



**Odhad ztráty na výnosech zemědělských plodin v důsledku působení
ozonu v současnosti a v období 2030 až 2050 na území Jihomoravského kraje**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Vyhotoveno: **květen 2016**

Zpracoval: **Doc. Ing. Miloš Zapletal, Dr., EKOTOXA s.r.o.**

OBSAH

| | |
|---|----|
| OBSAH | 2 |
| 1 ROZŠÍŘENÝ ABSTRAKT ZA DÍLČÍ AKTIVITU | 3 |
| 2 ÚVOD | 4 |
| 3 POUŽITÉ METODY a datové zdroje | 6 |
| 3.1 Expoziční index AOT40 | 6 |
| 3.2 Prostorová distribuce expozičního indexu AOT40 | 7 |
| 3.3 Ztráta na výnosu pšenice..... | 7 |
| 4 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ..... | 8 |
| 4.1 Prostorová distribuce expozičního indexu AOT40 | 8 |
| 4.2 Ztráta na výnosu pšenice..... | 9 |
| 4.3 Vliv snížení emisí prekurzorů ozonu na koncentrace ozonu v letech 2030 až 2100 v Evropě a ve světě | 10 |
| 4.4 Projekce snížení emisí NO _x a VOCs v České republice | 13 |
| 4.5 Biogenní emise těkavých organických látek (BVOC _s)..... | 15 |
| 4.6 Současné trendy koncentrace ozonu v Evropě | 16 |
| 4.7 Budoucí trendy koncentrace ozonu v Evropě | 16 |
| 5 ZÁVĚR..... | 17 |
| 6 POUŽITÁ LITERATURA..... | 18 |
| 7 SEZNAM OBRÁZKŮ | 23 |
| 8 SEZNAM TABULEK..... | 23 |
| 9 POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY | 23 |
| 10 PŘÍLOHY ZPRÁVY K DÍLČÍ AKTIVITĚ | 25 |

1 ROZŠÍŘENÝ ABSTRAKT ZA DÍLČÍ AKTIVITU

Poškození zemědělských plodin způsobené přízemním O_3 dosahuje významných hospodářsky rozměrů v různých zemích světa (Evropa, USA, Mexiko, Indie atd.) (Mills et al., 2007; Van Dingenen et al., 2009; Avnery et al., 2011). V těchto zemích byly prokázány ztráty na výnosech zemědělských plodin (Van Dingenen et al., 2009; Avnery et al., 2011). Negativní účinky ozonu na výnosy kulturních rostlin byly uznány také v Evropské unii (EU) (EP, 2002). Pro posouzení účinků ozonu na pšenici v Jihomoravském kraji byl použit kvantitativní vztah mezi expozičním indexem AOT40 a odezvou plodin při běžných podmínkách pro stanovení ztráty na výnosu pšenice vlivem ozonu v roce 2008. Pole hodnot expozičního indexu AOT40 v síti 1x1 km bylo vytvořeno interpolací celkových odpoledních hodnot AOT40 násobených regresí poměru celkových denních hodnot AOT40 a celkové odpolední hodnoty AOT40 s nadmořskou výškou na vybraných stanicích ČHMÚ (ČHMÚ, 2008) na území Jihomoravského kraje (Coyle et al., 2002; Zapletal, Chrouet, 2007) s následnou interpolací reziduí metodou ordinary kriging. Kritická úroveň $6\ 000\ \mu\text{g}\ \text{m}^{-3}\ \text{h}$ pro úrodu a vegetaci byla v roce 2008 překročena na celém území Jihomoravského kraje. Byla vypočtena relativní ztráta na výnos pšenice vlivem působení přízemního ozonu podle empirického vztahu (Mills et al., 2007) v síti 1x1 km na území Jihomoravského kraje pro rok 2008. Průměrná hodnota ztráty na výnosu pšenice na území Jihomoravského kraje v roce 2008 byla 13,9 %. Minimální hodnota ztráty na výnosu pšenice vlivem působení přízemního ozonu byla 12,1 %, maximální hodnota ztráty na výnosu pšenice byla 16,3%.

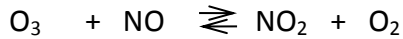
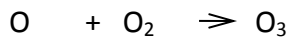
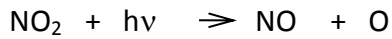
Na základě scénáře RCP4.5 vývoje emisí prekurzorů ozonu v Evropě, podrobné rešerše publikovaných výsledků predikce emisí prekurzorů ozonu v Evropě a emisní projekce nejvýznamnějších prekurzorů ozonu v ČR pomocí modelu GAINS (MŽP, 2015) byl odhadnut vývoj koncentrace ozonu v období 2030 až 2050 v Evropě a ČR. Následně bylo odhadnuto pravděpodobné snížení ztráty na výnosu pšenice v Jihomoravském kraji v letech 2030 až 2050.

V rámci evropských a národních projekcí snižování emisí prekurzorů O_3 se sice předpokládá významné snížení prekurzorů ozonu (zejména NO_x a těkavých organických látek), ale vzhledem k odlišným trendům snižování koncentrace ozonu na různých místech v Evropě, ne zcela jasným trendům vývoje emisí biogenních těkavých organických látek meziročními změnami koncentrace ozonu vlivem meteorologických situací, spalování biomasy, extrémními ozonovými epizodami a suchem, je obtížné předpovědět vývoj koncentrace ozonu na území Jihomoravského kraje v období 2030 až 2050 a následně odhadnout ztráty výnosu pšenice působením přízemního ozonu. V případě, že se hodnoty expozičního indexu AOT40 v Jihomoravském kraji v letech 2030 až 2050 budou nižší než hodnota kritické koncentrace, může dojít k určitému snížení ztráty výnosu pšenice pod průměrnou hodnotu cca 14 %, která byla odhadnuta pro rok 2008.

2 ÚVOD

Troposférický ozon (O_3) je v ovzduší produkován řadou fotochemických procesů. Tvorba O_3 je především výsledkem oxidace těkavých organických sloučenin (VOCs - Volatile Organic Compounds) iniciované slunečním zářením za přítomnosti oxidů dusíku ($NO_x = NO$ a NO_2). NO_x a VOC_s jsou prekursory vzniku troposférického ozonu. Dalšími významnými prekursory jsou rovněž metan (CH_4) a oxid uhelnatý (CO).

Ozon je jedním z nejsilnějších oxidačních činidel. Ozon v přízemní vrstvě v menším množství vzniká fotolýzou kyslíku. V troposféře se tvoří převážná část O_3 nepřímo účinkem slunečního záření na NO_x v přítomnosti VOCs. Neexistují žádné významné přímé antropogenní emise O_3 do ovzduší. Procesy produkující a spotřebovávající O_3 , které zahrnují absorpci slunečního záření NO_2 , mohou být charakterizovány těmito reakcemi:



Přítomnost hydroxylových radikálů a VOCs v ovzduší, ať původu přírodního, nebo antropogenního, způsobuje posun rovnováhy ve prospěch mnohem vyšších koncentrací O_3 . K těkavým organickým látkám patří C6 - alkeny, aldehydy, ketony, různé estery a chlorované uhlovodíky. Mnohé z nich jsou obsaženy ve výfukových plynech spalovacích motorů a emisích různých chemických výroby, v čisticích prostředcích a rozpouštědlech. Kromě O_3 jsou fotochemickými procesy tvořeny také další oxidanty, např. kyselina dusičná, peroxid vodíku, dále sekundární aldehydy atd.

Maximální koncentrace O_3 , která může být ve znečištěném ovzduší dosažena, pravděpodobně závisí nejen na absolutních koncentracích těkavých VOCs a NO_x , ale rovněž na jejich poměru. Protože poměry koncentrací VOCs ke koncentracím NO_x v ovzduší hustě osídleného a silně industrializovaného území obvykle příliš nemění, jsou meteorologické podmínky na tomto území hlavním faktorem, který určuje rychlost fotochemických procesů (Grennfeld, 1984). Poškození vegetace ozonem bylo poprvé pozorováno ve 40. letech v oblasti kolem Los Angeles. Od té doby je přízemní O_3 považován (pokud se vyskytuje ve vysokých koncentracích) za nejvýznamnější fytotoxickou škodlivinu v ovzduší. Rostliny reagují na zvýšenou koncentraci zvláště citlivě, přičemž dochází jak k chronickým, tak akutním poškozením. Přízemní O_3 je považován za jeden z významných faktorů, které se podílejí na syndromu novodobého odumírání lesů.

Poškození zemědělských plodin způsobené přízemním O_3 dosahuje významných hospodářsky rozměrů v různých zemích světa (Evropa, USA, Mexiko, Indie) (Mills et al., 2007; Van Dingenen et al., 2009; Avnery et al., 2011). V těchto zemích byly prokázány ztráty na výnosech zemědělských plodin (Van Dingenen et al., 2009; Avnery et al., 2011). Negativní

účinky O₃ na výnosy kulturních rostlin byly uznány v Evropské unii (EP, 2002). Pro účinků ozonu na pšenici v Jihomoravském kraji byl použit kvantitativní vztah mezi indexem AOT40 a odezvou plodin při běžných podmínkách pro stanovení ztráty na pšenice vlivem ozonu v roce 2008. Na základě scénáře RCP4.5 vývoje emisí prekurzorů ozonu v Evropě, podrobné rešerše publikovaných výsledků predikce emisí prekurzorů ozonu v Evropě a emisní projekce nejvýznamnějších prekurzorů ozonu v ČR pomocí modelu GAINS (MŽP, 2015) byl odhadnut vývoj koncentrací ozonu v období 2030 až 2050 v Evropě a ČR. Následně bylo odhadnuto pravděpodobné snížení ztráty na výnosu pšenice v Jihomoravském kraji v letech 2030 až 2050.

3 POUŽITÉ METODY A DATOVÉ ZDROJE

3.1 EXPOZIČNÍ INDEX AOT40

Kumulativní expozice ozonem AOT40 se počítá jako suma diferencí mezi hodinovou koncentrací ozonu a prahovou úrovní 80 µg.m⁻³ (40 ppb) pro každou hodinu, kdy byla překročena tato prahová hodnota. Podle Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států v rámci Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (UN ECE CLRTAP) (CLRTAP, 2011) se AOT40 počítá v období od dubna do září pro denní hodiny, kdy globální záření ≥ 50 W m⁻²:

$$AOT40 = \sum [([O_3]_i - 40)] \Delta t$$

∀ [O₃] > 40 ppb ∀ Glob. zář. ≥ 50 W / m²

Kritická úroveň pro úrodu a vegetaci je 3 ppm h (6000 µg m⁻³ h).

3.2 PROSTOROVÁ DISTRIBUCE EXPOZIČNÍHO INDEXU AOT40

Pole hodnot expozičního indexu AOT40 v síti 1x1 km bylo vytvořeno interpolací celkových odpoledních hodnot AOT40 násobených regresí poměru celkových denních hodnot AOT40 a celkové odpolední hodnoty AOT40 s nadmořskou výškou na vybraných stanicích ČHMÚ (ČHMÚ, 2008) na území Jihomoravského kraje (Coyle et al., 2002; Zapletal, Chrouet, 2007) s následnou interpolací reziduí metodou ordinary kriging. Tento přístup je optimální z hlediska celkové spolehlivosti pole hodnot AOT40. Zahrnutí orografie do dat pro modelování koncentrací ozonu uvádí Loibl et al. (1994). Zahrnutí výškové proměnlivosti v koncentracích O₃ do procesu interpolace s nelineárním algoritmem popisuje Fowler et al. (1995). Metody rozvíjené pro zahrnutí účinků topografie do map venkovských průměrných imisních koncentrací jsou uvedeny v publikaci PORG (1997) a výchozí teorie je vyzkoušena v práci Coyle et al. (2002). Odpolední průměrné koncentrace ozonu (koncentrace v průběhu od 11. do 17. hodiny koordinovaného světového času) na venkovských monitorovacích stanicích byly interpolovány metodou ordinary kriging, která poskytla data v čtvercové síti 1 x 1 km. Byly vypočteny hodnoty Δ AOT40 jako rozdíl mezi AOT40 v průběhu periody od 11. do 17. hodiny koordinovaného světového času a denními AOT40. Tyto hodnoty byly vztaženy k nadmořským výškám monitorovacích stanic.

3.3 ZTRÁTA NA VÝNOSU PŠENICE

Relativní výnos pšenice (Mills et al., 2007):

$$RY = -0.0161 * AOT40 + 0.99$$

kde RY je relativní výnos ve srovnání s teoretickým výnosem bez působení O₃, který způsobuje ztrátu výnosu, AOT40 je expoziční index.

Relativní ztráta na výnosu RYL:

RYL= 1 – RY

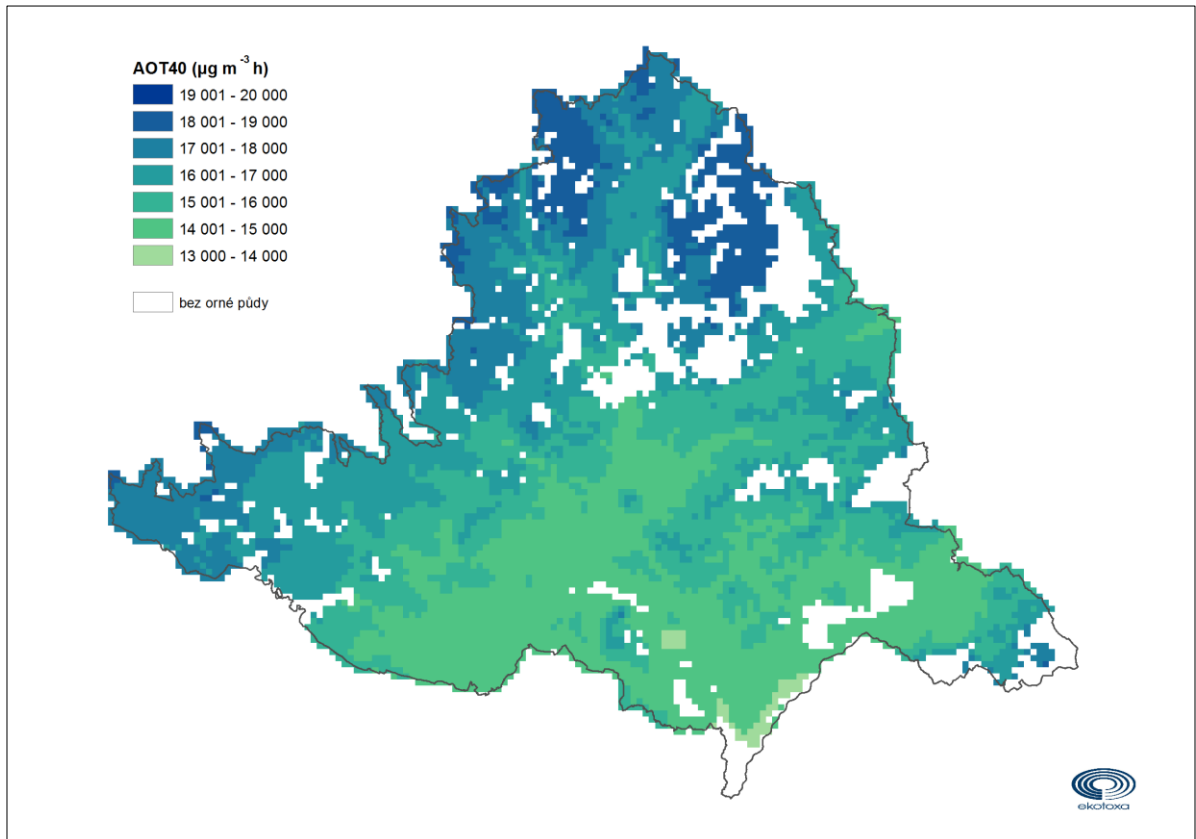
4 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

4.1 PROSTOROVÁ DISTRIBUCE EXPOZIČNÍHO INDEXU AOT40

Koncentrace ozonu obecně rostou s nadmořskou výškou, nejvyšších hodnot je dosahováno v horských oblastech. Hodnoty expozičního indexu AOT40 jsou ovlivněny nejen úhrnem emisí prekurzorů O₃ (NO_x, VOCs), ale především meteorologickými podmínkami v období od dubna do září (teplota, srážky, sluneční záření), za které se expoziční index počítá.

Na obr. 1 je zobrazeno pole hodnot expozičního indexu AOT 40 v roce 2008 v $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$. Kritická úroveň 6 000 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ pro ozon (AOT40) pro úrodu a vegetace byla v roce 2008 překročena na celém území Jihomoravského kraje.

Obrázek 1: Pole hodnot expozičního indexu AOT40 v roce 2008 v $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$.

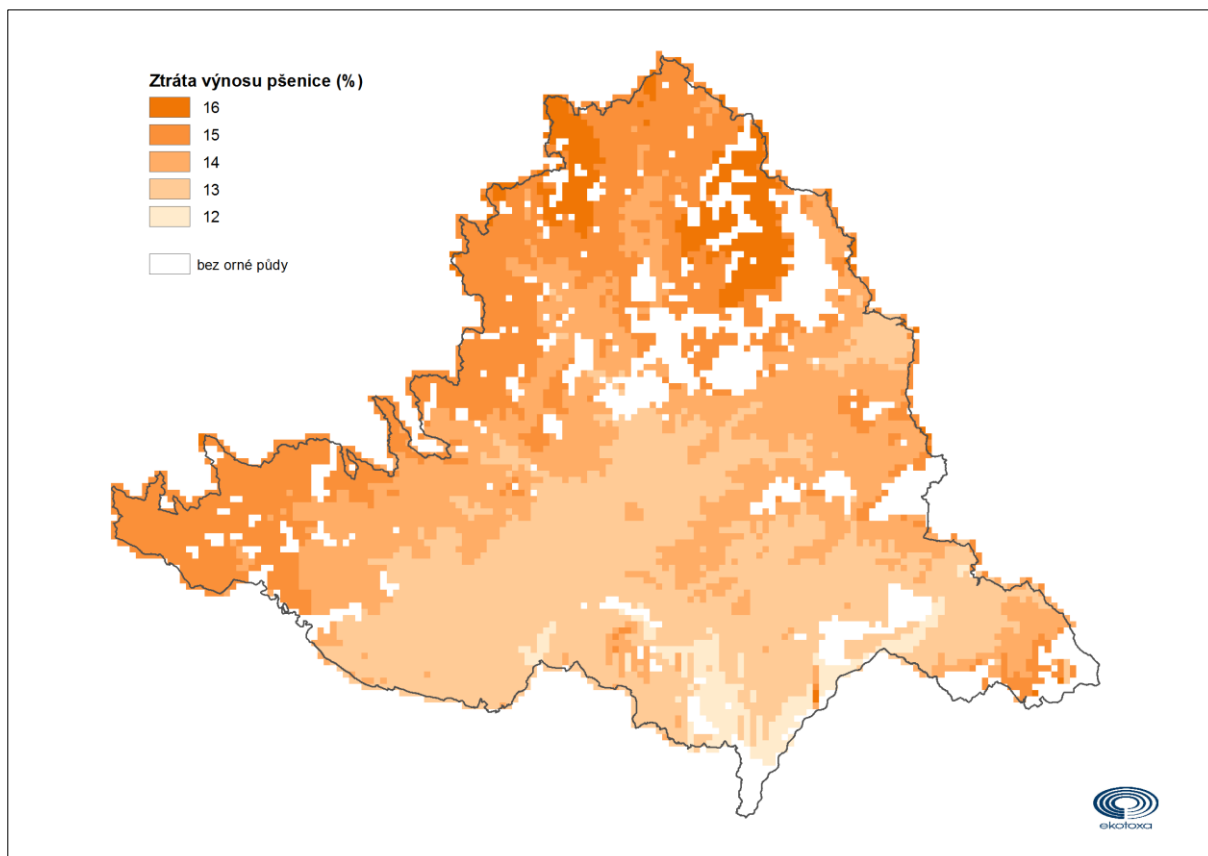


Zdroj: Zdrojová data o koncentraci ozonu – ISKO (ČHMÚ, 2008)

4.2 ZTRÁTA NA VÝNOSU PŠENICE

Na obr. 2 je zobrazeno pole hodnot ztráty na výnosu pšenice v roce 2008 v % vlivem působení ozonu. Průměrná hodnota ztráty na výnosu pšenice na území Jihomoravského kraje v roce 2008 byla 13,9 %. Minimální ztráta na výnosu pšenice vlivem působení přízemního O_3 na území Jihomoravského kraje v roce 2008 byla 12,1 %, maximální ztráta na výnosu pšenice byla 16,3%.

Obrázek 2: Pole hodnot ztráty na výnosu pšenice vlivem působení O₃ v roce 2008 v %.



4.3 VLIV SNÍŽENÍ EMISÍ PREKURZORŮ OZONU NA KONCENTRACE OZONU V LETECH 2030 AŽ 2100 V EVROPĚ A VE SVĚTĚ

Emisní scénáře aplikované Mezivládním panelem pro klimatické změny předpokládají, že na konci 21. století se bude průměrná koncentrace troposférického O₃ na pozadí měnit od minus 12 % do plus 62 %, průměrná teplota vzroste v intervalu mezi 1.4 a 5.8 °C, koncentrace oxidu uhličitého (CO₂) vzroste na 540 až 970 ppb, rozložení srážek se bude globálně měnit a četnost extrémních událostí bude narůstat

Matematicko-statistické modelování

(IPCC, 2001). Vingarzan (2004), který použil odlišné scénáře IPCC, předpovídá globální koncentraci O_3 na pozadí od 40 do 80 ppb. Vysoká prostorová a časová proměnlivost koncentrace O_3 způsobuje, že je obtížné stanovit s vysokou spolehlivostí dlouhodobé trendy a předpovědi budoucích koncentrací troposférického O_3 . V Evropě průměrná koncentrace přízemního ozonu stoupá a maximální koncentrace klesají (Coyle et al, 2003; Simmonds et al., 2004; Vingarzan, 2004). V budoucnosti budou vysoké koncentrace O_3 pravděpodobně omezeny implementací Protokolu o omezení acidifikace, eutrofizace a přízemního ozonu (UBA, 2004). Celkový vliv klimatických změn na depoziční tok O_3 je obtížné předpovědět a bude záviset například na geografickém rozložení vegetace, síly a načasování oteplení a jejich vlivu na vodní potenciál půdy, fenologii rostlin, růstové období, vývoj rostlinného zápoje a index listové plochy. Rostliny často mají optimální teplotní rozpětí pro stomatální vodivost a mohou se aklimatizovat na teplo v závislosti na lokálních přírodních podmínkách. Existuje málo empirických dat o vzájemném působení O_3 a tepla na vegetaci (Harmens et al., 2007).

Podle Zapletala et al. (2012) přístup založený na toku O_3 předpovídá omezení absorbované dávky O_3 v podmínkách klimatické změny a pokles překročení kritické fytotoxické dávky pro O_3 , přístup založený na koncentraci O_3 předpovídá vzrůst překročení kritické koncentrace. V období ovlivněném klimatickou změnou můžeme předpokládat snížení celkového toku O_3 do rostlinného zápoje v důsledku snížení stomatálního toku O_3 , což pravděpodobně povede ke zvýšení koncentrace O_3 v atmosféře, a tím ke zvýšení hodnoty indexu AOT40.

Vliv klimatické změny na index AOT40 byl hodnocen v práci Langer et al. (2005), kde je pro vegetační období duben až září předpovězeno zvýšení hodnoty indexu AOT40 a zvýšení hodnot průměrných denních maximálních koncentrací O_3 nad střední Evropou podle scénářů klimatické změny. Harmens et al. (2007) rovněž předpovídá pro vegetační období na konci 21. století zvýšení hodnot indexu AOT40 a snížení kumulovaného stomatálního toku O_3 nad kritickou hodnotou $6 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ u pšenice ve střední Evropě podle klimatického scénáře se zvýšením hodnot sytostního doplňku.

Některé starší výzkumy tedy naznačují, že změna klimatu pravděpodobně zvýší O_3 v celé Evropě (Demuzere et al., 2009), a to více na jihu než na severu (Andersson, 2010). Starší studie braly v úvahu konstantní emisí prekurzorů O_3 , nicméně emise prekurzorů O_3 v Evropě budou pravděpodobně klesat, a to jak v důsledku stávající mezinárodní legislativy, ale také v nepřímém důsledku snahy o snížení emisí CO_2 (Rafaj et al., 2013). Je obtížné odhadnout vývoj emisí prekurzorů O_3 v průběhu tohoto století, protože to závisí především na neznámých politických rozhodnutích. Byly zpracovány čtyři scénáře reprezentativních směrů vývoje koncentrací O_3 tak, aby reprezentovaly různé možné vývoje globálních emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek do ovzduší (Moss et al., 2010). Použitím druhého nejoptimističtějšího scénáře emise látek znečišťujících ovzduší z RCP 4.5 (Thomson et al., 2011) Langner et al. (2012a) ukázali, že tento scénář poklesu emisí má potenciál významně snížit koncentrace O_3 v celé Evropě a že efekt snížení emise prekurzorů bude mít pravděpodobně mnohem větší vliv na snížení koncentrace O_3 než paralelně probíhající podpora tvorby O_3 změnou klimatu. Klingberg et al. (2014) použili přenosový chemický model Match (Robertson et al., 1999) s emisemi prekurzorů O_3 podle scénáře RCP4 a scénáře pro změnu klimatu IPCC SRES A1B (Nakicenović et al., 2000) kombinovaného k odhadu vlivu klimatických změn a snížení emisí prekurzorů O_3 na odhad budoucího vlivu O_3 na vegetaci v Evropě.

Nedávné studie s globálními CTM s využitím Projekce klimatu a emise látek znečišťujících ovzduší v návaznosti na čtyři RCP scénáře (Young et al., 2013) ukazují na malé (0-2 ppb) snížení koncentrace O_3 na většině území severní polokoule od roku 2000 do roku 2030. Nicméně podle této studie dojde v roce 2100 ke snížení ročních průměrných koncentrací O_3 o 5-10 ppb. Tato zjištění podporují závěry Klingberga et al. (2014), že snížení evropských a globálních emisí prekurzorů O_3 podle scénáře RCP4.5 povedou pravděpodobně k snížení rizika poškození evropské vegetace O_3 mezi roky 2000 a 2050.

Podle základního scénáře IIASA TSAP 2012, který plně uplatňuje stávající omezování omezování znečištění ovzduší podle právních předpisů Evropské unie, emise NO_x budou sníženy o více než 65% a emise VOCs klesnou o 40% v zemích EU-27 do roku 2030 ve srovnání s rokem 2005 (Amann, 2012). V letech 2030 až 2050 budou emise podle tohoto scénáře více méně konstantní. To naznačuje, že v první polovině století bude pokles emisí látek znečišťujících ovzduší podle scénáře RCP4.5 ve skutečnosti menší než předpokládá stávající implementovaná legislativa ochrany ovzduší.

Klingberg et al. (2014) uvádějí, že koncentrace O₃ v Evropě v roce 2050 budou podstatně menší než koncentrace O₃ podle scénářů IPCC SRES A1B, A2 a B2 v rámci všech čtyř scénářů RCP podle Wilda et al. (2012). RCP4.5 je druhý nejoptimističtější ze všech RCP scénářů týkajících se snižování emisí prekurzorů O₃. Klingberg et al. (2014) prokázali, že v případě uplatňování přijatých opatření snižování znečištění ovzduší, je možné významně snížit negativní dopady O₃ na vegetaci v ne příliš vzdálené budoucnosti.

Významné, ale zároveň realistické, snížení emisí látek znečišťujících ovzduší popsané v scénáři RCP4.5 má potenciál výrazně snížit expozici rostlin O₃ v Evropě. V rozsáhlých územích by měl index AOT40 klesnout pod kritické úrovně používané pro ochranu vegetace v právních předpisech EU, jakož i kritických úrovní použitých v LRTAP konvenci.

4.4 PROJEKCE SNÍŽENÍ EMISÍ NO_x A VOCS V ČESKÉ REPUBLICCE

Základními projekcemi znečišťování připravovanými na úrovni EU jsou projekce generované komplexním modelem GAINS75. Pro revizi Tematické strategie EU k znečišťování

ovzduší byla v roce 2013 formulována sada scénářů, zahrnující 3 hlavní scénáře modelu GAINS (MŽP, 2015):

- základní scénář vycházející ze současné evropské legislativy (PRIMES 2013 REF-CLE) pro roky 2015, 2020, 2025 a 2030 (dále jen „CLE“),
- scénář vycházející z maximálního technicky dosažitelného snížení emisí k roku 2025 (PRIMES 2013 REF-MFR-2025); dále jen „MFR-2025“,
- scénář vycházející z maximálního technicky dosažitelného snížení emisí k roku 2030 (PRIMES 2013 REF-MFR-2030); dále jen „MFR-2030“.

Projekce modelu GAINS (scénář PRIMES 2013 REF-CLE) predikuje procentní hodnoty snížení emisí mezi roky 2005 a 2020 pro všechny sledované znečišťující látky vyšší než odpovídá závazkům přijatým v rámci Göteborgského protokolu (MŽP, 2015). V tab. 1 jsou uvedeny emisní projekce modelu GAINS pro období do roku 2030 v kt/rok. V tab. 2 jsou uvedeny emisní projekce modelu GAINS pro rok 2030 v kt/rok.

Emisní projekce k roku 2030 podle základního scénáře vycházejícího ze současné evropské legislativy (PRIMES 2013 REF-CLE) uvádí odhad snížení emisí VOCs (% proti r. 2005) o 44 % a odhad snížení emisí NO_x (% proti r. 2005) o 62 %.

Tabulka 1: Emisní projekce modelu GAINS pro období do roku 2030 v kt/rok.

| Emise (kt) | PRIMES 2013 REF-CLE | | | | PRIMES 2013 REF-MFR | |
|-----------------|---------------------|------|------|------|---------------------|------|
| | 2005 | 2020 | 2025 | 2030 | 2025 | 2030 |
| NO _x | 296 | 153 | 130 | 112 | 98 | 83 |
| NM-VOCs | 251 | 157 | 143 | 140 | 73 | 69 |

Tabulka 2: Emisní projekce modelu GAINS pro rok 2030 v kt/rok.

| Emisní projekce k roku 2030 | NO _x | NM-VOCs |
|---|-----------------|------------|
| Vypočítaný národní strop 2030 - Národní projekce (NPSE-WM-CLE) (kt) | 110 | 144 |
| Odhad snížení emisí (% proti r. 2005) | 62 % | 28% |
| Vypočítaný národní strop 2030 – Národní projekce NPSE-MFR (kt) | 79 | 60 |
| Odhad snížení emisí (% proti r. 2005) | 73% | 70% |
| Projekce GAINS: scénář PRIMES 2013 REF-CLE (kt) | 112 | 140 |
| Odhad snížení emisí (% proti r. 2005) | 62 % | 44% |
| Projekce GAINS: scénář Primes2013 REF-MFR-2030 (kt) | 82 | 69 |
| Odhad snížení emisí (% proti r. 2005) | 72 % | 73% |

4.5 BIOGENNÍ EMISE TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK (BVOC_s)

Celosvětově jsou biogenní emise BVOCs daleko vyšší než antropogenní emise VOCs (Arneth et al., 2008). BVOCs hrají důležitou roli pro vznik O₃ (Monks et al., 2009) a pro vznik sekundárního organického aerosolu (Carslaw et al., 2013). I když existuje konsensus o globálních emisích isoprenu (Arneth et al., 2008), odhady emisí pro menší regiony se velmi liší. Role BVOCs a klimatu v tvorbě budoucího O₃ a sekundárního aerosolu je nejasná (Simpson et al., 2014). Klimatické změny mohou být ovlivněny změnou zeleně v mnoha různých oblastech, zejména v boreálních a mírných oblastech (Ahlstrom et al., 2012). Tyto faktory a důsledky změny teploty mohou být v budoucnosti očekávány a mohou podpořit

zvýšení emisí BVOCs, což bylo potvrzeno v mnoha studiích. V těchto studiích je uveden odhad zvýšení emisí BVOCs, čímž se dojde ke zvýšení tvorby O_3 a sekundárního (Simpson et al., 2014).

4.6 SOUČASNÉ TRENDY KONCENTRACE OZONU V EVROPĚ

Vzhledem k podstatnému snížení evropských emisí prekurzorů O_3 v průběhu posledních dvou desetiletí (NO_x o 31%, nemethanové těkavé organické sloučeniny o 46%) (Tørseth et al., 2012) byl pokles koncentrace O_3 očekáván, ale pro mnoho oblastí Evropy nebyl pokles koncentrace O_3 pozorován. Není jasné, zda absenci očekávaných trendů v poklesu koncentrace O_3 lze vysvětlit jinými fyzikálními procesy než vlivem emisí prekurzorů (Simpson et al., 2014). Účinek snížení emisí prekurzorů je maskován velkými meziročními změnami v koncentraci O_3 , způsobenými například meteorologickými faktory nebo spalováním biomasy. Důvodem pro rozdíly mezi studii jsou různě volená časová období, která jsou rozhodující pro odhad trendu (Logan et al., 2012). Publikované výsledky ukazují významné regionální rozdíly v rámci Evropy se silným snížením nejvyšších percentilů ($P > 95$) pro severozápadní Evropu a variabilní výsledky pro některá místa v severní Evropě a velmi malé změny v centrální Evropě (Simpson et al., 2014).

4.7 BUDOUCÍ TRENDY KONCENTRACE OZONU V EVROPĚ

Ačkoli O_3 může mít významné dopady na klimatické změny, jak je uvedeno výše, nedávné modelové studie naznačují nízký nebo omezený dopad klimatických změn na budoucí depozici O_3 a reaktivního dusíku (Langner et al., 2012; Colette et al., 2013). Nicméně zůstává možnost, že budoucí klima může být více extrémní, než se uvažuje v těchto studiích. Potom takové extrémní klima může dramaticky změnit koncentrace O_3 . Rok 2003 představuje jasný příklad s významnými ozonovými epizodami a rozšířeným suchem ve střední Evropě (Solberg et al., 2008). Beniston (2004) simuloval regionální

klima a došel k závěru, že události v roce 2003 mohou být použity jako analogie budoucích budoucích letních období v příštích desetiletích. Zvláště emise BVOCs a NO jsou velmi nejisté. Vliv těchto emisí na změnu klimatu je nejasný. Změny v stratosféricko-troposférické výměně O₃ mohou také ovlivnit budoucí koncentrace O₃, ale nejistoty jsou opět vysoké (Young et al., 2013).

5 ZÁVĚR

V rámci evropských a národních projekcí snižování emisí prekurzorů O₃ se sice předpokládá významné snížení prekurzorů O₃ (zejména NO_x a VOCs), ale vzhledem k různým trendům snižování koncentrace O₃ na různých místech v Evropě, ne zcela jasným trendům vývoje emisí BVOCs a NO, meziročním změnám koncentrace O₃ vlivem meteorologických situací, úloze spalování biomasy, extrémním ozonovým epizodám a suchu, je obtížné předpovědět vývoj koncentrace O₃ na území Jihomoravském kraji v období 2030 až 2050 a následně odhadnout ztráty výnosu pšenice působením přízemního O₃. V případě, že hodnoty expozičního indexu AOT40 v Jihomoravském kraji v letech 2030 až 2050 budou nižší než hodnota kritická koncentrace, může dojít k určitému snížení ztráty výnosu pšenice pod průměrnou hodnotu cca 14 %, která byla odhadnuta pro rok 2008.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- Ahlstrom, A., Schurgers, G., Arneth, A, Smith, B., 2012. Robustness and uncertainty in terrestrial ecosystem carbon response to CMIP5 climate change projections. *Environ. Res. Lett.* 7(4) <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044008>.
- Amann, M., 2012. Future emissions of air pollutants in Europe - Current legislation baseline and the scope for further reductions, TSAP Report #1, Version 1.0, DG-Environment, European Commission, Belgium, produced under Service contract on Monitoring and Assessment of Sectorial Implementation Actions (ENV.C.3/SER/2011/0009) (available at: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/MitigationofAirPollutionandGreenhousegases/TSAP-BASELINE-20120613.pdf>).
- Andersson, C. and Engardt, M., 2010. European ozone in a future climate: Importance of changes in dry deposition and isoprene emissions, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 115, D02303. doi:10.1029/2008JD011690.
- Avnery, S., Mauzerall, D.L., Liu, J., Horowitz, L.W., 2011. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmos. Environ.* 45(13),2284-2296 <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.045>.
- Beniston, M., 2004. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? an analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophys. Res. Lett.* 31,:L02202. [http:// dx.doi.org/10.1029/2003GL018857](http://dx.doi.org/10.1029/2003GL018857).
- Arneth, A., Monson, R.K., Schurgers, G., Niinemets, Ä, Palmer, P.I., 2008. Why are estimates of global terrestrial isoprene emissions so similar (and why is this not so for monoterpenes)? *Atmos. Chem. Phys.* 8(16), 4605-4620. www.atmos-chem-phys.net/8/4605/2008/.
- Carlaw, K.S., Lee, L.A., Reddington, C.L., Pringle, K.J., Rap, A., Forster, P.M. et al., 2013. Large contribution of natural aerosols to uncertainty in indirect forcing. *Nature*, 503(7474),67-71. <http://dx.doi.org/10.1038/nature12674>.

- CLRTAP. 2011. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Available and continuously updated at www.icpmapping.org).
- Colette, A., Bessagnet, B., Vautard, R., Szopa, S., Rao, S., Schucht, S. et al., 2013. European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios. *Atmos. Chem. Phys.* 13(15), 7451-7471. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-13-7451-2013> <http://www.atmos-chem-phys.net/13/7451/2013/>.
- Coyle, M., Smith, R. I., Stedman, J. R., Weston, K. J., Fowler, D., 2002. Quantifying the spatial distribution of surface ozone concentration in the UK. *Atmospheric Environment* 36, 1013–1024.
- Coyle, M., Fowler, D., Ashmore, M., 2003. New directions: Implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation. *Atmospheric Environment* 37 (1), 153-154.
- ČHMÚ, 2008. Informační systém kvality ovzduší. Praha 2008.
- Demuzere, M., Trigo, R. M., Vila-Guerau de Arellano, J., van Lipzig, N. P. M., 2009. The impact of weather and atmospheric circulation on O₃ and PM₁₀ levels at a rural mid-latitude site, *Atmos. Chem. Phys.* 9, 2695–2714, doi:10.5194/acp-9-2695-2009, 2009.
- EP, 2002. Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2002/3/ES ze dne 12. února 2002 o ozonu ve vnějším ovzduší.
- Fowler, D, Smith, R.I., Coyle, M., Weston, K.J., Davies, T.D., Ashmore, M.R. and Brown, M., 1995. Quantifying the fine scale (1 km x 1 km) exposure and effects of ozone. Part 1. Methodology and application for effects on forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 85, 1479-1484.
- Grennfelt, P. (eds.), 1984. Ozone. Proceedings of an international workshop on the evaluation and assessment of the effects of photochemical oxidants on human health, agricultural crops, forestry, materials and visibility: Gothenburg, February 29 – March

- 2, 1984. Gothenburg: Swedish Environmental Research Institute. Document No. IVL-EM 1570.
- Harmens, H., Mills, G., Emberson, L. D., Ashmore, M.R., 2007. Implications of climate change for the stomatal flux of ozone: A case study for winter wheat. *Environmental Pollution* 146, 763-770.
- IPCC, 2001. Climate change 2001: The scientific basis. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Nougier, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), *Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Klingberg, J., Engardt, M., Karlsson P.E., Langner, J., Pleijel, H., 2014. Declining ozone exposure of European vegetation. *Biogeosciences* 11, 5269–5283, www.biogeosciences.net/11/5269/2014/ doi:10.5194/bg-11-5269-2014
- Langner, J., Bergström, R., Foltescu, V., 2005. Impacts of climate change on surface ozone and deposition of sulphur and nitrogen in Europe. *Atmospheric Environment* 39, s. 1129-1141.
- Langner, J., Engardt, M., Baklanov, A., Christensen, J. H., Gauss, M., Geels, C. et al., 2012. A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe. *Atmos. Chem. Phys.* 12(21),10423-10440 [http://dx.doi.org/10.5194/acp-12-10423-](http://dx.doi.org/10.5194/acp-12-10423-2012) 2012 <http://www.atmos-chem-phys.net/12/10423/2012/>.
- Langner, J., Engardt, M., and Andersson, C. 2012a. European summer surface ozone 1990–2100, *Atmos. Chem. Phys.* 12, 10097–10105, doi:10.5194/acp-12-10097-2012.
- Logan, J.A., Staehelin, J., Megretskaia, I.A., Cammas, J.P., Thouret, V., Claude, H. et al., 2012. Changes in ozone over Europe: analysis of ozone measurements from sondes, regular aircraft (MOZAIC) and alpine surface sites. *J. Geophys. Res. Atmos.* 117(9),D09301.
- Loibl, W., Winiwarter, W., Kopsca, A., Zueger, J. and Bauman, R., 1994. Estimating the spatial distribution of ozone concentrations in complex terrain. *Atmospheric Environment* 28, 2557-2566.

- Mills, G., et al., 2007. A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. *Atmospheric Environment* 41, 2630-2643.
- Monks, P., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M., Akimoto, H. et al., 2009. Atmospheric composition change — global and regional air quality. *Atmos. Environ.* 2009, 43,5268-5350. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenović, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., Wilbanks, T. J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature* 463, 747–756.
- MŽP, 2015. Národní program snižování emisí. MŽP, Praha 2015.
- Nakicenović, N. et al., 2000. Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, 959 s. ISSN 0-521-80493-0.
- PORG,1997. Ozone in the United Kingdom 1997. Fourth Report of the United Kingdom Photochemical Oxidants Review Group, Department of the Environment, London.
- Rafaj, P., Schopp, W., Russ, P., Heyes, C., and Amann, M., 2013. Cobenefits of post-2012 global climate mitigation policies, *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 18, 801–824.
- Robertson, L., Langner, J., and Engardt, M., 1999. An Eulerian limited area atmospheric transport model, *J. Appl. Meteorol.* 38, 190–210.
- Simmonds, P.G., Derwent, R.G., Manning, A.L., Spain, G., 2004. Significant growth in surface ozone at Mace Head, Ireland, 1987-003. *Atmospheric Environment* 38, 4769-4778.
- Simpson, D., Arneth, A., Mills, G., Solberg, S., Uddling, J., 2014. Ozone - the persistent menace: interactions with the N cycle and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 9–10, 9–19.

- Solberg, S., Hov, O., Sovde, A., Isaksen, I.S.A., Coddeville, P., De Backer, H. et al., 2008. European surface ozone in the extreme summer 2003. *J. Geophys. Res.* 113(D7). <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD009098>.
- Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M. A., Clarke, L. E., and Edmonds, J. A., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100, *Climatic Change* 109, 77–94.
- Tørseth, K., Aas, W., Breivik, K., Fjæraa, A.M., Fiebig, M., Hjellbrekke, A.G. et al., 2012. Introduction to the European monitoring and evaluation programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972–2009. *Atmos. Chem. Phys.* 12(12), 5447 - 5481. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-12-5447-2012> <http://www.atmos-chem-phys.net/12/5447/2012/>.
- UBA. 2004. Manual on Methodologies and Criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollutions effects, risks and trends. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 52/04, Berlin.
- Van Dingenen, R., Raes, F., Krol, M.C., Emberson, L., Cofala, J., 2009. The global impact of O₃ on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. *Atmospheric Environment* 43, 604-618.
- Vingarzan, R., 2004. A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment* 38, s. 3431-3442.
- Wild, O., Fiore, A. M., Shindell, D. T., Doherty, R. M., Collins, W. J., Dentener, F. J., Schultz, M. G., Gong, S., MacKenzie, I. A., Zeng, G., Hess, P., Duncan, B. N., Bergmann, D. J., Szopa, S., Jonson, J. E., Keating, T. J., and Zuber, A., 2012. Modelling future changes in surface ozone: a parameterized approach, *Atmos. Chem. Phys.* 12, 2037–2054, doi:10.5194/acp-12-2037-2012.
- Young, P. J., Archibald, A. T., Bowman, K. W., Lamarque, J.-F., Naik, V., Stevenson, D. S., Tilmes, S., Voulgarakis, A., Wild, O., Bergmann, D., Cameron-Smith, P., Cionni, I., Collins, W. J., Dalsøren, S. B., Doherty, R. M., Eyring, V., Faluvegi, G., Horowitz, L. W., Josse, B., Lee, Y. H., MacKenzie, I. A., Nagashima, T., Plummer, D. A., Righi, M.,

Rumbold, S. T., Skeie, R. B., Shindell, D. T., Strode, S. A., Sudo, K., Szopa, S., and Zeng, G., 2013. Preindustrial to end 21st century projections of tropospheric ozone from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP), *Atmos. Chem. Phys.* 13, 2063– 2090, doi:10.5194/acp-13-2063-2013.

Zapletal, M., Chroust, P., 2007. Ozone Deposition to a Coniferous and Deciduous Forest in the Czech Republic. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus.* 7, 187–200. ISSN 1567-7230.

Zapletal, M., Pretel, J., Chroust, P., Cudlín, P., Edwards-Jonášová, M., Urban, O., Pokorný, R., Czerný, R., Hůnová, I., 2012. The influence of climate change on stomatal ozone flux to a mountain Norway spruce forest. *Environmental Pollution* 169, 267–273. ISSN 0269-7491.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Pole hodnot expozičního indexu AOT40 v roce 2008 v $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ | 9 |
| Obrázek 2: Pole hodnot ztráty na výnosu pšenice vlivem působení O ₃ v roce 2008 v %..... | 10 |

8 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Emisní projekce modelu GAINS pro období do roku 2030 v kt/rok. | 14 |
| Tabulka 2: Emisní projekce modelu GAINS pro rok 2030 v kt/rok | 15 |

9 POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY

AOT40 Accumulated exposure over a threshold of 40 ppb (kumulativní expozice nad prahovou koncentrací 40 ppb)

BVOCs Biogenic Volatile Organic Compounds (biogenní těkavé organické látky)

CH₄ metan

CO oxid uhelnatý

CO₂ oxid uhličitý

CLE scénář „současná legislativa“

CTM Chemical Transport Model (chemický přenosový model)

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav

ČR Česká republika

GAINS Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (model pro interakce a synergie mezi skleníkovými plyny a znečišťováním ovzduší)

IIASA - International Institute for Applied Systems Analysis (Mezinárodní institut aplikované systémové analýzy)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládní panel pro změnu klimatu)

ISKO Informační systém kvality ovzduší

MATCH Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry

MFR scénář „maximální dosažitelné snížení emisí“

MŽP Ministerstvo životního prostředí

NM-VOC, VOC nemetanické těkavé organické látky

NO oxid dusnatý

NO₂ oxid dusičitý

NO_x oxidy dusíku

NPSE Národní program snižování emisí

O atomární kyslík

O₂ molekulární kyslík

O₃ ozon

PRIMES panevropský energetický model

RCP Representative Concentration Pathways (reprezentativní směry vývoje koncentrací)

REF referenční scénář

RY Relative Yield (relativní výnos)

Matematicko-statistické modelování

RYL Relative Yield Loss (relativní ztráta na výnosu)

SRES Special Report on Emissions Scenarios (Speciální zpráva o emisních scénářích)

TSAP Thematic Strategy on Air Pollution (Tematická strategie o znečištění ovzduší)

VOCs Volatile Organic Compounds (těkavé organické látky)

WM scénář s opatřeními

10 PŘÍLOHY ZPRÁVY K DÍLČÍ AKTIVITĚ

Mapky ve zprávě jsou součástí mapového portálu projektu.