

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

**ÚSTAV PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Lenka Čermáková

**Skleníkové plyny v atmosféře – nový typ měření  
v České republice**

**Greenhouse gases in the atmosphere - a new type of  
measurement in the Czech Republic**

Bakalářská práce

Školitel: RNDr. Pavel Sedlák, CSc.

Praha, 2012

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou mnohokrát poděkovala svému školiteli panu RNDr. Pavlu Sedlákovi, CSc. za pomoc, ochotu a cenné rady při psaní této práce.

Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům Centra výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. v Brně, jmenovitě především panu Ing. Vlastimilu Hanušovi za ochotné poskytnutí cenných informací a podrobnější uvedení do problematiky tématu práce. Mé poděkování patří i panu RNDr. Milanu Váňovi, Ph.D. za poskytnutí dat o rychlosti a směru větru z výšky 10 m na Observatoři ČHMÚ Košetice a za umožnění osobního seznámení se s odbornou činností observatoře. Velice děkuji také panu RNDr. Jiřímu Hoškovi, PhD. za přípravu dat z reanalýz NCEP/NCAR.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 30. 5. 2012

Lenka Čermáková

## *Abstrakt*

*Současný stav, vývoj a funkčnost ekosystémů jsou značně ovlivněny probíhající globální změnou, která je pravděpodobně způsobena nárůstem koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, pocházejících především z lidské činnosti. Ekosystémy jsou do jisté míry schopny se s následky této globální změny samy vyrovnávat, a zajišťovat tak své trvání do budoucnosti.*

*Pro pochopení sil určujících globální změnu potřebujeme podrobné kvalitní údaje pocházející z dlouhodobých pozorování. Kvantifikace toků látek a energií v různých ekosystémech a ocenění schopnosti ekosystémů vázat vzdušný uhlík nám umožní modelovat jejich vývoj, a to jak v podmínkách současných, tak za podmínek možné globální změny.*

*V práci jsou představeny současné metody výzkumu toků látek v mezní vrstvě atmosféry, jsou vyzdvíženy jejich výhody a je poukázáno na jejich nedostatky. Zároveň práce umožňuje hlubší seznámení se a poznání novější metody pozorování prostřednictvím tzv. stožárových observatoří. V práci jsou uvedeny některé již existující stožárové observatoře a jsou popsány jejich způsoby a metody měření. Část práce je věnována stožárové observatoři, jejíž výstavba je plánována v nejbližší době na území České republiky mezi obcemi Košetice a Křešín u Pacova. Poskytuje přehled o metodách, přístrojovém a technickém vybavení a zázemí této nové stožárové observatoře a seznamuje s účelem stavby a očekávanými cíli jejího provozu. Teoretickou část práce doplňuje část praktická, ve které jsou analyzovány větrné poměry oblasti plánované výstavby stožárové observatoře.*

## *Abstract*

*The current condition, development and functioning of ecosystems is greatly influenced by the ongoing global change, which is probably caused by the increased concentrations of greenhouse gases in the atmosphere originating from human activity. Ecosystems are able to some extent cope with the consequences of global change on their own, and therefore ensure their future preservation.*

*To understand the forces driving global change, we need detailed quality data from long-term observation. Quantification of substance and energy flows in different ecosystems and ecosystem valuation ability to bind air carbon allows us to model their development, both in current conditions and under conditions of global change.*

*This thesis presents the current research methods of atmospheric boundary layer flows, while highlighting their advantages and pointing out their drawbacks. It also enables a better understanding of new methods of observation through the tall towers. The thesis presents some of the existing tall towers and describes their ways and methods of measurement. A part of the thesis is devoted to a tall tower which is planned to be built in the Czech Republic between municipalities Košetice and Křešín u Pacova. It provides an overview of methods, instrumental and technical equipment and facilities of the new tall tower and introduces the purpose of its construction and expected goals of its operation. The theoretical part supports the practical part which analyzes the wind conditions in the area of planned construction of the tall tower.*

## Obsah

1. Úvod .....	6
2. Mezní vrstva atmosféry .....	7
2.1. Tloušťka a struktura mezní vrstvy atmosféry.....	7
2.2. Měření v mezní vrstvě atmosféry .....	10
3. Měření prostřednictvím stožárových observatoří.....	12
3.1. Kritéria výběru lokality.....	13
3.2. Měřené veličiny .....	13
3.2.1. Data fyzikálního charakteru .....	13
3.2.2. Data chemického charakteru .....	13
3.3. Popis stožárové observatoře .....	14
3.3.1. Metodika měření na vysokém stožáru ZOTTO.....	14
4. Některé stožárové observatoře .....	21
4.1. Zotino (Rusko).....	21
4.2. Cabauw (Nizozemí) .....	23
4.3. Ochsenkopf (Německo) .....	25
4.4. Bialystok (Polsko) .....	26
4.5. Hegyhátsál (Maďarsko) .....	27
5. Projekt ICOS.....	28
6. Observatoř Košetice .....	30
7. Stožárová observatoř Křešín u Pacova .....	31
8. Využití dat získaných ze stožárových observatoří .....	32
9. Základní rozbor větrných poměrů pro lokalitu Košetice.....	34
10. Závěr .....	38
Přílohy .....	40
Přehled literatury.....	42

## 1. Úvod

Ekosystémy planety Země jsou v současné době silně ovlivňovány globální změnou. Tato změna pravděpodobně souvisí s narůstajícími koncentracemi tzv. skleníkových plynů (zejména CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) v atmosféře (např. Winderlich et al., 2010). Podle IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) je změna způsobena především antropogenní činností probíhající od průmyslové revoluce, jež vyvolává změny v radiální bilanci Země (např. Vermeulen et al. 2011). Sama krajina v podobě vegetace je schopna značnou část CO<sub>2</sub> z atmosféry pohlcovat, fixovat v rostlinných buňkách a jeho zvyšující se koncentraci tak částečně kompenzovat prostřednictvím tzv. přirozeného uhlíkového cyklu (ICOS homepage, 2012: <http://www.icos-infrastructure.eu/>).

Abychom však tyto vztahy dokázali pochopit a poznatky vhodně využít, je potřeba dlouhodobého pozorování a výzkumu v regionálním měřítku (Thompson et al., 2009). K dokonalému pochopení hnacích sil globální klimatické změny potřebujeme podrobné a co nejúplnější údaje o emisích skleníkových plynů, o jejich zdrojích, propadech a vývoji v atmosféře (ICOS homepage, 2012: <http://www.icos-infrastructure.eu/>). Jedině vysoká přesnost získávaných údajů a dlouhodobé pozorování nám může poskytnout dostatečně kvalitní informace pro pochopení podstaty globální změny a souvislostí s přirozeným uhlíkovým cyklem (Winderlich et al., 2010). Předpokladem kvalitního výzkumu je samozřejmě zachování podmínek pozorování po celou dobu trvání výzkumu a jejich stanovení na mezinárodní úrovni (ICOS homepage, 2012: <http://www.icos-infrastructure.eu/>).

K dosažení takto vytčeného cíle je zapotřebí vhodné kvalitní moderní infrastruktury. Využívá se především již existujících ekosystémových a meteorologických stanic, které výzkum provádějí pomocí nejrůznějších metod. Existuje však potřeba vytvořit integrovaný monitorovací systém hlavních skleníkových plynů, který by dokázal určit jejich toky v regionálním, popř. kontinentálním měřítku (Thompson et al., 2009). Nezbytným aspektem úspěchu je především mezinárodní spolupráce, která zde má své nezastupitelné místo.

Cílem následující práce je shrnout poznatky o monitorování skleníkových plynů v atmosféře s využitím stožárových observatoří, v rámci čehož bude podrobně charakterizována monitorovací stanice, rozebrány vysoce přesné měřicí metody na již existujících stožárových observatořích a na nově budované stožárové observatoři Křešín u Pacova, zpracování dat a interpretace výsledků měření. Dále v práci půjde o zhodnocení lokality umístění stožárové observatoře na území České republiky a její začlenění do evropské sítě. S ohledem na to bude na základě poskytnutých dat proveden základní rozbor větrných poměrů pro oblast Košetice s cílem zjistit, zda v dané lokalitě nedochází k výraznějším odchylkám směru větru při zemi od směru proudění v hladině odpovídající velmi přibližně horní hranici mezní vrstvy atmosféry.

Zjišťováno bude především, zda nedochází k odchylkám, které by byly typické zvláště pro dané místo.

## 2. Mezní vrstva atmosféry

Následující přehled charakteristiky mezní vrstvy byl zpracován podle knih *An Introduction to Boundary Layer Meteorology* (Stull, 1988), *Probing the Atmospheric Boundary Layer* (Lenschow, 1986) a *Fyzika mezní vrstvy atmosféry* (Bednář, Zikmunda1985).

V současné době představuje problematika mezní vrstvy atmosféry velmi aktuální a s velkou intenzitou studovaný meteorologický obor. Rostoucí intenzita vlivu lidské činnosti na přírodu zasahuje zemskou atmosféru, zvláště pak její spodní část – mezní vrstvu, stále více, což vyvolává odůvodněné obavy z negativních důsledků na přírodní procesy i lidské zdraví.

Podmínky panující v atmosféře se v jejích různých vrstvách výrazně liší. Charakteristiky typické pro vrstvu těsně u zemského povrchu neodpovídají podmínkám ve vyšších vrstvách. Důvodem je skutečnost, že proudění v nejnižších vrstvách atmosféry v blízkosti zemského povrchu je jím ovlivňováno v podobě tření mas vzduchu o krajinný reliéf. Zemský povrch je tedy příčinou tvorby dvou různých vrstev troposféry, tzv. mezní vrstvy a volné atmosféry. Mezní vrstvu atmosféry tedy můžeme definovat jako „*část troposféry, která je přímo ovlivněná přítomností zemského povrchu, a reaguje na radiační působení s časovým odstupem hodinu nebo méně*“ (Stull, 1988). Nad pevninou dosahuje během dne tloušťka mezní vrstvy od několika stovek až do pár tisíc metrů. V noci se pak její tloušťka pohybuje v rozmezí 100 až 300 m.

Významné je pozorování především mezní vrstvy ve středních zeměpisných šířkách, kde je největší hustota lidského osídlení a probíhá zde nejvíce měření. Určujícími mechanismy v této oblasti jsou denní cyklus a průchod cyklon.

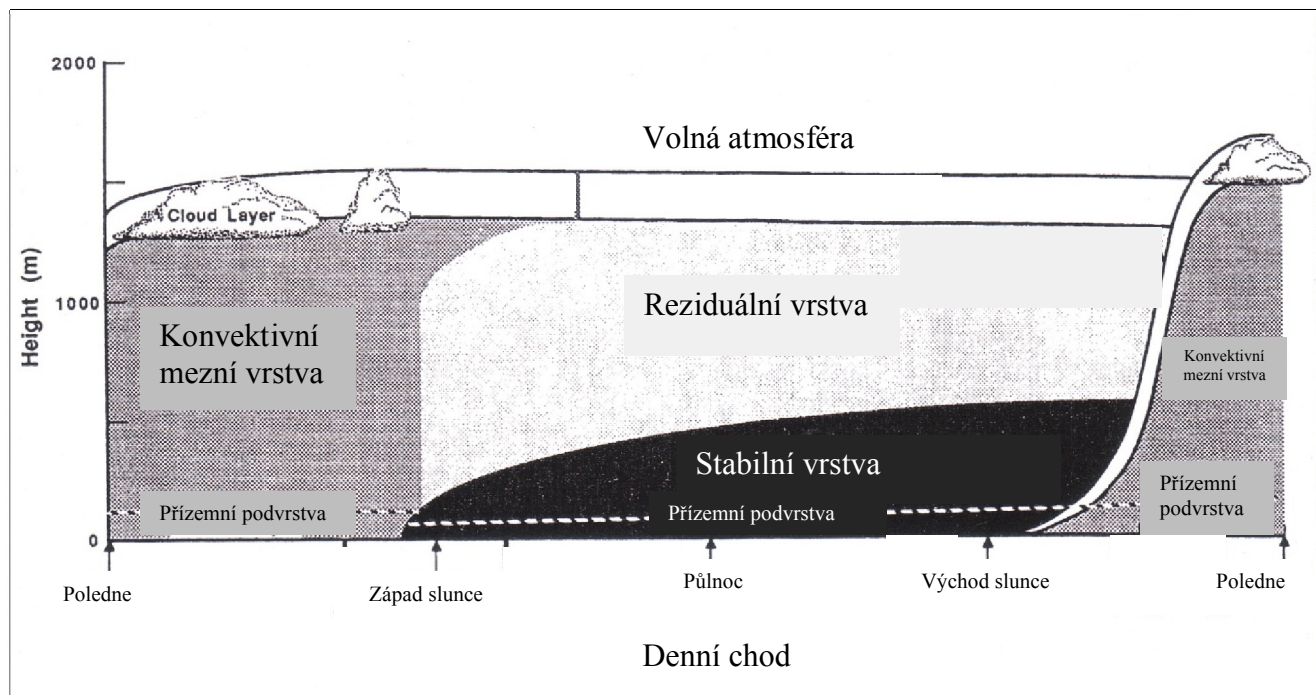
### 2.1. Tloušťka a struktura mezní vrstvy atmosféry

Tloušťka mezní vrstvy atmosféry není konstantní v čase ani prostoru. Obecně můžeme říci, že během dne a v teplejší části roku má mezní vrstva větší tloušťku než v noci a chladnější části roku. Je to způsobeno rychlostí větru a teplotou.

Nad oceánem dochází díky velkému promíchávání vzduchu a obrovské tepelné kapacitě vody jen k velmi malým změnám teploty během denního cyklu a tím i k malým změnám tloušťky mezní vrstvy. Mezní vrstva má tendenci být mělká v oblastech vysokého tlaku vzduchu, než v oblastech s nízkým tlakem vzduchu. To souvisí s přítomností oblačnosti v atmosféře. Mělkost mezní vrstvy je v oblastech vysokého tlaku vzduchu způsobena právě nepřítomností oblačnosti.

Nad pevninou v oblastech vysokého tlaku vzduchu se mezní vrstva vyvíjí v závislosti na denním cyklu. Rozlišujeme dva základní typy mezní vrstvy – konvektivní a stabilní. Za přítomnosti oblačnosti se konvektivní mezní vrstva dále dělí na vrstvu oblačnou a podoblačnou.

Spodní část mezní vrstvy do výšky 10% od zemského povrchu se nazývá přízemní podvrstva a je součástí buď konvektivní mezní vrstvy, nebo stabilní vrstvy mezní vrstvy atmosféry. Změnu struktury mezní vrstvy atmosféry v průběhu denního cyklu představuje obr. 1.



Obr. 1.: Změna struktury mezní vrstvy v průběhu dne (Stull, 1988)

### Konvektivní mezní vrstva

V konvektivní mezní vrstvě je turbulence řízena konvektivně. Příčinou konvektivních pohybů jsou přestup tepla z prohřívání zemského povrchu a radiační ochlazování horní části oblačné vrstvy.

V horní části konvektivní mezní vrstvy může k vzniku turbulence do jisté míry přispívat i stříh větru.

Na počátku bezoblačného dne je růst tloušťky konvektivní mezní vrstvy závislý na prohřívání zemského povrchu slunečním zářením. Po uplynutí několika desítek minut od východu slunce začíná konvektivní mezní vrstva sílit. Dochází k intenzivnímu promíchávání a stoupání teplého vzduchu vzhůru. Emise ze zdrojů blízko zemského povrchu se tak s tímto stoupajícím teplým vzduchem dostávají do vyšších hladin troposféry. V určité výšce je však tento stoupající teplý vzduch zadržen stabilní vrstvou, která působí jako poklička a znemožňuje



mu proniknout skrz. Emise tak zde mohou být zachyceny prouděním a unášeny na velké vzdálenosti. Své maximální tloušťky dosáhne konvektivní mezní vrstva v pozdním odpoledni.

Přítomnost oblačnosti na začátku dne může prohřívání vzduchu a intenzitu stoupavých pohybů zpomalit. To zbrzdí růst tloušťky konvektivní mezní vrstvy.

### **Reziduální vrstva**

Krátce před západem slunce se přestanou teplé stoupající proudy tvořit a turbulence v původně promíchané vrstvě slábnou. Konvektivní mezní vrstva zaniká a u zemského povrchu začíná vznikat stabilní mezní vrstva. Reziduální vrstva se nachází v horních zhruba dvou třetinách původní mezní vrstvy a stavové veličiny zde dosahují průměrných hodnot stejných jako v konvektivní mezní vrstvě, proto název zbytková.

Turbulence je stejně intenzivní ve všech směrech, což je důsledkem neutrální stratifikace této vrstvy. K šíření kouřových vleček dochází pouze horizontálním směrem, což vede k jejich kuželovitému tvaru.

Látky inertního charakteru rozptýlené během dne v konvektivní mezní vrstvě se noci shromažďují v horní části reziduální vrstvy, zatímco ty aktivní mohou reagovat s částicemi jiných látek, a vytvářet tak nové sloučeniny nepocházející z emisí ze zemského povrchu. Někdy může docházet i k reakcím plynů vedoucích ke vzniku aerosolů.

Z předchozích vět je tedy patrné, že reziduální vrstva není přímo ovlivněna interakcemi se zemským povrchem, a proto by neměla být považována za vrstvu mezní atmosféry. K účelům studia chování mezní vrstvy je však přesto brána jako její součást.

### **Stabilní mezní vrstva**

Reziduální vrstva se postupem noci mění kontaktem se zemským povrchem ve stabilní mezní vrstvu. Horní hranice stabilní mezní vrstvy je jen těžko definovatelná, protože její horní část plynule přechází do vrstvy reziduální.

Emise jsou rozptýlovány spíše než ve vertikálním směru ve směru horizontálním. Tento jev označujeme jako čeření.

Rychlost větru se mění často od několika málo metrů za sekundu u zemského povrchu přes 10-30 m/s ve výškách okolo 200 m. n. m až po rychlost větru blížíci se geostrofickým hodnotám ve stovkách m. n. m.

Tvorbu stabilní mezní vrstvy můžeme pozorovat i během dne v případě, že vzduch je teplejší než zemský povrch. To nastává především při přechodu teplé fronty přes prochlazený zemský povrch nebo nedaleko břehů vodních ploch.

## 2.2. Měření v mezní vrstvě atmosféry

Základní poznatky o chování mezní vrstvy atmosféry získáváme z různých druhů měření. Nejčastější jsou terénní měření, některá měření jsou prováděna v laboratořích ve vodních nádržích nebo kanálech a využívá se i měření v aerodynamických tunelech nebo numerických simulací.

K provedení měření potřebujeme čidlo, snímač a zaznamenávací přístroj a jejich nosné zařízení. Samozřejmostí jsou kalibrační a zobrazovací přístroje.

V současné době existuje mnoho zařízení a metod poskytujících údaje potřebné ke studiu charakteristik mezní vrstvy. K základním metodám patří bodová a distanční měření.

### 2.2.1. Bodová měření

Bodová měření jsou realizována různými druhy zařízení. Ta jsou charakteristická především výškou nad zemským povrchem, ve které jsou používána a ze které jsou tedy schopna poskytovat data.

Mezi přízemní zařízení do max. výšky měření kolem 2 m patří tzv. meteorologické budky, v poslední době částečně nahrazované automatickými meteorologickými stanicemi. Nejčastěji se toto zařízení využívá k měření průměrných hodnot teploty, vlhkosti a tlaku. K mikrometeorologickým měřením je využíváno minimálně.

Vyvýšená zařízení měří do výšky 50 m a patří k nim především stožáry. Často jsou konstruovány jako 10 až 50 m vysoké tyče, na které se zavěšují přístroje pro měření jednotlivých charakteristik. Jejich velkou výhodou jsou relativně nízké pořizovací náklady a nenáročnost výstavby. Jejich konstrukce umožňuje měření v různých výškách. To je zvláště důležité pro zjišťování hodnot teploty, rychlosti větru a vlhkosti, které se s výškou mění. Limitujícím faktorem je však jejich výška, která určuje jejich využívání hlavně pro měření v přízemní vrstvě.

Ve výškách na 50 m se využívají výšková zařízení. Do této skupiny spadají stožárové observatoře, různé druhy tzv. balónových sond a letadla.

Balónové sondy jsou zařízení různých konstrukcí a tvarů naplněná heliem. Dle druhu mohou být zavěšeny na laně, nebo mohou být volně vypouštěny a unášeny větrem. Zavěšené balónové sondy by byly schopné měřit až ve výškách do 2 km nad zemí, striktní předpisy bezpečnosti letového provozu však dovolují jejich použití v maximálních výškách do 800 m. Jejich výhodou je možnost měření v poměrně širokém spektru výšek, avšak pouze v určitém vertikálním sloupci vzduchu a v nestejném okamžiku. Volně vypouštěné balónové sondy jsou většinou jakési balónky (mohou být ve tvaru čtyřstěnu nebo koule) na jedno použití, pomocí kterých se měří teplota, vlhkost a tlak. Je možné je také využít pro získávání informací o větru. Ačkoli pořizovací cena jednotlivého balónku není vysoká, kontinuální měření vyžaduje poměrně

vysoké finanční zajištění. Pro zjišťování reprezentativních údajů o mezní vrstvě nejsou příliš vhodné, protože neposkytují ani časový ani prostorový průměr.

Pro účely zjišťování charakteristik mezní vrstvy může být využito i celé řady různých druhů letadel. Měřicí zařízení je zde nejčastěji upevněno na speciálních ramenech na předku nebo křídle letadla tak, aby sbírané vzorky nebyly ovlivněny pohybem letadla samotného.

Letoun během letu postupně prolétává jednotlivé hladiny a po určitou dobu v dané výšce setrvává, což umožňuje získání dat z poměrně velké plochy a dostatečného počtu výšek. Tento způsob měření tedy sice teoreticky zajišťuje velkou četnost vzorků v horizontálním i vertikálním směru, avšak je třeba počítat s možností vychylování letadla z dané hladiny vlivem turbulence a se skutečností, že data nejsou získávána ve stejném čase a prostoru. V potaz se musí brát také možný sebemenší náklon letadla, který může výsledná data ovlivnit.

Čidla využívaná při tomto způsobu měření musí být dostatečně citlivá a schopná rychlé odpovědi, protože letadlo se pohybuje rychlostí až 100 m/s. Jedno takové měření pomocí letounu probíhá 10 až 20 minut s cílem získat dostatečné množství údajů pro kvalitní statistiku. Délka trvání měření musí být vhodně zvolena. Pokud by byla příliš krátká, v měření by se vyskytlo příliš mnoho chyb, které by způsobily vysoký rozptyl naměřených hodnot a tím znemožnily požadovanou přesnost dat zahrnovaných do statistiky. Zvolíme-li však čas trvání jednoho měření delší, dostatečný pro získání potřebného množství a kvality vzorků, může se stabilita mezní vrstvy změnit, což následně negativně ovlivní získaná data. Řešením problému by mohlo být zvýšení rychlosti letadel při měření. To by ale vyžadovalo použití citlivějších čidel schopných rychlejší odpovědi, což je velice obtížné až nemožné.

Měření zajišťovaná tímto způsobem jsou dosti finančně nákladná s ohledem na údržbu a provoz letadel a spotřebu pohonných hmot.

### **2.2.2. Distanční měření**

Využívá se také distančních metod měření, která se zajišťují pomocí radarů, sodarů a lidarů.

Sodar je akustické zařízení, jehož prostřednictvím je často zjišťována tloušťka konvektivní mezní vrstvy a stabilní mezní vrstvy. Sodar detekuje horní hranici této vrstvy na základě rozdílů mezi teplotou chladnější konvektivní mezní vrstvy a vyšší teplotou její horní hranice – inverzní vrstvy. Jisté omezení v používání sodaru představuje příliš rychlé oslabování signálu při průchodu atmosférou. To znemožňuje měření nad hranicí 1 km. Metoda se proto nejčastěji využívá pro zjišťování tloušťky konvektivní mezní vrstvy brzy ráno. Možný vliv pozadového hluku musí být stíněn, popřípadě redukován vhodnými technickými a technologickými opatřeními, jinak by mohlo dojít ke kontaminaci signálů.

Zařízení zvané lidar emituje laserový světelný paprsek, který je následně v mezní vrstvě rozptylován molekulami vzduchu, drobnými kapičkami oblačnosti a aerosoly. Nejčastěji se lidar používá k zaměřování emisí. Jelikož většina zdrojů emisí se nachází při zemském povrchu, je mezní vrstva na jejich koncentrace oproti volné atmosféře bohatší. Tak je možné mezní vrstvu od volné atmosféry jejich grafickým záznamem rozlišit.

### **3. Měření prostřednictvím stožárových observatoří**

Výše byly uvedeny různorodé způsoby měření v mezní vrstvě atmosféry. Byly vyzdvíženy jejich výhody a bylo poukázáno i na jejich nedostatky. Vzhledem k tomu, že si vědci uvědomují, jak je sledování toků látek v mezní vrstvě atmosféry důležité, dochází k vývoji stále novějších a dokonalejších technologií, které přinášejí podrobnější a přesnější data pro analýzu.

Plodem těchto snah se v poslední době stává měření na stožárových observatořích. Jedním ze stěžejních parametrů je právě výška stožáru. Vysoká konstrukce umožňuje současné měření jednotlivých veličin ve více hladinách mezní vrstvy. Zvláště důležité jsou pak informace získané z výšek nad 100 m. Měření ve výškách nad 100 m totiž umožňuje získání dat, která nejsou zkreslená vlivem zemského povrchu na charakter proudění a koncentrace monitorovaných látek. Nespornou předností je pak zajištění kontinuálnosti měření. Po uvedení stožárové observatoře do provozu poskytuje přístrojové vybavení dlouhodobě v pravidelných velmi krátkých intervalech obrovské množství dat, která se archivují a později analyzují. Jedinou avšak nezanedbatelnou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na výstavbu a přístrojové vybavení. Nutno ale podotknout, že tyto náklady jsou ve velké míře jednorázové. Technologie navíc umožňuje bezobslužný provoz s možností řízení a kontroly na dálku prostřednictvím počítačového spojení.

Využito může být samozřejmě i stávajících věží přednostně určených k jiným účelům (např. televizních vysílačů), čímž značně klesají pořizovací náklady. Většina těchto využívaných věží však nedosahuje odpovídajících výšek a často se nachází v ne zcela vhodných lokalitách. Přesto může být jejich využívání přínosné (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

Je velice důležité brát v úvahu skutečnost, že data z měření na stožárových observatořích nabývají smyslu pouze v kontextu s regionální či kontinentální sítí dat. I samotné modelování, které může být výstupem měření, má již ze své podstaty minimálně regionální až kontinentální rozměr. Vzhledem k této skutečnosti se veškeré činnosti v tomto směru odehrávají v těsné mezinárodní spolupráci.

### 3.1. Kritéria výběru lokality

V efektivním využití měření prostřednictvím těchto stožárových observatoří hraje velmi důležitou roli lokalita, kde je stožár umístěn. Tvar zemského povrchu ovlivňuje charakter proudění i meteorologické úkazy, což se samozřejmě promítá do naměřených dat. Pro užití dat v modelování toků látek v mezní vrstvě v regionálním měřítku je však potřeba mít data příznačná pro region. Jakákoli reliéfová či geograficko-klimatická specifická lokalita netypická pro celý region se tak stává nežádoucí. Potřebné je také prověřit měřicí dosah okolních stožárových observatoří. Bylo by zbytečné a velmi ekonomicky nevýhodné, aby se dosah jednotlivých stožárů překrýval. Zatímco z jedné oblasti bychom měli data zdvojená, z oblasti jiné by nám data unikala. Z uvedených důvodů by měly být na výběr lokality kladeny poměrně vysoké nároky (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

Při výběru lokality je tedy třeba pozorně sledovat:

- reliéf terénu, členitost terénu
- geograficko-klimatické podmínky (např. srážkový stín)
- vzdálenost od překážek (např. od pohoří, jednotlivých hor, zástavby)
- vzdálenost od jiných stožárů (nepřekrývající se měřicí dosah stožárů)

### 3.2. Měřené veličiny

Stožárová observatoř zaznamenává atmosférická data fyzikálního a chemického charakteru.

#### 3.2.1. Data fyzikálního charakteru

Prostřednictvím přístrojového vybavení stožárové observatoře zjišťujeme, ze kterého směru vzduch přichází a jakou rychlostí. Tyto údaje mohou napomoci k získávání informací o souvislostech mezi modelací zemského povrchu a promícháváním vzduchu ve vertikálním i horizontálním směru. (Hanuš, 2012, ústní sdělení). Dále se měří teplota a vlhkost vzduchu, které se používají jako pomocné veličiny v modelování toků látek (např. Popa et al., 2010).

#### 3.2.2. Data chemického charakteru

Z chemických parametrů se měří především koncentrace látek, jejichž sledování nám umožní hlubší pochopení jevů vedoucích ke globální změně. Z tohoto důvodu se sledují především koncentrace těchto plynů: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, freony, SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> (Popa et al., 2010; Thompson et al., 2009; Vermeulen et al., 2011; Winderlich et al., 2010; Haszpra, 2010).

Oxid uhličitý je typickým skleníkovým plynem, který je zároveň dobře měřitelný a sledovatelný. Koncentrace metanu se sledují především z důvodu určování jeho původu. Jde zde

o snahu zjistit, zda pochází z přirozených či antropogenních zdrojů. Freony jsou velice stabilní látky a jejich životnost v atmosféře je poměrně vysoká, ale je mnohem výhodnější sledovat koncentrace fluoridu sírového. SF<sub>6</sub> prakticky nemá přirozené zdroje. Je možné ho využívat jako stopovací plyn ke sledování proudění plynů v atmosféře, případně k určování stáří podzemních vod (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

Kromě koncentrací uvedených látek je možné mapovat i dálkový přenos znečištěnin a poměr izotopů prvků v jednotlivých sloučeninách. Například určení poměru izotopů uhlíku v CO<sub>2</sub> a v CH<sub>4</sub> nám poskytne informaci o původu spotřebovávaného uhlíku (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

### **3.3. Popis stožárové observatoře**

Stožárová observatoř se obvykle skládá ze dvou částí – ze samotné nosné konstrukce (stožáru) a z vlastní technologie.

Samotný stožár je nosnou konstrukcí celé stavby. Může to být klasický stožár s konstrukcí stejně širokou v celé výšce, potom je stavba upevněna kotvícími lany, anebo může mít stavba charakter věže s širší základnou. Konstrukce nese vzorkovací linky, představované hadicemi, pro odběr vzorků a v různých výškách jsou na ní zavěšena měřicí zařízení.

Druhou část představuje vlastní technologie v podobě jakéhosi kontejneru pod stožárem, kde se odebírají, shromažďují a analyzují odebrané vzorky. Odběr vzduchu je zajišťován čerpadlem. Vzorek vzduchu prochází úpravou, filtrací a sušením a je hnán do analyzátorů, které provedou jeho rozbor. Následně se data vyhodnotí.

Princip měření prostřednictvím stožárových observatoří stojí vždy na stejném základu. Systém měření se skládá z několika podsystémů podle druhu měřených veličin a látek a dle zvolených metod pro analýzu odebraných vzorků. Obvykle měřicí systém sestává z odběru vzorku systémem přívodu vzduchu, následně vzorek prochází úpravou v systému sušení vzduchu, odkud je distribuován do samotného analyzačního systému (Winderlich et al., 2010). Pro názornost bude v následující části popsán měřicí systém stožárové observatoře ZOTTO v centrální Sibiři, který byl využíván až do dubna 2009.

#### **3.3.1. Metodika měření na vysokém stožáru ZOTTO**

Měřicí zařízení na stožárové observatoři ZOTTO se skládá z několika podsystémů: 1) podsystém přívodu vzduchu, 2) podsystém sušení vzduchu, 3) podsystém analýzy CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>, 4) podsystém plynového chromatografu, 5) podsystém sběru dat, 6) podsystém kalibrace (Kozlova et al., 2009).

### 3.3.1.1. Podsystem přívodu vzduchu

Stožárová observatoř ZOTTO měří celkem 304 m. Odběr vzorků je realizován z celkem pěti výšek 300, 227, 92, 52 a 4 m. Z každé výšky je vzduch přiváděn vzorkovacími linkami v podobě hadic o průměru 12 mm. Vzorek vzduchu je po trase prosáván pomocí čerpadel. System je konstruován na odběr vzduchu 5 L/min. Jen malá část (150 mL/min) však prochází úpravou a je analyzována. Zbylý odebraný vzduch (4,85 L/min) je využit pro proplach vzorkovací linky. Místo, kudy je vzduch do jednotlivých vzorkovacích linek nasáván, je chráněno speciálními kryty, které poskytují ochranu před přímým vlivem sněhu a deště. Zároveň jsou všechny vzorkovací linky chráněny před nečistotami a většími částicemi (pylem, hmyzem atd.) 40 µm kovovými výměnnými filtry instalovanými hned u vstupu vzduchu do jednotlivých vzorkovacích linek (Kozlova et al., 2009).

Jednotlivé linky vedou do kontejneru u paty věže, kde jsou vzorky upravovány a následně analyzovány. Před vstupem jsou staženy do svazku a opatřeny nylonovým obalem, který chrání kontejner před možným úderem blesku, a zároveň tím tak poskytuje ochranu analytickým přístrojům (Kozlova et al., 2009).

### 3.3.1.2. Podsystem sušení vzduchu

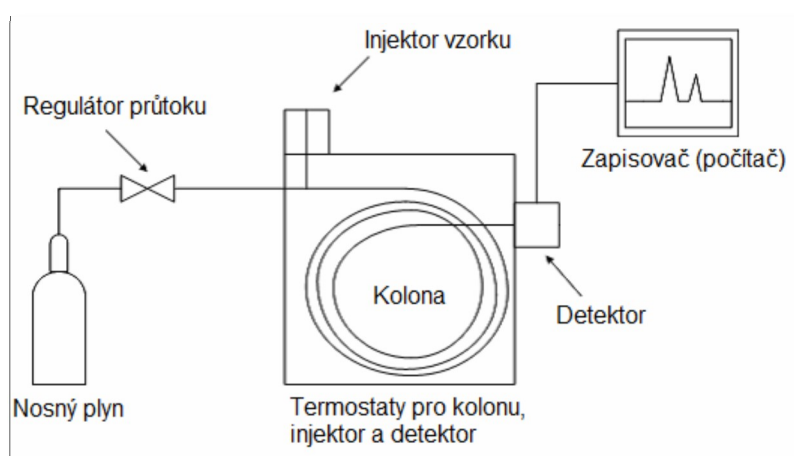
Odebíraný vzduch obsahuje vždy určité množství vlhkosti. Vodní pára by výsledky měření mohla značně ovlivnit. Její přítomnost ve vzorku je tedy nežádoucí a musí být odstraněna. K tomu je právě určen system sušení vzduchu. Na stožáru ZOTTO jsou vzorky předsušovány průchodem přes dva skleněné odlučovače v podsystemu měření CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> a podsystemu plynového chromatografu. Jsou instalovány v chladícím zařízení, které udržuje teplotu na zhruba +1-2°C. Zde dojde k odstranění většiny vlhkosti ze vzorku. Odlučovače jsou vyplněné borosilikátovými skleněnými perličkami. Tyto perličky zvětšují povrch pro kondenzaci vody a celý proces tak urychlují. Další fáze sušení probíhá prostřednictvím průchodu vzduchu skrz zmrazovací nerezové pasti ponořené do etanolové lázně o teplotě -90°C. Při dostatečné době setrvání vzorku v tomto odlučovači klesne obsah vlhkosti ve vzorku na minimum a vzorek může být analyzován. Vzorky z jednotlivých výšek se neanalyzují současně. Mezi přívody vzduchu se pravidelně přepíná a analýzu podstupuje pouze vzorek z jedné zvolené výšky. Vzduch z ostatních vzorkovacích linek je v tu chvíli využíván k proplachu vzorkovací linky. Před vstupem do analyzátoru je třeba vzorek zkalibrovat pomocí kalibračního plynu. Následně může být provedena analýza (Kozlova et al., 2009).

### 3.3.1.3. Analýza vzorků

Analýza vzorků může být provedena různými metodami. Nejčastěji se využívá plynová chromatografie a infračervená spektroskopie. Na stožárové observatoři ZOTTO se měří koncentrace několika látek. Pro analýzu CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> se využívá analyzátor založený na principu infračervené spektroskopie (NDIR, nondispersive infrared sensor) a k analýze CH<sub>4</sub>, CO a N<sub>2</sub>O se využívá metoda plynové chromatografie (Kozlova et al., 2009).

#### Plynová chromatografie

Plynová chromatografie je separační analytická fyzikálně chemická metoda určená pro oddělování a analýzu směsi látek. Základním principem je rozdělování složek směsi mezi mobilní a stacionární fázi. Metoda umožňuje vzájemnou separaci látek obsažených ve zkoumané směsi a zároveň o směsi poskytuje kvalitativní i kvantitativní informaci. Zjednodušené schéma plynového chromatografu poskytuje obr. 2.



Obr. 2: Zjednodušené schéma plynového chromatografu [1]

Tab. 1: Výhody a nevýhody plynové chromatografie (Hanuš, 2012, ústní sdělení)

PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE	
VÝHODY	NEVÝHODY
Robustní „zavedená“ metoda	Dlouhý měřicí cyklus
Vysoká citlivost	Spotřeba provozních plynů
Odolnost vůči stavovým vlastnostem plynu	Energetická náročnost

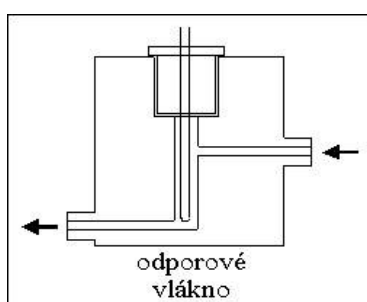


## Užívané detektory:

### **Tepelně vodivostní detektor (TCD)**

Součástí detektoru je zahříváné odporové vlákno, které je ochlazováno protékajícím plynem. Je založen na principu, že každý plyn má jinou tepelnou kapacitu, tedy schopnost ochlazovat žhavené vlákno, okolo kterého proudí (a tím měnit jeho odpor). Tepelná kapacita plynů se nemění, pouze je různá v závislosti na tom, jestli z kolony vychází pouze nosný plyn, nebo nosný plyn „obohacený“ nějakým analytem. Míra ochlazování se porovnává s referenčním vláknem, které je ochlazováno neměnným proudem stále stejného plynu.

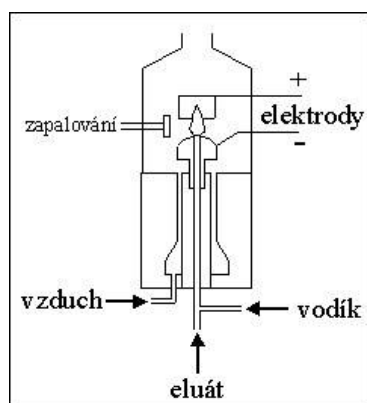
Tento detektor je poměrně univerzální, středně citlivý [1]. Schéma detektoru představuje obr. 3.



Obr. 3: Schéma tepelně vodivostního detektoru [2]

### **Plamenově ionizační detektor (FID)**

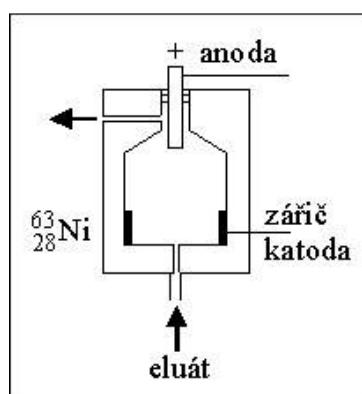
Plyn je z kolony přiváděn do kyslíko-vodíkového plamene, kde v důsledku chemionizačních reakcí dochází ke vzniku nabitých částic. Detektor je tvořen ocelovou tryskou, kam vstupuje směs nosného plynu, vodíku a doplňkového plynu. Na špičce mikrohořáku se následně v proudu vzduchu směs spálením přemění na ionty. Ty jsou detekovány na polarizovaných elektrodách. Tento druh detektoru je velmi citlivý. S vysokou spolehlivostí poskytuje odezvu na téměř všechny organické látky s výjimkou formaldehydu. Naopak nedokáže detekovat většinu anorganických plynů [1]. Schéma detektoru představuje obr. 4.



Obr. 4: Schéma plamenově ionizačního detektoru [2]

## Detektor elektronového záchytu (ECD)

Tento detektor je velmi citlivý na elektronegativní atomy. Velmi vhodný je tedy pro detekci halogenů. Nosným plynem je zde  $N_2$ , který je vlivem  $\beta$  záření v detektoru ionizován. Tím vzniká konstantní proud. Elektronegativní atomy zachytávají pomalé elektrony, a snižují tak tím ionizační proud. Jako zdroj ionizace se využívá  $^3H$  nebo  $^{63}Ni$  [1]. Schéma detektoru představuje obr. 5.



Obr. 5: Schéma detektoru elektronového záchytu [2]

## Infračervená spektroskopie

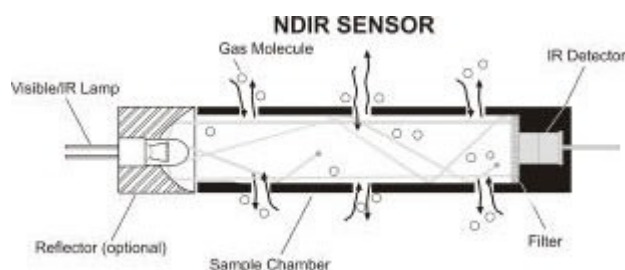
Infračervená spektroskopie je analytická metoda určená k identifikaci organických látek a pro stanovení anorganických sloučenin. Měříme při ní pohlcování infračerveného záření o různých vlnových délkách analyzovanou látkou. Metoda je postavena na principu absorpce infračerveného záření při průchodu analyzovaným vzorkem. V závislosti na změnách dipólového momentu molekuly, dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly [3].

Tab. 2: Výhody a nevýhody infračervené spektroskopie (Hanuš, 2012, ústní sdělení)

INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE	
VÝHODY	NEVÝHODY
Krátký měřicí cyklus	Nízká citlivost vůči některým látkám
Provozní nenáročnost	Citlivost na stavové vlastnosti plynu
Malá náročnost na energie	Citlivost na vlhkost

## NDIR (Non-dispersive Infrared)

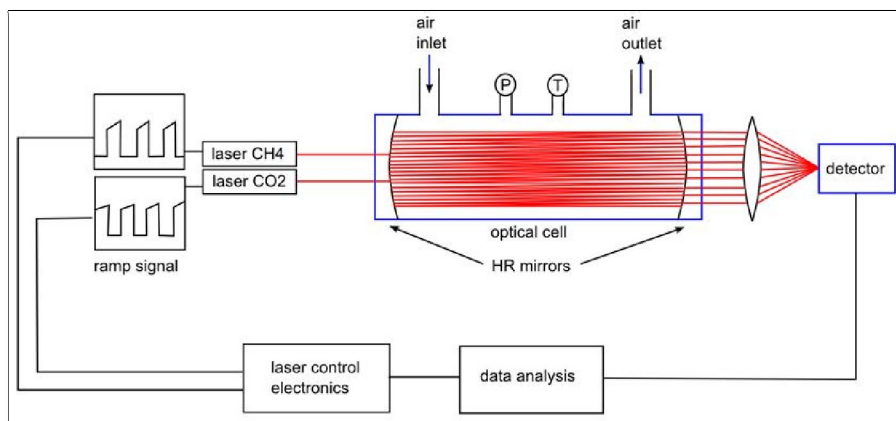
Non-dispersive Infrared (NDIR) je jednou ze spektroskopických metod, pomocí které se dají určovat koncentrace různých druhů plynů. Využívá se při ní zařízení, kdy je do komory vháněn plyn, jehož koncentrace je následně změřena (Obr. 6). Do komory je pouštěn světelný paprsek o vybrané vlnové délce v infračervené oblasti a z množství světla dopadajícího na detektor se koncentrace plynu v komoře může jednoduše odečíst. Intenzita infračerveného světla, které dopadá na detektor je totiž nepřímo úměrná koncentraci plynu v komoře. Pokud by koncentrace plynu byla v komoře nulová, na detektor by dopadlo světlo o intenzitě 100 %. Se zvyšující se koncentrací plynu však intenzita světla dopadajícího na detektor klesá.



Obr. 6: Princip NDIR [4]

## CEAS (Cavity – enhanced Absorption Spectroscopy)

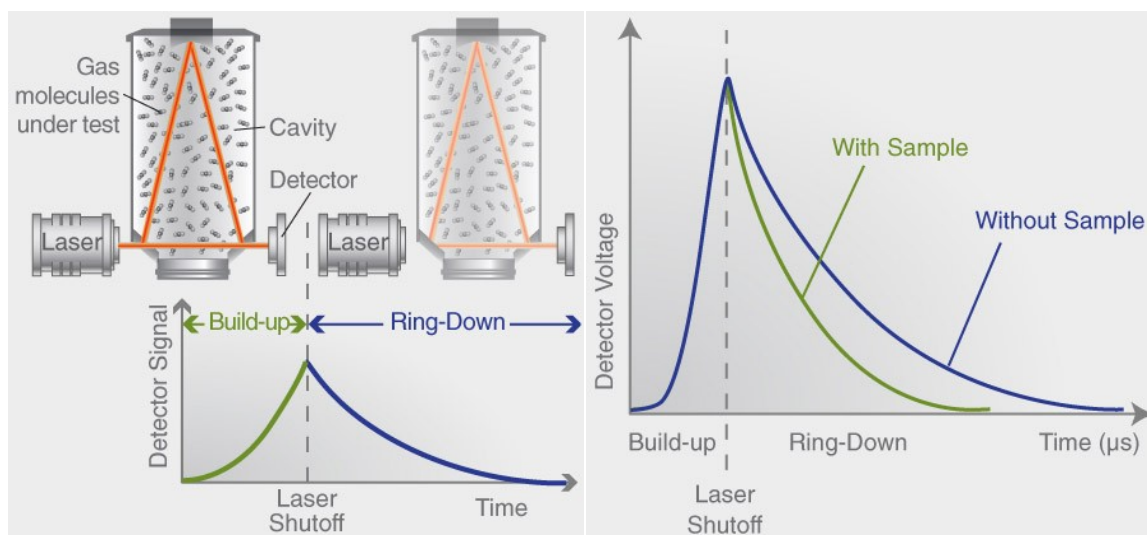
Zjišťované skleníkové plyny se v atmosféře vyskytují převážně ve stopovém množství, které běžné spektroskopy nedokážou s požadovanou přesností určit. Metoda Cavity – enhanced Absorption Spectroscopy (CEAS) je založena na principu, kdy laserový paprsek vstupuje do dutiny naplněné analyzovaným plynem, kde jsou proti sobě nastavena dvě vysoce odrazivá zrcadla. Paprsek se od zrcadel mnohokrát odrazí, a prodlouží tak svou průchodovou dráhu květou až několik tisíc krát. To umožňuje detekovat i relativně malé koncentrace plynů ve vzorku. U metody CEAS se světlo vstupující do dutiny odráží od zrcadel a je pohlcováno prostředím mezi nimi. Neodražená malá část světla prochází skrz zrcadlo, kde je detekována. Množství světla pronikajícího skrz zrcadlo pak závisí na množství světla absorbovaného v dutině mezi zrcadly (Obr. 7). Stejně tak absorpce světla v dutině mezi zrcadly závisí na koncentraci absorpční látky. I takto je možné měřit koncentraci látek, která absorbuje světlo o vlnové délce použitého laseru.



Obr. 7: Princip CEAS [5]

### CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy)

Metoda CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy) je založena na obdobném principu jako CEAS metoda. Liší se jen geometrií (Obr. 8) [6].



Obr. 8: Princip CRDS [6]

## 4. Některé stožárové observatoře

### 4.1. Zotino (Rusko)

Stožárová observatoř ZOTTO (obr. 10 a, b) dosahující výšky 304 m (Kozlova et. al, 2009) se nachází v centrální části Sibíře ( $60^{\circ} 48' \text{ s.š.}$ ,  $89^{\circ} 21' \text{ v.d.}$ , 114 m. n. m) asi 20 km západně od obce Zotino v blízkosti řeky Jenisej (Winderlich et al., 2010).



Obr. 10 a, b: Stožárová observatoř Zotto [7]

Je lokalizována nedaleko jižní hranice nesouvislého permafrostu v celkem homogenním, nenarušeném kontinentálním boreálním ekosystému. Přirozenou vegetaci reprezentuje jehličnatý les s významnými areály mokřadů (Kozlova et al. 2009). Borovicí lesní tvořená tajga dosahuje výšky kolem 20 m a její podklad tvoří lišejníky pokryté písčité půdy (Winderlich et al., 2010).

Stožárová observatoř je umístěna ve velice odlehle oblasti (Kozlova et al. 2009). Nejbližší město Krasnojarsk (950 000 obyvatel) je vzdáleno 600 km jižně (Winderlich et al., 2010). Odlehlost místa je příčinou nízkého antropogenního vlivu na průběh měření. Tato skutečnost v součinnosti s homogenním ekosystému umožňuje stožárové observatoři sledovat poměrně velkou oblast, a stopovat tak látky na velké vzdálenosti (Kozlova et al., 2009). Umístění stožárové observatoře na takto odlehle místě má však i své nevýhody. Cesta ke stanici je možná pouze v zimním období a může trvat až dva dny. Z tohoto důvodu je nutné držet potřebu údržby zařízení na minimální úrovni, stejně tak i spotřebu materiálu (Winderlich et al., 2010). Pro pohodlnější obsluhu za nepříznivých meteorologických podmínek je kontejner s měřicím zařízením spojen jakýmsi tunelem s obytným domkem, kde sídlí obsluha a pozorovatelé (Facility. ZOTTO project, 2012: <http://www.zottoproject.org/facility.html>).



*Obr. 11: Zastřešená cesta spojující kontejner a obslužný domek [7]*

*Obr. 12: Pohled z vrcholu Zotto [7]*

Monitorování v oblasti Sibiře je výhodné hned z několika důvodů. Sibiřské ekosystémy jsou obzvláště významné pro budoucí vývoj klimatu. Jsou uzpůsobené čelit nárůstu teploty a srážek v zimním období (Winderlich et al., 2010). Výzkum uhlíkového cyklu také ukazuje, že Sibiř je významnou oblastí propadu uhlíku. Monitoring právě v její centrální části může významně přispět ke zjištění dalších poznatků, které by mohly vést k přesnější modelaci vývoje klimatu (Zotto homepage, 2012: <http://www.zottoproject.org/index.html>). Projekt Zotto probíhal současně s evropským projektem CHIOTTO (Continuous High-precision Tall Tower Observation of greenhouse gasses), který zastřešoval měření na osmi evropských stožárových observatořích. Přesto bylo měření na Zotino velice důležité. Výhoda sledování koncentrací látek v centrální Sibiři spočívala především ve faktu, že krajina centrální a východní Evropy je výrazně ovlivněna průmyslem a zemědělstvím, takže klimatické změny zde budou méně extrémní než právě v původní krajině Sibiře (Kozlova et al., 2009).

Monitoring v této oblasti probíhá již od roku 1993. Stavba stožárové observatoře však probíhala až v letech 2005 - 2006 (Facility. ZOTTO project, 2012: <http://www.zottoproject.org/facility.html>). Byla dokončena v září roku 2006, odkdy také probíhají měření. Na 304 m vysokém stožáru se v průběhu provozu stanice sledovaly koncentrace několika látek. Ve výškách 301 m a 52 m se od roku 2006 měří koncentrace oxidu uhelnatého (CO) a aerosoly (Winderlich et al., 2010). Z výšky 30 m pocházela data pro analýzu ozónu a oxidů dusíku (Winderlich et al., 2010). Systém měření koncentrací CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO a N<sub>2</sub>O z pěti výšek (301, 227, 92, 52 a 4 m) byl založen na analýze plynovou chromatografií a trval až do června 2007 (Kozlova et al. 2009; Winderlich et al., 2010). Od tohoto roku také probíhají meteorologická měření. V dubnu 2009 byl tento složitý systém nahrazen systémem pro měření pouze koncentrací CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> (Winderlich et al., 2010).

## Přehled měření probíhajících v současné době

(Science. ZOTTO project, 2012: <http://www.zottoproject.org/science.html>):

- Kontinuální měření CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> ve výškách 301, 227, 92, 52 a 4 m metodou CRDS
- Kontinuální měření aerosolů ve výškách 301 a 52 m
- Kontinuální měření CO ve výškách 301 a 52 m
- Kontinuální měření ozónu a oxidů dusíku ve výšce 30 m
- Kontinuální meteorologická měření ve výškách 301, 227, 158, 92, 52 a 4 m a těsně nad zemským povrchem (teplota, rychlost větru, vlhkost vzduchu)
- Různá nepravidelná ekosystémová měření

### 4.2. Cabauw (Nizozemí)

Stožárová observatoř Cabauw (obr. 12) se nachází v centrální části Nizozemí (51° 58' s.š, 4° 55' v.d., -2 m. n. m.) asi 25 km jihozápadně od města Utrecht, a její ocelová konstrukce sahá do výšky 213 m. Byla postavena v roce 1972 Královským Nizozemským Meteorologickým Institutem (KNMI) za účelem zjišťování meteorologických charakteristik mezní vrstvy atmosféry (Vermeulen et al., 2011). KNMI tuto stožárovou observatoř stále vlastní, provozuje a využívá ke zjišťování meteorologických parametrů, aerosolů, polutantů, oblaků a monitorování skleníkových plynů pod názvem CESAR - Cabauw Experimental Site for Atmospheric Research (Popa et al., 2011). Postupně se Cabauw stával součástí několika výzkumných projektů. Od roku 2002 je různými universitami a instituty využíván pro různé výzkumy. Měření skleníkových plynů bylo zahájeno ECN (Energy research Centre of the Netherlands) v roce 1992. V roce 2004 pak bylo měření rozšířeno a zmodernizováno a Cabauw se stal součástí projektu CHIOTTO, který vznikl pod záštitou Evropské unie jako složka CarboEurope (Vermeulen et al., 2011). V rámci tohoto projektu bylo pro výzkum dovybaveno a využito celkem osm evropských stožárových observatoří. Infrastrukturu vytvořenou pro CHIOTTO je možné využít v připravovaném programu ICOS (Integrated Carbon Observing System).

Lokalita pro umístění stožárové observatoře byla vybrána z důvodu reprezentativnosti podmínek v rámci státu a kvůli plánovanému jen nevýznamnému krajinnému vývoji v oblasti (About Cesar Observatory, Cesar homepage, 2012: <http://www.cesar-observatory.nl/>). Její nejbližší okolí je relativně řídko osídleno, přestože populace v oblasti v okruhu do 100 km čítá přes 7 milionů obyvatel. Ve vzdálenosti 1 km východně od stožárové observatoře se nachází malé městečko Lopik (7500 obyvatel) a 2 km jižně protéká řeka Rýn (Vermeulen et al., 2011). Asi 50 km severně se nachází Severní moře (Popa et al., 2011; About Cesar Observatory, Cesar homepage, 2012: <http://www.cesar-observatory.nl/>).



Okolní zemědělská krajina je obhospodařována jak intenzivním, tak extenzivním způsobem. Vlivem řek jsou okolní půdy hlinitého a také jílovitého charakteru s horní rašelinnou vrstvou. Obecně je terén velmi plochý s nadmořskými výškami na úrovni moře nebo i několik metrů pod jeho úrovní.

Konstrukci 213 m stožárové observatoře tvoří ocelové trubky o průměru 2 m. Pro snadnější obsluhu vede do poloviny stožáru výtah. Druhá polovina stožárové observatoře je opatřena schodištěm a odpočinkovými plošinami každých 2,5 m (Cabauw supersite, Ingos homepage, 2012, [http://www.ingos-infrastructure.eu/?page\\_id=646](http://www.ingos-infrastructure.eu/?page_id=646), 2012). Každých 20 m je dále vybavena nosnými plošinami a výložníky. V hlavní budově u paty stožárové observatoře je pak v podzemí umístěn kontejner s měřicím zařízením. Vzhledem k tomuto umístění pod úrovní terénu je teplota v kontejneru poměrně stálá. Mění se pouze v závislosti na ročním období, a to v rozmezí od 17 °C do 27 °C. Měření je realizováno ve čtyřech výškách – 20 m, 60 m, 120 m, 200 m. Vzhledem k tomu, že u paty observatoře stojí hlavní pozorovací budova, není možné provádět měření pod 20 m, aniž by jí výsledky byly ovlivněny. Proto byl tedy asi 100 m od stožárové observatoře postaven menší 20 m stožár pro sledování koncentrací ve výškách pod 20 m (Vermeulen et al., 2011).



Obr. 12 a, b, c: Stožárová observatoř Cabauw [8], [9], [10]

Realizaci měření na Cabauw můžeme rozdělit na několik období. V letech 1992-1997 byly měřeny koncentrace  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a to pouze ve výšce 200 m a na malém stožáru ve výškách 1, 2, 5 a 10 m.  $\text{CO}_2$  byl analyzován metodou NDIR (Non-dispersive Infra-Red). Pro analýzu  $\text{CH}_4$  ( $\text{N}_2\text{O}$ ) byla použita metoda plynové chromatografie (FID). Výsledky měření  $\text{N}_2\text{O}$  však byly nepřesné, proto nebyly brány v potaz. V období mezi léty 2000-2004 bylo po rozsáhlé kontrole využíváno stejných přístrojů k měření koncentrací stejných látek, avšak s tím rozdílem, že měření již probíhala ve více hladinách – 20, 60, 120, 200 m a do provozu byl uveden systém sušení vzduchu. V listopadu 2004 byl stožár Cabauw zařazen do programu CHIOTTO a byl tedy



vybaven novým zařízením. Kromě CH<sub>4</sub> se začaly plynovou chromatografií zjišťovat i koncentrace CO, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub> (FID, ECD). Pro analýzu CO<sub>2</sub> se stále využívala metoda NDIR. V letech 2006 a 2007 bylo měření doplněno o sledování koncentrací <sup>222</sup>Rn, a to postupně ve výškách 200 a 20 m (Vermeulen et al., 2011). V roce 2007 přibylo ještě měření H<sub>2</sub> (Popa et al., 2011).

Data získaná právě z tohoto stožáru vykazují jednu obrovskou výhodu. Vzhledem k tomu, že základní měření probíhají již od roku 1972, poskytuje nám Cabauw jedinečnou řadu relativně kontinuálního měření, která je v Evropě zcela ojedinělá (Vermeulen et al, 2011).

Dosahová oblast, kterou je stožár Cabauw schopen mapovat, je v porovnání s ostatními vysokými věžemi poměrně rozsáhlá. Představuje plochu o rozměrech zhruba 500 x 700 km, což zahrnuje oblast Beneluxu, jižní část Severního moře, jih Spojeného království, severní Francii a velkou část západního Německa (Vermeulen et al, 2011).

### 4.3. Ochsenkopf (Německo)

Další evropský stožár Ochsenkopf se nachází na stejnojmenném vrcholu kopce, který je součástí pohoří Fichtelgebirge v severním Bavorsku, Spolková republika Německo (50° 2' s.š., 11° 48' v.d., 1022 m. n. m.). Stožár primárně sloužící jako televizní a radiová věž patřící společnosti Bayerische Rundfunk dosahuje výšky 163 m a k meteorologickým a klimatickým pozorováním byl vybrán pro svou výhodnou polohu. Nachází se totiž v relativně vysoké nadmořské výšce (1022 m) v oblasti jehličnatých lesů. V okruhu do 100 km převažuje zemědělská krajina s poměrně řídkou hustotou osídlení (Thompson et al., 2009)



Obr. 13 a, b, c: Televizní věž Ochsenkopf [11], [12], [13]

Měření bylo na Ochsenkopf zahájeno v roce 2002 sledováním koncentrací CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. V následujícím roce pak bylo doplněno o měření CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O a SF<sub>6</sub> (Thompson et al., 2009). Veškerá měření však trvala pouze několik měsíců. V roce 2004 je přerušily technické problémy a nedostatek kvalifikovaného personálu. Měření bylo znovu obnoveno v roce 2006. Stožár byl

vybaven novými přístroji a ke sledovaným látkám přibyl CO. Kromě uvedených látek se sleduje ještě H<sub>2</sub> a poměr izotopů  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{C}$  v CO<sub>2</sub>.

Sledování koncentrací uvedených látek je realizováno ve třech výškách – 163 m, 90 m a 23 m. CO<sub>2</sub> je analyzován NDIR a O<sub>2</sub> se analyzuje prostřednictvím elektrochemické reakce. Pro analýzu ostatních látek se využívá plynová chromatografie (GC) – pro CH<sub>4</sub> a CO GC s FID, pro N<sub>2</sub>O a SF<sub>6</sub> GC s ECD. Z meteorologických parametrů se ve všech výškách měří teplota a relativní vlhkost vzduchu. Ve výšce 90 m pak navíc ještě tlak vzduchu a ve výšce 163 m rychlost větru (Thompson et al., 2009).

Vzhledem ke skutečnosti, že stožár Ochsenkopf se nachází na vrcholu kopce, je často atmosférické promíchávání právě tímto typem terénu ovlivňováno. Přes den v údolích prohříváné masy vzduchu postupně stoupají vzhůru a naopak během noci se ochlazují a stékají po svazích zpět do údolí.

Díky poloze věže na vrcholu kopce, zůstává vrchol věže po většinu času nad stabilní mezní vrstvou, což způsobuje v nejvyšším bodu měření (163 m) sníženou variabilitu průběhu denního cyklu CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> (Thompson et al., 2009).

#### 4.4. Bialystok (Polsko)

Stožár Bialystok je podobně jako Ochsenkopf primárně televizní věží. Nachází se ve východním Polsku (53° s.š., 23° v.d.) v nadmořské výšce 183 m. n. m. Krajina v okolí stožáru je ve velké míře rovinná určená převážně k pěstování různých druhů plodin a k pastvě. Nalézají se zde i menší plochy lesů a mokřadů. V oblasti se nenacházejí žádné významné průmyslové provozy. Panuje zde pro centrální Polsko typické kontinentální klima s velkými sezónními výkyvy teplot.



Obr. 14 a, b: Stožárová observatoř Bialystok [14], [15]

300 m vysoká televizní věž Bialystok začala být k meteorologickým a klimatickým pozorováním využívána v rámci projektu CHIOTTO v srpnu 2005. Dle projektu se začaly měřit koncentrace CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> a SF<sub>6</sub>, a to celkem z pěti výšek – 5, 30, 90, 180 a 300 m. V průběhu přibyla ještě meteorologická pozorování. Měří se směr a rychlost větru (75, 300 m), atmosférický tlak (30, 300 m), vlhkost vzduchu (30, 300 m) a dále pak ve všech pěti výškách teplota vzduchu. Kromě uvedených látek se sleduje ještě koncentrace H<sub>2</sub> a poměr izotopů  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{C}$  v CO<sub>2</sub> (Popa et al., 2010).

CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> se analyzuje NDIR a pro CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O a SF<sub>6</sub> se využívá analýza plynovou chromatografií (FID pro CH<sub>4</sub> a CO a ECD pro N<sub>2</sub>O a SF<sub>6</sub>), (Popa et al., 2010).

#### 4.5. Hegyhátsál (Maďarsko)

Stožárová observatoř Hegyhátsál je také svým účelem televizní a rádiovou věží vlastněnou společností Antenna Hungaria Corp. Nachází se v poměrně rovinné části západního Maďarska (46 ° 57' s.š., 16 ° 39' v.d.) v nadmořské výšce 248 m. Krajina kolem stožárové observatoře je převážně zemědělského charakteru s fragmentovanými malými plochami lesa. V blízkém okolí se nedochází k žádné významnější průmyslové činnosti. Úroveň provozu v blízkosti věže je velice slabá, nejbližší komunikace jsou vzdáleny v průměru okolo 400 m. Nejbližší osídlení představuje vesnice Hegyhátsál (170 obyvatel) ležící severozápadně ve vzdálenosti cca 1 km. První větší město Körmend (13.000 obyvatel) je od věže vzdálené stejným směrem 9 km. Antropogenní vliv v této oblasti je velice malý, jak dokazuje měření SF<sub>6</sub> (Haszpra, 2010).

Věž měří 117 m a opticky sestává ze dvou částí. Spodní část sahající do výšky 56 m tvoří betonový válec o průměru 7,8 m. Vrchní část věže měřící 61 m představuje ocelový válec o průměru 1,8 m (Haszpra, 2010).



Obr. 15 a, b: Stožárová observatoř Hegyhátsál [16]

Na Hegyhátsál se v září roku 1994 začaly měřit měřením koncentrací  $\text{CO}_2$ , teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a rychlosti větru. Měření je realizováno z celkem čtyř výšek – 10, 48, 82 a 115 m. V případě potřeby získání dat z vyšších hladin mezní vrstvy se využívá měření prostřednictvím malého letadla (Introduction, Hungarian Tall Tower and Aircraft Measurements at Hegyhátsal homepage, 2012, <http://nimbus.elte.hu/hhs/index.html>). V lednu 2006 bylo měření doplněno o sledování koncentrací  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{SF}_6$ , a to z výšky 96 m. Kromě uvedených látek se dále sledují koncentrace  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  a zjišťuje se poměr izotopů  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{C}$  v  $\text{CO}_2$ . K analýze vzorků vzduchu se využívá plynový chromatograf, který je vybaven dvěma analyzačními linkami. První využívá FID pro analýzu  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  a druhá linka je vybavena ECD pro analýzu  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{SF}_6$  (Haszpra, 2010).



Obr. 16 a, b: Detail stožárové observatoře Hegyhátsál [16]

Věž byla od počátku měření součástí několika projektů (např. CHIOTTO projekt) a je zapojena do různých měřicích sítí. V současné době patří k rozvíjející se evropské síti stožárových observatoří, jejichž cílem bude pečlivě sledovat koncentrace a vývoj důležitých skleníkových plynů, což podpoří výzkum klimatu a klimatické změny (Introduction, Hungarian Tall Tower and Aircraft Measurements at Hegyhátsal homepage, 2012, <http://nimbus.elte.hu/hhs/index.html>).

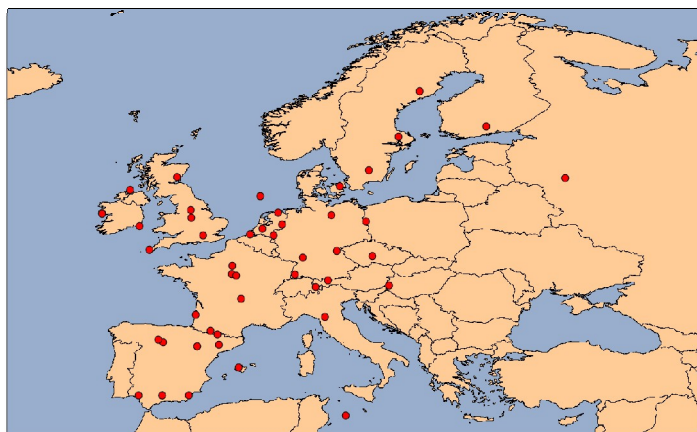
## 5. Projekt ICOS

Již v úvodu byla zmíněna důležitost úzké mezinárodní spolupráce v oblasti měření skleníkových plynů. S ohledem na to je zde neustálá snaha budovat nové a zapojovat stávající stožárové observatoře do nejrůznějších projektů, jejichž cílem má být především sjednocení procesu měření a odpovídající technické dovybavení.

Projekt ICOS (Integrated Carbon Observing System) představuje mezinárodní síť stanic monitorujících toky látek a energií mezi ekosystémy a atmosférou. Činnost ICOS bude spočívat



především ve sledování sloučenin uhlíku a emisí skleníkových plynů. V současné době je projekt v přípravné fázi, která spočívá především v budování infrastruktury.



Obr. 17: Atmosférické stanice projektu ICOS (Hanuš, 2012)

ICOS bude vědecké i laické komunitě poskytovat data z dlouhodobých pozorování toků skleníkových plynů, která jsou nezbytná pro pochopení současného stavu ekosystémů a atmosféry. Zároveň umožní předpovídat budoucí chování globálního cyklu uhlíku a emisí skleníkových plynů. Toto sledování by mělo umožnit posouzení vlivu těchto látek na životní prostředí Země. Mělo by objasnit zdroje a propady jednotlivých látek, přiřadit je konkrétním regionům a navrhnout východiska pro ekosystémy zatížení globální změnou.

Aby byla dlouhodobá pozorování na jednotlivých stanicích mezi sebou porovnatelná a poskytovala celkový přehled, musí být předem stanoveny podmínky pozorování garantované po celou dobu trvání výzkumu.

Síť stanic bude dlouhodobě a vysoce přesně měřit emise skleníkových plynů, sledovat jejich toky v ekosystému a koncentrace v atmosféře. Pozorování uskutečněné ICOS umožní výzkumníkům získat celkový přehled o výměně skleníkových plynů v regionálním měřítku na území větším, než je evropský kontinent.

K zajištění integrity sítě musí jednotlivé atmosférické stanice splňovat následující požadavky:

- Standardizované metody a zařízení
- Modularita
- Automatický provoz
- Možnost obsluhy na místě i na dálku
- Minimální nároky na údržbu a kalibraci
- Kontinuální měření a periodický odběr vzorků
- Možnost inovací a rozšíření
- Ekonomický provoz

(ICOS homepage, *Integrated Carbon Observing System: Stakeholders handbook*, 2012)

Do projektu ICOS je zapojena i Česká republika. V provozu je v současnosti již pět ekosystémových stanic a plánovaná výstavba stožárové observatoře je v současné době těsně před realizací. Pro její umístění byla vybrána lokalita mezi obcemi Košetice a Křešín u Pacova v areálu přiléhajícím k budově Observatoře Košetice.

Pozn.: Měřené parametry na stožárových observatořích ICOS (viz příloha, tab. 3), metody měřených parametrů (viz příloha, tab. 4) a uspořádání měření chemických parametrů (viz příloha, obr. 18) podle ICOS viz přílohy.

## 6. Observatoř Košetice

Observatoř Košetice je specializované pracoviště Úseku ochrany čistoty ovzduší Českého hydrometeorologického ústavu. Zajišťuje České republice účast v mezinárodních programech monitoringu kvality přírodního prostředí v regionálním měřítku. V současné době je ČR prostřednictvím této observatoře začleněna do těchto programů (Váňa, Holoubek et al., 2007):

- GAW (Global Atmosphere Watch)
- EMEP/ECE (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe)
- ICP-IM (International Co-operative Programme on Integrated Monitoring)
- EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research)
- ACCENT (Atmospheric Composition Change the European Network of Excellence)
- MONET (MONitoring NETwork)
- GAPS (Global Atmosphere Passive Sampling Network)



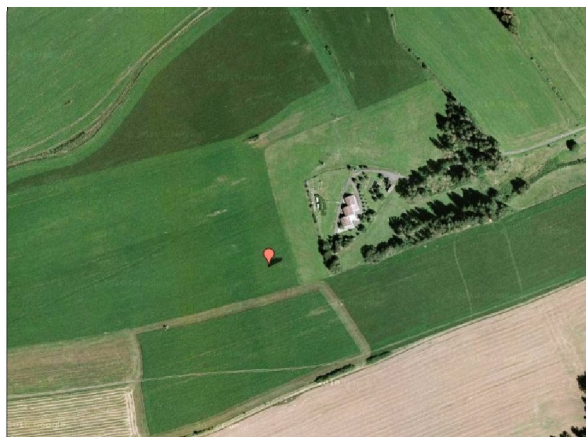
Obr. 19: Observatoř Košetice  
(Váňa, Holoubek, 2007)



Obr. 20: Observatoř Košetice na mapě ČR  
(Váňa, Holoubek, 2007)

## 7. Stožárová observatoř Křešín u Pacova

Stožárová observatoř Křešín u Pacova se bude nacházet v lokalitě mezi obcemi Křešín u Pacova a Košetice, okres Pelhřimov. Pozemek, kde bude stavba uskutečněna, přímo sousedí právě s objektem Košetické observatoře. Oba objekty, vzdálené cca 150 m, budou vzájemně využívat sdílená data.



*Obr. 21: Předpokládané umístění stožárové observatoře Křešín u Pacova (Hanuš, 2012)*

Geomorfologicky náleží oblast ke Křemešnické vrchovině, jež je součástí podsoustavy Českomoravská vrchovina. Reliéf je mírně zvlněný s průměrnou nadmořskou výškou 550 m n. m. Stožárová observatoř Křešín u Pacova se bude nalézat přibližně v nadmořské výšce 530 m n. m. (Observatoř Košetice vzdálená cca 150 m se nalézá v nadmořské výšce 534 m n. m., 49° 35' s.š., 15° 05' v.d.). Z hlediska podnebí patří lokalita do mírně teplé oblasti (Atlas podnebí Česka, 2007). Převažující jsou kyselé hnědé půdy (Dystric Cambisol). Okolní krajina je převážně zemědělského charakteru s poměrně vysokým podílem orné půdy (cca 60 %), s fragmentovanými plochami převážně hospodářských lesů (cca 30 %), mimo souvislé osídlení a mimo dosah přímých zdrojů znečištění (ČHMÚ). Nejbližší obec nacházející se přibližně v západním směru ve vzdálenosti 1 km od pozemku budoucí stožárové observatoře je Kramolín (7 obyvatel). Přibližně jihovýchodně ve vzdálenosti 3 km se nachází obec Košetice (742 obyvatel). Nejbližším větším městem cca 20 km jihovýchodně vzdáleným je Pelhřimov (16 707 obyvatel). Ve stejném směru ve vzdálenosti 40 km leží krajské město Jihlava (51 222 obyvatel) (ČSÚ). Úroveň provozu v oblasti dosahuje poměrně nízké úrovně. Významnějším liniovým zdrojem znečištění by mohla být vzdušnou čarou přibližně 6 km vzdálená dálnice D1.

Plánovaná výška stožárové observatoře je 250 m. Měření budou realizována v celkem čtyřech výškách, v 10, 50, 125 a 250 m. Technologie přívodu vzduchu, podsystém sušení vzduchu a podsystém analýzy vzorků bude obdobný jako na již stávajících stožárech. Vzduch bude čerpadly nasáván skrz vzorkovací trasy instalované v jednotlivých výškách a následně bude

přes systém sušení a kalibrace jeho část analyzována. Zbývající část vzduchu bude využívána pro proplach vzorkovací linky. Není vyloučena ani možnost vpouštění části zbylého vzduchu přímo do kontejneru, kde by tak vytvářela podtlak a zamezovala průchodu nečistot z venkovního vzduchu (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

Sledovány budou koncentrace skleníkových plynů dle požadavků projektu ICOS. Analyzovány budou z jednotlivých výšek vzorky CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O a SF<sub>6</sub>. Jako doplňková se budou provádět měření koncentrací freonů a zjišťovat se bude také poměr izotopů  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{C}$  v CO<sub>2</sub>. Realizována budou i meteorologická měření teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu a směru a rychlosti větru. Pro výzkumné účely observatoře Košetice budou hned po realizaci stavby na stožár instalovány přístroje pro měření koncentrace rtuti (Hg), a to těsně nad zemským povrchem a ve výšce 200 m, a zařízení pro sledování aerosolů. V budoucnu se prostřednictvím křešínské stožárové observatoře dále plánuje sledování absorpce slunečního záření, optických vlastností aerosolů a vertikální profil ozónu (Váňa, 2012, ústní sdělení).

Koncentrace CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> budou zjišťovány analýzou vzorků prostřednictvím CRDS analyzátořem typu Piccaro 2301. K analýze N<sub>2</sub>O a CO bude využita metoda CEAS, konkrétně analyzátoř firmy Los Gatos (typ zatím není přesně určen). Instalace plynového chromatografu zatím není plánována. Jeho využívání v budoucnosti však není vyloučeno (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

Vzorky se budou analyzovat přímo na místě. Tento proces bude provozován automaticky v kontejneru u paty stožáru. Provoz bude automatický s možností řízení na dálku prostřednictvím počítačového softwaru z brněnského Centra pro výzkum globální změny. Naměřená data se budou posílat do centrály ICOS, která je bude vyhodnocovat a zároveň dávat do kontextu s daty naměřenými na ostatních stožárových observatořích (Hanuš, 2012, ústní sdělení).

## **8. Využití dat získaných ze stožárových observatořích**

Každá stožárová observatoř nashromáždí v průběhu svého provozu obrovské množství dat, která jsou velmi cenným a často jediným materiálem pro zjišťování vývoje sledovaných látek na daném území. Na základě těchto dat je pak možné sledovat vývoj, propady a zdroje jednotlivých sledovaných látek.

Získaná data lze využít dvojnásobem. Samotná naměřená data z jednotlivých stožárových observatořích mohou posloužit ke srovnání vývoje sledovaných látek nad pevninou v porovnání s vývojem těchto látek nad oceánem. Toto srovnání pak může napovědět, zda se nad pevninou jejich koncentrace zvyšují rychleji, než právě nad oceánem, což může pomoci k hodnocení antropogenních vlivů na vývoj koncentrací těchto sledovaných látek. Příkladem



může být zjištění rozdílu v koncentraci CO<sub>2</sub> mezi Evropou a Atlantským oceánem a také časového vývoje tohoto rozdílu (Ramonet et al., 2009).

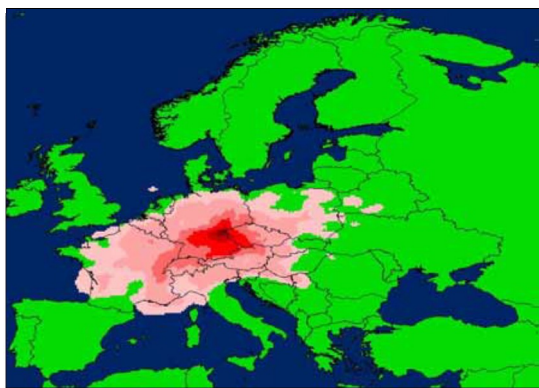
Druhý způsob využití dat spočívá v porovnání modelových dat s daty naměřenými na jednotlivých stanicích (Aulagnier et al., 2009, Peylin et al., 2011). Toto porovnání je užitečné především při interpretaci zjištěných faktů. Pokud je obtížné určit příčiny např. právě časového vývoje rozdílu koncentrací CO<sub>2</sub> mezi Evropou a Atlantským oceánem, je možné pokusit se je nalézt užitím modelu. Do takového modelu se vloží údaje nepocházející ze samotných měření stožárových observatoří, ale údaje vycházející z jiných modelů. Model následně provede simulaci a poskytne časový vývoj třírozměrného pole koncentrace v modelové oblasti. V neposlední řadě je porovnávání dat ze stožárových observatoří s těmi modelovými užitečné pro samotné testování modelů (Aulagnier et al., 2009). Můžeme je tak neustále zpřesňovat a zdokonalovat. Velké pole působnosti nabízí také v oblasti prověřování průběhu nejrůznějších scénářů. Do modelů lze vkládat i různě modifikovaná data a následně sledovat, do jaké míry se výsledky modelů shodují s výsledky získanými měřeními na jednotlivých stožárových observatořích (Aulagnier et al., 2009). Pro uvedený postup se užívá označení „forward modelling“ (Peylin et al., 2011).

Jiným druhem modelování je tzv. inverzní modelování. Při tomto modelování lze z pole koncentrace určité látky a pole proudění vzduchu nad modelovou oblastí inverzním výpočtem pro jediný bod odpovídající stožárové observatoři získat footprint, což je plošné rozložení příspěvku k signálu změřenému v tomto bodě. Pokud se podaří vhodně umístit dostatečný počet stožárových observatoří v oblasti např. kontinentu, lze následně dostat jedinečný obraz vývoje jednotlivých látek pro poměrně velké území.

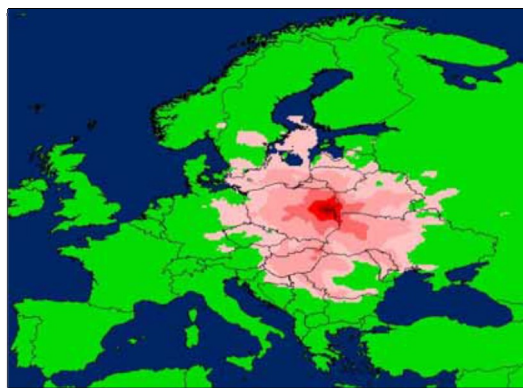
Z footprintů získaných za jednotlivá období pak lze například vyzorovat i změny v průběhu denního cyklu, tzn. rozdíly mezi dnem a nocí, a změny v průběhu roku, tzn. rozdíly mezi ročními obdobími. Na základě toho je pak možné tento vývoj v průběhu času sledovat, hodnotit a pozorovat případné změny ve zdrojích a propadech sledovaných látek v závislosti na lidské činnosti. Zároveň modelování poskytne vědcům cenné informace o koloběhu uhlíku v rámci jednoho či více ekosystémů (Vermeulen et al., 2011).

Sledování zdrojů a propadů skleníkových plynů může být i výborným nástrojem pro plánování krajiny. Sdělí nám, které ekosystémy jsou v té které oblasti jejich zdrojem skleníkových a které jejich propadem. V případě respektování těchto poznatků při plánování krajiny by mohlo docházet k významnějšímu pohlcování či nižší produkci množství skleníkových plynů, což by mohlo vést ke zpomalení oteplování planety. V neposlední řadě by se tím mohlo zamezit na první pohled prospěšným činnostem, které však způsobují spíše opak.

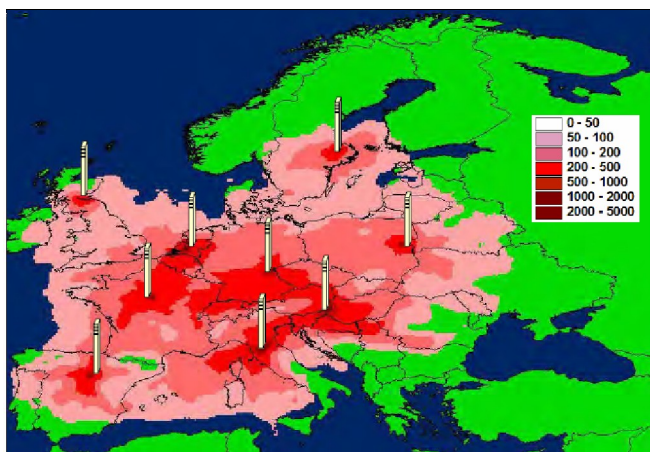
Na obrázcích 22 a 23 jsou příklady footprintů získaných z dat naměřených na některých výše zmíněných stožárových observatořích (viz kapitola 4). Obrázek 24 pak představuje zobrazení jednotlivých footprintů na jedné mapě, a ukazuje tak pokrytí v rámci Evropy. Z obrázku je patrné, že při vhodném umístění jednotlivých stožárových observatoří lze dosáhnout vysokého pokrytí celého kontinentu.



Obr. 22: Footprint SO Ochsenkopf za rok 2005 (Vermeulen et al., 2006)



Obr. 23: Footprint SO Bialystok za rok 2005 (Vermeulen et al., 2006)



Obr. 24: Footprint stožárových observatoří zařazených do projektu CHIOTTO za rok 2005 (Vermeulen et al., 2006)

V případě, že tyto stožárové observatoře budou monitorovat stejné látky, za stejných podmínek a obdobným přístrojovým vybavením, je možné dosáhnout získání kvalitních dat právě pro zmíněné modelování (ICOS homepage, *Integrated Carbon Observing System: Stakeholders handbook*, 2012).

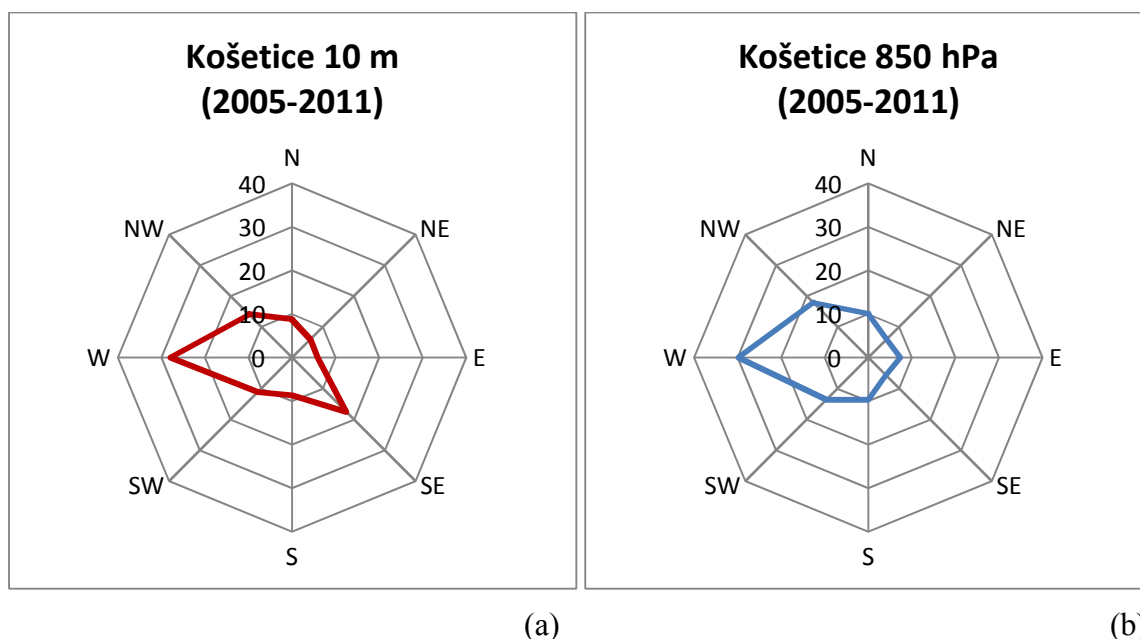
## 9. Základní rozbor větrných poměrů pro lokalitu Košetice

Lokalita u obce Košetice, kde bude stožárová observatoř postavena, se nachází v kraji Vysočina na Českomoravské vrchovině.

Cílem rozboru bylo zjistit, zda v lokalitě nedochází k výraznějším odchylkám směru větru při zemi od směru proudění v hladině přibližně odpovídající horní hranici mezní, příp. reziduální vrstvy. Sledováno bylo zejména, zda nedochází k významným odchylkám, které by byly pro dané místo specifické.

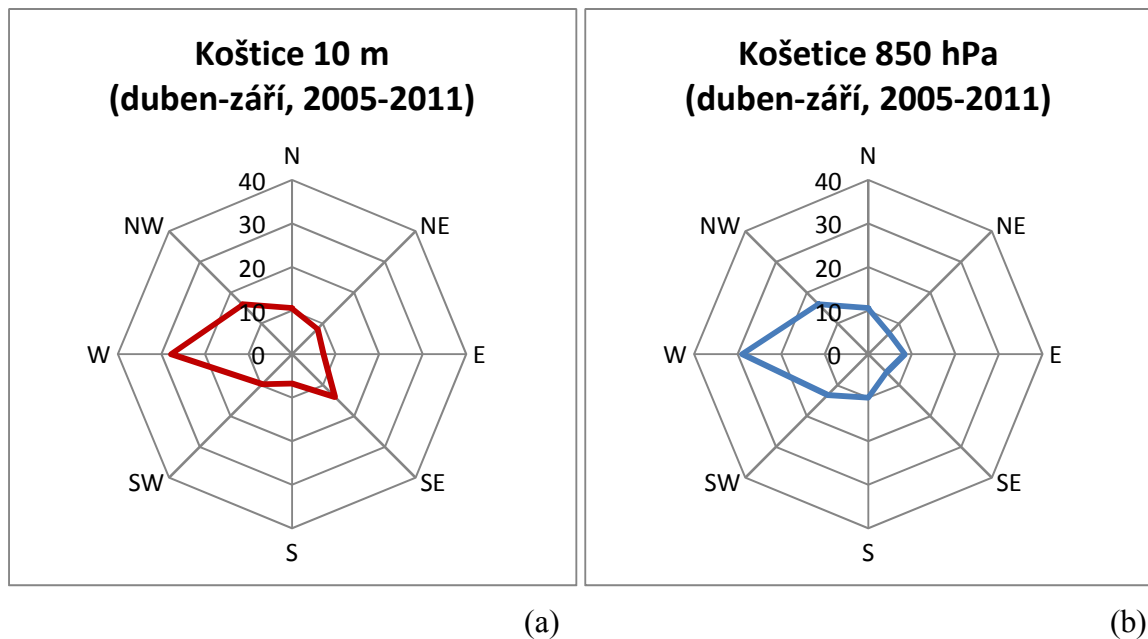
K rozboru byly použity patnáctiminutové, resp. desetiminutové průměry směru a rychlosti větru měřeného v období 2005-2011 ve výšce 10 m nad zemí na observatoři Košetice, a dále odpovídající směr a rychlost proudění vzduchu na hladině 850 hPa. Data směru a rychlosti proudění pro hladinu 850 hPa jsou data zpracovaná z reanalýz (Kalnay et al., 1996) NCEP/NCAR pro bod o zeměpisných souřadnicích odpovídajících observatoři Košetice. Ze zpracování byly vyřazeny případy, kdy byla v Košeticích naměřena rychlost menší nebo rovna 0,2 m/s. Podíl těchto rychlostí činil 1 %.

Ze směrových růžic na grafu 1 jsou zřejmé rozdíly v převažujícím směru proudění v jednotlivých hladinách za období 2005-2011.

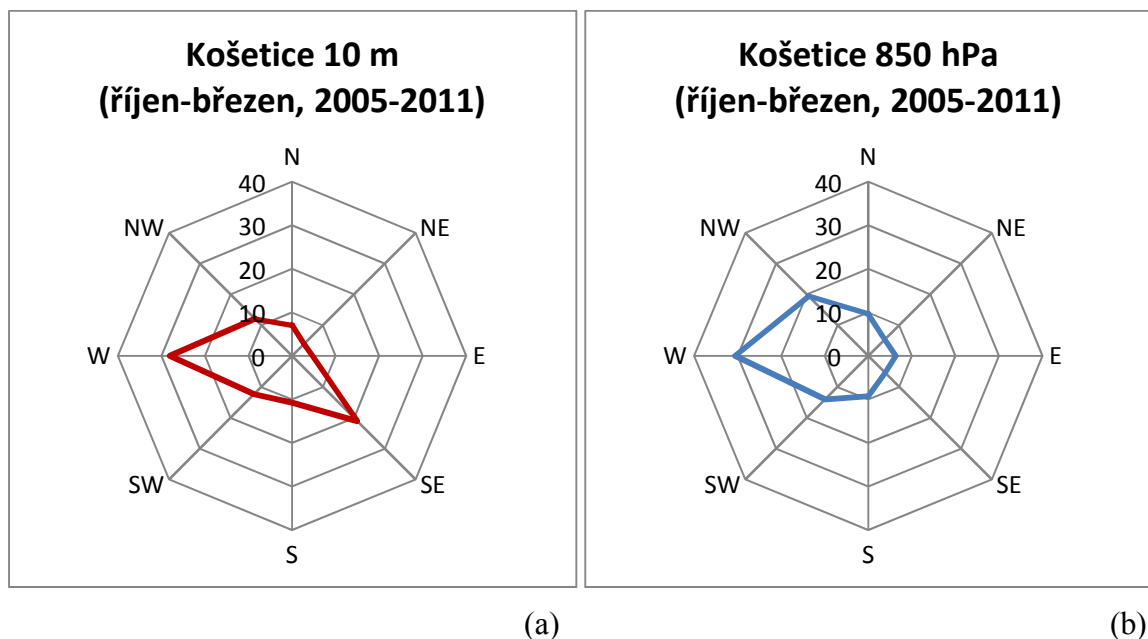


Graf 1: (a) Podíly (%) směru proudění za období 2005-2011 z 10 m nad zemským povrchem na observatoři Košetice. (b) Podíly (%) směru proudění za období 2005-2011 z hladiny 850 hPa nad oblastí observatoře Košetice.

Graf 2 ukazuje podíly směrů proudění v teplejší části roku (duben – září) v uvedeném období a graf 3 v chladnější části roku (říjen – březen).



Graf 2: (a) Podíly (%) směru proudění v teplejší části roku z období 2005-2011 z 10 m nad zemským povrchem na observatoři Košetice. (b) Podíly (%) směru proudění v teplejší části roku z období 2005-2011 z hladiny 850 hPa nad oblastí observatoře Košetice.



Graf 3: (a) Podíly (%) směru proudění v chladnější části roku z období 2005-2011 z 10 m nad zemským povrchem na observatoři Košetice. (b) Podíly (%) směru proudění v chladnější části roku z období 2005-2011 z hladiny 850 hPa nad oblastí observatoře Košetice.

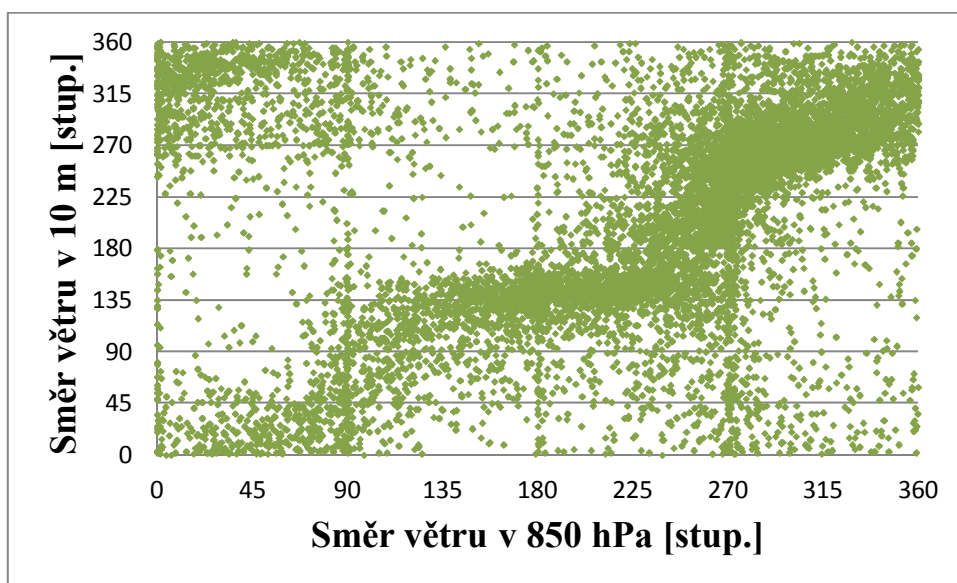
Je patrné, že zatímco podíly směrů proudění během roku se na hladině 850 hPa prakticky nemění, směry větru zaznamenané ve výšce 10 m jistých změn v průběhu roku doznávají. Z růžic vyplývá nápadná četnost jihovýchodních směrů větru v oblasti Košetice (Atlas podnebí

Česka, 2007). V chladné polovině je to dokonce maximum četnosti výskytu. V teplejší polovině roku jde sice o maximum podružné, avšak vzhledem k sousedním směrům v růžici zůstává výrazné.

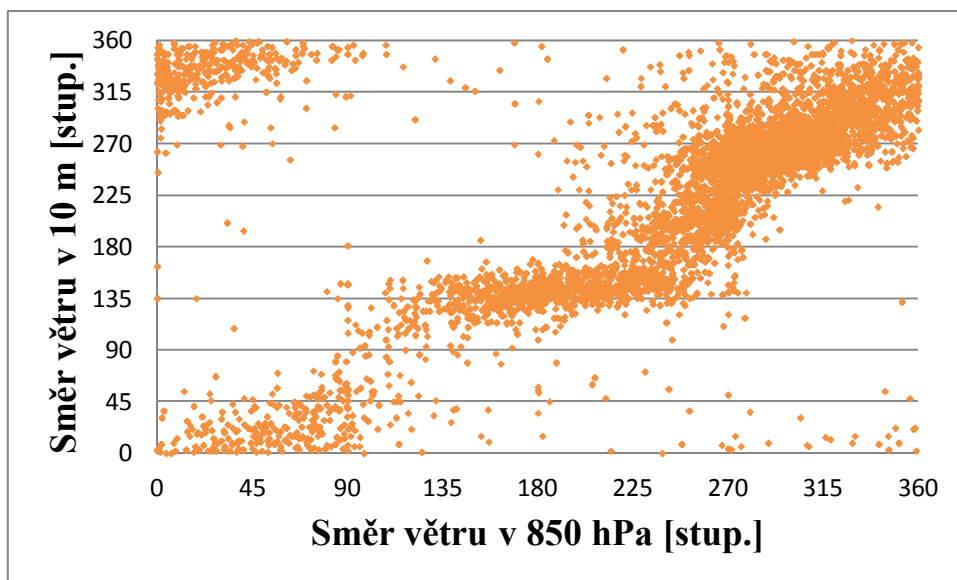
Následující bodové grafy názorně dokumentují nejvýraznější rys větrných poměrů v Košeticích. Graf 4 je sestaven pro naměřené rychlosti bez omezení. Graf 5 je pro rychlosti větší než 3 m/s. Je z nich velmi dobře patrné, že proudění v širokém rozmezí, od jihovýchodních přes jižní až po západní, je při zemi soustředěno do velmi úzkého rozmezí kolem 135°, což je právě jihovýchodní směr. U směrů východních a západních (okraje tohoto širokého rozmezí) k tomu dochází pouze v některých případech.

Díky vlivu tření dochází v mezní vrstvě k určitému stáčení směru větru, kdy v našich geografických podmínkách se jedná o stáčení orientačně o 30° proti směru hodinových ručiček (Kopáček, Bednář, 2009). To vysvětluje, že proudění severozápadních, severních a severovýchodních směrů se o tento úhel typicky stáčí. Jev nastává i v částech případů proudění západního a východního.

Graf 5 ukazuje, že místní vlivy na směr větru se dle očekávání projevují pouze při malých rychlostech. Při rychlostech větších zůstává dominantní výše uvedený jev.



Graf 4: Znázornění směru větru bez omezení rychlosti větru na hladině 850 hPa a směru větru zaznamenaného v 10 m nad zemským povrchem v poměru 1:1.



Graf 5: Znárodnění směru větru při rychlostech 3 m/s a větších na hladině 850 hPa a směru větru zaznamenaného v 10 m nad zemským povrchem v poměru 1:1.

Ze základního rozboru větrných podmínek pro oblast Košetice zřetelně vyplynul nejvýraznější rys větrných poměrů pro tuto oblast. Bylo zjištěno, že proudění v rozmezí od východních až po západní směry se v těsné blízkosti zemského povrchu soustřeďuje do velmi úzkého rozmezí okolo 135°, což je důvodem vysoké četnosti proudění v jihovýchodním směru zaznamenaného při jeho měření ve výšce 10 m nad zemským povrchem v této lokalitě. Měření na nově vybudované stožárové observatoři následně ukáže, do jaké výšky se tento jev projevuje. Hraniční výška projevu by mohla být zjištěna například i prostřednictvím distančního měření prováděného po dostatečně dlouhou dobu.

## 10. Závěr

Cílem práce bylo shrnout poznatky o monitorování skleníkových plynů prostřednictvím stožárových observatoří. Je více než zřejmé, že pozorování a výzkum mezní vrstvy atmosféry nabývá v oblasti meteorologie na významu. V souvislosti se zvyšujícím se vlivem lidské činnosti na přírodu jako takovou a na procesy v ní probíhající, je studování atmosféry, zvláště pak mezní vrstvy, velmi důležité. Charakteristika mezní vrstvy a variabilita její struktury v průběhu denního cyklu vyžaduje aplikaci spolehlivých a vysoce přesných metod, které by její studium a interpretaci následných poznatků maximálně usnadnily. Většina zavedených metod a užívaných měřicích zařízení má však řadu nevýhod, které získávání potřebných dat znesnadňují či dokonce znemožňují. Existuje zde proto potřeba nalézt vhodný způsob, jak kvalitní data získat. Možné a velice vhodné se jeví využívání právě stožárových observatoří. Nespornou výhodou je

samozřejmě kontinuálnost prováděného měření a poměrně nízké nároky na provoz. Jedinou nevýhodou tak zůstávají vysoké pořizovací náklady. Ve velké míře jsou však jednorázové a přínos využívání stožárové observatoře je převáží.

Důležitou byla shledána mezinárodní spolupráce. Realizované měření na jednotlivých stožárových observatořích by nemělo význam, pokud by nebylo dáno do kontextu s daty naměřených na ostatních stožárových observatořích. Samotné měření a modelování získává smysl až v regionálním či lépe kontinentálním měřítku. Je proto žádoucí zastřešovat měření nejrůznějšími projekty, které by průběh měření, metody a přístrojové vybavení sjednocovaly, a vytvářely tak pro to vhodné podmínky. Proto zde má nezastupitelné místo především mezinárodní spolupráce, bez které by uvedená činnost nepřinášela žádný užitek. Jedním z právě startujících projektů je projekt ICOS, součástí kterého se prostřednictvím své nové budoucí stožárové observatoře stane i Česká republika.

Plánovaná realizace stavby Stožárové observatoře Křešín u Pacova jistě svou činností ke zmiňovaným aktivitám vysokou měrou přispěje. Vybraná lokalita jejího umístění se jeví jako velmi vyhovující. Blízké okolí stožárové observatoře svou poměrnou homogenností nepředstavuje limitující faktor v interpretaci budoucích dat. Plánovaná výška stožárové observatoře je vzhledem k uvedeným charakteristikám mezní vrstvy atmosféry více než dostačující.

Základním rozbořem větrných poměrů byl pro danou lokalitu zjištěn výrazný rys větrných poměrů. Ukázalo se, že proudění v širokém rozmezí směrů od východních až po západní se při zemi soustřeďuje do úzkého rozmezí kolem  $135^\circ$ , což je důvodem velké četnosti jihovýchodních směrů větru v Košetících. Do jaké výšky se tento jev projevuje, bude zjištěno až pomocí měření na vybudované stožárové observatoři.

Lze s vysokou pravděpodobností předpokládat, že budoucí stožárová observatoř vybudovaná na území České republiky vhodně doplní síť stávajících stanic a její nejmodernější přístrojové vybavení respektující jednotou metodiku projektu ICOS nemalým dílem přispěje ke zpřesnění modelových výsledků. Česká republika by se tak mohla zařadit po bok v této problematice zkušených států a podílet se na vědecky významných výzkumech v různých oblastech týkajících se toků látek. Podpoří tím tak mezinárodní spolupráci, bez které by jakákoli činnost v této oblasti pozbývala většího smyslu.

## Přílohy

Tab. 3: Měřené parametry na stožárových observatořích projektu ICOS (ICOS HOMEPAGE: Integrated Carbon Observing System: Stakeholders handbook)

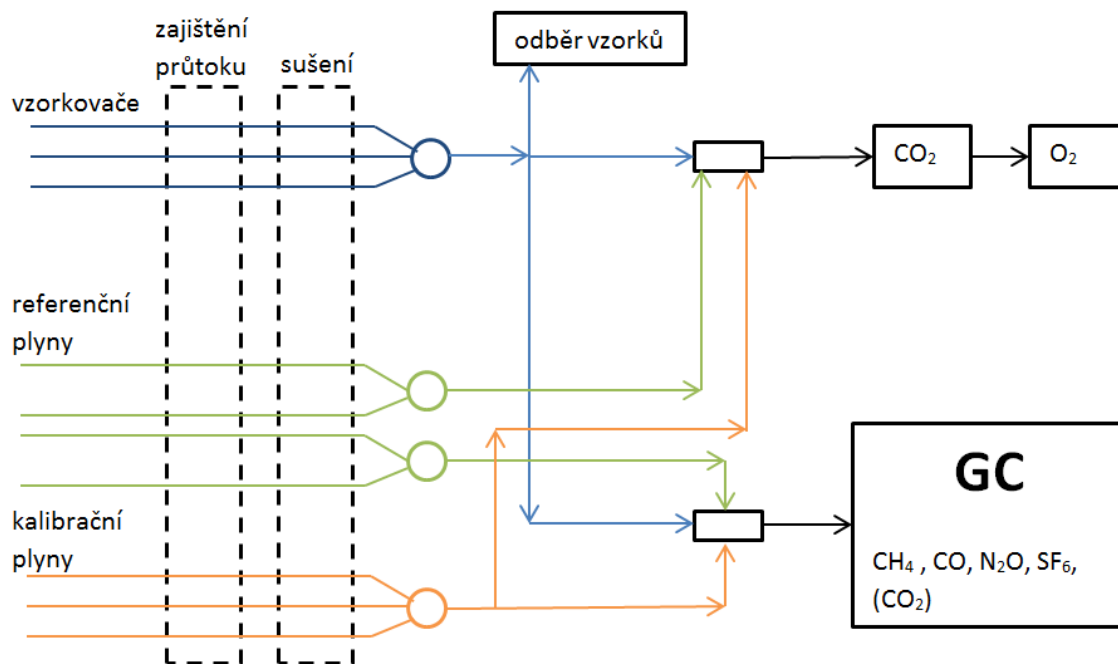
	Základní parametr kontinuálně (0,5 - 3 hod)	Základní parametr periodicky (den - měsíc)	Doplňkový parametr kontinuálně (0,5 - 3 hod)
CO <sub>2</sub>	X		
CH <sub>4</sub>	X		
N <sub>2</sub> O		X	X
SF <sub>6</sub>		X	X
CO	X		
O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>		X	X
<sup>13</sup> C v CO <sub>2</sub>		X	
<sup>18</sup> O v CO <sub>2</sub>		X	
<sup>14</sup> C v CO <sub>2</sub>		X	
Rychlost a směr větru	X		
Atmosferický tlak	X		
Teplota	X		
Relativní vlhkost	X		
Výška hraniční vrstvy	X		
Tok CO <sub>2</sub>			X
<sup>222</sup> Rn			X

Tab. 4: Metody měření chemických parametrů na stožárových observatořích projektu ICOS (ICOS HOMEPAGE: Integrated Carbon Observing System: Stakeholders handbook)

	IR spektroskopie	Chromatografie
CO <sub>2</sub>	X	(X)
CH <sub>4</sub>	X	X
N <sub>2</sub> O	(X)	X
SF <sub>6</sub>	(X)	X
CO	X	X
O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>		(X)



Obr. 18: Jedno z možných uspořádání měření chemických parametrů (Hanuš, 2012)



## Přehled literatury

- About Cesar Observatory. CESAR [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.cesar-observatory.nl/index.php?pageID=1003>
- Atlas podnebí Česka. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- Aulagnier, C., Rayner, P., Ciais, P., Ramonet, M., Rivier, L. and coauthors. 2009. Is the recent build-up of atmospheric CO<sub>2</sub> over Europe reproduced by models. Part 2: an overview with the atmospheric mesoscale transport model CHIMERE. *Tellus* 61B, doi:10.1111/j.1600-0889.2009.00443.x.
- Bednář, J., Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. 1. vyd. Praha: Academia, 1985.
- Český hydrometeorologický ústav [online]. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://www.chmi.cz>.
- Český statistický úřad [online]. Český statistický úřad, Praha. Dostupné z: <http://www.czso.cz>.
- Facility. ZOTTO project [online]. Max Planck Institute for Biogeochemistry, 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.zottoproject.org/facility.html>.
- Haszpra, L. (ed.). Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. Springer, 2010. ISBN 978-90-481-9949-5.
- Home. ICOS Integrated Carbon Observing [online]. 2012, 15. 5. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.icos-infrastructure.eu/>.
- Home. ZOTTO [online]. 2012, 15. 5. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.zottoproject.org/>.
- ICOS homepage. Integrated Carbon Observing System: Stakeholders handbook [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [www.icos-infrastructure.eu](http://www.icos-infrastructure.eu).
- Introduction. Hungarian Tall Tower and Aircraft Measurements at Hegyhátsal [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://nimbus.elte.hu/hhs/index.html>.
- Kalnay E., Kanamitsu M, Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 77, 437–470.
- Kopáček, J., Bednář, J.: Jak vzniká počasí. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2009, s. 127-128. ISBN 978-80-246-1002-3.
- Kozlova, E. A. and Manning, A. C.: Methodology and calibration for continuous measurements of biogeochemical trace gas and O<sub>2</sub> concentrations from a 300-m tall tower in central Siberia, *Atmos. Meas. Tech.*, 2, 205–220, doi:10.5194/amt-2-205-2009, 2009.

- Lenschow, Donald H. *Probing the Atmospheric Boundary Layer*. Boston: American Meteorological Society, 1986. ISBN 0-933876-63-7.
- Peylin, P., Houweling, S., Krol, U., Karstens, M. C., Rödenbeck, C., Geels, C., Vermeulen, A., Badawy, B., Aulagnier, C., Pregar, T., Delage, F., Pieterse, G., P. Ciais, and Heimann, M.: Importance of fossil fuel emission uncertainties over Europe for CO<sub>2</sub> modeling: model intercomparison, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 6607-6622, doi:10.5194/acp-11-6607-2011, 2011.
- Popa, M. E., Gloor, M., Manning, A. C., Jordan, A., Schultz, U., Haensel, F., Seifert, T., and Heimann, M.: Measurements of greenhouse gases and related tracers at Bialystok tall tower station in Poland, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 407-427, doi:10.5194/amt-3-407-2010, 2010.
- Popa, M. E., Vermeulen, A. T., van den Bulk, W. C. M., Jongejan, P. A. C., Batenburg, A. M., Zahorowski, W., and Röckmann, T.: H<sub>2</sub> vertical profiles in the continental boundary layer: measurements at the Cabauw tall tower in the Netherlands, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 6425-6443, doi:10.5194/acp-11-6425-2011, 2011.
- Quitt, E.: *Mapa klimatických oblastí ČSSR 1 : 500 000*. 1.vyd., Kartografické nakladatelství pro geografický ústav ČSAV, Praha, 1965.
- Ramonet M., Ciais P., Aalto T., Aulagnier C., Chevallier F., Cipriano D., Conway T.J., Haszpra L., Kazan V., Meinhardt F., Paris J-D., Schmidt M., Simmonds P., Xueref-Remy I., Necki J.N.: A recent build-up of atmospheric CO<sub>2</sub> over Europe. Part 1: observed signals and possible explanations. *Tellus 62B* (2010), 1-13
- Science. *ZOTTO project* [online]. Max Planck Institute for Biogeochemistry, 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.zottoproject.org/science.html>
- Stull, R. B. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. ISBN 90-277-2768-6.
- Thompson, R. L., Manning, A. C., Gloor, E., Schultz, U., Seifert, T., Hänsel, F., Jordan, A., and Heimann, M.: In-situ measurements of oxygen, carbon monoxide and greenhouse gases from Ochsenkopf tall tower in Germany, *Atmos. Meas. Tech.*, 2, 573-591, doi:10.5194/amt-2-573-2009, 2009
- Váňa, M., Holoubek, I.: *Košetice Observatory - 20 years*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-46-9.
- Vermeulen, A. T., Hensen, A., Popa, M. E., van den Bulk, W. C. M., and Jongejan, P. A. C.: Greenhouse gas observations from Cabauw Tall Tower (1992-2010), *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 617-644, doi:10.5194/amt-4-617-2011, 2011.
- Vermeulen, A. T. ECN homepage: CHOTTO Final Report [online]. 2007 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.ecn.nl/>.
- Vermeulen, A. T., G. Pieterse, A. Manning, M. Schmidt, L. Haszpra, E. Popa, R. Thompson, J. Moncrief, A. Lindroth, P. Stefani, J. Morguí, E. Moors, R. Neubert a M. GLOOR. The

CHIOTTO tall tower network: setup and first results [online]. 2006 [cit. 2012-05-16].  
Dostupné z: <http://www.bgc-jena.mpg.de/>.

Winderlich, J., Chen, H., Gerbig, C., Seifert, T., Kolle, O., Lavric, J. V., Kaiser, C., Höfer, A.,  
and Heimann, M.: Continuous lowmaintenance CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O measurements at the Zotino  
Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1113–1128,  
doi:10.5194/amt-3-1113-2010, 2010.

- [1] [http://cheminfo.chemi.muni.cz/chem\\_sekce/predmety/C7300/GC/uvod.pdf](http://cheminfo.chemi.muni.cz/chem_sekce/predmety/C7300/GC/uvod.pdf)
- [2] <http://web.natur.cuni.cz/~pcoufal/gc.html>
- [3] <http://lms.vscht.cz/Zverze/Infrared.htm>
- [4] <http://www.intl-lighttech.com/applications/light-source-apps/ndir-gas-sensor/ndir-gas-sensor-index>
- [5] <http://www.imk-asf.kit.edu/english/527.php>
- [6] [http://www.picarro.com/technology/what\\_is\\_crds](http://www.picarro.com/technology/what_is_crds)
- [7] <http://www.zottoproject.org>
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/KNMI-mast\\_Cabauw](http://en.wikipedia.org/wiki/KNMI-mast_Cabauw)
- [9] [http://www.ingos-infrastructure.eu/?page\\_id=646](http://www.ingos-infrastructure.eu/?page_id=646)
- [10] <http://atmos weblog.tudelft.nl/2010/11/11/meteorological-observations-at-cabauw>
- [11] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=447341>
- [12] [http://www.bgc.mpg.de/service/iso\\_gas\\_lab/IAEA-WMO2009/index.shtml](http://www.bgc.mpg.de/service/iso_gas_lab/IAEA-WMO2009/index.shtml)
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ochsenkopf\\_\(Fichtelgebirge\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ochsenkopf_(Fichtelgebirge))
- [14] <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2007/e07052.pdf>
- [15] [http://www.bgc-jena.mpg.de/bgc-processes/ceip/conference/talks/12/1\\_Vermeulen\\_CHIOTTO\\_Presentation\\_s.pdf](http://www.bgc-jena.mpg.de/bgc-processes/ceip/conference/talks/12/1_Vermeulen_CHIOTTO_Presentation_s.pdf)
- [16] <http://nimbus.elte.hu/hhs/index.html>