

270

250

230

210

AVex

Akademie věd
České republiky

expertní stanovisko AV ČR | 4/2020

Klimatická změna – fenomén současnosti

- **Na Zemi v současnosti dochází k významným relativně rychlým jevům a procesům, které zahrnujeme pod pojem „klimatická změna“.** Jejím nejvýraznějším projevem je **globální oteplování**. Existence klimatické změny je prokázána na základě přímých měření stavu složek klimatického systému, např. hodnot meteorologických prvků, chemického složení atmosféry, výšky hladiny oceánů, mocnosti ledových příkrovů. Používána jsou družicová měření a další pokročilé výzkumné postupy.
- **Příčinou současného globálního oteplování a s ním souvisejících jevů je zesilování skleníkového efektu atmosféry vlivem nárůstu koncentrace skleníkových plynů,** zejména oxidu uhličitého, metanu, oxidu dusného a některých průmyslově vyráběných sloučenin a následně ve vazbě na oteplování i vodních par. S těmito závěry se ztotožňuje prakticky celá světová vědecká komunita v oboru klimatologie.
- **K nárůstu množství skleníkových plynů v atmosféře dochází zejména spalováním fosilních paliv** (uhlí, ropy, zemního plynu), průmyslovou a zemědělskou výrobou a odlesňováním. Koncentrace hlavní látky způsobující zesilování skleníkového efektu – oxidu uhličitého – se v atmosféře zvýšila z 280 ppm (280 molekul na milion molekul vzduchu) v preindustriálním období (před r. 1750) na současných více než 410 ppm.
- **Současnou klimatickou změnu nelze vysvětlit přirozenou proměnlivostí klimatu ani změnami přirozených klimatotvorných faktorů.** Dlouhodobé geologické procesy, astronomické cykly Země, výkyvy zářivého výkonu Slunce či vulkanická činnost, které měnily klima v minulosti, nejsou příčinou současných změn.
- **Klimatická změna je globální problém,** který se ČR nejen týká, ale na kterém má ČR i svůj podíl. Možnosti jejího zmírňování či adaptace na ni jsou odborně rozpracovány a jejich realizace výrazně závisí na rozhodnutích Parlamentu ČR, státní správy i samospráv.
- **Globální oteplování se zastaví,** pokud bilance skleníkových plynů, které lidstvo přidává do ovzduší, klesne až k nule. To platí, pokud se tak stane již do poloviny 21. století. V takovém případě totiž pravděpodobně ještě nedojde k masivním emisím skleníkových plynů z rozmrzající Arktidy.

VÝSLEDKY VĚDECKÝCH STUDÍÍ

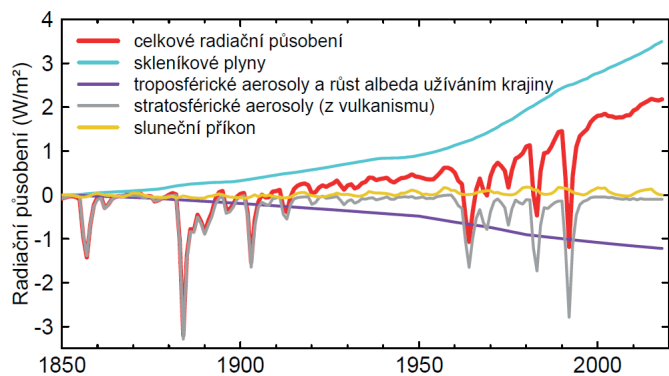
- Je doložen nárůst koncentrací skleníkových plynů a dominantní podíl člověka na jejich zvyšování.
- Jsou doloženy změny charakteristik klimatického systému Země (především teploty vzduchu) i změny v biosféře či kryosféře (zejména tání ledových příkrovů).
- Je prokázána souvislost mezi nárůstem koncentrace skleníkových plynů a růstem teploty.
- Je tedy prokázána příčinná souvislost mezi činností člověka a změnou klimatu, a to ve shodě s pozorovanými daty a v souladu s fyzikálními zákonitostmi, kterými se dotčené procesy řídí.
- Pozorované změny nelze vysvětlit žádnou alternativní teorií, např. astronomickými cykly Země, změnami v radičním výkonu Slunce ani náhlou událostí (výbuchem sopky či dopadem mimozemského tělesa).

PŘÍČINA SOUČASNÉ KLIMATICKÉ ZMĚNY

- Příčinou je zesilování skleníkového efektu atmosféry vlivem nárůstu množství skleníkových plynů produkovaných lidskou činností. K celkovému oteplení přispívají prostřednictvím tzv. radičního působení (obr. 2, červená čára): oxid uhličitý třemi pětinami, metan jednou pětinou a oxid dusný společně s dalšími plyny též jednou pětinou. Oteplování navíc způsobuje, že narůstá množství vodní páry, která následně skleníkový efekt dále zesiluje.
- Naopak u atmosférických aerosolů z lidské činnosti převažuje vůči Zemi jejich ochlazující vliv, tedy odštiňování slunečního záření. Mají však i jiný, negativní vliv, patří mezi nejvýznamnější znečišťovatele životního prostředí. Převažující ochlazující vliv mají i změny odrazivosti zemského povrchu („albeda“) vlivem využívání krajiny člověkem. Společně s aerosoly produkovanými lidskou činností zmírňují vliv zesíleného skleníkového efektu asi o jednu třetinu (obr. 2, modrá čára).
- V tomto století k oteplování mírně přispěla absence velkých sopečných erupcí produkujících aerosoly (obr. 2, šedá čára). Obdobně v první polovině 20. století oteplování částečně souviselo se zesílením výkonu Slunce (obr. 2, žlutá čára, obr. 3).

Radiační působení (obr. 2) znamená vliv lidských a přirozených faktorů na energetický stav klimatického systému Země. Způsobuje změnu teploty Země a její radiční bilance (příjmu sluneční energie oproti vyzařování do vesmíru). V současnosti výsledné radiční působení narůstá a již přesáhlo 2 W/m^2 . Nerovnováha radiční bilance Země se vlivem zpětných vazeb v důsledku oteplování udržuje od roku 1985 na necelém 1 W/m^2 . Tato energie na Zemi zůstává a otepluje ji.

Průměrná teplota na Zemi (obr. 1) je dána množstvím energie, která na zemský povrch dopadá a je jím pohlcena. Asi jedna třetina této energie přichází ve formě slunečního záření a zbylé dvě třetiny ve formě vyzařování (sálání) atmosféry směrem k povrchu Země, tj. skleníkového efektu atmosféry.



Obr. 2. Vývoj oteplujícího, resp. ochlazujícího vlivu lidských a přirozených faktorů na klima znázorněný jejich radičním působením a vývoj globální teplotní odchylky (modrá čára, osa vpravo) vůči období 1850–1900.

(zdroj: <http://www.columbia.edu/~mhs119/Forcings/> a <https://www-users.york.ac.uk/~kdc3/papers/coverage2013/series.html>)

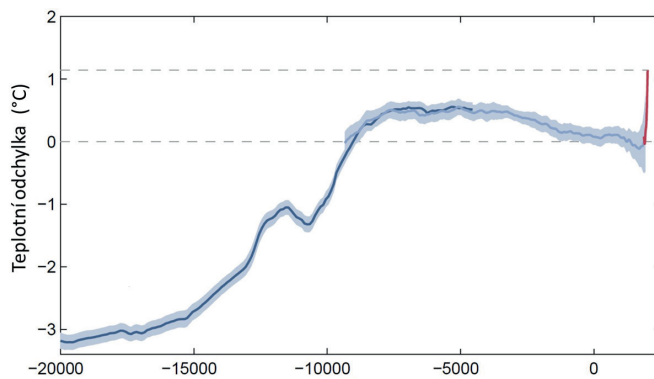
Počasi je okamžitý stav atmosféry charakterizovaný souhrnem hodnot meteorologických prvků a atmosférickými jevy v určitém místě a čase. Jednotlivé extrémní události (povodně, vichřice, sucha) jsou projevem proměnlivosti počasí. Tyto události nelze jednoznačně připisovat klimatické změně. Ta se však může projevovat dlouhodobou změnou v četnosti a intenzitě extrémů.

Klima (podnebí) je statistickým souborem stavů, kterými prochází klimatický systém za delší časové období (typicky několik desetiletí). Velmi zjednodušeně řečeno je to charakteristické počasí na daném místě.

Klimatický systém Země zahrnuje atmosféru, hydrosféru, kryosféru, biosféru a svrchní část litosféry (zvláště pedosféru). Jednotlivé složky jsou vzájemně provázány a v různých časových i prostorových měřítkách mezi nimi neustále probíhají fyzikální, chemické a také biologické procesy projevující se výměnou energie a hmoty.

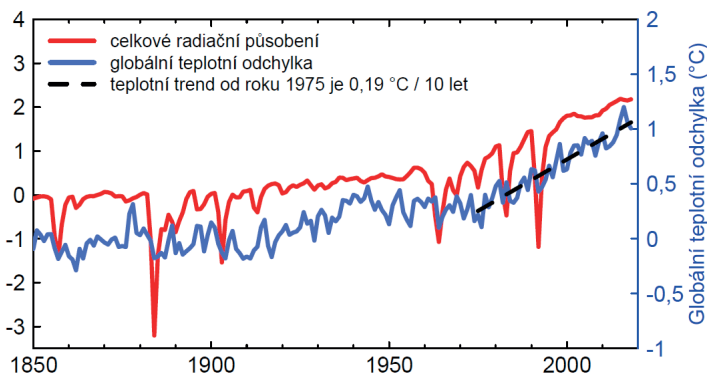
Klimatický systém se vyznačuje vnitřní proměnlivostí, která je vyvolána složitými vazbami mezi složkami klimatického systému. Příkladem může být jev El Niño. Na rozdíl od klimatických změn s jasným vývojovým trendem se jedná o projevy kolísání klimatu.

Klimatickou změnou rozumíme změnu stavu klimatického systému Země, která je spojena se změnou jeho energetické bilance v důsledku změn klimato-tvorných faktorů. Projevuje se jako dlouhodobá změna (trend) meteorologických veličin (např. teploty vzduchu, srážek, rychlosti větru) a z nich odvozených klimatologických charakteristik (např. počtu tropických dnů, dnů se sněhovou pokrývkou).



Obr. 1. Vývoj globální teploty od poslední doby ledové. Červená čára znázorňuje prudký nárůst globální teplotní odchylky oproti 19. století (o $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ během sto let 1920–2019).

(zdroj: Science 339, č. 6124: 1198–1201. <https://doi.org/10.1126/science.1228026> a Nature 484, č. 7392: 49–54. <https://doi.org/10.1038/nature10915>)



Obecné projevy současné klimatické změny

PRIMÁRNÍ PROJEVY

- změny hodnot meteorologických prvků a klimatologických charakteristik (zejména nárůst teplotních průměrů a častější výskyt teplotních extrémů, sucha a povodně)
- změny stavu složek klimatického systému (zejména chemismu atmosféry a teplot v oceánech)

SEKUNDÁRNÍ PROJEVY

- změny v biosféře (např. dřívější nástup vegetační sezony, změna vitality)
- změny v kryosféře (např. tání ledovců a mořského ledu)
- změny v hydrosféře (např. zvyšování hladiny oceánů a jejich okyselování)

JEDNÁNÍ ČLOVĚKA

- mezinárodní úmluvy ve vztahu ke klimatu
- mitigační opatření (zmirňování klimatické změny, zejména snižování emisí skleníkových plynů)
- adaptační opatření (přizpůsobování se změnám)
- migrace obyvatelstva z postižených oblastí

Skleníkový efekt atmosféry, tedy vyzařování části energie pohlcené atmosférou směrem k zemskému povrchu, je přirozený jev. Navyšuje globální teplotu na Zemi o cca 33 °C na průměrných cca 15 °C před počátkem současné klimatické změny, a tím činí Zemi obyvatelnou.

Energie klimatického systému Země pochází ze slunečního záření. Slunce má vysokou povrchovou teplotu 5,5 tis. °C, proto vydává především krátkovlnné záření. Zemský povrch společně s atmosférou asi dvě třetiny přicházejícího slunečního záření pohlcují a zbytek odrážejí. Zemský povrch i atmosféra ovšem energii také vyzařují. Protože je však jejich teplota výrazně nižší, vydávají na rozdíl od Slunce záření dlouhovlnné.

Zatímco krátkovlnné sluneční záření atmosféra pohlcuje jen málo, většina dlouhovlnného záření ze zemského povrchu je v atmosféře pohlcována tzv. radiačně aktivními (skleníkovými) plyny, zejména vodní párou, oxidem uhličitým, metanem, ozonem, oxidem dusným. Jejich molekuly v závislosti na teplotě vzduchu energii také vyzařují. A protože nižší vrstvy atmosféry jsou teplejší, převažuje vyzařování atmosféry směrem dolů k zemskému povrchu.

Dlouhovlnné záření pohlcují a vyzařují i kapičky a krystalky vody v oblacích, ale krátkovlnné sluneční záření odrážejí. Různé druhy oblačnosti tedy mohou ve výsledku celkové množství energie dopadající na zemský povrch zvyšovat nebo snižovat.

Vliv oxidu uhličitého (CO₂) na teplotu Země propočítal Svante Arrhenius již koncem 19. století. Odhalil, že spalování fosilních paliv povede k zesilování skleníkového efektu atmosféry, a tudíž k oteplování.

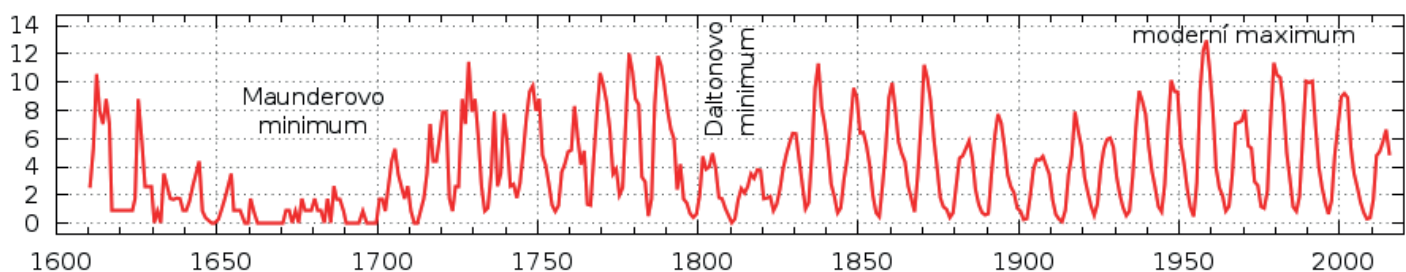
Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře je nízká. I nejběžnějšího skleníkového plynu – vodní páry – není nikde v atmosféře více než 3 % (v chladném vzduchu je jí ještě řádově méně), CO₂ je „jen“ 0,04 % (přítom na celkovém skleníkovém efektu se podílí asi jednou čtvrtinou) a metanu je ještě asi 200krát méně. **Přes toto nízké až „stopové“ zastoupení skleníkových plynů atmosféra příkon energie na zemský povrch zvyšuje na trojnásobek.** Tedy i relativně malá změna koncentrace těchto plynů má citelné důsledky.

Produkcí skleníkových plynů spojenou s činností člověka (zejména CO₂, metanu, oxidu dusného a některých umělých sloučenin) dochází **k zesilování skleníkového efektu.**

JAKÝ JE VLIV ASTRONOMICKÝCH CYKLŮ ZEMĚ A SLUNEČNÍ AKTIVITY?

- V geologické minulosti Země docházelo neustále ke změnám klimatu, a to vlivem působení přirozených klimatotvorných faktorů, které jsou součástí klimatického systému a přirozeného vývoje Země.
- **Střídání dob ledových a meziledových ve čtvrtohorách** (posledních 2,6 mil. let) je příkladem vlivu přirozených faktorů. Tehdejší oteplování a ochlazování bylo vyvoláno astronomickými cykly Země, konkrétně cyklickými změnami oběžné dráhy Země a polohy zemské osy vůči ní. Způsobovaly dlouhodobé změny v letním oslunění vysokých severních šířek s důsledky řady vazeb významně ovlivňujících stav a projevy klimatického systému Země, zejména odrazivost zemského povrchu, mořské proudy či toky oxidu uhličitého mezi oceánem a atmosférou.
- **Astronomické cykly Země** však se současnou klimatickou změnou nesouvisí, a to z několika důvodů. Především probíhají ve zcela jiném časovém měřítku než současná klimatická změna (desítky tisíc let vůči desítkám let, viz obr. 1). Navíc, excentricita (výstřednost) oběžné dráhy Země je nyní tak malá a nadále klesající, že vliv precese (krouživého pohybu zemské osy) na oslunění vysokých šířek je nevelký. Spolu se zmenšujícím se náklonem zemské osy působil v posledních tisíciletích ochlazování.
- **Sluneční aktivita** se projevuje mj. množstvím slunečních skvrn, které kolísá zhruba v jedenáctiletém cyklu. S nimi souvisí i změna zářivého výkonu Slunce. Hodnoty maxim se nepravidelně mění a minima odpovídají stavu, když na Slunci téměř žádné skvrny nejsou (obr. 3). Rozdíl mezi příkonem energie na Zemi v období maxima slunečních skvrn oproti jejich minimu je asi 0,1 W/m², což je změna o řád menší, než činí nynější přebytek příjmu energie Zemí oproti výdeji do vesmíru vlivem zesíleného skleníkového efektu atmosféry.
- **Zářivý výkon Slunce** v posledních staletích mírně narůstal, což znázorňuje rekonstrukce sluneční aktivity na obr. 3. Tento nárůst mohl mít určitý oteplovací vliv. Od roku 1960 zářivý výkon Slunce klesá. Ale jak již bylo uvedeno, změna výkonu Slunce současně klima významně neovlivňuje, oproti současnému vlivu nárůstu skleníkových plynů je nevýznamná.

Obr. 3. Průměrný počet skupin slunečních skvrn pro roky 1610–2015.



(zdroj: Solar Physics 291, č. 9: 2653–84., <https://doi.org/10.1007/s11207-015-0815-8>)

PROJEVY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ÚZEMÍ ČR

- Na území ČR je doložen nárůst teploty vzduchu a počtu tropických a letních dnů, úbytek sněhové pokrývky a větší výskyt extrémních projevů počasí, zejména epizod sucha. To vše má převažující negativní důsledky pro celou společnost – v nepohodlí i zdraví obyvatelstva a v ekonomice, zejména v resortech zemědělství a lesnictví.

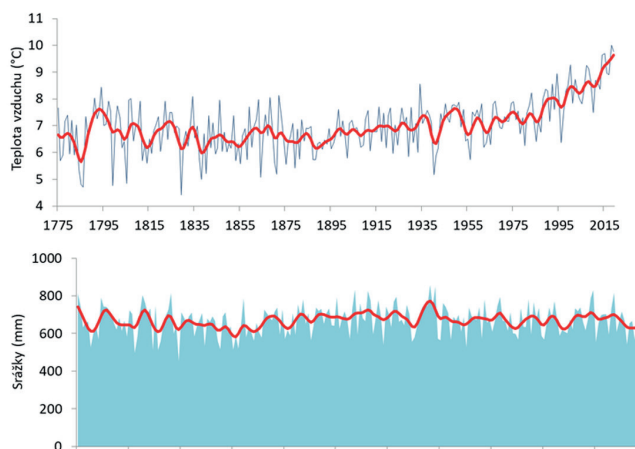
Průměrná roční teplota vzduchu se v období 1961–2018 zvyšovala v průměru o 0,34 °C za 10 let (obr. 4), a to nejvýrazněji v létě. Prodloužila se délka vegetačního období.

Množství srážek se z dlouhodobého hlediska významně nemění, ale za posledních pět let (2015–2019) činí jejich deficit téměř jeden roční úhrn (v průměru 418 mm). Vlivem oteplování ještě více vláhly nyní chybí do vyrovnaného stavu s výparem, a to 820 mm, tedy 820 litrů vody na m². Mění se charakter srážek směrem ke krátkodobějším intenzivnějším srážkám s rizikem přívalových povodní a delším epizodám bez významného deště. Zimy jsou mírnější s menším množstvím sněhu.

Nárůst počtu a intenzity epizod sucha je důsledkem měnícího se charakteru srážek a rychlejšího výparu vody z krajiny vlivem vyšší teploty vzduchu a delšího vegetačního období. Dochází tak např. k poklesu množství povrchových vod a hladiny podzemních vod, poklesu výnosů zemědělských plodin, rozpadu zejména smrkových porostů, nárůstu četnosti výskytu lesních požárů.

Lze nalézt i některé pozitivní dopady, a to přes zcela převažující negativa: začíná se u nás např. více dařit odrudám náročnějším na vyšší teplotu a rozšiřují se areály jejich možného pěstování. Ale i zde jsou pozorována zvýšená rizika (především škody jarními mrazy).

Obr. 4. Teplota vzduchu (1775–2019) a srážkové úhrny (1803–2019) jako průměrná řada pro Českou republiku (roční hodnoty, červené desetiletý klouzavý průměr).



(zdroj: Theoretical and Applied Climatology 110, č. 1: 17–34.
<https://doi.org/10.1007/s00704-012-0604-3>.)

Klimatické modely jsou jedním ze základních nástrojů výzkumu v soudobé klimatologii a používají se k simulaci budoucího klimatu. Jejich spolehlivost je založena na systému výpočtů fyzikálních procesů probíhajících v klimatickém systému Země využívajících meteorologická a klimatologická pozorování nashromážděná po celé Zemi od historických dob až po dnešek.

Globální klimatické modely jsou komplexnější a výpočetně významně náročnější, svými výpočty pokrývají celou Zemi.

Regionální klimatické modely se omezují na vybranou část zemského povrchu, např. střední Evropu, avšak jejich popis lokálních a regionálních rysů je významně podrobnější.

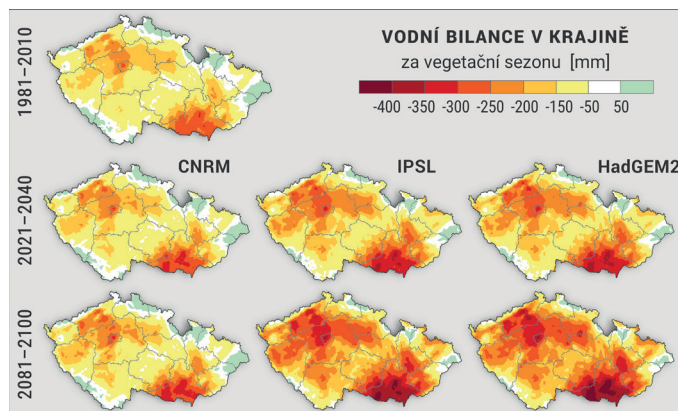
OČEKÁVANÉ PROJEVY

Podle reprezentativní sady regionálních klimatických modelů (EURO-CORDEX) se bude intenzita pozorovaných projevů probíhající klimatické změny v následujících desetiletích zvyšovat. Dle nejpravděpodobnějšího scénáře emisí skleníkových plynů se území ČR do poloviny století oteplí v průměru o 2 °C oproti průměru období 1981–2010. Roční srážkové úhrny budou narůstat jen mírně až stagnovat. Mírný nárůst srážek se předpokládá v zimních měsících, v nižších a středních polohách však budou většinou dešťové. V létě naopak modely očekávají pokles množství srážek. V kombinaci s vyšší teplotou to povede mj. ke zvyšování výparu vody dostupné v krajině, a tedy ke značnému riziku častějších a delších epizod sucha. Postižen bude zvláště jihovýchod ČR s výraznými riziky v podobě zásadního zhoršení zemědělské produkce a podmínek růstu lesa.

Četnost výskytu tropických dnů a epizod veder, které mají výrazný dopad na podobu naší krajiny i lidský organismus (od pouhého nepohodlí po fatální zdravotní komplikace), rovněž poroste. Např. v období 2021–2040 můžeme očekávat nárůst četnosti tropických dnů o 25 %, a do poloviny století dokonce dosažení nárůstu až o 75 % oproti dlouhodobému průměru 1981–2010.

Počet dnů s významnými srážkami (1 mm a více) se příliš nezmění. Ale počet dní se srážkami alespoň 10 mm v budoucnu statisticky významně poroste. Od poloviny století modely ukazují statisticky významný nárůst dnů s extrémními srážkami nad 50 mm, tedy nárůst rizika přívalových povodní.

Obr. 5. Průměrná vodní bilance v krajině (srážky minus potenciální výpar) za vegetační období 1981–2010 a predikce 2021–2040 a 2081–2100 na základě více klimatických modelů (CNRM – teplý a vlhký odhad; IPSL – střední odhad; HadGEM2 – teplý a suchý odhad) dle emisního scénáře RCP 4.5.



(zdroj: www.klimatickazmena.cz)

OBEČNÁ DOPORUČENÍ

- Při řešení zmírňování příčin klimatické změny a jejich možných dopadů a adaptací na ně vždy vycházejte z nejnovějších vědeckých poznatků a nepodléhat nejrůznějším dezinterpretacím.
- Mezi kritéria vhodných opatření zahrnout komplexnost, jejich vzájemné pozitivní a negativní působení i hledisko očekávaného budoucího vývoje. Ve výzkumném sektoru jsou nástroje či potenciál k vytvoření takových nástrojů, jejichž pomocí je možné vhodná řešení definovat a posoudit. Volba konkrétního řešení však vždy zůstává na rozhodovací sféře.
- Využít situaci jako příležitost uplatnit se v současném progresivním směru ekonomického rozvoje, zejména v nových nízkouhlíkových a udržitelných technologiích.

AVEX je nezávislé expertní stanovisko, které Akademie věd České republiky připravuje pro orgány státu a jeho představitele jako odborný podklad ve věcech veřejných záležitostí.

Odborným garantem stanoviska je Ústav výzkumu globální změny AV ČR – CzechGlobe.

Odpovědná redaktorka: Markéta Růžičková, e-mail: avex@kav.cas.cz, www.avcr.cz/avex

Kontaktní osoba: doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc., e-mail: janous.d@czechglobe.cz