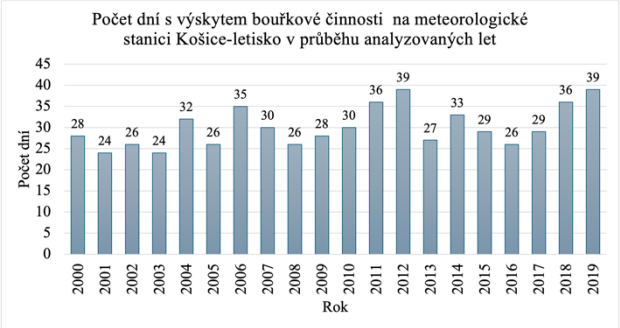


Graf 6 Počet dní s výskytem bouřky na LZIB s lineární spojnicí trendu

3.2.2. Počet dní s výskytem bouřky na LZKZ

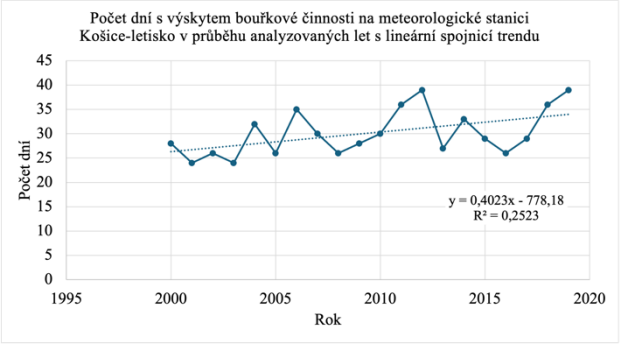
Po seskupení dat ve formátu meteorologických zpráv na jednotlivé dny představoval počet v pozorovaném období celkem 603 dní s výskytem zkoumaného jevu na příslušné stanici. Vyšší četnost dní s bouřkou také potvrzuje vliv kontinentality podnebí na tuto oblast, kdy jsou zde celkově příhodnější podmínky pro vznik a vývoj bouřkové činnosti.

Dle grafického zpracování níže lze konstatovat, že jednotlivé hodnoty v průběhu let vykazují nepravidelné výkyvy a jsou poměrně proměnlivé. Opět se zde nedá určit jasný trend, který by kopíroval očekávaný rostoucí charakter četnosti bouřek v průběhu let.



Graf 7 Počet dní s výskytem bouřky na LZKZ

Zpracování následujícího grafu s lineárním regresním modelem napomohlo konkrétní identifikaci trendového vývoje v průběhu let. Konkrétně lze vypozorovat rostoucí trend na základě kladné směrnice v rovnici i rostoucí lineární spojnice trendu. Je však nutné ověřit také statistické výsledky koeficientů. *Koeficient determinace* dosahuje hodnotu přibližně 0,2523. Respektive 25,23 % této kladné rostoucí závislosti lze popsat tímto lineárním modelem. To potvrzuje také výsledek *koeficientu korelace*, jehož hodnota dosáhla 0,5. Kladné znaménko výsledné hodnoty dedikuje skutečnost, že jsou proměnné přímo lineárně závislé a hodnota 0,5 určuje sílu korelace jako středně silnou závislost mezi proměnnými. Na základě výpočtu *p-hodnoty* (0,02) lze na *hladině významnosti nulovou hypotézu* zamítnout a přijmout *alternativní hypotézu*, která tvrdí, že mezi proměnnými je statisticky významná závislost a proměnné jsou přímo lineárně závislé. Počet dní s výskytem bouřkové činnosti v tomto analyzovaném období v letech roste.



Graf 8 Počet dní s výskytem bouřky na LZKZ s lineární spojnicí trendu

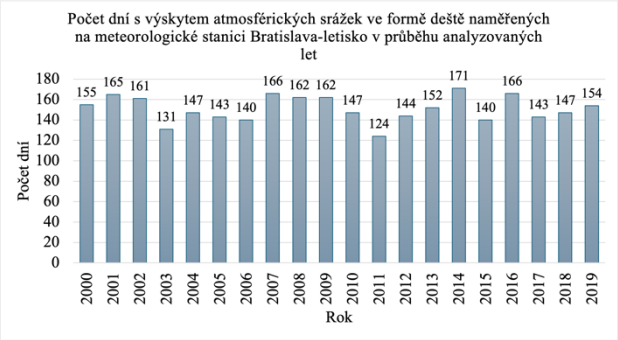
3.3. Zhodnocení vývoje výskytu dešťových srážek

První část statistického výzkumu a následné analýzy se věnuje atmosférickým srážkám ve formě deště.

3.3.1. Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZIB

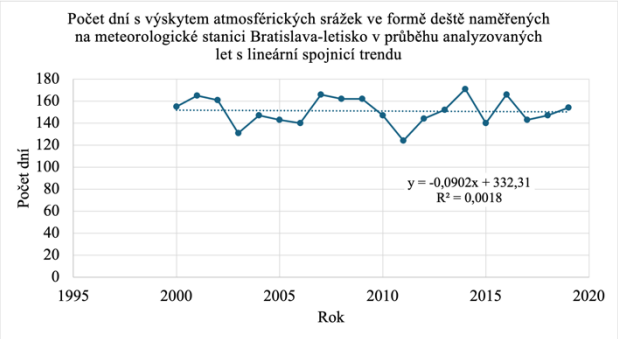
Po kumulaci meteorologických zpráv a převedení na jednotlivé dny představoval celkový počet 3 020 dní s výskytem dešťových srážek v celém analyzovaném období.

Následující graf ilustruje poměrně konzistentní trend vývoje počtu dní s dešťovými srážkami v průběhu všech zkoumaných let s malými výkyvy.



Graf 9 Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZIB

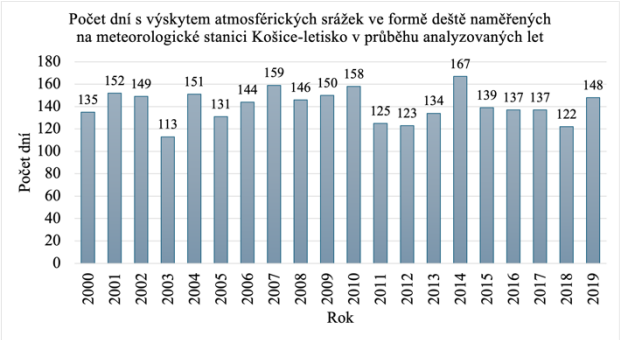
V rámci využití lineárního regresního modelu byly zjištěny detailnější informace o závislosti zkoumaných proměnných. Již z následujícího grafického zpracování lze vypozorovat velmi mírně klesající trend spojnice, což potvrzuje i záporná hodnota směrnice v regresní rovnici. Ovšem *koeficient determinace* vykazuje zanedbatelnou nulovou hodnotu. Model proto nelze považovat za spolehlivý a také nelze určovat podnětné souvislosti mezi počtem dní s výskytem dešťových srážek v průběhu jednotlivých let. To potvrzuje také výsledná hodnota *koeficientu korelace* (r = -0,04). Tato hodnota značí pouze velmi slabou nepřímou lineární závislost mezi proměnnými. Na základě *testu významnosti* a výpočtu potřebné *p-hodnoty* (0,86) se potvrdila také *nulová hypotéza*. Respektive lze konfirmovat lineární nezávislost mezi četností dní s dešťovými srážkami v průběhu let v tomto stanoveném období.



Graf 10 Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZIB s lineární spojnicí trendu

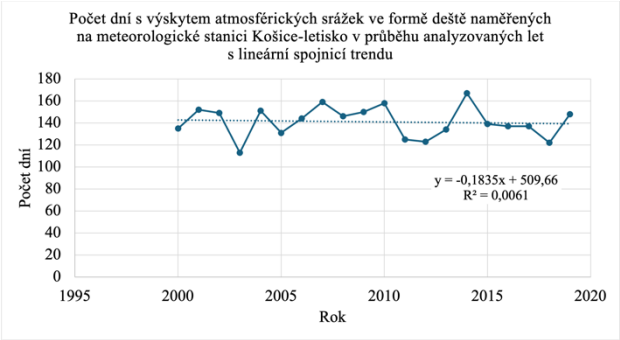
3.3.2. Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZKZ

Po převedení rozsáhlého souboru dat na denní hodnoty bylo na meteorologické stanici Košice-letisko zaznamenáno celkem 2 820 dní s dešťovými srážkami. Podobně jako v případě hodnot zjištěných ze stanice Bratislava-letisko je zde celkový trend poměrně plynulý s nepatrnými odchylkami v určitých letech.



Graf 11 Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZKZ

Podobně jako u meteorologické stanice Bratislava-letisko bylo nutné pro jasnější identifikaci trendu, který bude také statisticky podložen, využít lineární regresní model. Spojnice lineárního regresního modelu naznačuje mírný pokles dešťových srážek v průběhu let. *Koeficient determinace* však opět vykazuje zanedbatelně nízkou hodnotu, tudíž je nutné brát ohled na velmi nízkou spolehlivost tohoto modelu. To stejné potvrzuje také hodnota *koeficientu korelace* (-0,08), jejíž záporné znaménko a hodnota vyjadřuje skutečnost, že jsou proměnné nepřímo lineárně závislé a je mezi nimi slabý až zanedbatelný vztah. Z tohoto důvodu nelze konstatovat, že atmosférické srážky ve formě deště v průběhu let postupně klesají. To dokládají také výsledky vypočítané *p-hodnoty* (0,74). Vzhledem ke stanovené *hladině významnosti* můžeme potvrdit *nulovou hypotézu* a konstatovat, že mezi proměnnými není lineární vztah. V tomto časovém rámci se nepotvrdila statistická závislost snižování četnosti deštivých dní v průběhu času.



Graf 12 Počet dní s výskytem dešťových srážek na LZKZ s lineární spojnicí trendu

3.4. Zhodnocení vývoje výskytu sněhových srážek

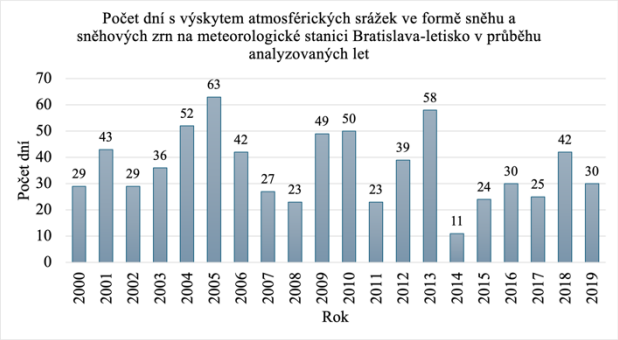
V rámci sledování variability četností atmosférických srážek vlivem změny klimatu byly zkoumány také srážky sněhové.

3.4.1. Počet dní s výskytem sněžení na LZIB

Po sumarizaci nasbíraných dat a převodu na jednotlivé dny představoval celkový počet dní s výskytem sněžení na meteorologické stanici Bratislava-letisko hodnotu 725 dní.

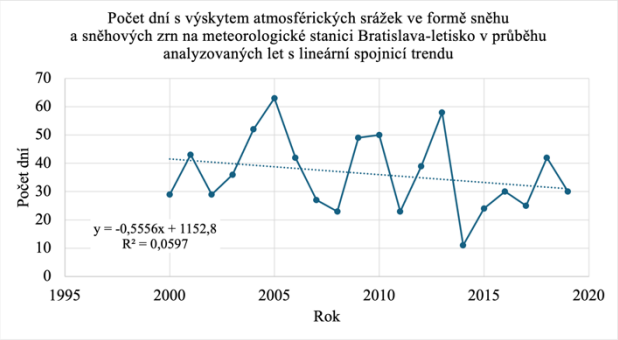
Z následujícího sloupcového grafu lze vypozorovat určitý nestabilní trend, který je ovlivňován velkými odchylkami v průběhu analyzovaného období, kdy v některých letech

dosáhla početnost dní se sněžením velkých hodnot, naopak v některých letech je sledován značný pokles.



Graf 13 Počet dní se sněžením na LZIB

Pro statistické zhodnocení je následující spojnicový graf proložen lineární spojnicí trendu, která naznačuje pokles početnosti dní s výskytem sněhových srážek v průběhu jednotlivých let i na základě záporné směrnice v regresní rovnici. Tato vzájemná linearita ovšem není dostatečně podložena, poněvadž *koeficient determinace* vykazuje spolehlivost tohoto modelu pouze na 5,97 %. Také výpočet hodnoty *korelačního koeficientu* (-0,24) potvrdil, že je mezi proměnnými pouze slabá závislost a proměnné jsou nepřímo lineárně závislé. Pro prokázaní statistické nezávislosti byl proveden také *test významnosti* a doplňkově zjištěna i *p-hodnota* (0,3). Na *hladině významnosti* vzhledem k vyšší *hodnotě p* nelze *nulovou hypotézu* zamítnout. Mezi proměnnými v tomto případě nelze potvrdit lineární vztah a je stanoveno, že proměnné jsou lineárně nezávislé.

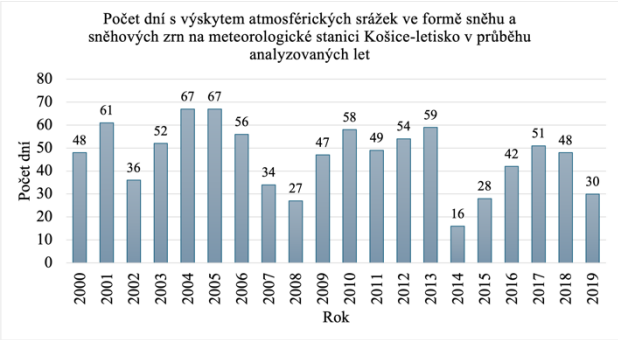


Graf 14 Počet dní se sněžením na LZIB s lineární spojnicí trendu

3.4.2. Počet dní s výskytem sněžení na LZKZ

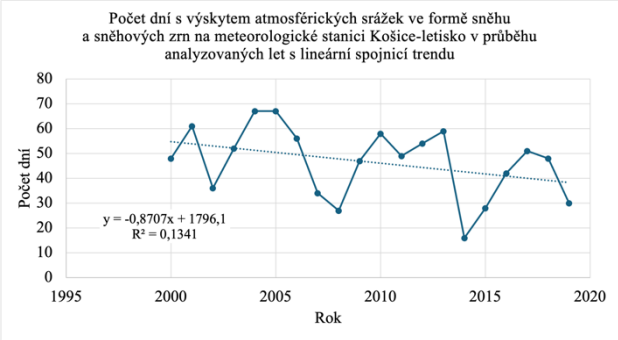
Počet dní s výskytem atmosférických srážek ve formě sněhu a sněhových zrn za zkoumané období dosáhl na meteorologické stanici Košice-letisko celkové hodnoty 930 dní.

Přestože je četnost dní s výskytem sněžení v Košicích téměř ve všech letech znatelně vyšší, existuje zde patrná podobnost z hlediska vývoje jednotlivých hodnot v čase s velkými odchylkami.



Graf 15 Počet dní se sněžením na LZKZ

Využití lineární spojnice trendu pomohlo identifikovat mírně klesající trend v průběhu analyzovaného období. *Koeficient determinace* vykazuje procentuální hodnotu 0,1341, což znamená, že záporná závislost a mírně klesající trend lze vysvětlit tímto modelem ze 13,4 %. Výsledky *korelačního koeficientu* vykazují hodnotu -0,37. Tato hodnota určuje středně silnou nepřímou lineární závislost mezi proměnnými, tedy klesajícím počtem dní s výskytem sněhových srážek v průběhu jednotlivých let. Pro ověření a prokázání statistické závislosti je potřebné stanovit také *nulovou hypotézu*. Tato hypotéza, která tvrdí, že mezi analyzovanými proměnnými neexistuje statisticky významný vztah, byla na základě vyšší vypočtené *p-hodnoty* (0,11) potvrzena. Výsledný středně silný vztah četnosti dní se sněžením a jednotlivými roky ovšem není statisticky průkazný. To neznamená, že mezi proměnnými neexistuje vůbec žádný vztah, pouze nasbíraná data tento vztah statisticky neprokázala.



Graf 16 Počet dní se sněžením na LZKZ s lineární spojnicí trendu

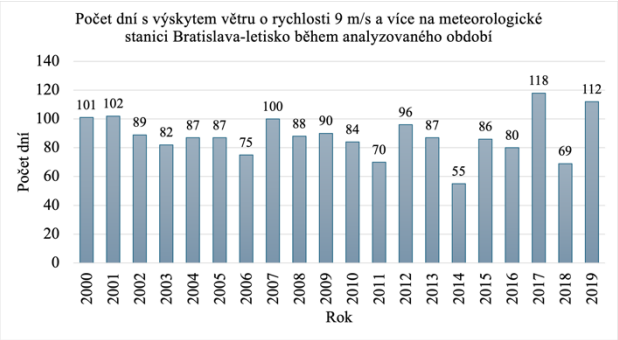
3.5. Zhodnocení vývoje silného větru

Jako třetí pozorovaný atmosférický jev byl určen vítr, jehož parametry byly stanoveny na rychlost 9 m/s a více.

3.5.1. Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s na LZIB

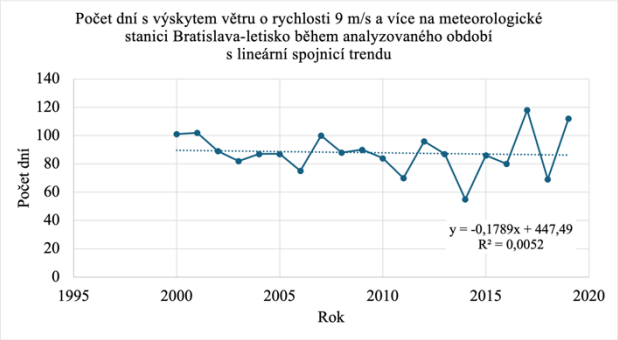
Po roztřízení relevantních dat na jednotlivé dny představoval počet v pozorovaném období celkem 1 758 dní s výskytem zkoumaného jevu.

V následujícím grafickém sloupcovém zpracování lze opět pozorovat výrazné kolísání v průběhu jednotlivých let, kdy některé roky značně převyšují roky následující, nicméně zde opět nelze identifikovat přesný trend.



Graf 17 Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s a více na LZIB

I z následujícího grafu s lineární spojnicí trendu lze pozorovat poměrně stabilní trend s minimálním poklesem, který potvrzuje i záporná hodnota směrnice. Zápornou linearitu mezi proměnnými však nelze prokázat, jelikož *koeficient determinace* dosahuje zanedbatelných nulových hodnot. Tuto skutečnost potvrzuje i hodnota *koeficientu korelace* (-0,07), která udává, že mezi proměnnými je velmi slabá nepřímá lineární závislost. V tomto analyzovaném období nelze definovat žádná vazba ani závislost mezi počty dní s větrem dané rychlosti a průběhem jednotlivých let. Tato skutečnost byla i statisticky prokázaná potvrzením *nulové hypotézy*, která byla přijata na základě vypočítané *p-hodnoty* (0,76). Na základě dostupných dat nebyl statisticky prokázán žádný vztah mezi mírně klesající početností dní s větrem o rychlosti 9 m/s a více v průběhu analyzovaných let.

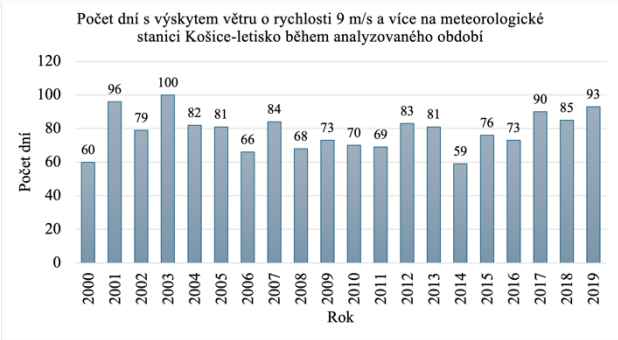


Graf 18 Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s a více na LZIB s lineární spojnicí trendu

3.5.2. Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s na LZKZ

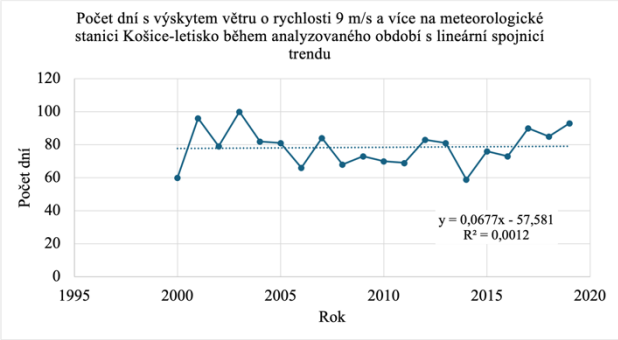
Po roztřídění náležitých dat podle dnů vykazoval celkový počet dní s výskytem větru o rychlosti stanovených parametrů a více v celém zkoumaném období hodnotu 1 568 dní.

Z následujícího sloupcového grafu, který ilustruje počty dní s výskytem větru o dané hraniční rychlosti lze pozorovat, že tyto hodnoty mají téměř konstantní charakter s mírnými výkyvy v letech.



Graf 19 Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s a více na LZKZ

Dle následujícího spojnicového grafu s lineární spojnicí trendu lze vypozorovat pouze nepatrný růst v průběhu let. Zde tuto vzájemnou linearitu nelze potvrdit, jelikož *koeficient determinace* opět dosahuje nulových hodnot, které naznačují, že je tento model nespolehlivý a nelze zde určit žádnou vzájemnou příčinnou vazbu mezi proměnnými. Vypočítaný *koeficientu korelace* také dokládá tohle tvrzení, jelikož nabývá kladné hodnoty 0,04. Tato hodnota definuje, že se jedná o velmi slabou až zanedbatelnou přímou lineární závislost mezi proměnnými. V rámci *testu významnosti* a potvrzení *nulové hypotézy*, která byla ověřena porovnáním *p-hodnoty* (0,88) a hodnoty *hladiny významnosti*, bylo zjištěno, že vztah proměnných je statisticky nevýznamný. Prakticky lze konstatovat, že k růstu četnosti dní se silným větrem v průběhu stanovených let nedocházelo.



Graf 20 Počet dní s výskytem větru o rychlosti 9 m/s a více na LZKZ s lineární spojnicí trendu

4. Závěr

Statistická významnost lineární závislosti dvou proměnných se prokázala pouze při výzkumu výrazného sestupného trendu četnosti dní s výskytem oblaku druhu cumulonimbus na obou stanicích v průběhu času. V rozporu s touto skutečností se statistická významnost potvrdila také na závislosti četnosti dní s bouřkovou činnosti v průběhu let, kdy na meteorologické stanici Košice-letisko byl zaznamenám v průběhu analyzovaných let významný rostoucí trend frekvence tohoto jevu. Z tohoto hlediska se námi stanovená hypotéza potvrdila jen v tomto případě. Z hlediska sledování vývoje dešťových srážek byl na obou stanicích v průběhu let pozorován mírný pokles, který ovšem nebyl statisticky prokázán. Podobný klesající charakter vykazoval i trend ve vývoji výskytu sněhových srážek v tomto období, nicméně opět nebyla dokázána statistická významnost vztahu proměnných. Frekvence četnosti dní s výskytem větru o

stanovené rychlosti se odlišovala na obou stanicích s mírným nárůstem i poklesem také bez statistické významnosti.

Přestože se u většiny pozorovaných jevů neprokázaly statisticky významné závislosti, lze konstatovat, že určité souvislosti mezi nimi existují, s velkou pravděpodobností však nebylo sledované období dvaceti let dostatečně dlouhé, aby bylo možné tyto vzájemné vazby s jistotou prokázat a statistický model proto vyhodnotil tyto závislosti jako náhodné.

Reference

[1] ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST. *Elektronický meteorologický slovník (eMS)*. Online. Dostupné z: http://slovnik.cmes.cz. [cit. 2025-02-28].

[2] BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-853-6845-5.

[3] *Klimatická změna-fenomén současnosti*. Online. In: Akademie věd České republiky. 2020. Dostupné z: https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2020-04.pdf. [cit. 2025-03-02].

[4] *Zmena klímy a jej príčiny*. Online. Slovenský hydrometeorologický ústav. 2025. Dostupné z: https://www.shmu.sk/sk/?page=1790. [cit. 2025-03-05].

[5] HORÁK, Ján. Klimatológia. 2. vydání. Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre, 2021. ISBN 978-80-552-2387-2.

[6] *Človekom spôsobená zmena klímy.* Online. Slovenský hydrometeorologický ústav. 2025. Dostupné z: https://www.shmu.sk/sk/?page=1071. [cit. 2025-03-23].

[7] *Scenáre budúcej klímy*. Online. Slovenský hydrometeorologický ústav. 2025. Dostupné z: https://www.shmu.sk/sk/?page=1069. [cit. 2025-03-24].

[8] THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Online. Ženeva: IPCC, 2023. ISBN 978-92-9169-164-7. Dostupné z: https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. [cit. 2025-03-23].

[9] COFFEL, Ethan D.; THOMPSON, Terence R. a HORTON, Radley M. The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. Online. *Climatic Change*. 2017, roč. 144, č. 2, s. 381-388. ISSN 0165-0009. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10584-017-2018-9. [cit. 2025-03-25].

[10] COFFEL, E. a HORTON, R. Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation. Online. *Weather, Climate, and Society*. 2015, roč. 7, č. 1, s. 94-102. ISSN 1948-8327. Dostupné z: https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00026.1. [cit. 2025-03-25].

[11] *Climate Change and Water*. Online. World Meteorological Organization (WMO). 2025. Dostupné z: https://wmo.int/about-us/world-meteorological-day/wmd-2020/climate-change-and-water. [cit. 2025-03-24].

[12] GRATTON, G. B.; WILLIAMS, P. D.; PADHRA, A. a RAPSOMANIKIS, S. Reviewing the impacts of climate change on air transport operations. Online. *The Aeronautical Journal*. 2022, roč. 126, č. 1295, s. 209-221. ISSN 0001-9240. Dostupné z: https://doi.org/10.1017/aer.2021.109. [cit. 2025-03-25].

[13] PECHO, Jozef. *Jej veličenstvo búrka*. Online. In: Akademický repozitár. 2025. Dostupné z: http://www.akademickyrepozitar.sk/Jozef-Pecho/Jej-velicenstvo-burka. [cit. 2025-03-25].

[14] *Change in Thunderstorm Activity in a Projected Warmer Future Climate: a Study over Europe*. Online. 2017. Department of Earth Sciences, Uppsala University, 2017. ISSN 1650-6553. Dostupné z: https://www.semanticscholar.org/paper/Change-in-Thunderstorm-Activity-in-a-Projected-a-Emelie/644808c99176d812f075b9e70923076f48f039c2. [cit. 2025-03-25].

[15] *Climate Adaptation Synthesis*. Online. In: International Civil Aviation Organization (ICAO). 2018. Dostupné z: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Synthesis%20Report%20Factsheets/Aviation%20and%20Changing%20Wind.pdf. [cit. 2025-03-25].