

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ  
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY  
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

# Úvod do fyziky a chemie atmosféry

RNDr Josef Keder, CSc.



evropský  
sociální  
fondy ČR



EVROPSKÁ UNIE

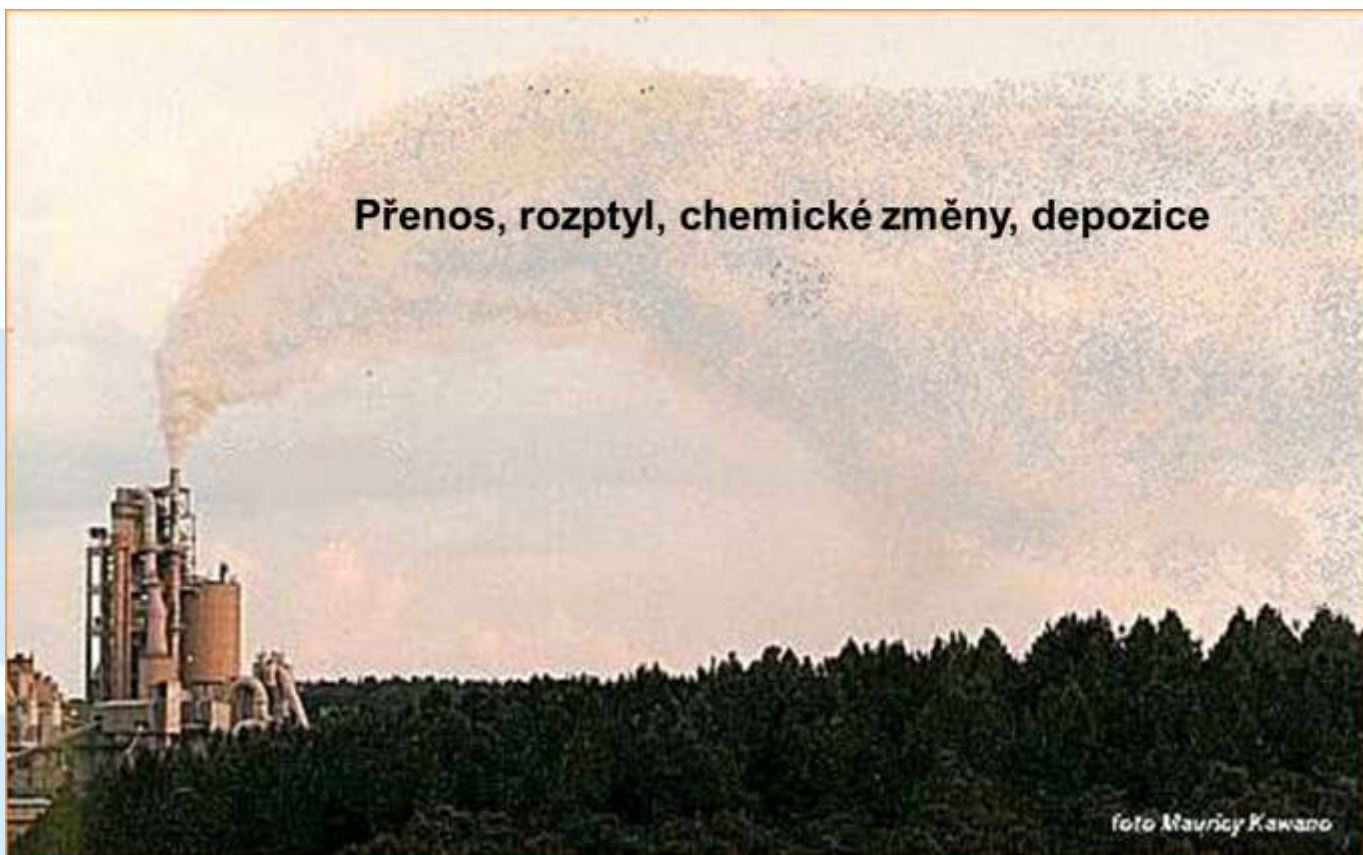


OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

# Proč se zabývat fyzikou a chemií atmosféry

- Atmosféra – přenosové medium

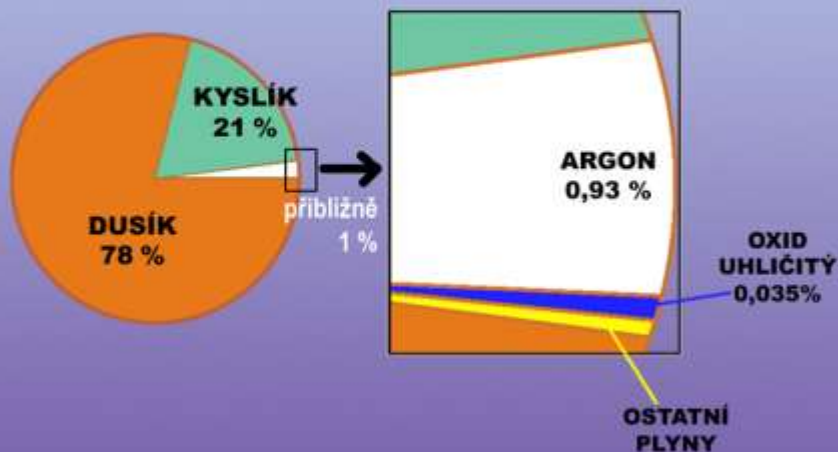


# Složení atmosféry

- Směs různých plynů, vodní páry, obsahuje také pevné a kapalné částice
- Za suchou a čistou atmosféru bývá považována atmosféra s chemickým složením v blízkosti zemského povrchu, uvedeným dále
- Procentuální zastoupení většiny plynů se do výšky 100 km nemění.
- Výjimku tvoří oxid uhličitý, jehož je ve dne méně než v noci a nad souší je ho více než nad mořem.
- Množství ozonu se mění v závislosti na výšce, maximum ve výšce asi 22 km.
- Významná je vodní pára, soustředěna ve spodních 10 km.
- Charakteristickým rysem zemské atmosféry je pokles tlaku vzduchu s výškou. Vzduch ve spodních vrstvách je stlačován tíhou vzduchu ležícího nad ním.

# Složení atmosféry

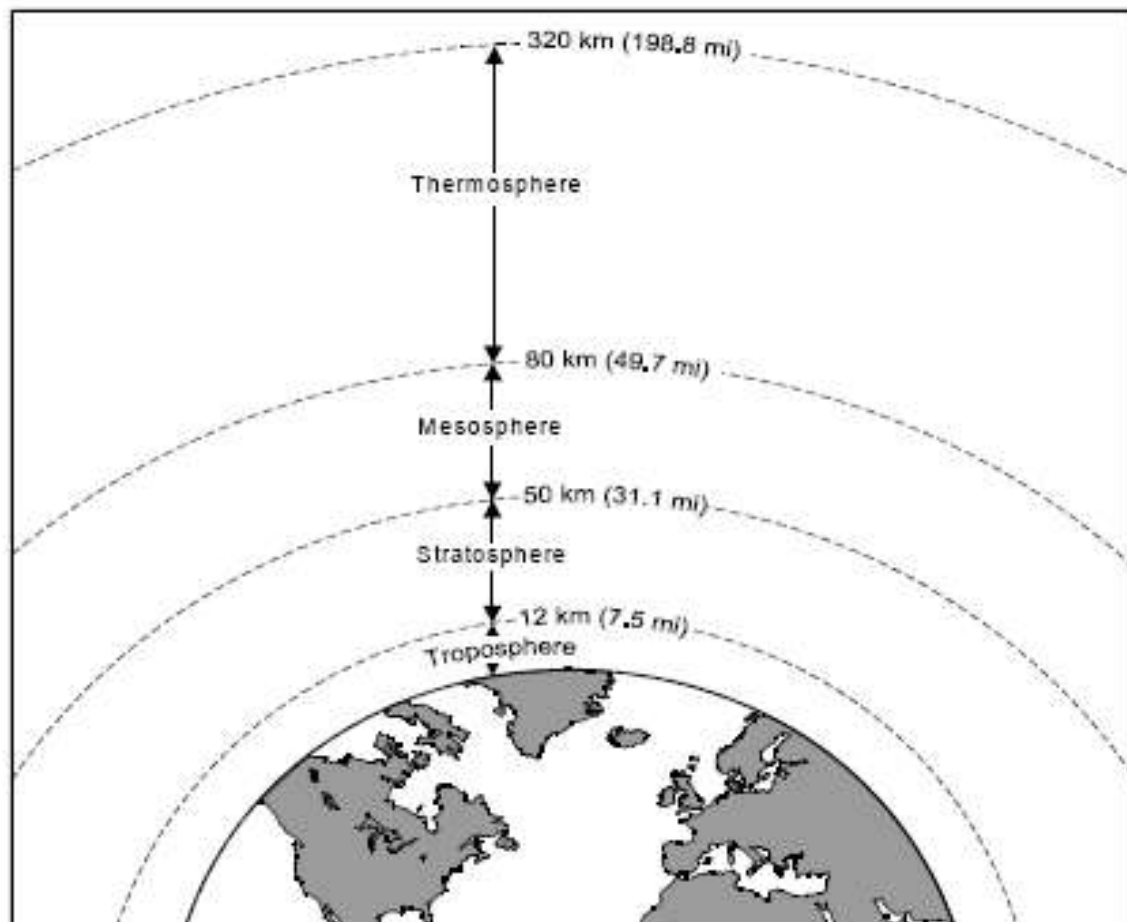
Chemické složení suché a čisté atmosféry  
(objemová procenta)



plyn	chemická značka	objemová procenta
dusík	N <sub>2</sub>	78,1
kyslík	O <sub>2</sub>	20,9
argon	Ar	0,934
oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	0,031 4
neon	Ne	0,001 818
hélium	He	0,000 524
metan	CH <sub>4</sub>	0,000 2
krypton	Kr	0,000 114
vodík	H <sub>2</sub>	0,000 05
oxid dusný	N <sub>2</sub> O	0,000 05
xenon	Xe	0,000 008 7
oxid siřičitý	SO <sub>2</sub>	0 až 0,000 1
ozón	O <sub>3</sub>	0 až 0,000 007 (léto) 0 až 0,000 002 (zima)
oxid dusičitý	NO <sub>2</sub>	0 až 0,000 002
čpavek	NH <sub>3</sub>	stopy
oxid uhelnatý	CO	stopy
jód (páry)	J <sub>2</sub>	stopy

# Vertikální členění atmosféry

- Podle průběhu teploty s výškou
  - Troposféra
  - Stratosféra
  - Mezoféra
  - Termosféra
  - Exosféra



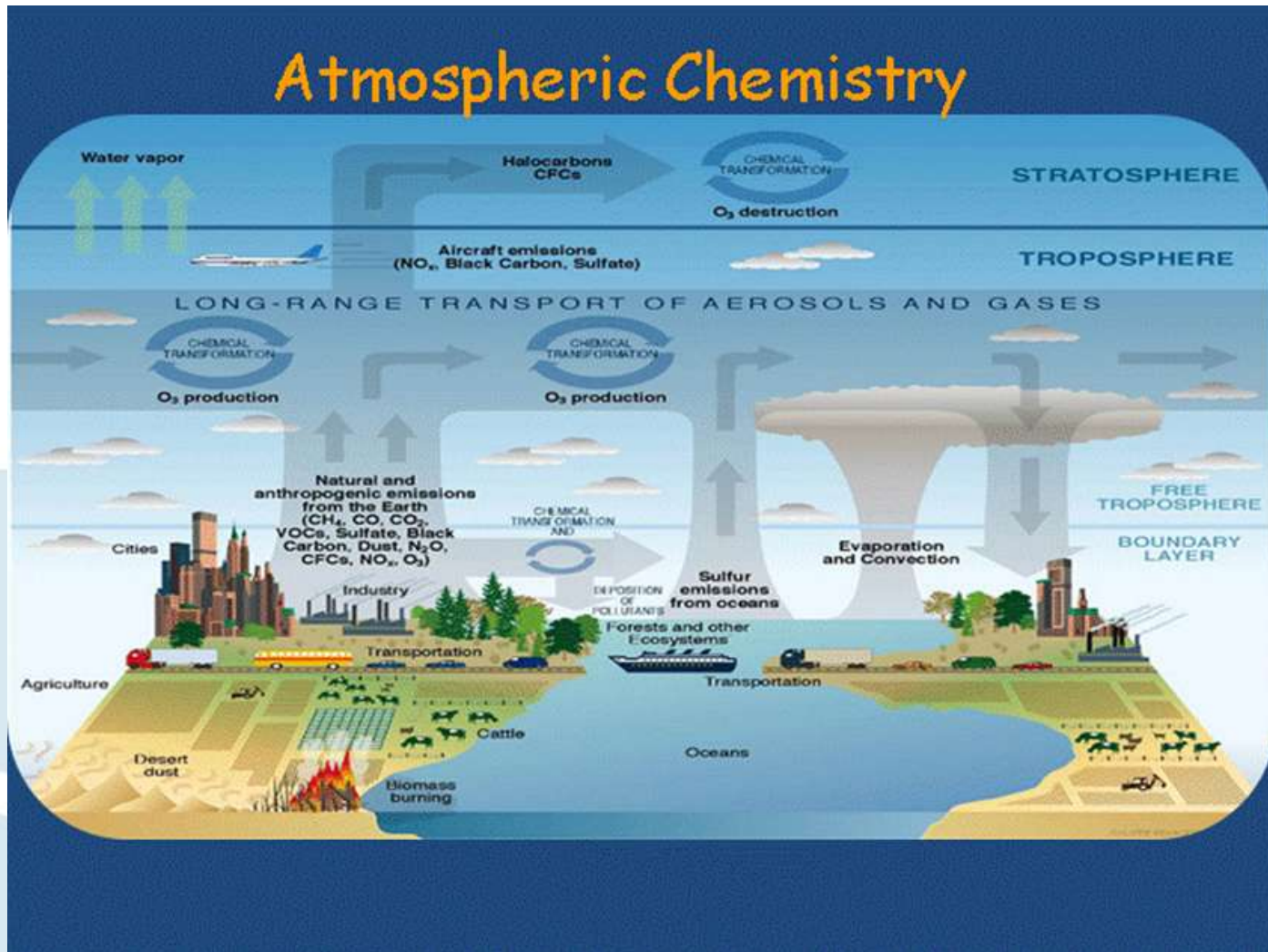
# Vertikální členění atmosféry jinak

Se zahrnutím interakce s povrchem, zavádí se pojem mezní vrstvy a volné atmosféry

<b>Název vrstvy nebo její části</b>	<b>Přibližná výška nad zemským povrchem v km</b>
<b>troposféra</b>	<b>0 až 11</b>
<b>přízemní vrstva troposféry</b>	<b>0 až 0,1</b>
<b>vrstva tření</b>	<b>0,1 až 1,5</b>
<b>volná atmosféra</b>	<b>1,5 až 8</b>



# Složité chemie atmosféry



# Oxid siřičitý – reakce v ovzduší

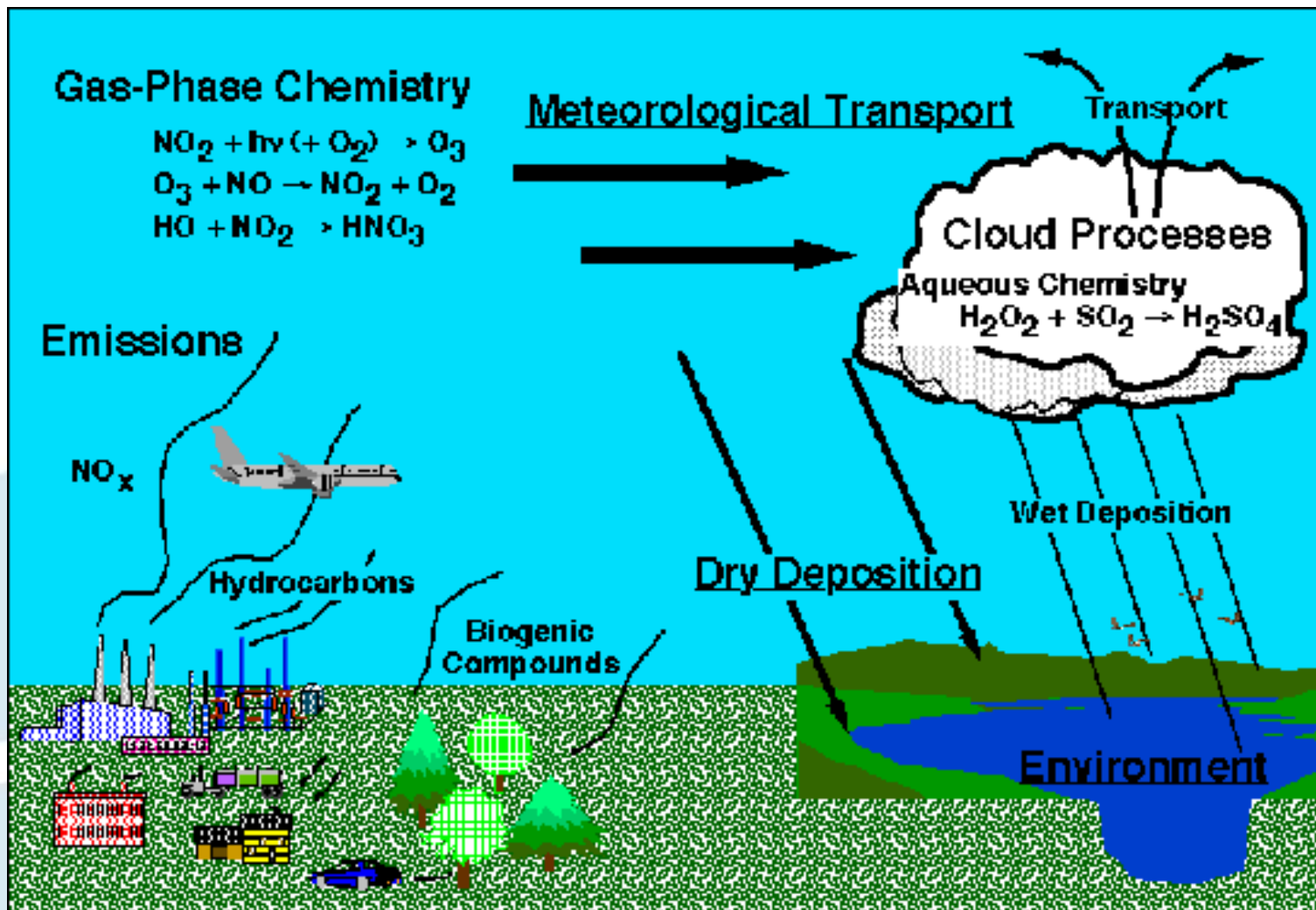
- Během určité doby v ovzduší přechází fotochemickou nebo katalytickou reakcí na oxid sírový, který je hydratován vzdušnou vlhkostí na aerosol kyseliny sírové.
- Rychlost oxidace závisí na povětrnostních podmínkách, teplotě, slunečním svitu, přítomnosti katalyzujících částic atd. Běžně se během jedné hodiny odstraní 0,1 až 2% přítomného SO<sub>2</sub>.
- Kyselina sírová může reagovat s alkalickými částicemi prašného aerosolu za vzniku síranů. Zvyšují koncentrace suspendovaných částic
- Sírany se postupně usazují na zemský povrch nebo jsou z ovzduší vymývány srážkami.
- Při nedostatku alkalických částic v ovzduší **dochází k okyselení srážkových vod až na pH < 4. Tímto způsobem oxidy síry společně s oxidy dusíku tvoří takzvané kyselé deště.**
- Způsobují značná poškození lesních porostů i průmyslových plodin, uvolňují z půdy kovové ionty, poškozují mikroorganismy, znehodnocují vodu a mohou způsobit úhyn ryb, poškozují stavby tím, rozpouštějí některé druhy zdiva



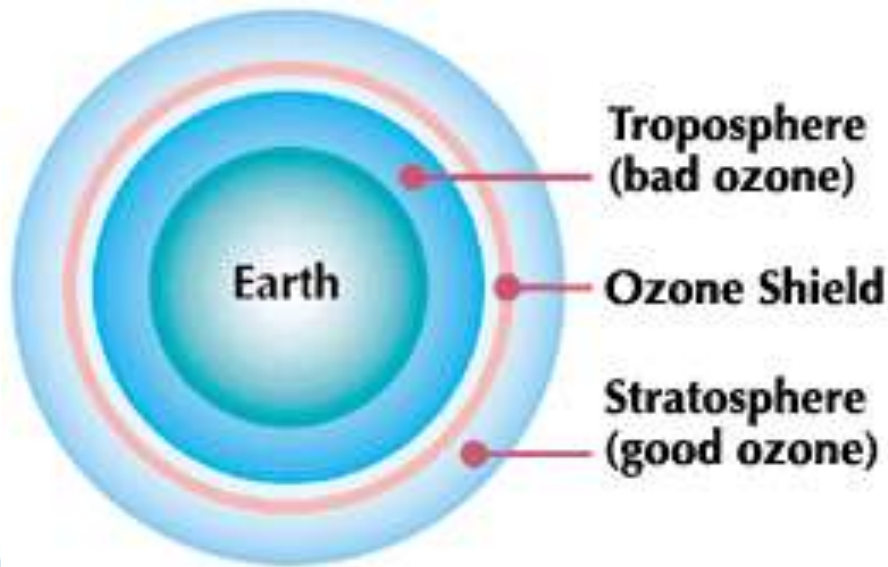
# Oxidy dusíku – reakce v ovzduší

- Oxidy dusíku v ovzduší postupně přecházejí na kyselinu dusičnou
- Tato reaguje s prachovými částicemi a například s oxidy hořčíku a vápníku či s amoniakem za vzniku **tuhých částic**.
- Z atmosféry jsou odstraňovány jednak sedimentací, jednak vymýváním srážkovou činností.
- Dusičnanové ionty, které jsou potom v zeminách a vodách přítomny, sice působí příznivě na růst rostlin, avšak při vyšších koncentracích může docházet i k úhynu ryb a nežádoucímu nárůstu vodních rostlin (tzv. eutrofizace vod).
- Oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) přispívá k tvorbě přízemního ozonu a vzniku tzv. fotochemického smogu
- Vysoké koncentrace přízemního ozonu poškozují živé rostliny včetně mnohých zemědělských plodin.

# Emise, reakce, přenos, odstraňování

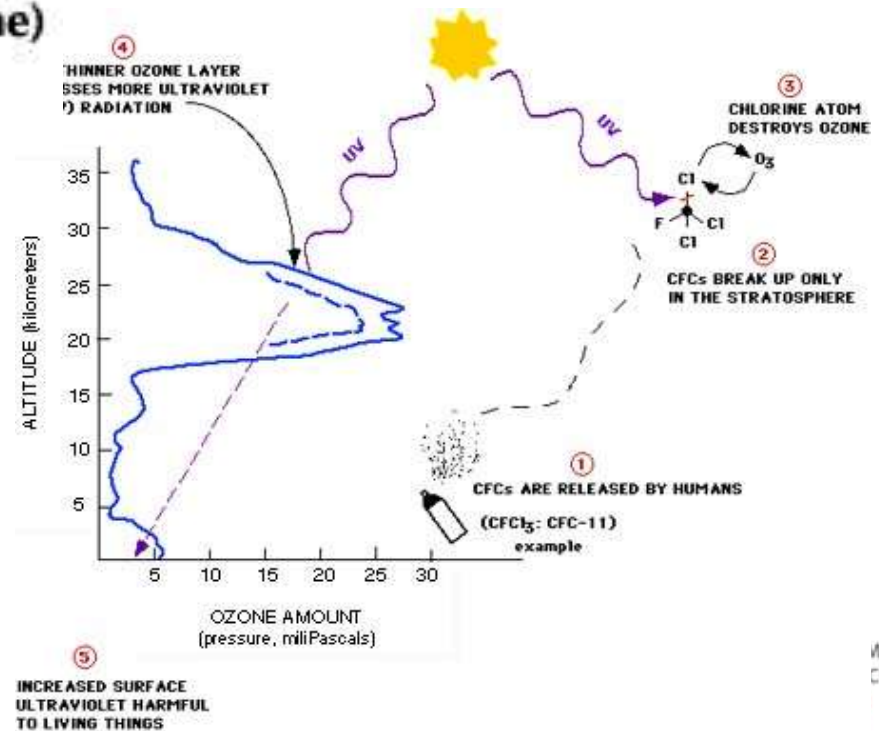


# Ozon jako příklad složité chemie ovzduší

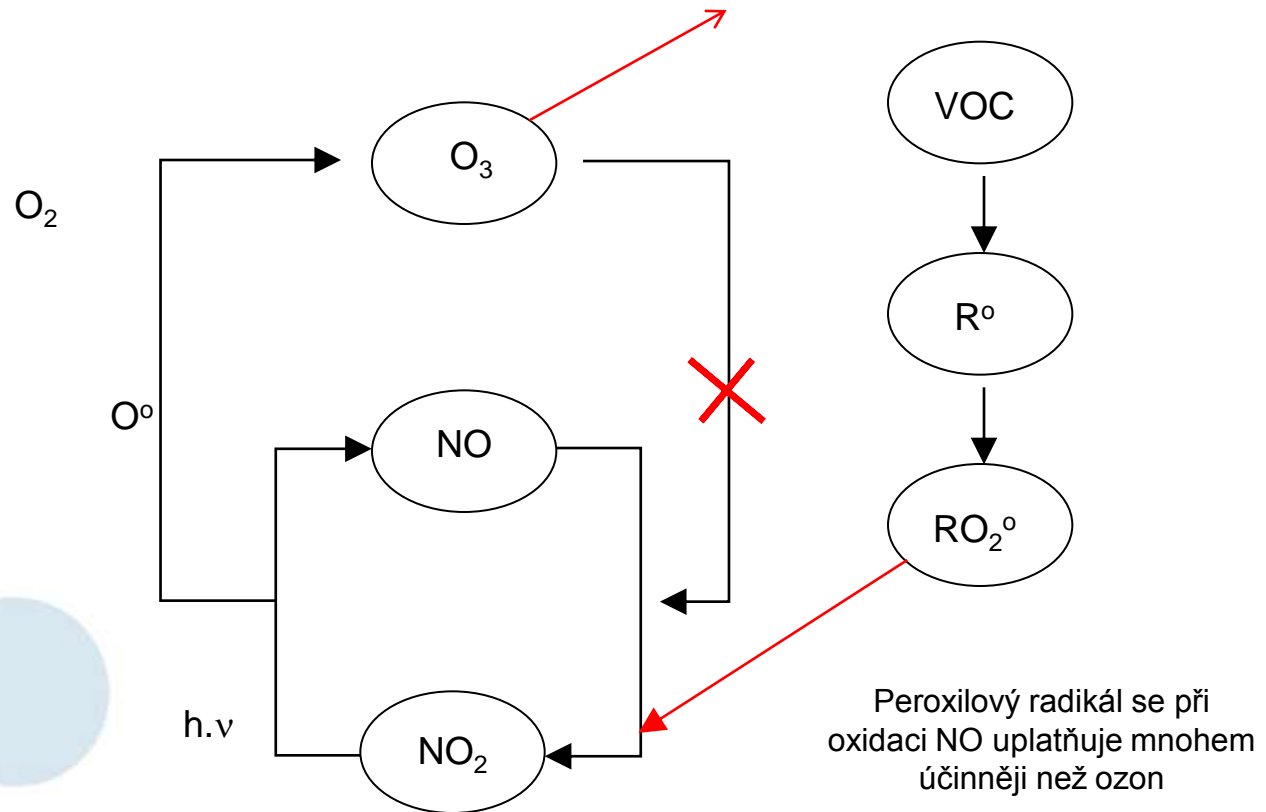


## Ozon – plyn dvou tváří

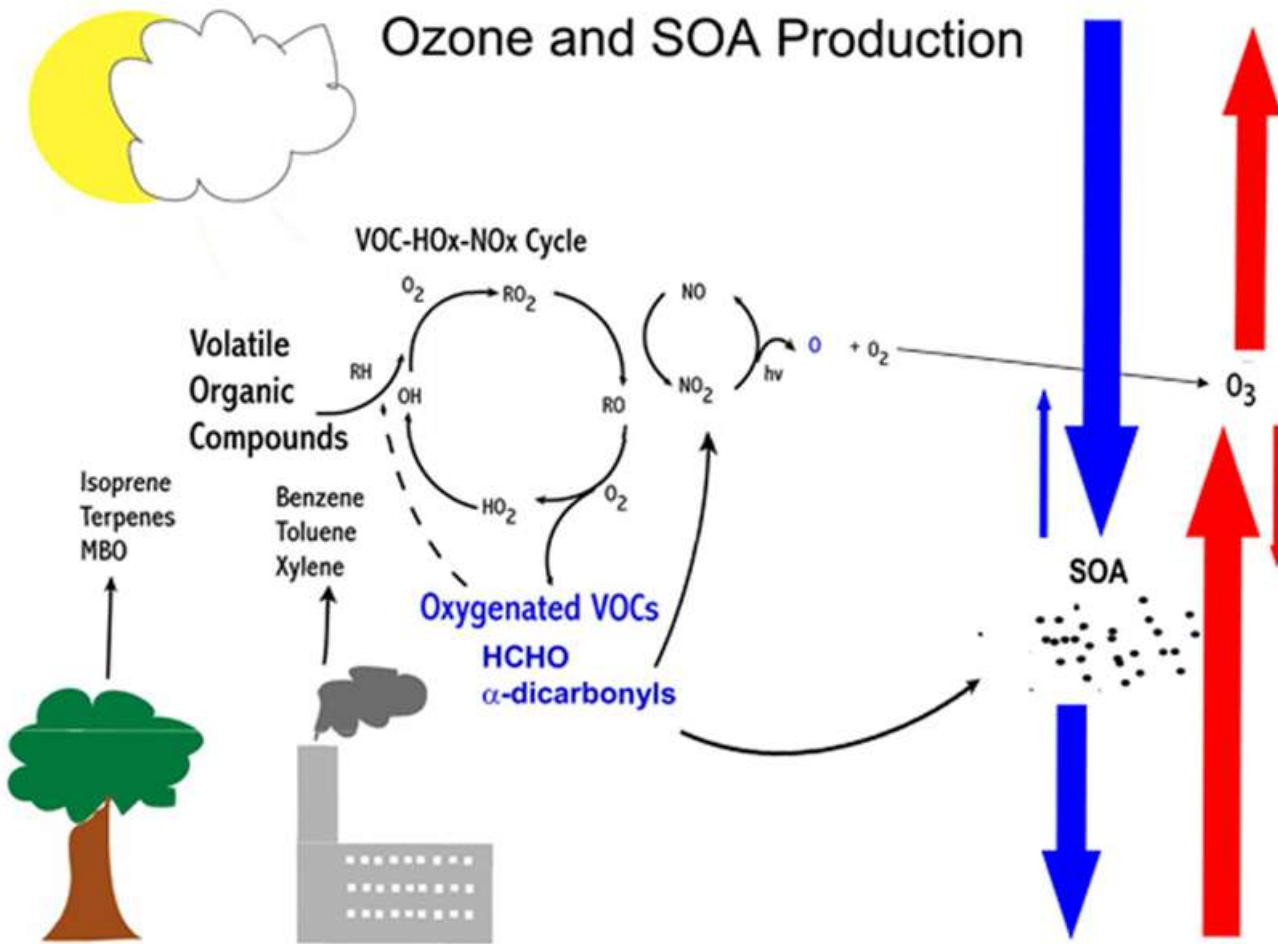
**Ve vyšších vrstvách – pomáhá a chrání**  
**U země - škodí**



# Vznik přízemního ozonu



# Další fotochemické reakce – vznik SOA



- Důležitá role biogenních emisí
- SOA – sekundární organické aerosoly
- Zvyšují koncentrace suspendovaných částic



# Suspendované částice

- Suspendované částice představují různorodou směs organických a anorganických částic kapalného a pevného skupenství, různé velikosti, složení a původu.
- Suspendované částice dělíme na primární a sekundární.
- Primární částice jsou emitované přímo ze zdrojů a můžeme je dále dělit na ty, které pochází
  - ✓ z antropogenních zdrojů (spalování fosilních paliv, doprava, technologické procesy, antropogenní aktivity)
  - ✓ z přírodních zdrojů - mořský aerosol, sopečná činnost, kosmický spad ....).
- Sekundární částice vznikají v ovzduší na základě probíhajících chemických a fyzikálních procesů (nukleace, kondenzace)

# Velikost částic – názorná představa

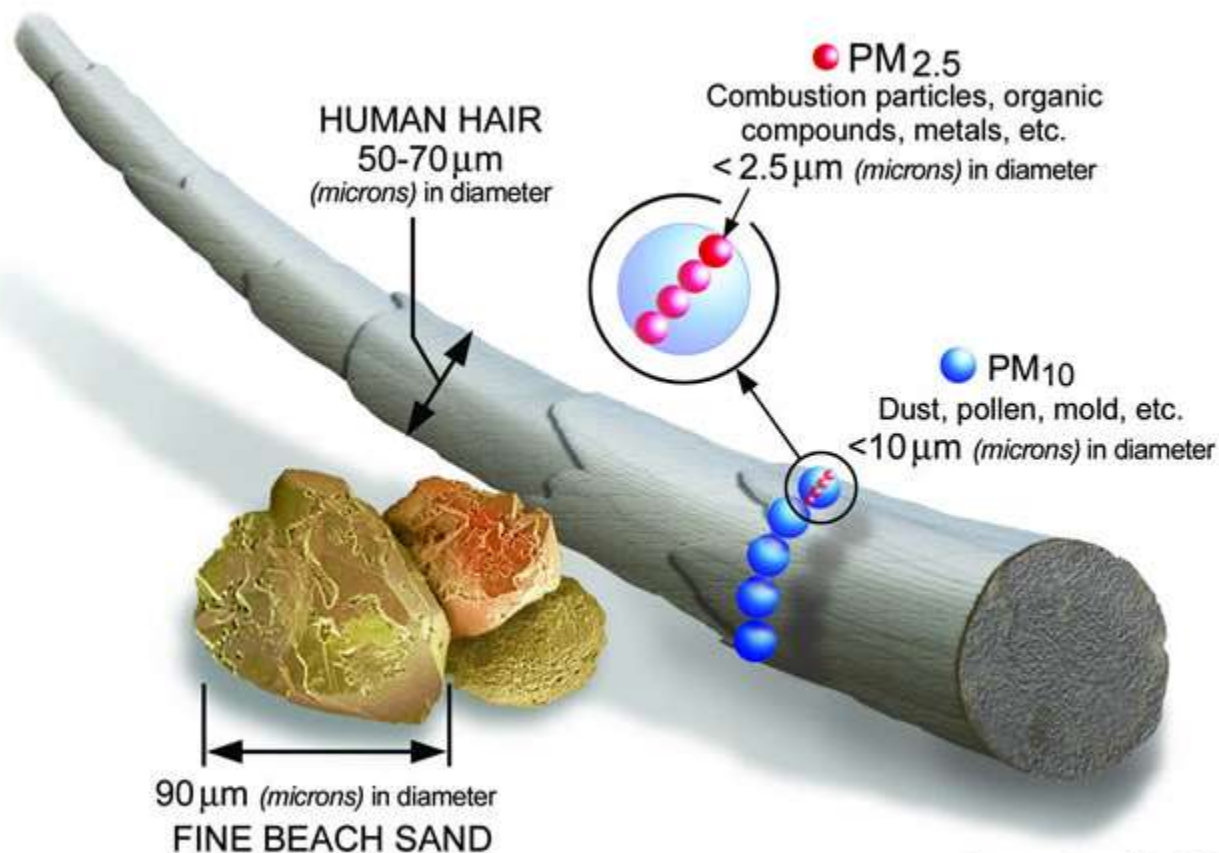


Image courtesy of the U.S. EPA

# Velikost částic – srovnání

- Kolik částic o průměru 1  $\mu\text{m}$  "vyváží" 1 částici o průměru 10  $\mu\text{m}$ ?
- Objem koule =  $\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^3$
- $1^3 = 1$        $10^3 = 1000$
- Takže: 1 částice o průměru 10 má stejný objem (hmotnost) jako 1000 částic o průměru 1
- Jak je to s plochou?
- Plocha povrchu koule =  $\pi \cdot D^2$
- $1^2 = 1$        $10^2 = 100$
- Takže: 1 částice o průměru 10 má stejnou plochu jako 100 částic o průměru 1
- Ovšem: 1000 částic o průměru 1 se stejnou hmotností jako 1 částice o průměru 10, má plochu 10x větší
- Z hlediska účinků – má větší význam plocha nebo hmotnost?
- Domácí úkol: spočítat pro částici o průměru 0.1  $\mu\text{m}$  a další

# Suspendované částice - jemné

- Malé částice (fine - ultrafine) rostou koagulací a kondenzací, zvětšují se, jejich konečná velikost zpravidla nepřesáhne 2  $\mu\text{m}$ .
- Tyto částice setrvávají v ovzduší relativně dlouho, udává se cca 7 až 30 dnů. Transportovány stovky až tisíce km, rozptýlení na velkém území, stírání rozdílů mezi jednotlivými oblastmi.
- Částice vzniklé mechanickým dispergováním jsou naopak obvykle větší než 2  $\mu\text{m}$  a jejich životnost v ovzduší je kratší.
- Z hlediska původu, složení i chování se jemná frakce částic do 2,5  $\mu\text{m}$  a hrubší frakce většího průměru významně liší.
- pH jemných částic je často v kyselé oblasti, jemné částice jsou do značné míry rozpustné, převažují sekundárně vzniklé aerosoly kondenzací plynů, částice ze spalování fosilních paliv včetně dopravy a znovu kondenzované organické či kovové páry.
- Obsahují jak uhlíkaté látky, které mohou zahrnovat řadu organických sloučenin s možnými mutagenními účinky (PAU), tak i soli, hlavně sulfáty a nitráty. Mohou též obsahovat těžké kovy, z nichž některé mohou mít karcinogenní účinek.

# Suspendované částice - hrubé

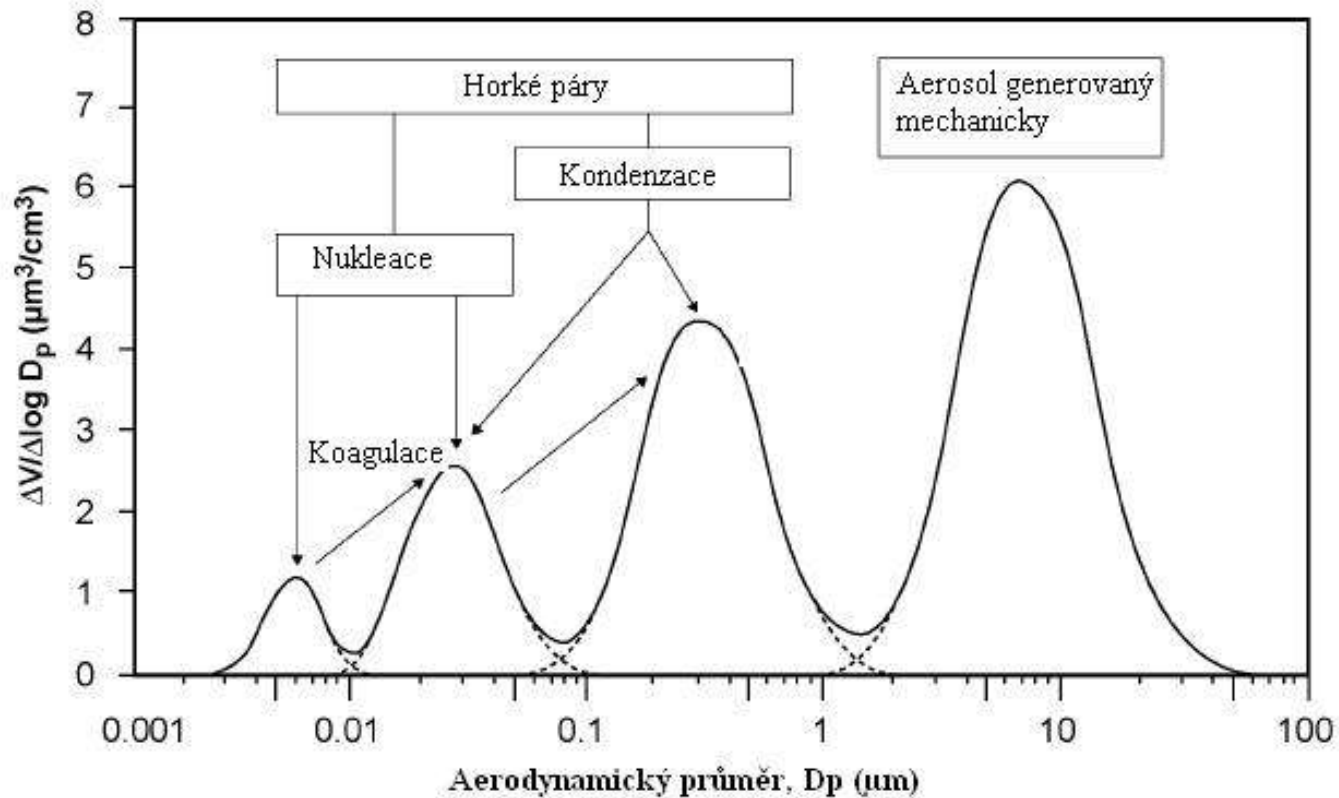
- Hrubší částice (coarse) bývají zásaditého pH, jsou z větší části nerozpustné, vznikají
  - ✓ nekontrolovaným spalováním,
  - ✓ mechanickým rozpadem materiálu zemského povrchu,
  - ✓ při demolicích,
  - ✓ dopravě na neupravených komunikacích a
  - ✓ resuspenzí (znovuzvířením) již usazených částic, které se zpět do ovzduší dostávají v důsledku lidské činnosti (doprava) nebo vlivem meteorologických faktorů (vítr).
- Podléhají rychlé sedimentaci během minut až hodin s přenosem řádově do kilometrových vzdáleností.



# Suspendované částice – velikostní rozdělení

- **Mod hrubých částic** s píkem mezi 5 – 30  $\mu\text{m}$   
Je formován především mechanickými procesy (prach vytvářený větrem, dopravní či stavební aktivitou a emise vzniklé při spalování uhlí).
- **Mod akumulární** s píkem mezi 0,15 – 0,5  $\mu\text{m}$ , leží v oblasti jemných částic  
Je formován především procesy kondenzace a koagulace.
- **Mod nukleační** s píkem mezi 0,015 – 0,04  $\mu\text{m}$   
Je formován procesy kondenzace par a koagulace, částice tohoto modu vznikají jako důsledek vysokoteplotních procesů (hoření, tavení rud a kovů).
- **Mod Aitkenův** s píkem mezi 10 -100 nm v oblasti jemných částic mezi nukleačním a akumulárním modem.  
Je následkem růstu malých částic, ovlivněn procesy kondenzace a koagulace a vyskytuje se především v oblastech zatížených dopravou.

# Formování částic v ovzduší, rozdělení velikostí



Nukleační mod

Akumulační mod

Aitkenův mod

Mod hrubých částic

Jemné částice

Hrubé částice



evropský  
sociální  
fondy ČR



EVROPSKÁ UNIE



LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST



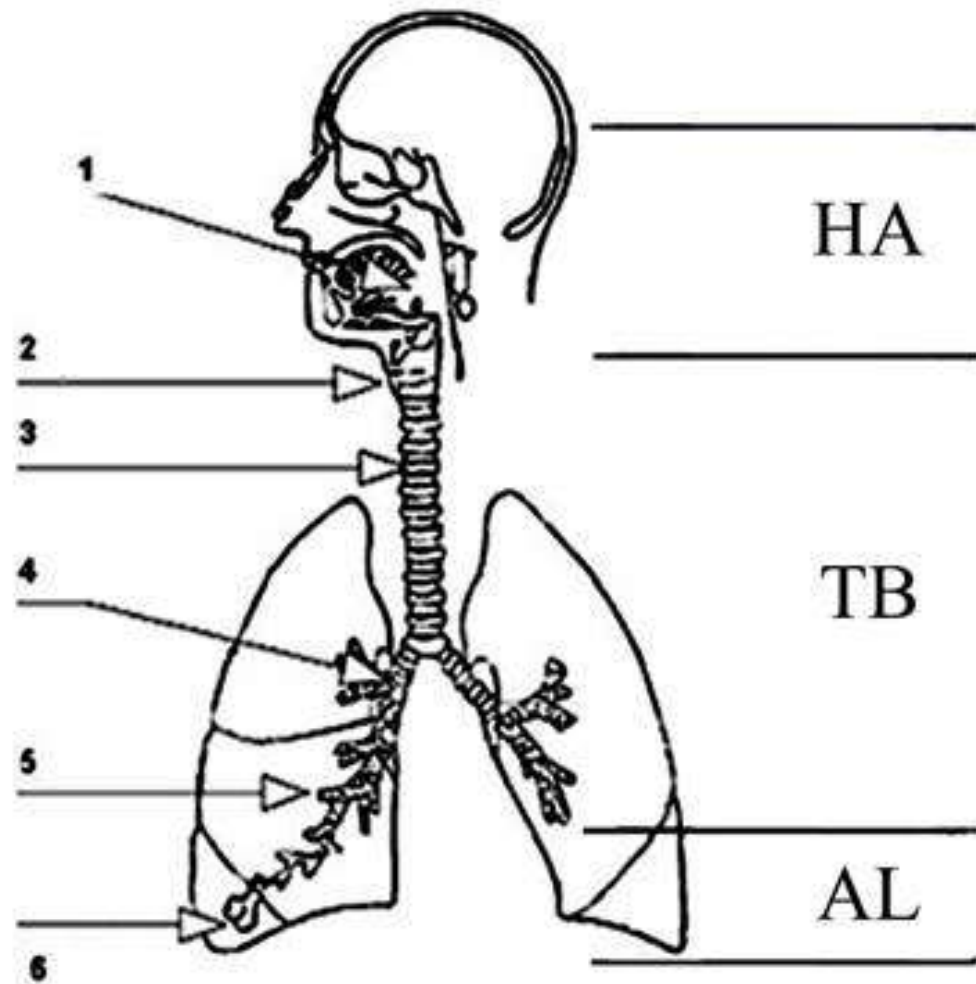
PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

# Suspendované částice – účinky na zdraví

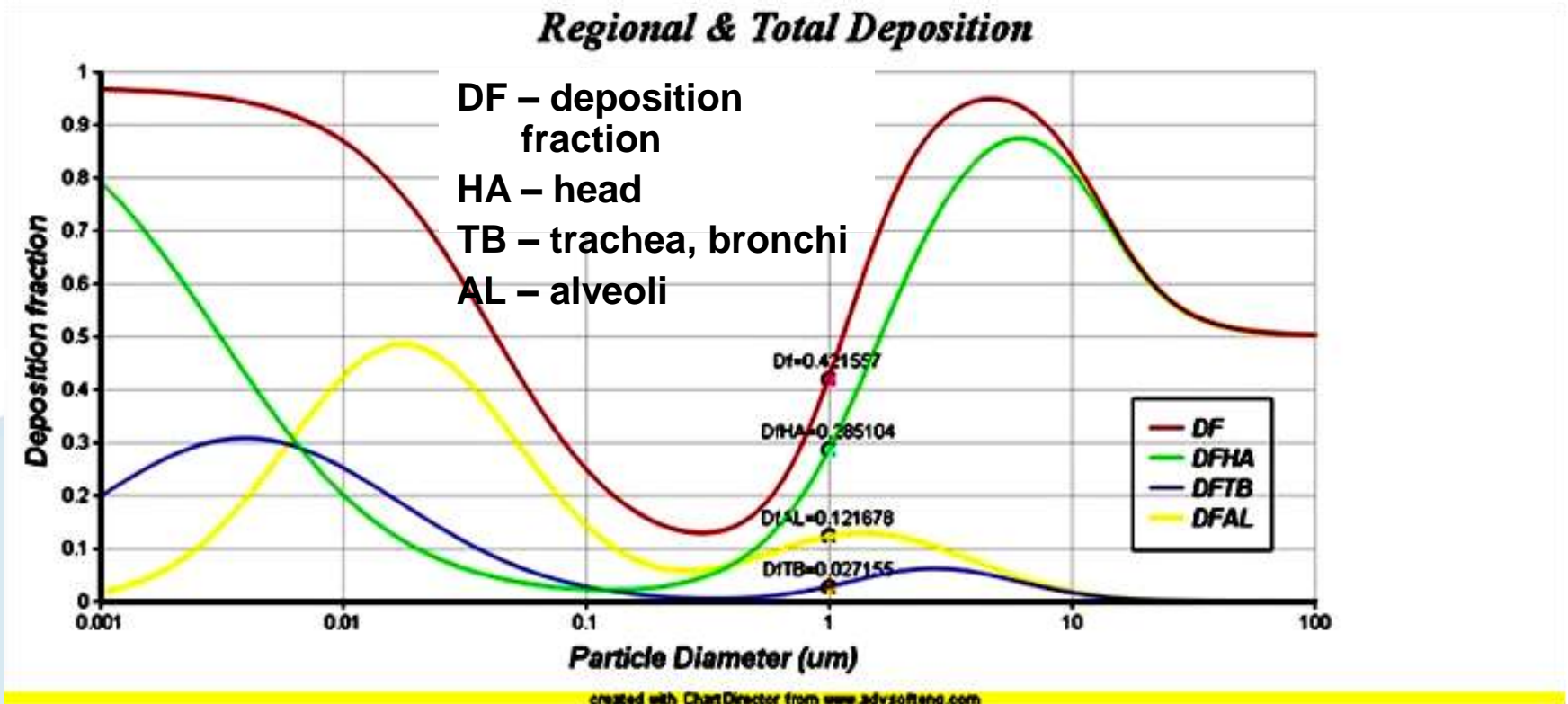
- V současné době se hlavní význam klade na zohlednění velikosti částic, která je rozhodující pro průnik a depozici v dýchacím traktu.
- Rozlišujeme
  - ✓ thorakální frakci s aerodynamickým průměrem částic do 10  $\mu\text{m}$ , která proniká pod hrtan do spodních dýchacích cest, označenou jako  $\text{PM}_{10}$  a
  - ✓ jemnější respirabilní frakci s aerodynamickým průměrem částic do 2,5  $\mu\text{m}$  označenou jako  $\text{PM}_{2,5}$ , pronikající až do plicních sklípků.
- Prosazují se názory, že je nutno sledovat počty velikostně rozlišených částic, nikoliv hmotnostní koncentrace

# Depozice částic v dýchacím traktu

- 1: Pharynx
- 2: Larynx
- 3: Trachea
- 4: Bronchus
- 5: Bronchioles
- 6: Pulmonary Alveoli



# Depozice částic v dýchacím traktu Model ICRP





# Suspendované částice – účinky na zdraví

- Částice v ovzduší představují významný rizikový faktor s mnohočetným efektem na lidské zdraví.
- Na rozdíl od plyných látek nemají specifické složení, nýbrž představují směs látek s různými účinky.
- Současně působí i jako vektor (nosič) pro plyné škodliviny.
- Dráždí sliznici dýchacích cest
- Mohou způsobit změnu morfologie i funkce řasinkového epitelu, zvýšit produkci hlenu a snížit samočisticí schopnosti dýchacího ústrojí. Tyto změny usnadňují vznik infekce.
- Recidivující akutní zánětlivá onemocnění mohou vést ke vzniku chronické bronchitidy a chronické obstrukční nemoci plic s následným přetížením pravé srdeční komory a oběhovým selháváním.
- Tento vývoj je současně podmíněn a ovlivněn mnoha dalšími faktory jako je stav imunitního systému, alergická dispozice, expozice v pracovním prostředí, kouření apod.

# Meteorologické prvky ovlivňující koncentrace

## Vítr

- Vítr – proudění vzduchu vyvolané silou tlakového gradientu v důsledku nerovnoměrného horizontálního rozložení tlaku vzduchu
- Vektorová veličina – charakterizována směrem a rychlostí
- Směr větru v meteorologii – odkud vítr vane
- Větrná růžice – statistické rozložení směru větru na určité lokalitě, obvykle v závislosti na třídách rychlosti
- Výškový profil větru ovlivňován třením o zemský povrch



evropský  
sociální  
fond v ČR



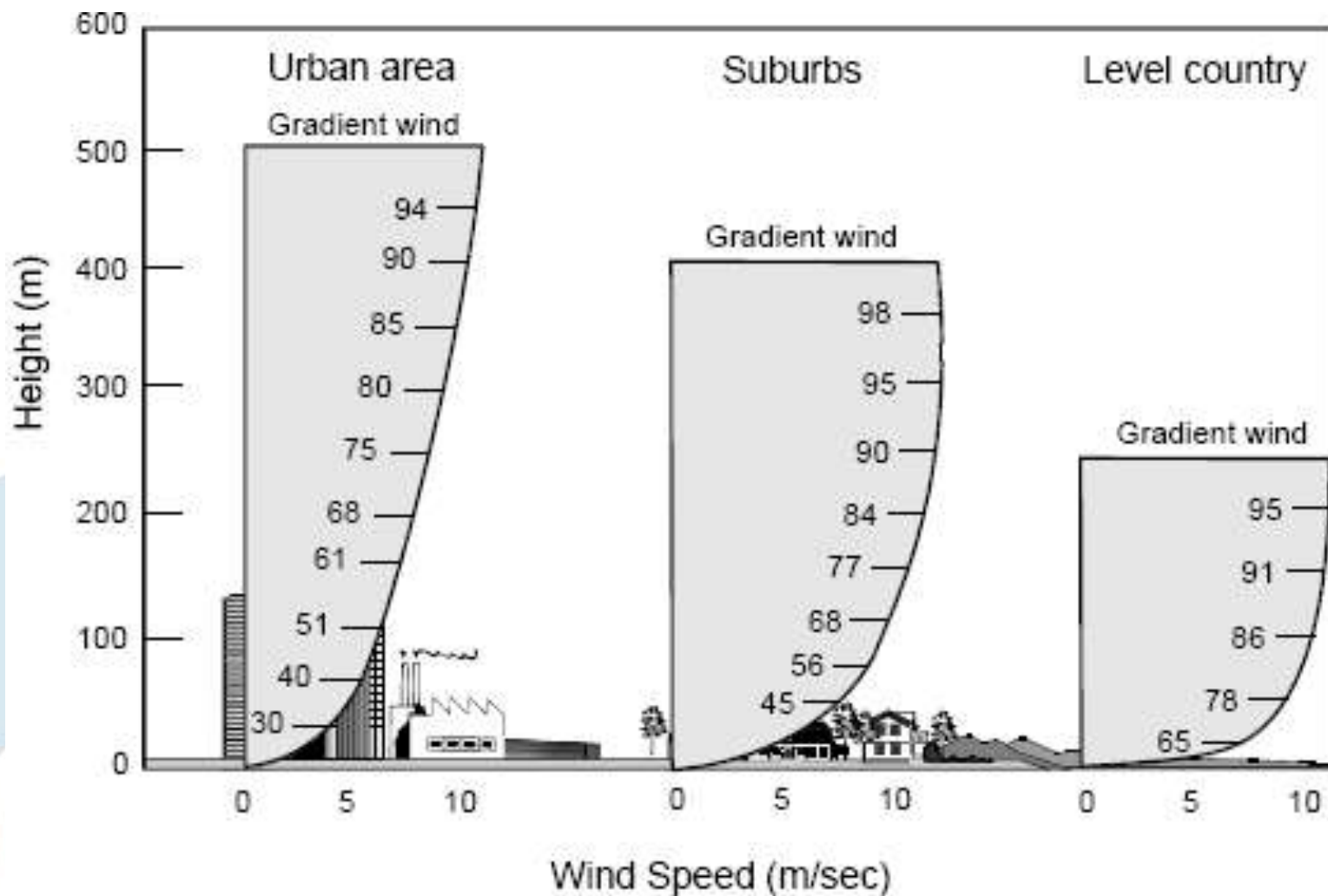
EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

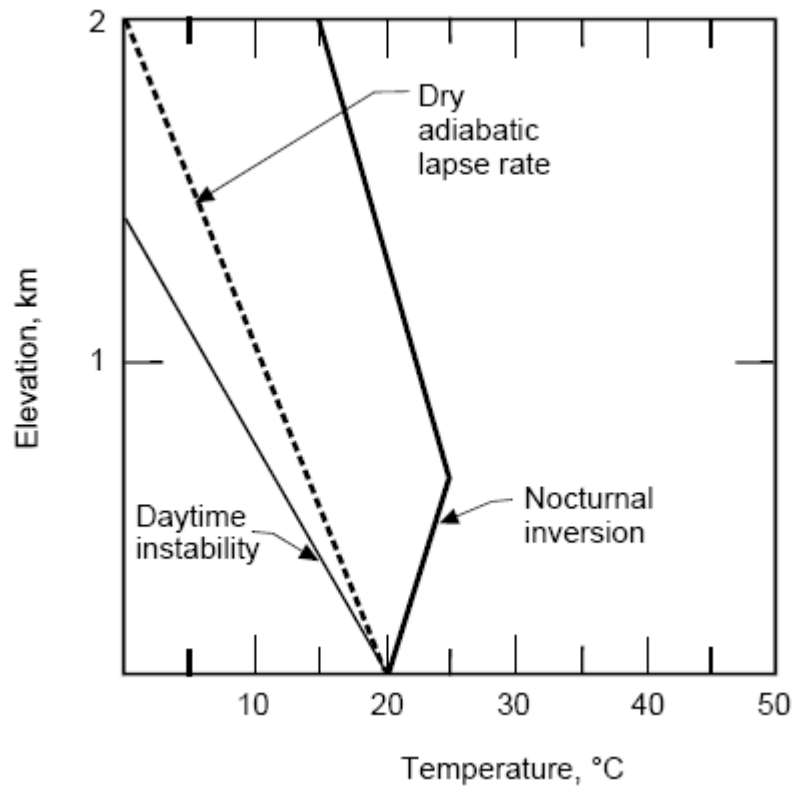
# Vertikální profil rychlosti větru – vliv podkladu



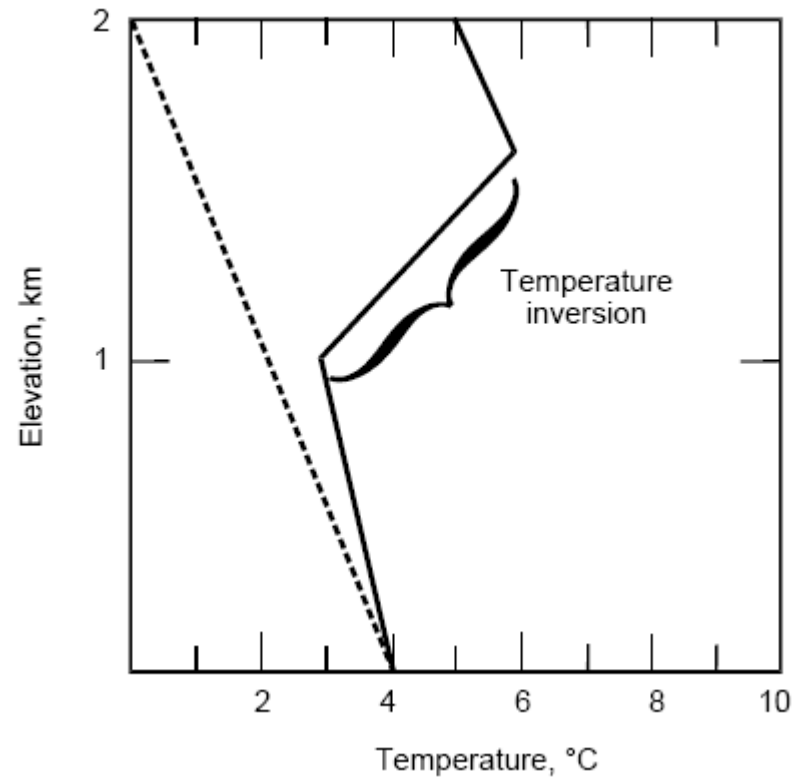
# Meteorologické prvky ovlivňující koncentrace Stabilita atmosféry

- Charakterizována vertikálním profilem teploty, intenzitou turbulentního promíchávání a výškou směšovací vrstvy
- Určuje charakter rozptylových podmínek
- Vertikální teplotní gradient nikdy není s výškou stálý a kolísá v širokém rozmezí hodnot od kladných po záporné.
- Je-li nulový, teplota se s výškou nemění a tento stav nazýváme **izotermie**.
- V případě vzrůstu teploty s výškou mluvíme o **inverzi** teploty.

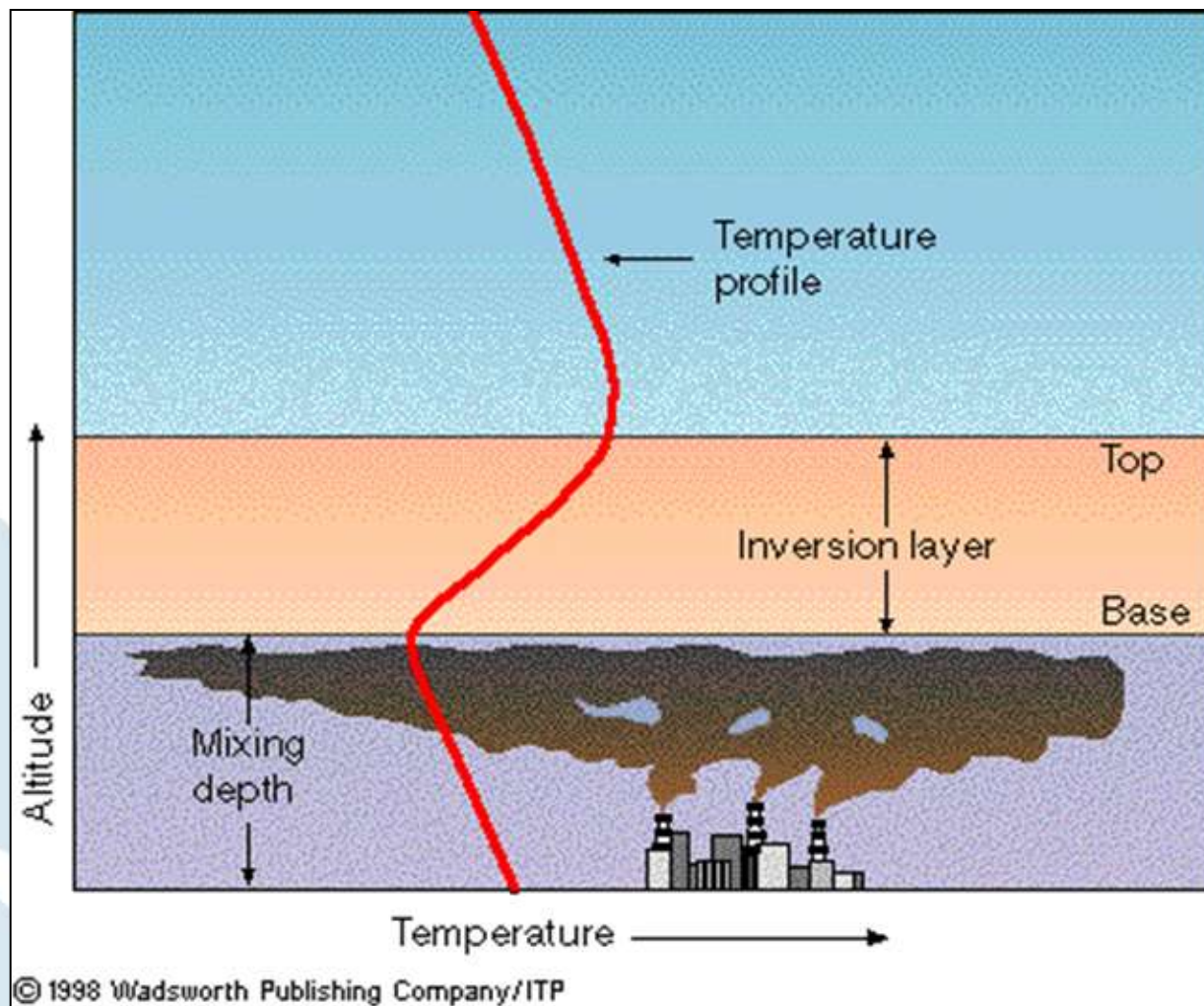
# Inverze – přízemní, výšková



Největší stabilita, nejhorší podmínky rozptylu



# Inverze jako zádržná vrstva ...





... nám zviditelní, co dýcháme...



evropský  
sociální  
fondy ČR



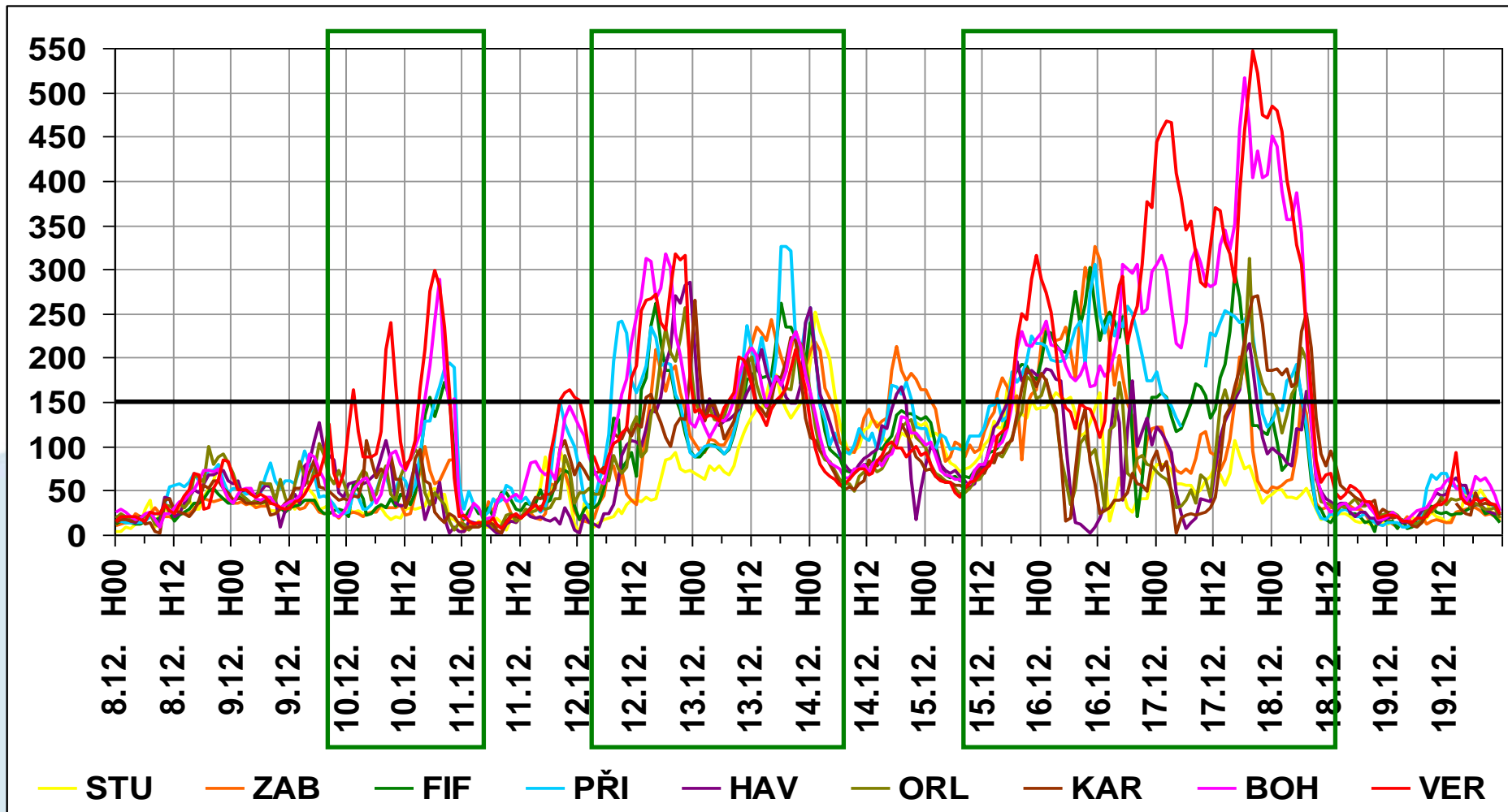
EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

... a podílí se na vzniku smogových situací ...



... o nichž bude řeč později

# Děkuji za pozornost



evropský  
sociální  
fondy ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)