

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav pro životní prostředí**

Ekologie a ochrana prostředí

Ochrana životního prostředí



**Eliška Čejková**

**Hodnocení znečištění ovzduší v závislosti na provozování systémů  
centralizovaného zásobování teplem**

Evaluation of air pollution in dependence on operation of centralized heating systems

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha, květen 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, Ing. Luboše Matějčíka, Ph.D., s použitím odborné literatury a jiných informačních zdrojů, které jsou v práci citovány a uvedeny v seznamu použité literatury. Předložená tištěná verze bakalářské práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 24.5. 2014

.....

Eliška Čejková

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu Ing. Lubošovi Matějčkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a pomoc při přípravě potřebných dat pro rozptylovou studii a také za užitečné rady při zpracování této bakalářské práce. Další dík patří Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu za poskytnutí potřebných geografických dat pro rozptylovou studii. Práce by nevznikla také bez podpory společnosti SFW, s. r. o., která mi poskytla řadu technických dat a údajů týkajících se studované lokality.

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá některými environmentálními aspekty rozpadu tradičních soustav centralizovaného zásobování teplem v České republice. Představuje jeden konkrétní případ systému centralizovaného zásobování teplem ve městě Kroměříž v sídlištní panelové zástavbě a jeho poměrně rychlý rozpad a předpokládaný brzký zánik vlivem odpojování zákazníků, kteří budují vlastní lokální domovní plynové kotelny. V práci je spočítána spotřeba zemního plynu obou způsobů výroby tepelné energie pomocí množství tepelné energie potřebného pro vytápění daných objektů včetně přípravy teplé vody a průměrné účinnosti těchto způsobů výroby. Pomocí emisního faktoru získaného z provedených autorizovaných měření emisí je v práci vyčísleno množství vyprodukovaných emisí  $\text{NO}_x$  (oxidů dusíku) vyjádřených jako  $\text{NO}_2$  (oxid dusičitý). Jedna část se podrobněji zabývá oxidy dusíku v atmosféře. V rámci této bakalářské práce je provedena i základní rozptylová studie, modelové zpracování rozptylu znečišťujících látek (oxidů dusíku) v okolí zdroje/zdrojů. Závěrečné kapitoly porovnávají dopady na životní prostředí centrálního a lokálního způsobu výroby tepelné energie z pohledu vyprodukovaného ročního množství emisí  $\text{NO}_2$  a výsledku rozptylové studie a uvádí další souvislosti doprovázející rozpad a zánik centralizovaného zásobování teplem. V předposlední kapitole jsou mimo jiné uvedeny stručné příklady energetické politiky dalších evropských států v oblasti centralizovaného zásobování teplem.

Klíčová slova: centralizované zásobování teplem, decentrální způsob výroby, domovní plynová kotelna, tepelná energie, zemní plyn, znečišťující látka, emise oxidů dusíku,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ , rozptylová studie, životní prostředí

## **ABSTRACT**

This bachelor work deals with some environmental aspects of disintegration of traditional centralized heating systems in the Czech Republic. This situation is shown on a particular case of centralized heating supply in a housing estate in town Kroměříž. This centralized heating system has been quickly disintegrating and it is close to its dissolution due to disconnection of customers who has been building their own local household gas boiler plants. The bachelor work calculates the consumption of natural gas for both ways of heating. It is calculated by using the amount of heat energy required for heating of all buildings, including domestic hot water and the average efficiency of these production methods. This work also calculates the amount of emissions  $\text{NO}_x$  (nitrogen oxides) expressed as  $\text{NO}_2$  (nitrogen dioxide) which are produced by each type of heating. The amount of  $\text{NO}_2$  is calculated by using emission factor which is obtained from authorized measuring system. One part of this work also deals with nitrogen oxides in the atmosphere. Another important part of the bachelor work is about a basic dispersion analysis (study) - dispersion model of pollutant (nitrogen oxides) around the source/sources. One chapter compares the environmental impacts of central and local way of heating from the viewpoint of produced annual emissions  $\text{NO}_2$  and dispersion analysis result. This chapter also provides another contextual information accompanying disintegration and disappearance of central heating. In the penultimate chapter are given some brief examples of the energy policy in other European countries in the connection with the district heating.

Key words: centralized heating system, decentralized heating system, household gas boiler plant, heat energy, natural gas, pollutant, nitrogen oxides,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ , dispersion study, environment

# OBSAH

1. ÚVOD .....	1
1.1 Základní pojmy .....	2
2. SOUSTAVA CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM .....	5
2.1 Počáteční stav .....	6
2.2 Současný stav .....	7
3. DOMOVNÍ PLYNOVÉ KOTELNY .....	11
4. OXIDY DUSÍKU A JINÉ EMISE VZNIKAJÍCÍ PŘI SPALOVÁNÍ .....	13
4.1 Legislativa v oblasti ochrany ovzduší .....	13
4.2 Hlavní znečišťující látky vznikající při spalovacích procesech .....	14
4.3 Oxidy dusíku v atmosféře .....	16
4.3.1 Dusíkaté sloučeniny .....	16
4.3.2 Oxidy dusíku a jejich chemické přeměny v atmosféře.....	16
4.3.3 Vliv emisí NO <sub>x</sub> na životní prostředí a lidské zdraví.....	20
4.3.4 Měření imisí NO <sub>x</sub> .....	22
5. MĚŘENÍ A VÝPOČET EMISÍ.....	22
5.1 Centralizované zásobování teplem.....	22
5.2 Domovní plynové kotelny .....	23
6. TEORIE MODELOVÁNÍ ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ .....	24
6.1 Rozptylová studie .....	24
6.2 Atmosférické disperzní modely.....	28
6.3 Modelování s využitím programu AERMOD View.....	35
6.4 Atmosférické disperzní modely používané v České republice .....	37
7. ROZPTYLOVÁ STUDIE PRO SÍDLIŠTĚ ZACHAR II A ZACHAR III .....	38
8. EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ OBOU ZPŮSOBŮ VÝROBY TEPELNÉ ENERGIE .....	60
8.1 Množství emisí jednotlivých způsobů vytápění .....	60
8.2 Rozptylová studie jednotlivých způsobů vytápění.....	61
8.3 Další porovnání obou způsobů výroby tepelné energie .....	61

9. VYTÁPĚNÍ V EVROPĚ.....	63
9.1 Centralizovaný a decentralizovaný způsob výroby tepelné energie.....	63
9.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla .....	65
9.3 Úspora energie a budoucnost CZT .....	67
10. ZÁVĚR .....	68
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	71
Literatura: .....	71
Internetové zdroje: .....	75
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78

# 1. ÚVOD

Energetika je jedním z nejdůležitějších oborů činností lidstva pro zajištění vlastní existence. V uplynulé dekádě prodělala a i v současné době prodělává řadu změn. Energetické odvětví, které bylo známo velkou setrvačností svých technických rozhodnutí, musí nyní čelit rychlým změnám vyvolaných řadou rozhodnutí, dnes častěji více politických než technicko – ekonomických a ekologických. V Evropě od podpory obnovitelných zdrojů energie, která vyvolala v řadě zemí tzv. „solární boom“, přes odklon od jaderné energie v Německu až po rychlý rozpad některých soustav centralizovaného zásobování teplem v České republice. Z celosvětového hlediska na energetiku také působí palivová základna, její velikost a lokalizace místa těžby a spotřeby. I v této oblasti dochází k podstatným změnám, jako je postupné budování palivové soběstačnosti USA, těžba břidlicového plynu, strategie evropské energetické soběstačnosti, orientace ruského vývozu paliv ze Západu na Východ a v neposlední řadě i ekonomický růst rozvojových zemí v čele se zeměmi BRICS.

Tato bakalářská práce se zabývá některými environmentálními aspekty rozpadu tradičních soustav centralizovaného zásobování teplem v České republice. Práce představuje jeden konkrétní případ systému centralizovaného zásobování teplem ve městě Kroměříž a jeho poměrně rychlý rozpad a předpokládaný brzký zánik vlivem odpojování zákazníků, kteří budují vlastní lokální domovní plynové kotelny. Práce se nezabývá podrobnými ekonomickými hledisky, to je spíše téma pro ekonomicky zaměřené obory studia. Hlavním cílem této práce je porovnání dopadu obou způsobů výroby tepla na životní prostředí. K tomuto účelu je zde vypočítáno a porovnáno roční množství emisí  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) vypuštěných z obou typů vytápění. Dalším podkladem pro zhodnocení dopadu na životní prostředí je zjednodušená rozptylová studie vypracovaná pro studovanou lokalitu.

Při výběru tématu této bakalářské práce jsem byla ovlivněna situací v místě svého bydliště. V obvodu Městské části Prahy 13 byla postupně řada základních a mateřských škol, kde je tato městská část zřizovatelem, odpojena od systému centralizovaného zásobování teplem a také není snaha o připojení nově postavených objektů. V poslední době se v mnoha objektech sídlištní panelové zástavby v Praze 13 jedná o odpojení od centralizovaného zásobování teplem a tím pádem o vybudování vlastního zdroje tepelné energie.



## 1.1 Základní pojmy

Níže jsou uvedeny některé základní pojmy, které budou dále v této práci zmiňovány. Jedná se o obecné pojmy používané v ochraně ovzduší.

**Znečištění X znečišťování** – znečištěním se rozumí látka, která znečišťuje ovzduší, např. SO<sub>2</sub>, znečišťováním je označován proces, který ke znečištění vede, tedy vnášení jedné nebo více znečišťujících látek (emise) do ovzduší [45]

**Znečišťující látka (příměs)** – jakákoliv látka vnesená do některé ze složek životního prostředí nebo v něm druhotně vznikající, která může mít přímý, anebo po fyzikální či chemické přeměně resp. spolupůsobení s jinou látkou, nepřímý, škodlivý vliv na životní prostředí, život a zdraví lidí a zvířat, klimatický systém Země anebo na hmotný majetek [int 17]

**Znečišťování ovzduší** – vnášení takových fyzikálních, chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí v důsledku lidské činnosti, které jsou svou podstatou nebo množstvím cizorodé pro dané prostředí [int 17], znečišťování ovzduší lze také definovat jako vypouštění jedné nebo více znečišťujících látek do ovzduší a vyjadřuje se v jednotkách hmotnosti za jednotku času [int 19]

**Zdroj znečišťování ovzduší** – jedná se o nejrůznější emisní zdroje, které emitují znečišťující látky do ovzduší, tyto zdroje lze rozdělit podle mnoha různých kritérií, nejčastěji se dělí podle stálosti povahy na zdroje stacionární – zdroj, který nemění svoji polohu v prostoru a čase (např. spalovna) a na zdroje mobilní – zdroj, který mění svoji polohu (např. automobil), další časté dělení je pak dle jejich původu na zdroje antropogenní a přirozené, či dle jejich uspořádání na emisní zdroje bodové, liniové, plošné a objemové [18]

**Provozovatel zdroje znečišťování ovzduší** – právnická nebo fyzická osoba, která zdroj znečišťování ovzduší skutečně provozuje; není-li taková osoba, považuje se za provozovatele vlastník zdroje znečišťování [int 17]

**Polutant** – je plynná, kapalná či pevná chemická látka, která má v určitých koncentracích a délce působení škodlivý vliv na živé organismy, polutanty mohou být antropogenního či přírodního původu, lze je také rozdělit na primární polutanty – vypouštěné různými zdroji přímo do atmosféry a sekundární – vytvářející se sekundárně v atmosféře reakcí primárních polutantů, např. vznik troposférického O<sub>3</sub> fotochemickými reakcemi [int 7]

**Emise** – vypouštění nebo únik jedné nebo více znečišťujících látek do atmosféry (životního prostředí), jedná se o přímé primární vypouštění znečišťující látky ze zdroje znečištění [int 17]

**Emisní tok** – zpravidla se udává jako hmotnost příměsi vystupující za jednotku času ze zdroje znečišťování do ovzduší [18]

**Emisní limit** – nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek nebo pachových látek vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší vyjádřené jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v odpadních plynech nebo hmotnostní tok znečišťující látky za jednotku času nebo hmotnost znečišťující látky vztažená na jednotku produkce nebo lidské činnosti nebo jako počet pachových jednotek na jednotku objemu nebo jako počet částic znečišťující látky na jednotku objemu [int 17]

**Emisní faktor** – popisuje množství polutantu uvolňované do atmosféry ze zdroje činnosti (např. spalování, skladování apod.), nejčastěji bývá emisní faktor vyjádřen v jednotkách hmotnosti polutantu emitovaného na jednotku hmotnosti, objemu, tepelného výstupu, vzdálenosti nebo trvání děje emise polutantu (např. g polutantu.m<sup>-3</sup> spáleného zemního plynu při výrobě elektrické/tepelné energie, g polutantu.t<sup>-1</sup> produktu) [18]

**Transmise** – jedná se o všechny procesy a stádia mezi emisemi a imisemi [18]

**Imise** – množství znečišťujících látek přecházející z ovzduší na příjemce (receptor), jedná se tedy o koncentraci znečišťující látky v ovzduší, vyjádřené hmotností sledované znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek na objem vzduchu (nejčastěji µg.m<sup>-3</sup> nebo mg.m<sup>-3</sup>) či hmotnosti sledované látky na 1 kg vzduchu, často se také množství sledované látky vyjadřuje jako poměr objemu znečišťující látky k objemu směsi (nejčastěji jednotky ppb – pars per bilion a ppm – pars per milion) [18]

**Imisní limit** – hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti znečišťující látky na jednotku objemu vzduchu při normální teplotě a tlaku [int 19]

**Úroveň znečištění ovzduší** – hmotnostní koncentrace znečišťujících látek v ovzduší nebo jejich depozice z ovzduší na jednotku plochy zemského povrchu za jednotku času [int 17]

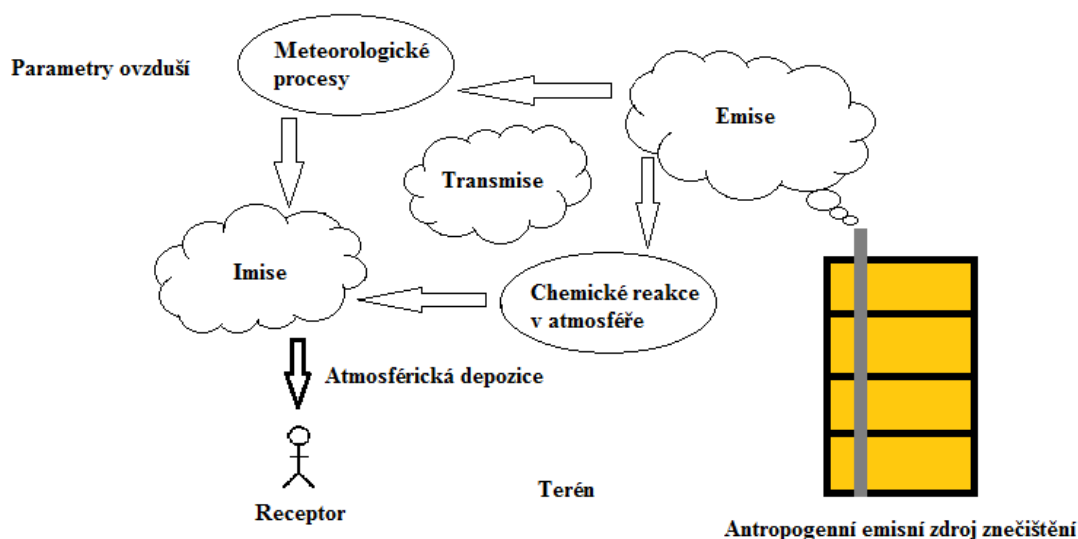
**Posuzování kvality ovzduší** – měření, výpočet, předpověď nebo odborný odhad úrovně znečištění ovzduší prováděné schválenou metodou [int 19]

**Atmosférická depozice** – přenos látek z atmosféry k zemskému povrchu, atmosférickou depozici dělíme na mokrou a suchou depozici, suchá depozice je depozice plynů a pevných látek tzv. suchou cestou, která probíhá neustále, naopak mokrá depozice je dějem epizodickým a je spojena s výskytem atmosférických srážek vertikálních (děšť, sníh, kroupy) a horizontálních (námraza, mlha, jinovatka) [18]

**Depoziční tok** – se vyjadřuje v hmotnostních jednotkách látky uložené za určité období (zpravidla 1 rok) na jednotku plochy zemského povrchu [18]

**Rozptylové podmínky** – podmínky ovlivňující schopnost atmosféry rozptýlovat znečišťující látky (dále jen „ZL“) v ovzduší

**Rozptylová studie** – je modelování rozptylu (koncentrace) ZL v okolí emisního zdroje



Obr. 1: Koloběh ZL v atmosféře (Autor obr.: Eliška Čejková)

Na obr. 1 je graficky znázorněn koloběh ZL v atmosféře. ZL vypouštěná z emisního zdroje se nazývá emise. Jedná se o hmotnostní tok ZL za jednotku času [ $t \cdot \text{rok}^{-1}$ ,  $g \cdot s^{-1}$ ]. Emise se pak dále promíchává s ovzduším a šíří se ve směru větru, do stran a vertikálně. V průběhu transportu se ZL nazývá transmisí. Nejvýznamnější je vliv ZL na receptory – zdraví lidí a životní prostředí. Pokud se jedná o vliv ZL na tyto receptory, nazýváme takovou ZL imisí a

její přízemní koncentraci můžeme vyjádřit v hmotnostních [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] nebo objemových jednotkách [ppm] [22].

## 2. SOUSTAVA CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM

Centralizované zásobování teplem (dále jen „CZT“) je energetický systém, kdy je teplo vyráběno centrálně a jeho následný rozvod do míst spotřeby je pomocí sítě dálkového zásobování teplem. Síť (soustava) dálkového CZT je soubor vzájemně potrubně propojených zařízení sloužících k rozvodu a dodávce tepla ze samostatně stojících zdrojů tepla [int 4]. V našem případě je zdrojem tepla výtopna, kde není teplo vyráběno v kombinované výrobě společně s elektřinou. V této práci je rozpad soustavy CZT ukázán na příkladu společnosti SFW, s. r. o., která od 1.11. 2006 vlastní a provozuje tepelné hospodářství ve městě Kroměříž [44].

Soustava CZT společnosti SFW, s. r. o. se skládá z 3 potrubně nepropojených ostrovních provozů vždy s jedním zdrojem tepla – výtopnou (kotelnu) na zemní plyn (dále jen „ZP“). Plynová kotelna PK1 vytápí sídliště Slovan a Zachar I, plynová kotelna PK2 sídliště Bělidla a Oskol a plynová kotelna PK3 sídliště Zachar II a Zachar III. Dodavatel tepla zásobuje především sídlištní bytové objekty a jednu základní školu. Podíl komerčních odběratelů je zanedbatelný, pouze jedna autoškola (< 0,5 %) [7, 21].

Vlivem uskutečněných investic v letech 2007 – 2009 do obměny kotlů a instalace vyspělého systému měření a regulace, vlivem růstu ceny ZP a příslušné sazby DPH došlo postupně i ke zvýšení jednotkové ceny vyráběné tepelné energie. To mělo za následek odpojení některých odběratelů, což vyvolalo a vyvolává další zvyšování ceny tepla, na což reagují další zákazníci odpojením od CZT a budováním vlastních lokálních domovních plynových kotelen v objektech. Celá soustava je tak blízko svého rozpadu a provozovatel blízko ukončení své činnosti – výroby a rozvodu tepelné energie. Nejbližší ukončení provozu je lokalita zásobovaná plynovou kotelnu PK3 [44]. Její popis je uveden v následujících kapitolách. Tato lokalita bude proto v této bakalářské práci představovat studované území, na kterém se zhodnotí environmentální dopady CZT a decentralizovaného zásobování teplem skrze domovní plynové kotelny.

## 2.1 Počáteční stav

Sídliště Zachar II a Zachar III, která jsou dnes zásobována tepelnou energií z plynové kotelny PK3, leží na jihozápadním okraji města Kroměříž (obr. 2). Tato malá sídliště jsou svou strukturou naprosto identická a každé z nich mělo dříve vlastní zdroj tepla – plynovou kotelnu PK2 a PK3 (obr. 3). Celkový instalovaný výkon těchto dvou kotelen se zastaralou technologií z let 1988 – 1989 byl s ohledem na velikost a postupné zateplování jednotlivých objektů značně předimenzován. Proto se společnost SFW, s. r. o. rozhodla po svém vstupu do tepelného hospodářství k potrubnímu propojení tepelných sítí obou sídlišť, k osazení nové technologie do plynové kotelny PK3 a ke zrušení plynové kotelny PK2, jejíž objekt byl po vyklizení následně odprodán [7, 27].



Obr. 2: Lokalizace sídliště Zachar II a Zachar III ve městě Kroměříž [int 12]



Obr. 3: Struktura sídliště Zachar II a Zachar III [int 12]

## 2.2 Současný stav

Propojení tepelných sítí obou sídlišť bezkanálovým předizolovaným potrubím bylo provedeno koncem roku 2007 a rekonstrukce plynové kotelny PK3 v létě roku 2008. Z původně 3 teplovodních kotlů typu OMNIMAT PGVE 65 byl ponechán pouze jeden opravený (byl rovněž vyměněn hořák) a byly instalovány dva nové teplovodní kotle typu LOOS UT – L 700 včetně nových hořáků. Předmětem rekonstrukce byla dále výměna většiny vnitřních potrubních rozvodů včetně izolace, čerpadel, úpravny vody a v neposlední řadě osazení nového systému měření a regulace, který umožnil bezobslužný provoz tohoto zdroje. Výtopna je řízena z centrálního dispečinku, který je umístěn v budově plynové kotelny PK1. Po rekonstrukci se z kotelny PK3 stal moderní zdroj tepla (obr. 4 a obr. 5). Technické parametry zařízení jsou uvedeny v tabulce I [7, 35, 36].





Obr. 4: Plynová kotelna PK3 (Autor obr.: Eliška Čejková)



Obr. 5: Plynové kotle, zprava K1, K2 a K3 (Autor obr.: Eliška Čejková)

Tab. I: Technické parametry zařízení kotelny PK3 [7, 35, 36]

<b>Kotel</b>	<b>K1</b>		<b>K2</b>	<b>K3</b>
výrobce		LOOS Austria GmbH		ČKD Dukla Praha
typ		UNIMAT UT-L 2 x 6		OMNIMAT PGVE-65
rok výroby		VIII/2008		1988
výrobní číslo	104 541		104 540	10 514
jmenovitý výkon		0,70 MW		0,67 MW
konstrukční přetlak		0,60 MPa		0,60 MPa
maximální teplota		110 °C		110 °C
<b>Hořák</b>	<b>K1</b>		<b>K2</b>	<b>K3</b>
výrobce		Max Weishaupt GmbH		První brněnská strojírna
typ		G5/1-D ZMD-LN (Low NO <sub>x</sub> )		APH 10 PZ
rok výroby		2008		1989
výrobní číslo	582 5387		582 5386	309
jmenovitý výkon		0,20 – 0,90 MW		0,30 – 1,20 MW
regulace výkonu		dvoustupňová		dvoustupňová
<b>Palivo</b>		zemní plyn (ZP)		zemní plyn (ZP)

Z hlediska propojení tepelných sítí obou sídlišť Zachar II a Zachar III lze tuto oblast považovat za jeden celek zásobovaný jednou plynovou kotelnou PK3. Tato oblast se skládá z 16ti bytových panelových objektů. Jednotlivé byty v těchto 16ti objektech vlastní majitelé sdružení v 18ti společenstvích vlastníků jednotek (dále jen „SVJ“). Konkrétní SVJ je potom odběrným místem, do kterého společnost SFW, s. r. o. dodává tepelnou energii (dále jen „TE“) na základě smlouvy o dodávce tepelné energie. Přehled SVJ s průměrnou hodnotou spotřeby TE pro topení a ohřev teplé vody v posledních dvou letech předcházejících roku odpojení od CZT uvádí tabulka II [21].



Tab. II: Odběrná místa CZT [21]

	číslo popisné	spotřeba TE [GJ]	rok odpojení od CZT	poznámka
1	4020	727	2012	
2	4021-4023	1590	před 1.11. 2006	odhad spotřeby
3	4024-4026	1509	2011	
4	4027-4029	1984	2013	
5	4030-4032	932	2011	
6	4033-4034	617	2009	
7	4035-4036	465	2014	vydáno staveb. povolení
8	4037-4038	586	2013	
9	4039-4040	443	2014	vydáno staveb. povolení
10	4041-4042	1330	před 1.11. 2006	odhad spotřeby
11	4043-4044	1333	2009	
12	4045-4047	1166	2008	
13	4048-4050	1683	2013	
14	4051-4053	971	2014	vydáno staveb. povolení
15	4054-4055	457	2010	
16	4056-4057	563	2013	
17	4058-4059	540	před 1.11. 2006	odhad spotřeby
18	4060-4061	645	2011	
Σ		17 541		

Celková spotřeba tepla pro topení a ohřev teplé vody všech odběrných míst zásobovaných z plynové kotelny PK3 CZT činí cca **17 540 GJ ročně**.

#### Výpočet množství paliva zemního plynu pro kotelnu PK3:

Po provedené rekonstrukci plynové kotelny PK3 v roce 2008 byla roční průměrná účinnost tohoto zdroje 85,20 % (vztaženo k výhřevnosti paliva  $H_u$ ) [21].

Dodaná tepelná energie:

17 540 GJ

Množství spáleného ZP:

$$(17\,540/0,852)/3,6 = 5\,719 \text{ MWh}$$

Spalné teplo ZP  $H_o = 10,6048 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  (pro oblast Kroměříž) [int 20]

Koeficient poměru mezi výhřevností a spalným teplem ZP  $k = 0,9$  [int 20]

Výhřevnost paliva ZP  $H_u$ :

$$H_u/H_o = 0,9$$

$$H_u = 10,6048 \cdot 0,9 = 9,5443 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$(5\,719 \cdot 1\,000)/9,5443 = 599\,206 \text{ m}^3$$

Pro dodání 17 540 GJ tepelné energie ročně se spotřebuje (je třeba spálit) v plynové kotelně PK3 CZT množství **599 206 m<sup>3</sup> ZP za rok**.

### 3. DOMOVNÍ PLYNOVÉ KOTELNY

Domovní plynové kotelny představují decentralizovaný způsob zásobování teplem, který se především vyznačuje blízkostí jednotlivých zdrojů TE u spotřebitelů. Decentralizovaný zdroj tepla je autonomním zdrojem, který nemá žádné interakce s ostatními zdroji. Naopak centralizovaný způsob vytápění je založen na principu jednoho velkého zdroje TE, který zásobuje skrze distribuční síť velké množství odběratelů na větším území [1].

Jak již bylo popsáno v 2. kapitole, bezprostředně po rekonstrukci kotelny PK3 začalo postupně docházet k odpojování zákazníků, odběratelů tepelné energie od CZT [44]. Příčin bylo hned několik. Od roku 2008 začala rychlejším tempem růst cena ZP. Do roku 2013 postupně vzrostla příslušná sazba DPH z 5 % na 15 %. V neposlední řadě se projevil i vliv účetních odpisů provedené investice společnosti SFW, s. r. o. v kalkulaci ceny tepla. Na výši jednotkové ceny tepelné energie [Kč.GJ<sup>-1</sup>] v daném roce měla vliv výše odpojených odběrů v roce předcházejícím. Tedy odpojení zákazníků vyvolává zvýšení ceny tepla a to vede k dalšímu odpojování. Děje se tak přes to, že součet stálých nákladů a zisku v kalkulaci ceny tepelné energie [int 3] od roku 2008 stále meziročně klesá. Jsou však spolu s proměnnými náklady (palivo, elektrická energie a technologická voda) rozpočítány na menší počet dodaných, prodaných GJ. Časový vývoj odpojování je zřejmý z tabulky II.

Odpojené subjekty nahrazují tepelnou energii, dříve dodávanou ze systému CZT, vlastní výrobou. Budují ve vhodných prostorách (bývalé kočárkárny, sklepní prostory apod.) lokální domovní plynové kotelny. Autorka měla možnost nahlédnout do několika rozhodnutí místně příslušného Stavebního úřadu Městského úřadu Kroměříž týkajících se objektů odpojených v roce 2013. Většina objektů v dané oblasti byla odběrnými místy SVORNOST, stavebního bytového družstva v Kroměříži. Toto družstvo zadávalo vypracování projektové

dokumentace vždy jednomu projektantovi, a tudíž jednotlivé domovní plynové kotelny se liší pouze zejména výkonem kotlů a objemem ohřivačů teplé vody. Z projektové dokumentace objektu číslo popisné 4035-4036 lze dovodit základní technické údaje pro kotelny celé oblasti [42]:

- sestava 2 nebo 3 plynových kondenzačních kotlů VITODENS 200 – W výrobce Viessmann (obr. 6) s plynule regulovatelným jednotkovým výkonem, o součtovém výkonu do 300 kW
- ohřev vody 2 zásobníkovými ohřivači VITOCCELL o objemu 300 l nebo 500 l
- stávající středotlaká přípojka ZP rozšířena o nový rozvod plynu pro kotelnu včetně samostatného plynoměru
- odkouření od kotlů provedeno společným kouřovodem, napojeným na nerezový fasádní (vertikální) komín, který je ukotven do stěny štítu objektu



Obr. 6: Kondenzační kotel VITODENS 200 – W výrobce Viessmann [int 22]

### **Výpočet množství paliva zemního plynu pro jednotlivé kotelny:**

Základním předpokladem tohoto výpočtu je přijetí faktu, že spotřeba tepla jednotlivých objektů (odběrných míst) zůstane zachována i při výrobě tepelné energie z vlastního zdroje, lokální domovní plynové kotelny. Ve výpočtu je uvažováno s tím, že všech 18 lokálních zdrojů je vybaveno stejným technologickým zařízením (kotelny byly realizovány v rozpětí několika málo let) s účinností dle projektu [42] ve výši 96,40 % (vztaženo k výhřevnosti paliva  $H_u$ ). Tato hodnota byla ověřena i v jiném zdroji [int 8]. V tabulce III jsou vypočítané hodnoty spotřeby ZP jednotlivých domovních plynových kotelen s uvedením počtu nadzemních podlaží (dále jen „NP“) jednotlivých objektů.

Tab. III: Spotřeba zemního plynu domovních plynových kotelen

	číslo popisné	spotřeba TE [GJ]	rok odpojení od CZT	spotřeba ZP [m <sup>3</sup> ]	počet NP
<b>1</b>	4020	727	2012	21 949	8
<b>2</b>	4021-4023	1590	před 1.11. 2006	48 004	8
<b>3</b>	4024-4026	1509	2011	45 558	8
<b>4</b>	4027-4029	1984	2013	59 899	8
<b>5</b>	4030-4032	932	2011	28 138	4
<b>6</b>	4033-4034	617	2009	18 628	4
<b>7</b>	4035-4036	465	2014	14 039	4
<b>8</b>	4037-4038	586	2013	17 692	4
<b>9</b>	4039-4040	443	2014	13 375	4
<b>10</b>	4041-4042	1330	před 1.11. 2006	40 154	8
<b>11</b>	4043-4044	1333	2009	40 244	8
<b>12</b>	4045-4047	1166	2008	35 203	8
<b>13</b>	4048-4050	1683	2013	50 811	8
<b>14</b>	4051-4053	971	2014	29 315	4
<b>15</b>	4054-4055	457	2010	13 797	4
<b>16</b>	4056-4057	563	2013	16 997	4
<b>17</b>	4058-4059	540	před 1.11. 2006	16 303	4
<b>18</b>	4060-4061	645	2011	19 473	4
<b>Σ</b>		17 541		529 579	

Pro dodání 17 540 GJ tepelné energie ročně spotřebuje (spálí) všech 18 lokálních domovních plynových kotelen množství **529 579 m<sup>3</sup> ZP za rok**.

## 4. OXIDY DUSÍKU A JINÉ EMISE VZNIKAJÍCÍ PŘI SPALOVÁNÍ

### 4.1 Legislativa v oblasti ochrany ovzduší

V České republice platí od roku 2012 zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Tento zákon nabyl účinnosti 1.9. 2012 a zabývá se především předcházením znečišťování ovzduší, snižováním úrovně znečišťování a s tím spojené omezení rizika pro lidské zdraví a zátěže životního prostředí. Dále pak 1.12. 2012 nabyla účinnosti vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Tato vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR stanovuje požadavky na kvalitu paliva z hlediska ochrany ovzduší a také na zjišťování úrovně znečišťování a vyhodnocení plnění emisních limitů [45, int 24]. Palivem je označován tuhý,

kapalný nebo plynný hořlavý materiál určený ke spalování ve zdrojích znečišťování za účelem získání jeho energetického obsahu. Dnešní energetické zdroje musí splňovat stále zpřísnující se nároky na zatížení ovzduší emisemi [int 6]. Emise vznikají v důsledku špatného spalování prvků vyskytujících se v palivu a nebo ze sekundárních reakcí [int 5]. Obecně se emise dělí na emise antropogenní a přirozené. Znečišťující látky z přirozených (přírodních) zdrojů jsou emitovány v daleko větším množství než antropogenní ZL. Z celkového množství emisí pohází 9/10 z přirozených zdrojů. Větší význam však mají emise antropogenní a to hned z několika důvodů. Většinou jsou vypouštěny v blízkosti oblastí s vysokou hustotou osídlení a to v nárazových či vyšších koncentracích oproti emisím pocházejících z přirozených zdrojů [22].

## 4.2 Hlavní znečišťující látky vznikající při spalovacích procesech

Při spalování v kotelnách se využívají 3 základní druhy paliv: tuhá, kapalná, plynná. Základním palivem v České republice jsou stále paliva fosilní (zemní plyn, ropa, uhlí) [int 6].

Během spalování fosilních paliv vznikají následující znečišťující látky [int 6]:

- Oxid uhelnatý CO
- Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>
- Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>
- Tuhé znečišťující látky (TZL)
- Organické látky (OL) – vyjádřené jako celkový organický uhlík (TOC)

### Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, který vzniká v důsledku nedokonalého spalovacího procesu. Jedná se o neúplnou oxidaci uhlíku na konečný produkt CO<sub>2</sub>. Příčinou takového nedokonalého spalování může být nedostatečný přístup okysličovadla O<sub>2</sub> či nedodržení vhodné teploty spalování. Přeměna CO na CO<sub>2</sub> je tedy závislá především na vhodných teplotních podmínkách a dostatečném přístupu O<sub>2</sub> k palivu. Emisní limit pro CO je velmi přísný. Důvodem je především fakt, že nízké emise CO zaručují i nízké emise uhlovodíků ΣC<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, z nichž některé jsou řazeny mezi karcinogenní látky. Dalším důvodem je, že CO se velmi ochotně váže v krvi na krevní barvivo hemoglobin, které zajišťuje transport kyslíku z plic do tkání [int 6]. Příčinou je, že oxid uhelnatý je vázán na hemoglobin mnohem pevněji a má vyšší afinitu asi 200 – 250 x než kyslík [int 15]. Pokud se CO naváže na hemoglobin, vytvoří tak karboxyhemoglobin (COHb) a zabraňuje přenosu kyslíku v těle. Takto vytvořený

karboxyhemoglobin je u člověka přibližně 250 x stabilnější než oxyhemoglobin (O<sub>2</sub>Hb). Vyšší dávky CO proto mohou způsobit udušení [int 15].

### **Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>**

Jestliže palivo obsahuje síru a nedojde – li k navázání síry na vhodné látky během procesu spalování, oxiduje se síra obsažená v palivu na oxid siřičitý, což je bezbarvý plyn se specifickou štiplavou vůní. V palivu je obsažena síra organická a anorganická neboli síranová. Pouze síra ve formě síranů není zdrojem znečišťujícího plynu SO<sub>2</sub>, protože se jedná o neoxidovatelnou formu síry [int 6]. Velký obsah síry má například uhlí. České uhlí obsahuje v průměru 1 – 3 hmotnostní % síry [16] a z toho je až 95 % oxidovatelné formy síry [int 6]. Z 1 kilogramu palivové síry mohou tedy vzniknout až 2 kilogramy SO<sub>2</sub> [int 6]. Oxid siřičitý se za přítomnosti kovů, jako katalyzátorů, oxiduje na oxid sírový SO<sub>3</sub>. K oxidaci může dojít i působením slunečního záření, jedná se však o mnohem pomalejší oxidaci. Hydrolyzovaný SO<sub>3</sub> je pak vymýván srážkami ve formě kyselých dešťů, které zvyšují kyselost půdy a povrchové vody. Kyselé deště působí také negativně na vegetaci a živočichy [int 6].

### **Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>**

Viz níže: 4.3.2 Oxidy dusíku a jejich chemické přeměny v atmosféře

### **Tuhé znečišťující látky**

Tuhými znečišťujícími látkami jsou označovány částice unášené do ovzduší, které jsou za teploty a tlaku v komíně, výduchu a výpusti nebo při emisním měření obsaženy v odpadním plynu v pevném skupenství [int 6]. Jedná se o tuhé suspendované částice, které vznikají např. jako emise z paliv obsahující popeloviny nebo také ve formě sazí při spalovacích procesech [int 6]. TZL můžeme rozdělit na primární a sekundární. Primární částice se dostávají přímo do atmosféry, naopak sekundární částice vznikají v atmosféře z plynných prekurzorů – např. SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. Z hlediska vlivu na lidské zdraví jsou určeny imisní limity pro částice PM<sub>10</sub> (o průměru 10 μm), které mohou způsobit podráždění dýchacích cest. Částice PM<sub>10</sub> procházejí přes horní cesty dýchací až do plic a průdušek, kde se mohou usazovat [int 21].

### **Organické látky**

Organické látky jsou jinak řečeno uhlovodíkové sloučeniny. Do těchto uhlovodíkových sloučenin patří jak jednoduché uhlovodíky alkany, tak složitější jako například aromatické uhlovodíky a benzeny. Patří sem také velmi nebezpečné polychlorované

organické látky. V současné době se u běžných fosilních paliv neprovádí zvlášť měření emisí organických látek, ale kontrolují se emise CO, které zároveň zaručují i nízké emise organických látek [int 6]. Nebezpečnost organických látek také tkví v jejich vlastnostech dobře se kumulovat v biotických i abiotických složkách prostředí [8].

### **4.3 Oxidy dusíku v atmosféře**

#### **4.3.1 Dusíkaté sloučeniny**

Dusíkaté sloučeniny přispívají významně ke znečištění ovzduší a jejich koncentrace jsou pozorně sledovány. Nejčastějšími dusíkatými sloučeninami, které se v ovzduší nachází, jsou amoniak ( $\text{NH}_3$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ), oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ), oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a další oxidy typu  $\text{N}_x\text{O}_y$ . Dále se zde vyskytuje kyselina dusitá a dusičná a jejich soli - dusitany, dusičnany a také amonné soli [23].

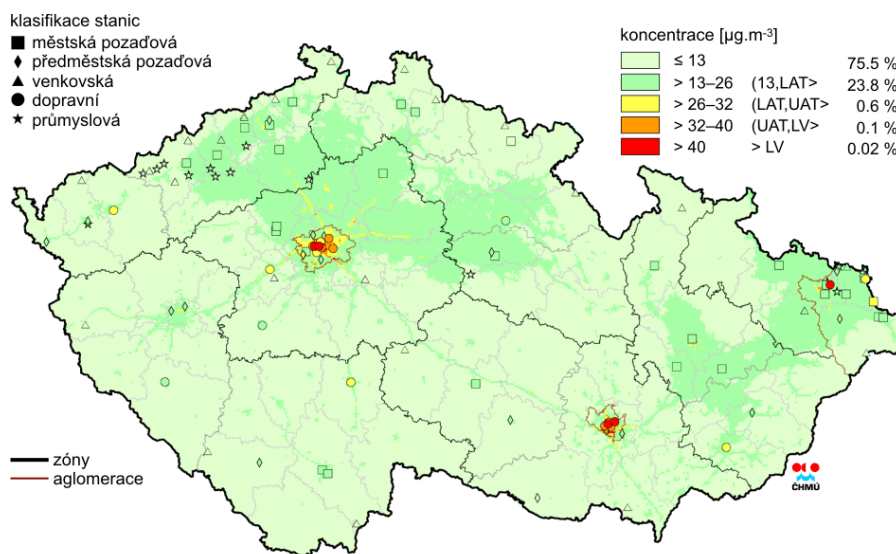
Zdroje dusíkatých sloučenin jsou přirozené i antropogenní. Na přirozeném obsahu dusíkatých sloučenin v atmosféře se svojí činností podílejí bakterie (např. mikrobiální denitrifikace), vulkanická a bouřková činnost [23]. Jedná se o mnohem větší množství, než je množství vytvářené lidskou činností, je však rozprostřeno po celém povrchu Země, takže koncentrace přirozeného pozadí v přírodě je malá [int 14]. Antropogenní zdroje jsou však velmi významné a ovlivňují do značné míry zásoby dusíkatých sloučenin v atmosféře. Jejich zdroji jsou především spalovací procesy - hlavně spalování fosilních paliv ve stacionárních emisních zdrojích (při výrobě tepelné a elektrické energie) a automobilová doprava (spalovací motory) [23]. Dusíkaté sloučeniny se spolu s těkavými organickými látkami a ultrafialovým zářením podílejí na vzniku přízemního ozonu a fotochemického neboli letního smogu [8].

#### **4.3.2 Oxidy dusíku a jejich chemické přeměny v atmosféře**

Z chemického hlediska patří mezi oxidy dusíku oxid dusný, oxid dusnatý, oxid dusičitý a oxid dusičný [23]. Z hlediska skleníkového efektu je významný především  $\text{N}_2\text{O}$ , který vzniká ve významnějším množství při nízkoteplotním spalování [23, int 6]. Oxid dusný je v troposféře stabilní, k jeho rozkladu dochází až ve stratosféře [8]. Při monitorování venkovní kvality ovzduší jsou však pod termínem oxidy dusíku označovány pouze oxid dusnatý NO a oxid dusičitý  $\text{NO}_2$ . Označením oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) je tedy vyjádřena právě suma NO a  $\text{NO}_2$  (sumární koncentrace v ppb) [23]. Většina antropogenních oxidů dusíku vzniká oxidací molekulárního dusíku v atmosféře při spalovacích procesech při vysoké teplotě [8]. Zpravidla se udává, že oxid dusnatý tvoří 90 % [9, 23] emitovaných oxidů dusíku. Oxid dusnatý je pak oxidační reakcí přeměněn na oxid dusičitý [23]. Podíl  $\text{NO}_2$  z celkových

NO<sub>x</sub> je u atmosférických kotlů zanedbatelný, protože je uváděno, že jeho maximální podíl je 5 %, avšak obvykle nedosahuje ani 2 % [int 6]. V blízkosti zdroje znečištění je tedy více emisí NO a ve větší vzdálenosti od zdroje převládá NO<sub>2</sub> (po oxidaci NO) [23]. Avšak imisní limit ve vztahu k ochraně zdraví lidí se uvádí pro NO<sub>2</sub> a to proto, že NO<sub>2</sub> je mnohem toxičtější než NO [9].

Jedním z nejvíce využívaných paliv pro vytápění a ohřev teplé vody v obytném sektoru je zemní plyn [3, 4]. Velmi často se ZP používá v místech, kde je drahá elektřina. Zemní plyn má nejmenší emisní faktory znečišťujících látek a tudíž i nejnižší produkci emisí ze všech fosilních paliv. Jedná se tedy o nejšetrnější fosilní palivo k životnímu prostředí [3]. Při spalování ZP jsou nejvíce ze všech emisí produkovány emise oxidů dusíku a oxid uhelnatý, avšak ten je produkován v minimálním množství. Tato práce se tedy zabývá produkcí oxidů dusíku, protože jich při spalování ZP vzniká nejvíce. Protože převážná většina NO oxiduje na NO<sub>2</sub> a imisní limity pro ochranu zdraví lidí jsou také stanoveny pro NO<sub>2</sub>, byly v této práci počítané emise NO<sub>x</sub> vyjádřené jako NO<sub>2</sub>. Důvodem je i fakt, že autorizované měření emisí unikajících z emisních zdrojů udává oxidy dusíku vyjádřené právě jako NO<sub>2</sub>. Oxidy dusíku patří také mezi skleníkové plyny a jejich GWP NO<sub>2</sub> je 310 v porovnání s CO<sub>2</sub>, jehož GWP je 1 [3]. NO<sub>x</sub> jsou většinou známy jako městské ZL a jejich hlavním zdrojem je především doprava a vytápění je až na druhém místě. Koncentrace oxidů dusíku mohou být ve městech podstatně vyšší ve srovnání s mimoměstskými oblastmi [3]. V České republice byly nejvyšší průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub> naměřeny v Praze, Brně a Ostravě. Na území těchto měst jsou naměřené koncentrace vyšší než 40 μg.m<sup>-3</sup>, to se týká asi 0,02 % území ČR. Naproti tomu na 75,5 % území byly naměřeny hodnoty menší nebo rovny 13 μg.m<sup>-3</sup> [30]. Koncentrace NO<sub>2</sub> je zřejmá z obr. 7.



Obr. 7: Pole roční průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v roce 2012 [30]



Oxid dusnatý vzniká při spalování fosilních paliv třemi způsoby. Jedná se o tzv. „promptní (okamžitý) NO“, který vzniká při nejvyšších teplotách na začátku hoření a jeho zastoupení v celkové emisi NO je velmi malé [int 6]. Dalším způsobem se vytváří tzv. „termální (termický) NO“, který vzniká působením vysoké teploty nad 1 100 °C [int 6]. Při takové vysoké teplotě dojde k oxidaci atmosférického molekulárního N<sub>2</sub> obsaženého v okysličovadle (vzduchu) na NO. Vznik „termálního“ NO tedy závisí především na tlaku a teplotě spalování. Dále také vzniká tzv. „palivový NO“, děje se tak při nejnižších teplotách oxidací dusíku obsaženého v palivu [23, int 6].

Oxid dusnatý je bezbarvý, málo reaktivní plyn, který může pomocí vzdušného kyslíku oxidovat na oxid dusičitý (4.1), což je červenohnědý zapáchající plyn rozpustný ve vodě a také silné oxidační činidlo [int 6]. Tato reakce však při koncentracích nižších než 1 ppm probíhá velmi pomalu [18, 23].



K velmi významné reakci může dojít při styku NO s ozonem (4.2) nebo peroxidovým radikálem HO<sub>2</sub> (4.3), při kterém vzniká oxid dusičitý velmi rychle a to již při nízkých koncentracích obou složek [18, 23]. Jedná se o nejdůležitější způsob vzniku oxidu dusičitého v ovzduší [int 14]. Dalšími možnými oxidanty NO mohou být některé organické sloučeniny označované jako R-H (R=CH<sub>3</sub>, CHO, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>), které reagují s OH skupinou za vzniku dalších oxidantů NO [18, 23]. Množství organických látek a intenzita slunečního záření jsou přímo úměrné oxidaci NO na NO<sub>2</sub>. Čím intenzivnější tyto faktory jsou, tím se zvyšuje koncentrace NO<sub>2</sub> a snižuje koncentrace NO [18]. NO je významnou látkou ve stratosféře, protože patří k hlavním narušitelům a likvidátorům ozonové vrstvy. Reakcí NO s ozonem totiž vzniká již zmíněný NO<sub>2</sub> (4.2) a dvou atomární kyslík [int 6]. Uvnitř budov je oxidace NO na NO<sub>2</sub> bez působení slunečního záření a přítomnosti ozonu daleko pomalejší než výměna vzduchu, proto jsou emise NO<sub>2</sub> ve vnitřních prostorech zanedbatelné [int 6].



Oxid dusičitý podstupuje během dne fotolýze, tímto procesem vzniká oxid dusnatý a kyslíkový radikál (4.4). Kyslíkový radikál ihned reaguje s molekulárním kyslíkem za vzniku ozonu (4.5). Podmínkou vzniku ozonu je sluneční záření. Reakce je přímo úměrná intenzitě slunečního záření, tedy čím intenzivnější záření je, tím probíhá reakce rychleji [18, 23].

Fotolýza  $\text{NO}_2$  je v troposféře jediným zdrojem ozonu a díky ní vzniká tzv. troposférický ozon [8].



M ... katalyzátor („energetický přechodník“)

Současně však reaguje část NO s ozonem a dochází tak ke zpětné oxidaci NO (4.6), která způsobuje úbytek a odstraňování ozonu v troposféře. Obě protichůdné reakce se ustálí v rovnovážném stavu, ale k tomu je zapotřebí, aby při zpětné oxidaci NO na  $\text{NO}_2$  nahradily ozon těžké organické látky [18].



Oxid dusičitý se může přeměňovat na kyselinu dusičnou  $\text{HNO}_3$  reakcí s OH radikálem nebo s ozonem (4.7). Reakce s ozonem je velmi pomalá [18].



Kyselina dusičná je z atmosféry vymývána formou atmosférické depozice [18]. Podíl na vzniku kyselých dešťů má jak  $\text{NO}_2$  tak  $\text{SO}_2$ . Na rozdíl od síranů, které bývají málo rozpustné nebo nerozpustné, jsou dusičnany většinou ve vodě rozpustné, což hraje roli v poškozování venkovního prostředí. Venkovní materiály jsou poškozovány kyselinou dusičnou i po vzniku vrstvy dusičnanů, protože ty se působením deště rozpouští a vymývají, a tak může působení kyseliny pokračovat. Naopak již vytvořené nerozpustné sírany utvoří nerozpustnou ochrannou vrstvu a brání tak dalšímu poškozování kyselinou [int 6].

Evropské emise  $\text{NO}_x$  jsou hlavně antropogenního původu a pocházejí buď ze stacionárních nebo mobilních zdrojů znečišťování. Emise  $\text{NO}_x$  ze stacionárních zdrojů se v mnoha regionech v Evropě snížily. Opakem jsou emise z mobilních zdrojů, které stále rostou, přestože dochází k neustálému snižování jejich emisních faktorů. Důvodem je především neustále se zvyšující množství automobilů, cestovní vzdálenosti a celkově zvyšující se intenzita automobilové dopravy. Podíl dopravy na zvýšení emisí  $\text{NO}_x$  tak stále narůstá. Naopak přirozené zdroje  $\text{NO}_x$  k evropským emisím přispívají podle odhadů méně než 10 % [23]. Emise  $\text{NO}_x$  se také značně odlišují ve městech a na venkově, značná proměnlivost

se projevuje také během dne a roku [23]. Rozdíly v antropogenních emisích oxidů dusíku  $\text{NO}_x$  v různých zemích vznikají hlavně v důsledku rozdílné spotřeby fosilních paliv [int 14].

#### 4.3.3 Vliv emisí $\text{NO}_x$ na životní prostředí a lidské zdraví

Oxid dusnatý podle dosavadních studií ovlivňuje lidské zdraví až při koncentracích, které se ve venkovním ovzduší většinou nevyskytují. V poslední době se však zkoumá jeho možná karcinogenita. Větší dopady na lidské zdraví má oxid dusičitý. Ze zdravotního hlediska je  $\text{NO}_2$  významný především kvůli svému negativnímu účinku na dýchací ústrojí [23]. Oxid dusičitý silně dráždí dýchací cesty a je schopný pronikat hluboko do plicních sklípků (alveol). V alveolách pak jeho vlivem dochází k poškozování epitelových buněk a buněčných membrán [26]. Podle doposud provedených epidemiologických studií existuje určitá spojitost mezi expozicí oxidu dusíku a zvýšeným výskytem astmatu, respiračních problémů a chronické obstrukční plicní nemoci. Emise oxidů dusíku také mohou zvýšit náchylnost k infekcím dýchacích cest, zhoršit imunitní obranyschopnost a také zhoršit funkci plic např. snížení vitální kapacity plic [2, 26]. Účinky emisí  $\text{NO}_x$  na lidské zdraví závisí především na době expozice a koncentraci. Co se týče imisních limitů, tak podle dosud provedených epidemiologických studií je maximální krátkodobá expozice (1 – hodinová průměrná hodnota) stanovena na  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Experimentální studie provedené u lidí prokázaly nejnižší pozorovatelný účinek působení  $\text{NO}_2$  při krátkodobé expozici až u koncentrací od  $400 - 500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Účinky na pacienty s lehkým astmatem nebylo možné pozorovat po krátkodobé expozici koncentrací pod  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Co se týče dlouhodobé expozice, maximální průměrná roční koncentrace nesmí překročit  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Imisní limity jsou ve většině případů stanovovány experimentálně, a proto by měla být uplatněna zásada předběžné opatrnosti, aby i citlivější jedinci (děti, těhotné ženy, staří a nemocní lidé) byli tímto limitem dostatečně chráněni. Mnohdy je těžké oddělit vliv jednotlivých ZL na zdraví, protože z emisního zdroje obvykle uniká více druhů ZL, proto musíme přičítat jejich vliv na zdraví úplné směsi ZL unikajících ze zdrojů znečištění. Oxid dusičitý má například aditivní účinky s ozonem či kyselými aerosoly. Oxidy dusíku jsou jedním ze zdravotních indikátorů znečištění z dopravy. Snížením jejich povolené koncentrace dojde tedy současně i ke snížení jiných ZL [26].

Oxidy dusíku se také podílejí na acidifikaci a eutrofizaci, což negativně ovlivňuje celý ekosystém [23]. Kyselé deště přispívají k mobilizaci kovů (např. hliník) a jejich zvýšenému příjmu ekosystémy [8]. V minulosti (r. 1950 – r. 2000) měly větší podíl na acidifikaci prostředí emise síry ( $\text{SO}_2$ ), nyní je však situace zcela jiná, a daleko větší podíl na acidifikaci prostředí mají právě oxidy dusíku. Důvodem snížení emisí síry je především řádné odsíření

velkých emisních zdrojů a plynofikace obcí. Podle projektů Göteborgského protokolu se odhaduje, že celkové emise dusíku mohou být v budoucnu (r. 2000 – r. 2050) až 3 x vyšší než celkové emise síry. Důvodem je především rapidně se rozvíjející automobilová doprava. V budoucnu proto mohou oxidy dusíku znamenat velký problém při boji s acidifikací životního prostředí [25].

Další významnou roli hrají oxidy dusíku při vzniku fotochemického („losangelského“, letního) smogu a troposférického ozonu (vznik viz kapitola 4.3.2). Chemické přeměny oxidů dusíku v atmosféře). Látky, které tvoří fotochemický smog, vznikají fotochemickými reakcemi a jedná se o silná oxidační činidla. Fotochemický smog působí negativně na lidské zdraví, živočichy, vegetaci (fytotoxická škodlivina) a materiály. Jedná se především o dýchací problémy (kašel), svědění očí a podráždění sliznic [18]. Listnaté stromy jsou na ozon citlivější v porovnání s jehličnatými stromy. Poškození ozonem je patrné např. na listech stromů a celkově ovlivňuje energetickou bilanci stromů, protože ty musí vynaložit část své energie na odstranění oxidačního stresu [10].

V tabulce IV jsou uvedeny imisní limity dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší [45].

Tab. IV: Imisní limity podle zákona o ochraně ovzduší [45]

<b>znečišťující látka</b>	<b>doba průměrování</b>	<b>imisní limit</b>	<b>poznámka</b>
CO	maximální denní osmihodinový průměr	10 mg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
SO <sub>2</sub>	1 hodina	350 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
SO <sub>2</sub>	24 hodin	125 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
SO <sub>2</sub>	kalendářní rok a zimní období (1.10. - 31.3.)	20 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu ekosystémů a vegetace
NO <sub>2</sub>	1 hodina	200 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
NO <sub>2</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
NO <sub>x</sub>	1 kalendářní rok	30 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu ekosystémů a vegetace *
PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí
PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	limit pro ochranu zdraví lidí

\* vyjádřeno v hmotnostní koncentraci oxidu dusičitého

#### 4.3.4 Měření imisí NO<sub>x</sub>

Imisní monitoring v ČR zajišťuje především Český hydrometeorologický ústav a sítě hygienické služby. V ČR jsou na různých místech rozmístěny měřicí stanice pro stálá měření koncentrací vybraných ZL. Mezi tyto ZL patří i oxidy dusíku. Měření oxidů dusíku je důležité hlavně ve městech, kde je hustá dopravní síť. Pro měření oxidů dusíku jsou důležité dopravní stanice a pozad'ové monitorovací stanice. Dopravní stanice je stanice přímo ovlivněná dopravou, umístěná nejlépe 1 – 5 m od rušné komunikace. Pozad'ová stanice je stanice, která není přímo ovlivněná žádným emisním zdrojem, ve městech se jedná o lokalitu vzdálenou od emisních zdrojů a tedy reprezentativní pro celý okruh města. Při imisním monitoringu se využívají buď automatizovaná nebo manuální měření. Při manuálním měření se nejčastěji využívá guajakolová spektrometrie a při automatizovaném měření metoda chemiluminescence [8]. Pro měření oxidů dusíku je také možné použít metodu Lidar (Light Detection and Ranging). Tato metoda je založena na tom, že každý typ ZL (plynu) absorbuje světlo určitým způsobem. Lidar se skládá z laseru, který vysílá do atmosféry dva světelné pulsy o dvou vlnových délkách – jeden referenční a druhý, jehož energie je absorbována měřenou ZL. Část odraženého světla od molekul měřeného plynu se vrací zpět do měřicího zařízení. Poté se koncentrace měřené ZL vypočítá pomocí srovnání obou pulsů. Výhodou Lidaru je, že je schopný měřit nejen horizontální koncentrace ZL, ale i vertikální koncentrace ve vyšších úrovních nad zemským povrchem [8, 29].

## 5. MĚŘENÍ A VÝPOČET EMISÍ

### 5.1 Centralizované zásobování teplem

Po rekonstrukci v roce 2008 bylo rozhodnutím Odboru životního prostředí a zemědělství (oddělení technické ochrany prostředí) Krajského úřadu Zlínského kraje [37] povoleno uvedení plynové kotelny PK3 do trvalého provozu. Kotelna PK3 patří mezi střední zdroje znečišťování ovzduší (celkový jmenovitý tepelný příkon zdroje  $\geq 1$  MW a  $\leq 5$  MW) a musí se každé 3 roky podrobit jednorázovému měření emisí ke stanovení množství plynných ZL vypouštěných do ovzduší [45]. Měření bylo provedeno po rekonstrukci v říjnu 2008, další v listopadu 2011 a následné by mělo být provedeno na podzim roku 2014. Měření provedla společnost, která je držitelem autorizace k měření emisí ZL. Z evidence provozních hodin vyplývá, že starý kotel K3 (ČKD) je provozován pouze jako záložní, jeho roční provozní podíl je menší než 1 % a proto bude jeho vliv zanedbán [21]. Nově instalované moderní kotle K1 a K2 (LOOS) se podílí na provozu každý podílem cca 50 %. Proto bude z dat obou kotlů

z protokolů o autorizovaném měření emisí v letech 2008 a 2011 [40, 41] vypočtena průměrná hodnota. Výsledky jsou uvedeny v tabulce V.

Tab. V: Výsledky autorizovaného měření emisí kotlů K1 a K2 v plynové kotelně PK3 [40, 41]

měřené látky	koncentrace při referenčním O <sub>2</sub> [mg.m <sup>-3</sup> ]		emisní faktor [g.m <sup>-3</sup> ]	
	2008	2011	2008	2011
K1 oxidy dusíku NO <sub>x</sub> jako NO <sub>2</sub>	80	75	0,772	0,726
K2 oxidy dusíku NO <sub>x</sub> jako NO <sub>2</sub>	75	87	0,724	0,841

Emisní faktor NO<sub>2</sub> je vztažen na kubický metr [m<sup>3</sup>] spotřebovaného paliva ZP. Průměrná hodnota, která je použita dále pro výpočet množství emisí NO<sub>2</sub>, je 0,7658 g.m<sup>-3</sup>. Naměřené hodnoty potvrzují, že zdroj PK3 plní emisní limity stanovené vyhláškou č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.

#### Výpočet množství emisí NO<sub>2</sub>:

$$599\,206 \cdot 0,7658 = 458\,872 \text{ g} = 459 \text{ kg}$$

Kotelna PK3 zásobující tepelnou energií oblast sídliště Zachar II a Zachar III (celkem 18 odběratelů) by vyprodukovala cca **459 kg emisí NO<sub>2</sub> ročně**.

## 5.2 Domovní plynové kotelny

Při výpočtu spotřeby ZP domovních plynových kotlen je v 3. kapitole této práce uvažováno s tím, že všech 18 lokálních zdrojů je vybaveno stejným technologickým zařízením (kotelny byly realizovány v rozpětí několika málo let). Na základě toho je pro zjednodušení výpočtů předpokládáno, že všechny kotle mají stejný emisní faktor NO<sub>2</sub>. U zdrojů s celkovým jmenovitým tepelným příkonem < 300 kW (součet jmenovitých příkonů všech kotlů v kotelně) se však neprovádí autorizované měření emisí podle ustanovení zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší a navazujících předpisů [45]. Ke stanovení emisního faktoru NO<sub>2</sub> byly proto použity údaje z protokolu o autorizovaném měření [46] zdroje (domovní plynové kotelny na sídlišti Oskol) o celkovém tepelném příkonu 399 kW (u zdrojů s celkovým jmenovitým tepelným příkonem ≥ 300 kW a < 1 MW se provádí měření emisí při uvedení zdroje do provozu). Hodnota emisního faktoru NO<sub>2</sub>, která je použita při výpočtech, je

0,497 g.m<sup>-3</sup> [46]. V tabulce VI jsou uvedeny vypočtené hodnoty množství emisí NO<sub>2</sub> jednotlivých lokálních domovních plynových kotelen včetně jejich součtu.

Tab. VI: Hodnoty množství emisí NO<sub>2</sub> domovních plynových kotelen

	číslo popisné	spotřeba TE [GJ]	rok odpojení od CZT	spotřeba ZP [m <sup>3</sup> ]	emise NO <sub>2</sub> [kg]
1	4020	727	2012	21 949	10,91
2	4021-4023	1590	před 1.11. 2006	48 004	23,86
3	4024-4026	1509	2011	45 558	22,64
4	4027-4029	1984	2013	59 899	29,77
5	4030-4032	932	2011	28 138	13,98
6	4033-4034	617	2009	18 628	9,26
7	4035-4036	465	2014	14 039	6,98
8	4037-4038	586	2013	17 692	8,79
9	4039-4040	443	2014	13 375	6,65
10	4041-4042	1330	před 1.11. 2006	40 154	19,96
11	4043-4044	1333	2009	40 244	20,00
12	4045-4047	1166	2008	35 203	17,50
13	4048-4050	1683	2013	50 811	25,25
14	4051-4053	971	2014	29 315	14,57
15	4054-4055	457	2010	13 797	6,86
16	4056-4057	563	2013	16 997	8,45
17	4058-4059	540	před 1.11. 2006	16 303	8,10
18	4060-4061	645	2011	19 473	9,68
Σ		17 541		529 579	263,21

Všech 18 lokálních domovních plynových kotelen zásobujících tepelnou energií jednotlivé objekty oblasti sídliště Zachar II a Zachar III (celkem 18 odběratelů) by vyprodukovalo cca **263 kg emisí NO<sub>2</sub> ročně**.

## 6. TEORIE MODELOVÁNÍ ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

### 6.1 Rozptylová studie

Dlouhodobé vystavení obyvatel znečištění ovzduší se stává celosvětovým problémem. Světová zdravotní organizace (dále jen „WHO“) uvádí, že v roce 2012 bylo přibližně 3,7 milionů úmrtí ve světě připsáno právě venkovnímu znečištění ovzduší. Nezanedbatelný vliv má však i znečištění vznikající v domácnostech, které mělo v roce 2012 dle WHO na svědomí přibližně 4,3 milionů úmrtí. V důsledku celkového znečištění ovzduší (venkovního a v domácnostech) zemřelo v roce 2012 přibližně 7 miliónů lidí. Znečištění ovzduší se tedy

pomalu, ale jistě stává významnou hrozbou nejen pro lidskou populaci [int 2]. Poslední desetiletí se začíná vliv znečištění na lidské zdraví a životní prostředí intenzivně sledovat, jak v globálním, tak v regionálním měřítku. Jedná se například o přízemní ozon, prašný aerosol a oxidy dusíku. Abychom mohli minimalizovat negativní dopad znečištění na zdraví a životní prostředí, je důležité porozumět tomu, jak se znečištění v atmosféře šíří. K tomu je vhodné využít modelování rozptylu ZL v ovzduší [38]. Ke studiu kvality a modelování znečištění ovzduší nám slouží rozptylové studie [8], které jsou důležité především pro posuzování vlivů na životní prostředí [38]. Když je znečišťující látka vypuštěna ze zdroje znečištění, je pak dále unášena větrem a rozptýlena v atmosféře. Maximální koncentrace ZL je většinou v místě vypuštění. Díky turbulentnímu míchání vypuštěné ZL vzduchem jsou její koncentrace po směru větru, ve srovnání s výpustí emisního zdroje, menší. Rozptýlení ZL je podmíněno řadou parametrů, například rychlostí a směrem větru, atmosférickou stabilitou, terénem či nadmořskou výškou. Modelování znečištění ovzduší má stále větší význam, protože nám pomáhá řešit aktuální problémy spojené se znečištěním ovzduší, či najít nejlepší řešení pro nově plánované emisní zdroje tak, aby co nejméně negativně ovlivňovaly životní prostředí a zdraví obyvatele v jeho okolí. Simulace disperze umí identifikovat oblasti s vysokým rizikem expozice ZL [38] a rozptylové studie tak mohou sloužit jako významný rozhodovací a plánovací nástroj při chystané výstavbě nových nebo rekonstrukci stávajících emisních zdrojů [8]. Rozptylové studie jsou využívány například orgány ochrany ovzduší, které se zabývají povolováním zdrojů a vydáváním závazných stanovisek podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší [31]. Modelování nám však nikdy neposkytne naprosto přesnou hodnotu rozložení koncentrace ZL na daném území. Každý model musí vycházet z mnoha zjednodušených předpokladů, které se projeví určitými nepřesnostmi na konečném výsledku [8]. Aby byly výsledky odhadů co nejpřesnější, je doporučeno, aby došlo současně k potvrzení výsledků mezi měřením a simulací. Vhodným typem měření je rozmístění několika monitorovacích stanic (receptorů) v okolí studovaného emisního zdroje, které by měřily reálnou koncentraci ZL v okolí zdroje. Pak lze snadno porovnat, do jaké míry se model shoduje s naměřenou koncentrací ZL [38]. To však není možné v našem případě provést a proto k posouzení rozptylu ZL z obou zdrojů znečištění nám bude muset vystačit zjednodušená rozptylová studie.

Existuje několik možností, jak modelovat rozptyl a transport ZL v ovzduší. Může se jednat o fyzikální modelování např. pomocí speciálních tunelových měření, nebo o modelování pomocí matematických modelů, které jsou založeny na řešení soustavy termodynamických a hydrodynamických rovnic [6, 8]. Nástrojem modelování znečištění



v ovzduší jsou rozptylové studie, jejichž výstupem je prostorové rozložení ZL (koncentrace) v daném místě. Prostřednictvím takové studie můžeme předvídat budoucí vývoj stavu znečištění ovzduší na konkrétním území, např. přejde-li se v určité lokalitě na jiný typ paliva apod. [8]. V našem případě se jedná o porovnání výchozího stavu, kdy vytápění zprostředkovává CZT s budoucí situací, kdy bude vytápění skrze CZT nahrazeno 18ti domovními plynovými kotelny. Podle výpočtů uvedených v kapitole 5. dojde důsledkem této změny ke snížení emisí oxidů dusíku vypuštěných do ovzduší a také ke změně prostorového rozložení emisních zdrojů.

Znečišťování ovzduší lze rozdělit do několika kategorií podle toho, jaká jsou prostorová měřítka charakterizující přenos ZL a časová měřítka odpovídající možným následkům ZL. Podle toho, do jakých měřítek studovaný problém patří, se volí vhodné nástroje pro modelování rozptylu ZL v ovzduší. Podle šíření ZL můžeme daný problém zařadit do několika měřítek. Pokud se jedná o mezihemisférický transport ZL (např. radioaktivní materiál uvolněný při jaderném pokusu), řadíme problém do globálního měřítka. V tomto případě se jedná o přenos ZL na vzdálenost řádově až tisíce kilometrů. Pokud se jedná o dálkový přenos ZL v řádu stovek až tisíců kilometrů, můžeme problém zařadit do kontinentálního měřítka. Mezi takové problémy patří např. kyselá dešť. Pokud se ZL šíří v měřítku odpovídajícím rozloze státu, jeho nejbližšímu okolí, či se vyskytují na podstatném území státu, jedná se o regionální měřítka. Příkladem může být např. znečištění ovzduší na Ostravsku, či oblast tzv. Černého trojúhelníku (oblast v severních Čechách na hranicích České republiky, Německa a Polska), která je znečištěna v důsledku velké koncentrace tepelných elektráren. Dalším měřítkem je měřítka lokální, které zahrnuje oblast šíření ZL do vzdálenosti několika desítek kilometrů. Do tohoto měřítka patří i námi studovaná oblast. Na území měst se lokální měřítka někdy nazývá jako městské měřítka (urban scale) [6, 8]. V našem případě se jedná o stav znečištění ovzduší v určité části města Kroměříže. Na základě výše zmíněné kategorizace můžeme následně zvolit vhodný typ modelu, který lze pro rozptylovou studii na daném území použít. Obecně platí, že čím menší je rozloha studovaného území, tím je po studii požadováno přesnější a podrobnější rozložení koncentrací ZL. Pro co nejpřesnější rozložení koncentrací je ale také nutné opatřit podrobná data o emisních zdrojích, meteorologických a geografických podmínkách. Další skutečnost, kterou musíme vzít v úvahu, je zda probíhá studovaný problém za stacionárních podmínek, či zda se podmínky mění v závislosti na čase (např. změna meteorologických podmínek) [8].

Dalším důležitým krokem před výběrem správného typu modelu je rozdělení emisních zdrojů do určitých kategorií. Rozlišujeme čtyři základní kategorie emisních zdrojů: bodové

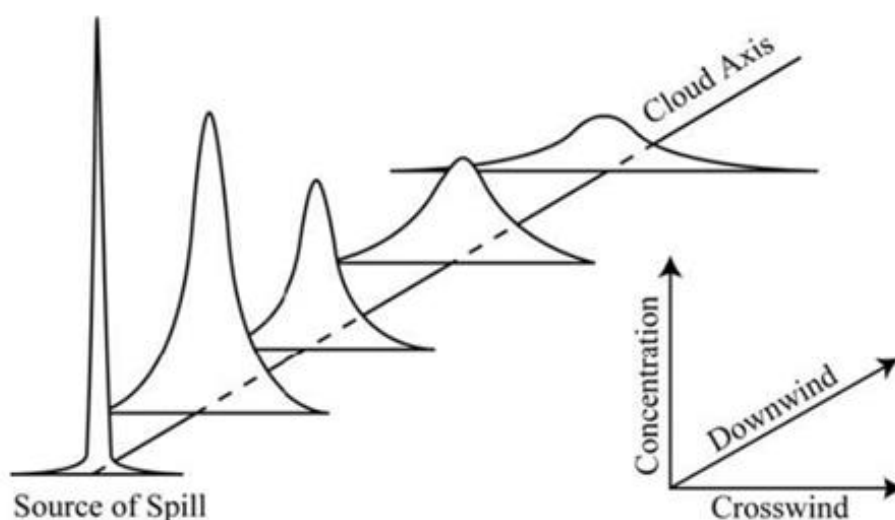
(např. komín), liniové (např. doprava na silnici), plošné (např. lom) a objemové (např. jaderný výbuch). Námi studované emisní zdroje na území města Kroměříž patří do skupiny bodových zdrojů. Bodový emisní zdroj je takový zdroj, jehož lineární rozměr emitující plochy, v našem případě ústí komína, je zanedbatelný v porovnání s lineárními měřítky daného problému. Pokud splňuje emisní zdroj tyto podmínky, je možné pokládat ho za bod [6, 8]. Ke každému námi studovanému bodovému zdroji musíme znát množství emisí za určitý čas [ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ], výšku komína [m], vnitřní průměr komína [m], nadmořskou výšku paty zdroje [m n. m.], vnos vlečky [m], výstupní rychlost spalin [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] a teplotu spalin [K] [43]. Součet výšky komína a vnosu vlečky se také někdy označuje jako efektivní výška zdroje. Někdy se působení velkého počtu malých bodových zdrojů, které jsou od sebe jen málo vzdáleny, vyjadřuje pomocí plošného zdroje. V takovém případě je celková emise plošného zdroje rovna součtu emisí jednotlivých malých bodových zdrojů a stavební výška plošného zdroje je rovna průměrné výšce jednotlivých bodových zdrojů [6, 8]. V případě rozptylové studie pro CZT se tedy bude jednat o bodový emisní zdroj. U rozptylové studie pro jednotlivé lokální domovní plynové kotelny se může jednat o jednotlivé bodové emisní zdroje, ale také o plošný emisní zdroj složený z těchto malých bodových zdrojů. V našem případě však bude uvažován každý komín z domovní plynové kotelny jako samostatný bodový emisní zdroj.

Pokud chceme modelovat rozložení koncentrace ZL na určitém území, musíme mít k dispozici množství látky, které je z emisních zdrojů vypouštěno a také potřebné meteorologické a geografické informace o sledovaném území. Údaje o emisních zdrojích lze získat měřením, výpočtem, technickým odhadem z daných údajů (např. údaj o spotřebě paliva) či kombinací uvedených možností [8]. Základní údaje o emisních zdrojích je ze zákona povinné shromažďovat. V České republice existuje Registr emisních zdrojů znečištění ovzduší REZZO. Tento registr slouží k archivaci a prezentaci informací o stacionárních a mobilních zdrojích znečištění ovzduší a je součástí Informačního systému kvality ovzduší (ISKO), který provozuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) [30]. Zdroje znečištění ovzduší jsou zde rozděleny do čtyř kategorií podle typu zdroje a výkonu technologického zařízení. Jedná se o kategorii REZZO 1, která značí velké (průmyslové) stacionární zdroje o výkonu vyšším než 5 MW; REZZO 2, která zahrnuje střední (komunální) stacionární zdroje o výkonu 0,2 – 5 MW; dále pak o kategorii REZZO 3, do které patří malé (lokální) stacionární zdroje o výkonu nižším než 0,2 MW a nakonec o kategorii REZZO 4, která zahrnuje mobilní zdroje znečištění a shromažďuje informace především o dopravních emisích [8, 29]. Emisní měření stacionárních zdrojů se provádí například pro částice PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, též také organické látky (VOCs), NH<sub>3</sub>, perzistentní organické látky (POP) či těžké kovy apod. [29].

Kotelna PK 3 patří do kategorie REZZO 2. U této kategorie je ze zákona nutné provádět měření emisí každé 3 roky. Jedná se o měření základních ZL např. oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) a oxidu uhelnatého (CO). Tento registr může být také užitečný pro získávání potřebných informací o emisních zdrojích k rozptylové studii.

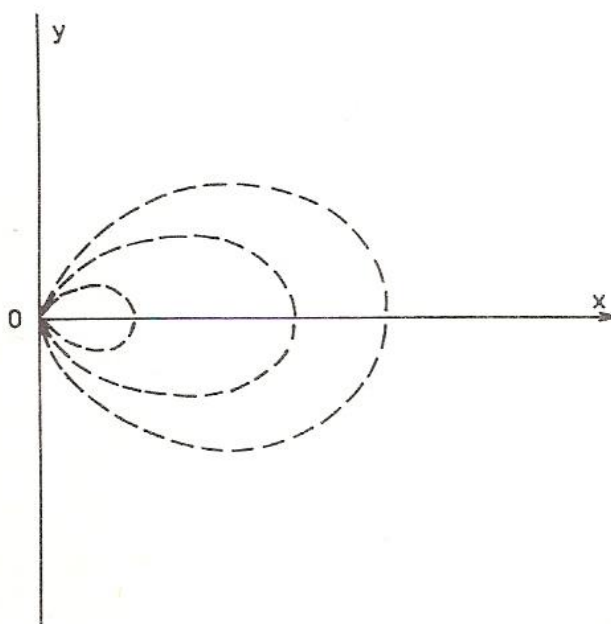
## 6.2 Atmosférické disperzní modely

Rozptylové studie jsou založeny na atmosférických disperzních modelech, které jsou základem počítačových modelovacích programů. Takové modelovací programy řeší matematické rovnice (rovnice difúze) a algoritmy simulující rozptyl ZL [8]. Šíření ZL je tedy obecně popsáno difúzními modely, jejichž základy položil na počátku 20. let minulého století Taylor a které později ve 30. letech rozpracoval Sutton [6, 39]. Základem Gaussovských disperzních modelů je rovnice difúze. Jedná se o poměrně složitou rovnici, a proto pro naše účely rozptylové studie postačí následující: Gaussův model je vhodný pro modelování šíření plynů, které se dobře rozptylují. Podle Gaussova modelu jsou hlavními faktory, ovlivňujícími pohyb molekul plynu, rychlost větru a turbulence. Vypuštěný plyn se šíří po směru větru a postupně je promícháván s okolním vzduchem či při bezvětří zvolna stoupá nahoru. Podle tohoto modelu má koncentrační profil každé látky podobu „zvonu“ měnícího se s časem. Ve chvíli uvolnění ZL je její koncentrace v ovzduší velmi vysoká a pík je úzký (obr. 8), ale postupným rozptylem maximum koncentrace ZL klesá a pík se rozšiřuje a zplošťuje. Plocha pod píkem je rovna množství uvolněné látky. Tato plocha by zůstala konstantní za předpokladu, že by nedocházelo k depozici, vymývání, vypršení nebo chemické reakci ZL v atmosféře [int 18].



Obr. 8: Vývoj koncentrace ZL v atmosféře podle Gaussova modelu rozptylu (Source of Spill = Zdroj úniku emisí) [int 18]

Mění se koncentrace ZL se dá také vyjádřit pomocí izočar (obr. 9). Zde je bodový emisní zdroj umístěn v počátku souřadnic a ZL se šíří po směru větru od zdroje. Z obrázku je patrné, že proudění o nenulové rychlosti vytváří nesymetrické pole koncentrace [6].



Obr. 9: Izočary koncentrace ZL v horizontální rovině při poloze emisního zdroje v počátku a proudění ve směru souřadné osy x [6]

Gaussovské disperzní modely představují typ nejjednoduššího stacionárního matematického disperzního modelu používaného pro stanovení znečištění ovzduší. Meteorologické parametry používané v těchto modelech jsou značně zjednodušeny a předpokládá se, že přenos ZL probíhá přímočaře ve směru proudění a rychlost proudění je dána měření na jedné stanici reprezentující danou lokalitu, či se zadává ve formě větrných růžic. Gaussovské modely jsou vhodné do jednoduššího terénu a na výpočet koncentrací v měřítku do několika stovek  $\text{km}^2$ . Používají se především pro určování dlouhodobé hodnoty znečištění (měsíční, sezónní nebo roční průměrné hodnoty). Nevýhodou Gaussovských disperzních modelů je, že neumí postihnout chemické reakce a transformace probíhající mezi ZL. Takový model tedy nelze použít pro sekundární typy znečištění vznikající reakcemi z primárně emitovaných látek [8]. Z tohoto důvodu je v našem případě množství  $\text{NO}_x$  rovnou vyjádřeno pomocí emisního toku oxidu dusičitého. Důvodem je, že většinou je rovnovážná koncentrace  $\text{NO}_2$  ve vzduchu vyšší než koncentrace  $\text{NO}$ , a proto se emise  $\text{NO}_x$  vyjadřují rovnou jako  $\text{NO}_2$  (viz kapitola 4.3.2) [38]. Tyto nedostatky a zjednodušení jsou však kompenzovány jednoduchostí a malou náročností na vstupní data [8].

Koncentrace ZL se místně i časově mění a existuje nespočet vlivů, které jí ovlivňují v čase i prostoru. Všechny tyto vlivy nelze přesně předpovídat a modelovat, a proto se do gaussovských disperzních modelů zahrnují jen částečně v podobě parametrů [22]. Vstupní data pro gaussovské disperzní modely se dělí do 3 skupin: faktory zdroje (emisní data), faktory ovzduší (meteorologická data) a faktory terénu a topografie (geografická data) [8, 22]. Všechny tyto faktory se nedají zcela dokonale simulovat modelem, proto výsledky nejsou nikdy zcela přesné [38].

### **Vstupní data:**

**1) Faktory zdroje (emisní data)** – zahrnují veškeré informace o emisních zdrojích a intenzitě vypuštěných emisí [8]. Intenzita emisního zdroje se vyjadřuje pomocí emisních toků ZL. Rozložení koncentrace ZL je ovlivněno geometrickou charakteristikou zdroje a fyzikálními vlastnostmi emisí. Mezi geometrickou charakteristiku zdroje patří prostorový popis a tvar emisního zdroje. Podle toho se emisní zdroje dělí na zdroje bodové, liniové, plošné a objemové. Nejdůležitější částí zdroje je ta část, odkud jsou vypouštěny emise (výdech, komín apod.). Mezi fyzikální vlastnosti emisí patří hlavně teplota, hustota, průměrná rychlost a směr proudění spalin. U pevných a kapalných částic je důležitý také jejich velikost a tvar [22].

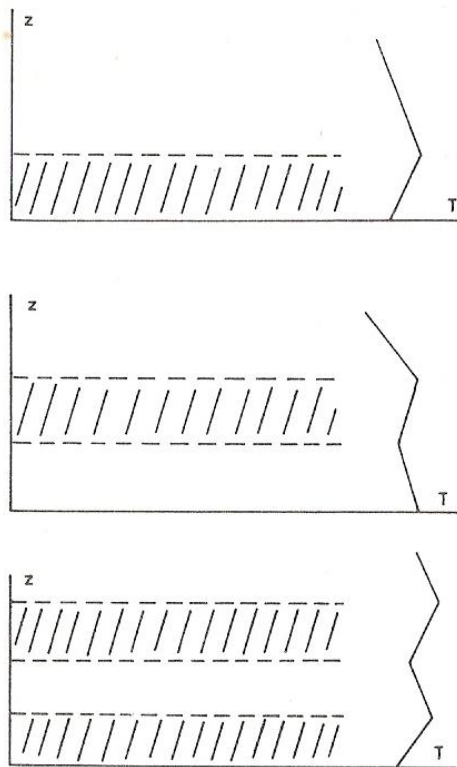
**2) Faktory ovzduší (meteorologická data)** – modelování rozptylu ZL probíhá v mezní vrstvě atmosféry, což je vrstva nacházející se asi 1 – 2 km nad zemským povrchem. V této vrstvě se stále uplatňuje tření proudícího vzduchu o zemský povrch [6, 18]. Ovzduší v mezní vrstvě je značně nestálé a tak i parametry, které ho charakterizují, jsou dynamické a mění se v čase i prostoru [22]. Jedná se tedy o rozptyl ZL v troposféře, kde dochází k vertikálnímu i horizontálnímu míchání atmosféry v důsledku tlakových útvarů, termické konvekce a vlivu zemského povrchu. Mezi hlavní meteorologické prvky patří teplota ovzduší, vítr (rychlost a směr větru), vlhkost vzduchu, atmosférické srážky, oblačnost, atmosférický tlak a výška inverzní vrstvy. Vlivy těchto prvků se navzájem ovlivňují. Pro rozptyl ZL je důležité především teplotní zvrstvení atmosféry, tzn. závislost teploty vzduchu na výšce a s tím spojená stabilita atmosféry [22]. Existují tři základní typy stability atmosféry: stabilní, indiferentní (neutrální) a instabilní. Stabilní podmínky jsou pro rozptyl ZL nejméně příznivé, naopak instabilní podmínky nejvíce podněcují turbulentní proudění a rozptyl ZL. Podle meteorologických jevů ovlivňujících teplotní zvrstvení v blízkosti zemského povrchu byla navržena pro účely modelování rozptylu ZL typizace podle Pasquilla. Jedná se o typizaci,

kteřá se skládá ze šesti tzv. Pasquillových tříd stability. Jedná se o třídy v rozsahu od A (extrémně instabilní) po F (extrémně stabilní). Třída D označuje indiferentní teplotní zvrstvení [6, 39]. Teplotní zvrstvení stabilní – třídy E, F, či teplotní zvrstvení neutrální – třída D znamenají špatné povětrnostní podmínky. Vypuštěné ZL v takových povětrnostních podmínkách putují na delší vzdálenosti, než dojde k výraznému snížení jejich koncentrace. Při úplně zatažené obloze ve dne i v noci platí třída stability D, přičemž nezáleží na rychlosti větru [39]. Pasquillovu typizaci rozptylových podmínek uvádí tabulka VII [6, 39].

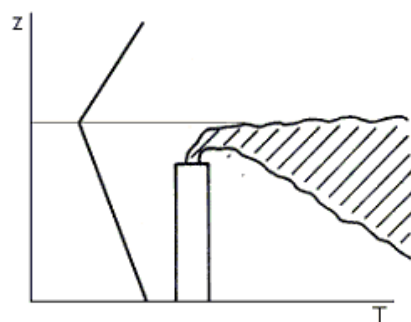
Tab. VII: Pasquillova typizace rozptylových podmínek [39]

Rychlost přízemního větru [ $m \cdot s^{-1}$ ]	Den			Noc	
	Dopadající sluneční záření			Oblačná pokrývka	
	silné	střední	slabé	< ½ oblohy	> ½ oblohy
< 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Nejméně příznivá pro rozptyl ZL je teplotní inverze, což je vrstva ovzduší, kde teplota roste s výškou. Jedná se o nejstabilnější stav atmosféry potlačující promíchávání vzduchových hmot a tím i prostorový rozptyl ZL. Nepříznivá je zejména přízemní inverze (obr. 10), kdy vrstva s vertikálním růstem teploty vzniká blízko zemského povrchu [5]. Přízemní inverze vzniká například tak, že se vzduch ohřívá od zemského povrchu, který je ohříván sluncem a tak se v bezprostřední blízkosti zemského povrchu vytvoří vrstva vzduchu, ve které teplota s výškou vzrůstá [22]. Nebezpečí hrozí v případě, že se emise z přízemních zdrojů dostávají dovnitř vrstvy inverze (podinverzní vrstvy) a tím vznikají lokální epizody znečištění. Nejhorší situace se z hlediska rozptylu objevují především v zimním období [5], kdy vzniká přízemní inverze široká řádově desítky až stovky m [22] a i vysoké emisní zdroje zasahují svou vlečkou do podinverzní vrstvy [5]. Inverze v zimním období vznikají v důsledku ohřívání vrstvy vzduchu zespodu od země. Děje se tak zejména díky umělým zdrojům tepla a to hlavně ve velkoměstech a průmyslových aglomeracích [6]. Nepříznivý vliv mají také výškové inverze (obr. 10) a to především pokud se jejich dolní hranice nachází ve výšce jen několik stovek metrů nad zemí a ZL unikající z vyšších komínů se hromadí v podinverzní vrstvě. V obou případech, kdy se emise hromadí v podinverzní vrstvě, se mluví o tzv. zadýmování (obr. 11). Naopak podmínky pro rozptyl ZL jsou splněny, pokud se kouřová vlečka nachází nad inverzní vrstvou [5].



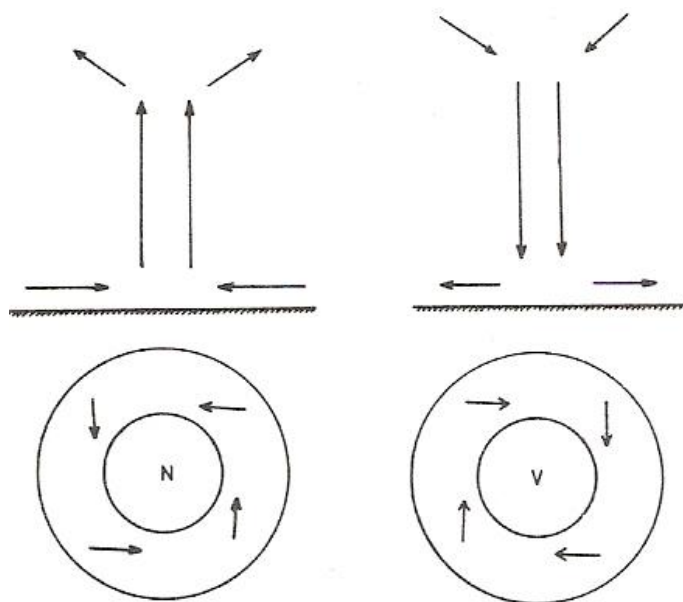
Obr. 10: Teplotní inverze: nahoře – přízemní inverze  
 uprostřed – výšková inverze  
 dole – přízemní inverze spolu s výškovou [6]



Obr. 11: Zadržování [6]

Dalším významným meteorologickým prvkem je vítr neboli horizontální pohyb atmosféry. Pohyb vzduchu je ovlivněn silami tlakového gradientu, Coriolisovou silou a třecí silou. Nejvýznamnější z hlediska pohybu ZL je vítr vznikající prouděním okolo tlakových útvarů, tj. gradientový vítr. Jedná se o ustálené horizontální proudění v rozsahu 100 – 1 000 km. Existují ale i horizontální proudění v rozsahu 100 m – 10 km vznikající díky

teplotním rozdílům vzduchových hmot [22]. Údaje o větru se buď používají reprezentativní pro danou oblast, nebo se mohou zadávat ve formě větrných růžic. Reprezentativní data se získávají z jedné meteorologické stanice reprezentující celou oblast. Naopak větrná růžice je grafické znázornění, které udává četnost výskytu proudění různých směrů v určitém místě, jedná se tedy především o směr převládajícího větru [8]. Co se týče směru větru, tak v našich podmínkách přináší převládající jihovýchodní proudění obvykle horší rozptylové podmínky než proudění z jiného směru. Nejméně příznivé rozptylové podmínky jsou při anticyklonální situaci s převládajícím jihovýchodním prouděním. Anticyklóny (tlakové výše) přináší obecně horší rozptylové podmínky, protože při anticyklonální situaci dochází k sestupným pohybům vzduchových hmot a ZL se tak hromadí v nízké vrstvě atmosféry (obr. 12). Naopak cyklóny (tlakové níže) s převládajícím západním, severozápadním či severním prouděním přináší dobré rozptylové podmínky [6].



Obr. 12: Rozložení horizontálních a vertikálních pohybů v tlakových nížích (N) a výších (V) – (pro rozptyl ZL příznivé vzestupné pohyby v tlakových nížích a nepříznivé sestupné pohyby v tlakových výších) [5]

Dalším ovlivňujícím meteorologickým prvkem jsou atmosférické srážky, které snižují koncentraci ZL v ovzduší (mokrú atmosférickú depozice). Srážky tak mají čistící schopnost a ZL z ovzduší odstraňují. Obecně platí, že lepší čistící schopnost má sníh, protože má větší povrch než dešťová kapka a pohybuje se v ovzduší pomaleji. U plynných látek ale také záleží na jejich vlastnostech (zda se v atmosférických srážkách rozpustí), např. radon není deštěm vymýván, ale naopak  $\text{SO}_2$  je deštěm odstraňován. Neopomenutelným faktorem je i vlhkost



vzduchu, která neovlivňuje přímo rozptyl ZL, ale má vliv na průběh chemických reakcí. Dalším faktorem je oblačnost, ta má obecně špatný vliv na rozptyl ZL a to především proto, že zadržuje sluneční záření a podporuje tak vznik inverzí. Velmi nepříznivě působí na rozptyl ZL mlha, která se ochotně mísí s kouřem a mění teplotní zvrstvení, a tím také podporuje vznik inverzí [22].

**3) Faktory terénu a topografie (geografická data)** – mezi geografická data patří především tvar reliéfu [8], který ovlivňuje proudění v mezní vrstvě atmosféry [22]. Záleží hlavně na drsnosti zemského povrchu. Rozlišuje se pět základních typů drsnosti: rovný volný terén; obdělávané pozemky, zemědělská půda, louky a pastviny; terén s řídko rozptýlenými menšími stavbami; obydlené oblasti; urbanizovaná hustě obydlená oblast s výškovými budovami [39]. Gaussovské disperzní modely jsou vhodné především pro málo členitý terén, protože jakýkoliv znatelnější terénní útvar deformuje směr a rychlost proudění [8].

Kromě Gaussovských disperzních modelů existují i jiné typy rozptylových modelů, nejnámější jsou vlečkové a puff modely. Vlečkové modely patří také mezi stacionární rozptylové modely. U vlečkových modelů nelze v průběhu modelování měnit hodnoty emisních ani meteorologických údajů, obojí musí zůstat konstantní v čase. Mezi tyto modely patří např. lagrangeovské vlečkové modely. V lagrangeovských vlečkových modelech vycházejí vlečky z jednotlivých emisních zdrojů a šíří se ve směru proudění, které je spojitě a jehož směr i rychlost se v jednotlivých částech modelovaného území může lišit, ale je v čase konstantní. Oproti Gaussovským disperzním modelům, kde se šíření ZL děje přímočaře ve směru proudění, nemusejí být linie znečištění vycházející z emisních zdrojů přímkové, ale mohou napodobovat nerovnosti terénu. To značně přiblíží modelování realitě. Výhodou tohoto modelu také je, že v rámci jedné vlečky je možné rozlišit transformační změny, kdy z jednoho typu znečištění vzniká jiný, např. z oxidu siřičitého sírany. Toto však nelze aplikovat v rámci interakcí mezi více různými vlečkami [8].

Naprosto odlišným typem modelů jsou tzv. puff modely (puff = bublina, výdech), které pracují s vlečkou skládající se z jednotlivých bublin znečištění. Tyto bubliny jsou postupně uvolňovány z emisního zdroje s určitou frekvencí, která zachovává celkové množství vypuštěných emisí za jednotku času z každého emisního zdroje. Tento model tedy umí zpracovat časově proměnlivé emisní a meteorologické parametry, což je výhodné pro modelování časového vývoje imisního zatížení na pozorovaném území. Puff – model již dokáže zpracovat soubor chemických reakcí mezi různými druhy znečištění. Výše uvedené

modely uměly modelovat jen jeden druh ZL, ale puff modely umožňují současné modelování více druhů ZL z jednoho zdroje. Každý puff se pohybuje po trajektorii podle okamžitého proudění, které na něj působí a jednotlivé puffy se spolu mohou promíchávat a chemicky reagovat. To platí jak pro puffy z jednoho zdroje, tak pro puffy z různých zdrojů, což umožňuje počítat koncentraci sekundárně vznikajícího znečištění, např. troposférického ozonu. Každý puff zvětšuje svůj objem působením difúzních procesů a když dosáhne kritické hodnoty, zanikne a model vyhodnotí jeho příspěvek k přízemní koncentraci. Oproti jiným modelům dokáže tento model využívat on-line poskytovaná meteorologická data spolu s vývojem povětrnostní situace. Jedná se o průběžně poskytovaná meteorologická data z meteorologického modelu. Ostatní modely získávají data buď formou off-line z meteorologického modelu, což znamená, že data jsou nejdříve vypočtena a upravena pro potřeby emisního modelu nebo formou vhodných meteorologických měření [8].

Žádný z výše zmíněných disperzních modelů neumí zpracovat vliv zpětných vazeb, např. vliv znečištění na meteorologické parametry. Znečištění ovlivňuje například přenos záření atmosférou, čímž může dojít ke změnám vertikální stability atmosféry. Existují však atmosférické modely, které umí řešit znečištění velmi komplexně a zahrnout i zpětné vazby. Takové modely jsou náročné na vstupní data a obsahují všechny rovnice atmosférické dynamiky, hydrodynamiky a termodynamiky, soubory rovnic modelující chování vody a její fázové přechody probíhající v atmosféře, dále rovnice popisující všechny chemické reakce daného typu znečištění a nakonec i parametry pro radiační procesy. Jedná se o velmi složité modely, které podle počtu uvažovaných ZL obsahují až stovky různých rovnic [8]. Modelování v mezní vrstvě atmosféry je však velmi složité a i nejkomplicovanější soustavy rovnic použité na modelování rozptylu ZL obsahují jisté zjednodušující předpoklady a nedokáží zcela popsat skutečnou mezní vrstvu atmosféry [6].

### **6.3 Modelování s využitím programu AERMOD View**

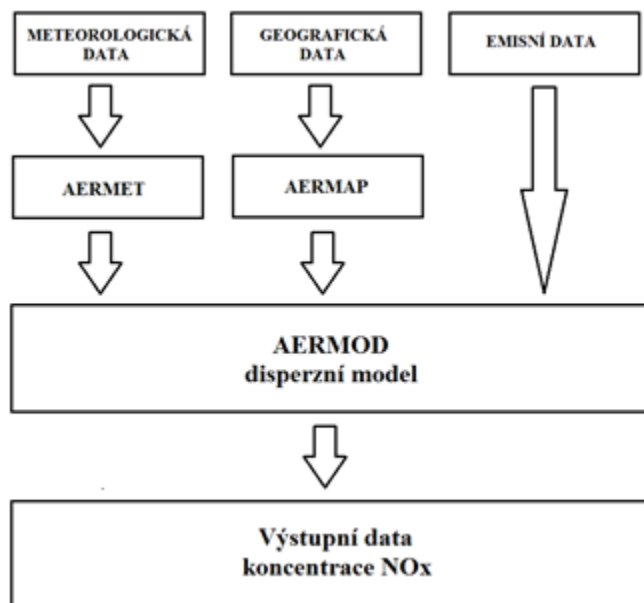
V této práci byl pro modelování znečištění ovzduší použit software AERMOD View, který zahrnuje následující rozptylové modely do jednoho integrovaného rozhraní: ISCST3 Model, ISC – PRIME Model a AERMOD Model [24].

**1) ISCST3 Model** (Industrial Source Complex Short Term Model – version 3) byl vyvinut pro U.S. EPA a jedná se o Gaussovský model rozptylu kouřové vlečky, který odhaduje imise ZL z různých emisních zdrojů. Model je vhodný pro modelování rozptylu toxických a nebezpečných ZL. Tento disperzní model je schopen zahrnout více zdrojů najednou a modeluje znečištění z bodových, plošných i objemových emisních zdrojů. Liniové

zdroje mohou být také modelovány a to buď jako řetězec bodových zdrojů znečištění nebo jako protáhlý plošný emisní zdroj. Uvažovaný emisní zdroj může být konstantní či měnit svoji emisní vydatnost. Výpočet lze zadat v pravidelné kartézské soustavě souřadnic nebo v polární souřadné síti receptorů, či jako izolované body. ISCST3 je schopný modelovat znečištění jak pro receptory v úrovni terénu, tak pro vyvýšené receptory a vyrovnat se i se zvlněným terénem. Výhodou modelu je, že umí pracovat s reálnými meteorologickými daty (např. hodinovými) a zohlednit tak aktuální meteorologické podmínky, které ovlivňují rozptyl ZL ve sledované oblasti [24].

**2) ISC – PRIME Model** (Plume Rise Model Enhancements) byl speciálně vyvinut k tomu, aby zohlednil umístění emisního zdroje na budovách (building downwash) [24].

**3) AERMOD Model** (AMS/EPA Regulatory Model) nabízí širokou škálu možností pro modelování kvality ovzduší a je oblíbený především v zahraničí [24]. AERMOD se skládá z 3 částí (obr. 13): AERMET (AERMOD Meteorological Preprocessor), AERMAP (AERMOD Terrain Preprocessor) a AERMOD (AERMIC Dispersion Model), což je Gaussovský model rozptylu kouřové vlečky založený na Gaussovských disperzních modelech. AERMOD obsahuje modul, který pracuje v mezní vrstvě atmosféry. Modul AERMET slouží ke zpracování meteorologických dat a modul AERMAP slouží ke zpracování terénních dat ve spojení s rozložením emisních zdrojů a receptorů. Tento model byl vyvinut a optimalizován tak, aby vyhovoval klimatickým a geologickým podmínkám v USA a Evropě [38]. AERMOD je ideální na modelování emisí  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) a  $\text{SO}_2$  ze stacionárních zdrojů znečištění [int 1]. Program AERMOD je také schopný modelovat rozptyl mnohých jiných ZL jako jsou například částice  $\text{PM}_{10}$ , těkavé organické látky (TOL/VOCs), či kyanovodík (HCN) nebo těžké kovy jako je rtuť [38]. Program dokáže zpracovat bodové, liniové, plošné i objemové zdroje znečištění a dokáže si poradit jak s konstantním – např. ročním průměrem, tak i s časově proměnným vypouštěním emisí – emise, které se liší např. sezónně, či podle jednotlivých dnů v týdnu [24, int 1]. Tento modelovací program je vhodný především na menší území s maximální vzdáleností do cca 50 km a hodí se i do městských a venkovských lokalit [int 1]. AERMOD bere v úvahu topografii studovaného území a také je schopný zhodnotit usazování a odstraňování větších částic a vymývání plynů a částic z atmosféry [24]. Model AERMOD dokáže tedy poskytnout koncentraci ZL, celkovou atmosférickou depozici a suchou a mokrou atmosférickou depozici. Modelování pomocí AERMODu je limitováno následujícími důvody (faktory): 1) není zde modul, který by uměl simulovat reakce vedoucí ke vzniku  $\text{NO}_2$  z  $\text{NO}$ , 2) disperze  $\text{NO}_2$  je počítána pro v čase konstantní vstup emisí  $\text{NO}_2$  [38].



Obr. 13: Vstupní data a jednotlivé části modelu AERMOD View (Autor obr.: Eliška Čejková)

Model AERMOD View se v zahraničí hojně využívá při posuzování vlivů na životní prostředí EIA (Environmental Impact Assessment), protože poskytuje užitečné informace o vlivu znečištění na zdraví lidí a životní prostředí. Modelování je tedy velmi účinná metoda jak minimalizovat environmentální dopady [38]. Hodnocení vlivů na životní prostředí (EIA) se stává stále významnější, neboť je nutné nalézt udržitelné energetické řešení zásobování tepelnou a elektrickou energií. Dříve se porovnávaly jen jednoduché kvantitativní výsledky ZL (například množství emisí vypuštěných na jednotku plochy), ale ty nemohou nikdy nahradit informace o rozptylu, což je velmi nespolehlivé při rozhodování o emisních zdrojích. Pokles emitovaných ZL ještě neznamená zlepšení životního prostředí, protože například za nepříznivých meteorologických podmínek může být značně zhoršena disperze ZL a způsobit tak zdravotní problémy obyvatelům bydlícím nedaleko emisního zdroje. V mnoha rozvinutých zemích stále roste povědomí o využití rozptylových modelů. Rozptylové modely mohou být užitečné například pro obecní úřady a při kontrole kvality ovzduší. Jedná se o komplexnější zhodnocení, než jen pouhé porovnání množství vyprodukovaných emisí [15].

#### 6.4 Atmosférické disperzní modely používané v České republice

V ČR se provádějí rozptylové studie podle tří referenčních modelů (metod). Tyto modely jsou vhodné pro modelování jak v městských, tak ve venkovských oblastech a pravidla posuzování úrovně znečištění se řídí podle přílohy č. 6 vyhlášky č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. Jedná se o modely SYMOS 97 a ATEM, které jsou

vhodné převážně do venkovských a městských oblastí a model AEOLIUS, který je vhodný pro městské oblasti v uličních kaňonech [31].

1) **SYMOS 97** – systém modelování stacionárních zdrojů ČHMÚ, jedná se o Gaussovský disperzní model, který je vhodný pro lokální a regionální měřítko do vzdálenosti 100 km od zdroje. Tento model se však nehodí do městské zástavby a komplikovaného terénu. Hodnocenými znečišťujícími látkami jsou  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , benzen, částice (vč. frakcí  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$ ), látky vázané na částice vč. kovů (Pb, As, Ni, Cd) a benzo(a)pyren. Model SYMOS 97 (i níže uvedený ATEM) obsahuje speciální modul, který si umí poradit také se sekundární znečišťující látkou  $\text{NO}_2$ , která vzniká v atmosféře oxidací NO [31].

2) **ATEM** – tento model nese název podle firmy, pro kterou byl vyvinut – Ateliér ekologických modelů, s. r. o.. Jedná se také o Gaussovský disperzní model, který je vhodný do stejných podmínek a pro modelování stejných ZL jako model SYMOS 97 [31].

3) **AEOLIUS** – Assessing the Environment Of Location In Urban Streets, jak název napovídá, tento model se hodí k modelování znečištění v uličních kaňonech a hodnocenými ZL jsou látky vypouštěné mobilními zdroji [31].

## 7. ROZPTYLOVÁ STUDIE PRO SÍDLIŠTĚ ZACHAR II A ZACHAR III

Tato zjednodušená rozptylová studie se snažila dodržet osnovu podle Metodického pokynu odboru ochrany ovzduší pro vypracování rozptylových studií podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, jehož strukturu se autorka snažila dodržet [31].

### 1) Zadání rozptylové studie

Účelem této rozptylové studie je zhodnocení rozptylu emisí dusíku (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) na sídlištích Zachar II a Zachar III ve městě Kroměříž. Jedná se o porovnání dvou způsobů vytápění – CZT a decentralizovaného vytápění skrze lokální domovní plynové kotelny. Dosavadní vytápění zdrojem CZT bylo postupně nahrazováno 18ti domovními plynovými kotelny. Ke dni 31.12. 2013 bylo odpojeno již 15 objektů. Do konce měsíce května tohoto roku bude odpojen poslední 18. objekt a provoz plynové kotelny PK3 bude ukončen [44]. Podle dosavadních výpočtů dojde při přechodu na decentralizované zásobování teplem k úspoře množství emisí oxidů dusíku přibližně o 196 kg za rok. To platí za předpokladu, že spotřeba TE jednotlivých objektů bude zachována jako při vytápění ze zdroje

CZT. Tato rozptylová studie se snaží zhodnotit rozptyl emisí dusíku (změnu koncentrace  $\text{NO}_x$  na studovaném území), který se vlivem změny rozmístění nových emisních zdrojů zcela jistě změní.

## **2) Použitá metodika výpočtu**

K modelování byl použit program AERMOD View™ Gaussian Plume Air Dispersion Model, jehož podrobný popis je v kapitole 6.3. Tento program byl k dispozici na pracovišti vedoucího bakalářské práce, Ing. Luboše Matějčíka, Ph.D.

## **3) Vstupní údaje**

Rozptylová studie byla provedena pro část města Kroměříž. Jedná se o dvě jihozápadně ležící sídliště Zachar II a Zachar III (obr. 2). Tato sídlištní panelová zástavba se nachází v rovinném terénu. Ze západní strany je sídliště obklopeno zemědělskou plochou (polem), na východní straně se nachází silniční komunikace, za níž pokračuje dále městská zástavba. Ze severu a jihu je sídliště také obklopeno městskou zástavbou (obr. 3). Celé studované území se nachází v nadmořské výšce 207 m n. m.

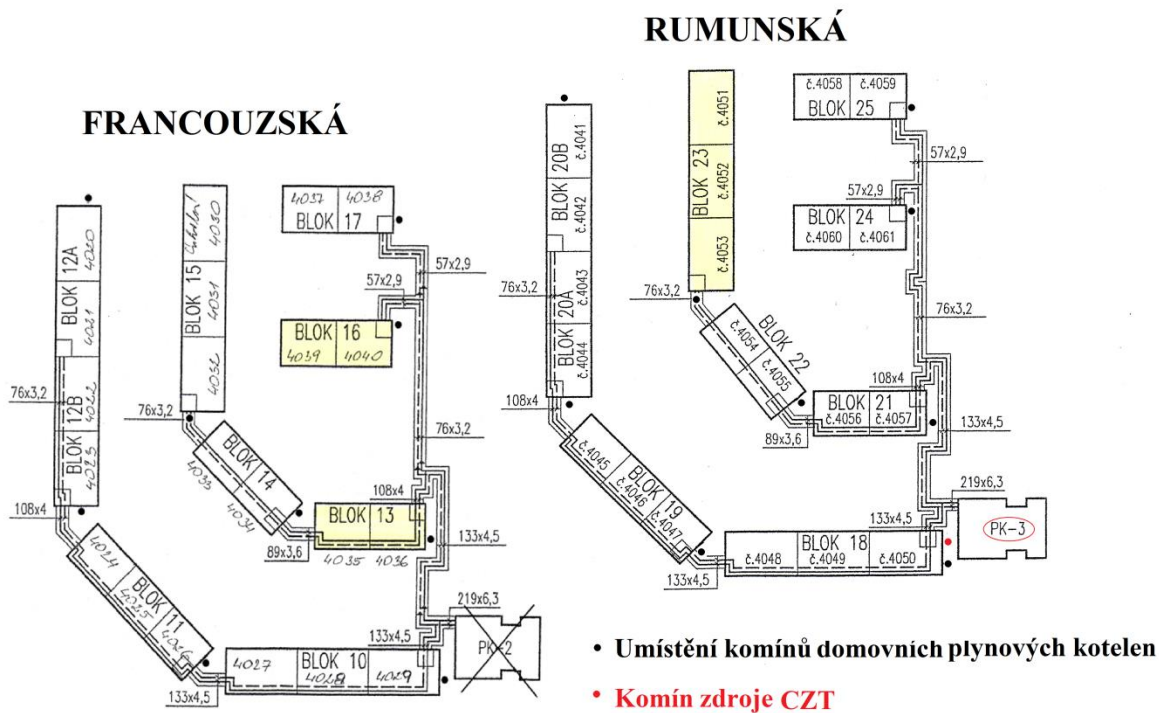
## **4) Údaje o zdrojích**

### **a) Popis technologického vybavení zdroje a souvisejících technologií**

Technologické vybavení zdroje CZT je podrobněji popsáno v kapitole 2.2 a technologické vybavení lokální domovní plynové kotelny je popsáno v kapitole 3.

### **b) Podkladové údaje o emisích a výduších**

Údaje o emisních zdrojích, potřebné pro rozptylovou studii, jsou uvedeny v tabulkách VIII, IX a X. Podrobné rozmístění výduchů jednotlivých komínů je znázorněno na obr. 14.



Obr. 14: Plán sídliště Zachar II a Zachar III se zakreslenými komíny z obou typů emisních zdrojů [7]

Tab. VIII: Parametry emisních zdrojů [36, 42]

<b>budova/zdroj</b>	<b>výška budovy [m]</b>	<b>výška komína [m]</b>	<b>průměr komína [m]</b>
kotelna PK3 CZT	24,50	25,00	0,35
panelový objekt 4 NP	13,16	13,66	0,13
panelový objekt 8 NP	24,36	24,86	0,13

Tab. IX: Emisní data [36, 40, 41, 42,]

<b>budova/zdroj</b>	<b>množství emisí NO<sub>2</sub> [g.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>rychlost spalin [m.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>teplota spalin [K]</b>
kotelna PK3 CZT	0,0357125	4,46	437,15
panelový objekt 4 NP	viz tabulka X	3,44	324,15
panelový objekt 8 NP	viz tabulka X	3,34	320,15

Tab. X: Množství emisí NO<sub>2</sub> pro všech 18 lokálních domovních plynových kotelen

	č.p./počet NP	spotřeba TE [GJ]	spotřeba ZP [m <sup>3</sup> ]	emise NO <sub>2</sub> [kg]	množství emisí NO <sub>2</sub> [g.s <sup>-1</sup> ]
1	4020/8	727	21 949	10,91	0,000929
2	4021-4023/8	1590	48 004	23,86	0,002031
3	4024-4026/8	1509	45 558	22,64	0,001927
4	4027-4029/8	1984	59 899	29,77	0,002534
5	4030-4032/4	932	28 138	13,98	0,001190
6	4033-4034/4	617	18 628	9,26	0,000788
7	4035-4036/4	465	14 039	6,98	0,000594
8	4037-4038/4	586	17 692	8,79	0,000748
9	4039-4040/4	443	13 375	6,65	0,000566
10	4041-4042/8	1330	40 154	19,96	0,001699
11	4043-4044/8	1333	40 244	20,00	0,001703
12	4045-4047/8	1166	35 203	17,50	0,001490
13	4048-4050/8	1683	50 811	25,25	0,002149
14	4051-4053/4	971	29 315	14,57	0,001240
15	4054-4055/4	457	13 797	6,86	0,000584
16	4056-4057/4	563	16 997	8,45	0,000719
17	4058-4059/4	540	16 303	8,10	0,000690
18	4060-4061/4	645	19 473	9,68	0,000824
Σ		17 541	529 579	263,21	0,022405

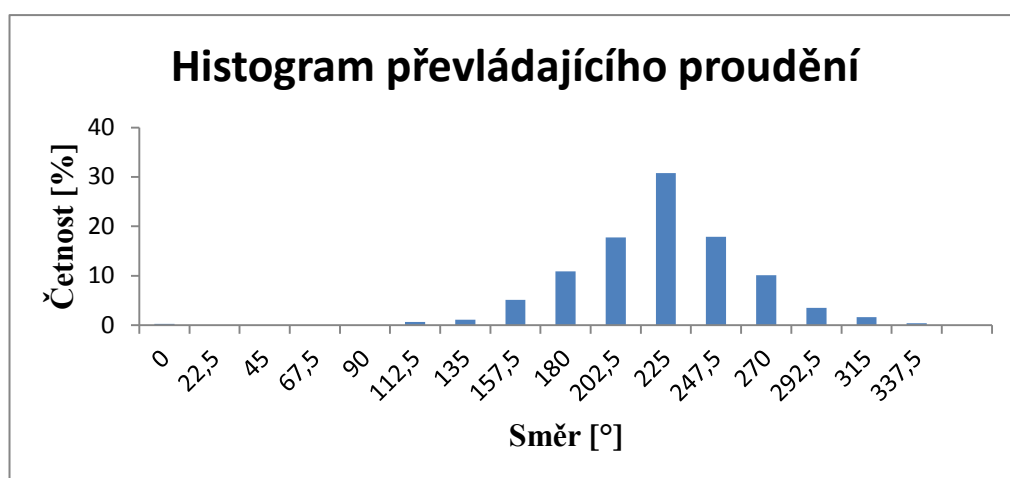
Výpočet množství emisí [g.s<sup>-1</sup>] vychází z předpokladu, že zimní měsíc ledem se podílí na celkové spotřebě TE objektů a tedy i na spotřebě ZP a produkci emisí NO<sub>2</sub> 19 % z celkového ročního množství [21]. Výpočet dále počítá s 31 dny měsíce ledna a 20 hodinami denního provozu (tj. 2 232 000 s).

### 5) Meteorologické podklady

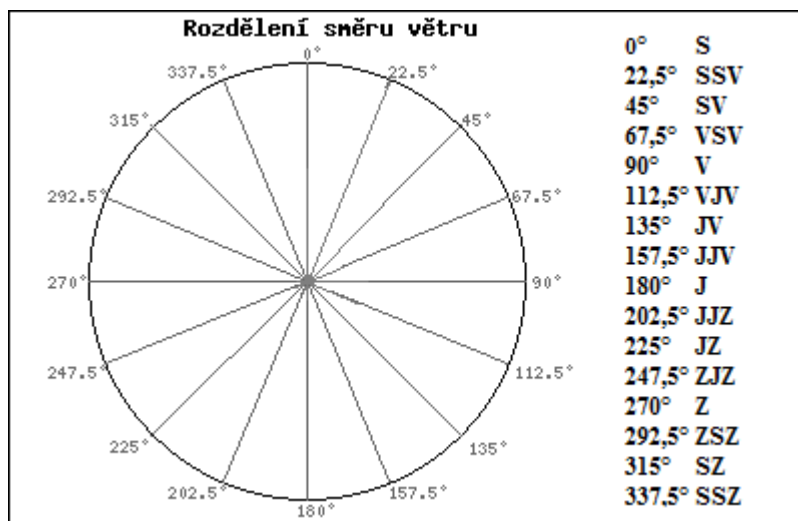
Model AERMOD View vyžaduje k modelování koncentrace oxidů dusíku hodinová meteorologická data. Jako referenční byl vybrán měsíc leden, protože během tohoto měsíce je z dlouhodobých pozorování zřejmé, že spotřeba TE je největší. Leden se z celého roku podílí na vytápění 19 % [21]. Rozptylová studie byla tedy provedena s meteorologickými daty pro leden 2014.



Nejvíce je rozptyl ZL ovlivněn rychlostí a směrem proudění větru. Jelikož se jedná o případovou studii, která modeluje konkrétní situaci s určitými rozptylovými podmínkami, musela být některá neznámá data uměle vygenerována. Ve Zlínském kraji převládá jihozápadní proudění [34]. Proto byl jihozápadní směr větru použit jako výchozí u všech tří modelových situací u každého ze způsobů vytápění, tedy celkem u šesti případů. Jak již bylo uvedeno výše, model potřebuje k výpočtu koncentrace ZL hodinová meteorologická data. Za normálních okolností se však mění směr větru poměrně často, a proto bylo nutné jihozápadní proudění uměle vygenerovat generátorem náhodných hodnot (generátorem náhodných čísel diskrétního rozdělení) tak, aby byla četnost v rozmezí jihozápadního směru převládající [43] (obr. 15). Na obr. 16 je znázorněno rozdělení směrů větru na směrové růžici. Jedná se o rozdělení po 22,5° na 16 různých směrů. Označení směrů větru se provádí ve směru pohybu hodinových ručiček: 0° je severní vítr, 90° východní vítr, 180° jižní vítr a 270° západní vítr [9]. Pro potřeby programu AERMOD View byly při generování stupně zaokrouhleny na celá čísla. Největší četnost proudění je v rozmezí JZ proudění od 180° do 270° a naopak minimální četnost je v rozmezí SV proudění od 0° do 90°. Přičemž zeměpisné značení směrů větru označuje, odkud vítr vane, tedy jihozápadní vítr vane od jihozápadu [9].



Obr. 15: Histogram převládajícího proudění na studovaném území (Autor obr.: Eliška Čejková)

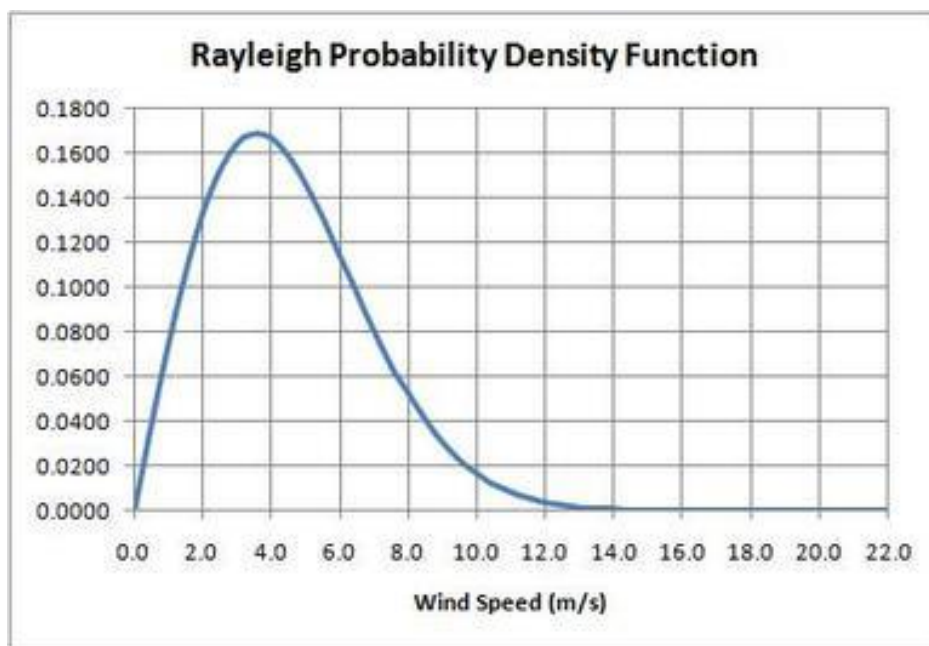


Obr. 16: Rozdělení směrů větru – větrná růžice má 16 směrů, které mezi sebou svírají úhel 22,5° [int 16]

Jednotlivé modelové situace (1 – 3) se liší především rychlostí větru a výškou směšovací vrstvy. Jak již bylo řečeno, v našem případě se jedná o případovou studii za určitých rozptylových podmínek, tj. především za jihozápadního směru proudění a tří různých možných rychlostí větru. Místní rychlost a směr větru je značně proměnlivá vzhledem k času a lokalitě a liší se během celého měsíce, proto byl nejen směr, ale i rychlost uměle vygenerována. Změny rychlosti a směru větru mohou být dlouhodobějšího charakteru v rozpětí několika dnů nebo krátkodobého charakteru v rozpětí jen několika minut. Pro následující modelové situace byly zvoleny tři rychlosti větru: 1; 3 a 5 m.s<sup>-1</sup>. Důvodem zvolení těchto tří rychlostí byl fakt, že vznik nepříznivých inverzí je omezen pouze dobou s menší rychlostí větru. Příliš silný vítr totiž způsobí mechanickou turbulenci ovzduší, a ta způsobí normální pokles teploty s výškou a tím dojde k rozrušení inverzního zvrstvení. Silné inverze se vyskytují jen do rychlosti 2 m.s<sup>-1</sup> a běžné inverze do 5 m.s<sup>-1</sup> [9]. Tato rozptylová studie se tedy snaží ukázat nejhorší možné rozptylové podmínky, které mohou nastat, co se inverze a rychlosti větru týče. Pro tuto rozptylovou studii byla rychlost větru určena na základě Rayleighova rozdělení četnosti, což je četnostní (pravděpodobnostní) rozdělení [43]. Jedná se o speciální případ Weibullova rozdělení. Rayleighovo rozdělení se používá především pro určení dlouhodobějších povětrnostních podmínek a lze jej znázornit hustotou pravděpodobností průměrné rychlosti větru (obr. 17). Popis funkce Rayleighova rozdělení:

$f(u) = \frac{2u}{c^2} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^2}$ , kde  $c = 2\langle u \rangle / \sqrt{\pi}$  a  $\langle u \rangle$  je průměrná rychlost větru [11]. Díky využití

Rayleighova rozdělení se původně plánovaná rychlost větru ( $1; 3$  a  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) pozměnila na tyto průměrné rychlosti:  $1,27; 3,7$  a  $6,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 17: Příklad spektra rozložení hustoty rychlostí větru podle Rayleighova rozdělení pro průměrnou rychlost větru  $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  [int 23]

Všechna meteorologická data, potřebná pro rozptylovou studii (tabulka XI), byla připravena vedoucím této bakalářské práce, Ing. Lubošem Matějčíkem, Ph.D., neboť jejich příprava a analýza by byla již nad rámec práce samotné. Následně byla data vložena do programu PCRAMMED, který data upravil do správného formátu potřebného pro model ISCST3. Podle zadaných meteorologických parametrů (např. rychlosti a směru větru, tlaku a teploty ovzduší) vypočítal tento program výšku směšovací vrstvy pro každou ze tří modelových situací. Směšovací vrstva je vrstva, kde dochází k největšímu rozptylu ZL. Vzduch v této vrstvě je ovlivněn třením o zemský povrch. Výška směšovací vrstvy se pohybuje od stovek do tisíců metrů nad zemí [22]. Čím rychlejší je rychlost proudění, tím větší je výška směšovací vrstvy.

Tab. XI: Meteorologické parametry potřebné pro rozptylovou studii

veličina	jednotka
směr větru	[°]
rychlost větru	[m.s <sup>-1</sup> ]
výška směšovací vrstvy	[m]
teplota okolí	[K]
tlak	[Pa]
vlhkost	[%]
Srážky	[mm.h <sup>-1</sup> ]

## 6) Geografické podklady

Potřebné geografické podklady byly poskytnuty Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (ČÚZK) na žádost autorky této bakalářské práce. Pro tuto rozptylovou studii byl použit polohopis ZABAGED, výškopis s 3D vrstevnicemi ZABAGED a ortofoto mapa České republiky.

## 7) Výsledky rozptylové studie

### a) Popis a vyhodnocení budoucí úrovně znečištění ovzduší

#### Modelová situace č. 1:

- CZT:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 21) je patrné, že nejvyšší koncentrace NO<sub>x</sub> (vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>) jsou rozptýleny v jednotlivých paprskovitých ohniscích, které mají protáhlý tvar a jsou mimo sledované území sídlišť ve směrech SSZ až JV. Dosahují hodnot 3,1 – 3,4 μg.m<sup>-3</sup> (v době největšího zatížení a využití CZT – měsíc leden 2014). Severní část území sídlišť je zatížena nejvíce a to hodnotami 2,3 – 3,1 μg.m<sup>-3</sup>. Okrajové části ve směru proudění větru jsou pak zatíženy nižšími hodnotami v rozmezí 1,1 – 2,3 μg.m<sup>-3</sup>. Téměř celé sídliště Zachar III se nachází v oblasti koncentrací do 0,4 μg.m<sup>-3</sup> a jeho okrajové části ve směru proudění jsou zatíženy hodnotami 0,4 – 1,1 μg.m<sup>-3</sup>. Imise pocházející ze zdroje CZT dosahují koncentrace max. 3,0 μg.m<sup>-3</sup> ve vzdálenosti cca 200 m od zdroje, na hranici sledovaného území.
- Domovní plynové kotelny:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 22) lze vyčíst, že nejvyšší koncentrace NO<sub>x</sub> jsou ve dvou ohniscích (menší ohnisko na SSZ a větší ohnisko na JV) mimo sledované území a dosahují hodnot 2,8 – 3,2 μg.m<sup>-3</sup>. S, SV a V část analyzovaného území je ovlivněna koncentrací unikajících oxidů dusíku v rozmezí 0,7 – 2,1 μg.m<sup>-3</sup>. Zbylá část území je zatížena koncentracemi < 0,7 μg.m<sup>-3</sup>.

Většina vypuštěných emisí bude rozfoukávána dále od zdrojů znečištění směrem na SSZ a JV stranu sídlišť, a proto místa s maximální koncentrací budou ležet mimo obydlené plochy sídlišť.

- **Porovnání obou způsobů vytápění:** Maximální koncentrace  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) dosahují u zdroje CZT i u domovních plynových kotelen velmi podobných hodnot (3,4 oproti  $3,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), avšak u zdroje CZT ovlivňují nesrovnatelně větší plochu území, v obou případech mimo sledovanou oblast. Obecně lze říci, že sídliště Zachar II je exponováno imisemi oxidů dusíku více než sídliště Zachar III.

### **Modelová situace č. 2:**

- **CZT:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 25) je patrné, že nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) jsou opět rozptýleny v jednotlivých paprskovitých ohniscích, které mají protáhlý tvar a jsou mimo sledované území sídlišť ve směrech ZSZ až V. Dosahují hodnot  $3,0 - 3,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (v době největšího zatížení a využití CZT – měsíc leden 2014). Velmi malá okrajová SZ část sídlišť je zatížena hodnotami  $2,2 - 3,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Větší část sídliště Zachar II je pak zatížena nižšími hodnotami v rozmezí  $1,1 - 2,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zbytek plochy sídliště Zachar II a celé sídliště Zachar III se nachází v oblasti koncentrací do  $1,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V okolí zdroje CZT se pohybují hodnoty koncentrace do  $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Imise pocházející ze zdroje CZT dosahují koncentrace max.  $3,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ve vzdálenosti cca 220 m od zdroje, těsně za hranicí sledovaného území.
- **Domovní plynové kotelny:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 26) lze vyčíst, že nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$  jsou opět ve dvou ohniscích (menší ohnisko na SSZ a větší ohnisko na JV) mimo sledované území a dosahují hodnot  $2,8 - 3,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . S, SV a V část analyzovaného území je ovlivněna koncentrací unikajících oxidů dusíku v rozmezí  $0,7 - 2,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zbylá část území je zatížena koncentracemi  $< 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Většina vypuštěných emisí bude rozfoukávána dále od zdrojů znečištění směrem na SSZ a JV stranu sídlišť, a proto místa s maximální koncentrací budou ležet mimo obydlené plochy sídlišť.
- **Porovnání obou způsobů vytápění:** Maximální koncentrace  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) dosahují u zdroje CZT i u domovních plynových kotelen velmi podobných hodnot ( $3,3$  oproti  $3,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), avšak u zdroje CZT ovlivňují nesrovnatelně větší plochu území, v obou případech mimo sledovanou oblast. Z výstupů je patrné, že sídliště Zachar II je exponováno imisemi oxidů dusíku více než sídliště Zachar III.

### **Modelová situace č. 3:**

- **CZT:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 29) je patrné, že nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) jsou (podobně jako v případě modelové situace č. 1 a č. 2) rozptýleny v jednotlivých paprskovitých ohniscích, které mají protáhlý tvar a jsou mimo sledované území sídlišť ve směrech SSZ až V. Dosahují hodnot  $2,9 - 3,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (v době největšího zatížení a využití CZT – měsíc leden 2014). Opět velmi malá okrajová SZ část území sídlišť je zatížena hodnotami  $2,2 - 2,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Polovina území sídliště Zachar II pak nižšími hodnotami v rozmezí  $0,7 - 2,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zbytek plochy sídliště Zachar II a celé sídliště Zachar III se nachází v oblasti koncentrací  $< 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V okolí zdroje CZT ve vzdálenosti větší než cca 100 m jsou koncentrace  $< 0,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Imise pocházející ze zdroje CZT dosahují koncentrace max.  $3,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ve vzdálenosti cca 220 m od zdroje (jako v případě modelové situace č. 2), těsně za hranicí sledovaného území.
- **Domovní plynové kotelny:** Z výstupu rozptylové studie (obr. 30) lze vyčíst, že nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$  jsou opět (podobně jako v případě modelové situace č. 1 a č. 2) ve dvou ohniscích mimo sledované území. Podstatně větší ohnisko se nachází ve směru SSZ a dosahuje hodnot  $2,5 - 2,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a menší ohnisko nacházející se ve směru V dosahuje hodnot  $2,2 - 2,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Severní část analyzovaného území je ovlivněna koncentrací unikajících oxidů dusíku v rozmezí  $1,0 - 1,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zbylá část plochy je zatížena koncentracemi  $< 1,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  s převažujícími hodnotami do  $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Většina vypuštěných emisí bude rozfoukávána dále od zdrojů znečištění směrem na SSZ a V stranu sídlišť, a proto místa s maximální koncentrací budou ležet mimo obydlené plochy sídlišť.
- **Porovnání obou způsobů vytápění:** Maximální koncentrace  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) dosahují u zdroje CZT i u domovních plynových kotelen podobných hodnot ( $3,3$  oproti  $2,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), avšak u zdroje CZT ovlivňují podstatně větší plochu území, v obou případech mimo sledovanou oblast. Obecně lze říci, že sídliště Zachar II je exponováno imisemi oxidů dusíku více než sídliště Zachar III.

#### **b) Tabulku výsledků**

V následujících tabulkách XII, XIII a XIV jsou uvedeny maximální hodinové hodnoty koncentrací  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) na analyzovaném území. Maximální koncentrací se míní největší průměrná krátkodobá (hodinová) přízemní koncentrace  $\text{NO}_2$  za dané rychlosti větru [9]. Dalším kritériem pro porovnání obou způsobů vytápění byla kromě maximálních

koncentrací i vzdálenost, od které nabývá koncentrace NO<sub>2</sub> hodnotu 3,0 µg.m<sup>-3</sup>. Tato hodnota byla vybrána proto, protože maximální hodnoty koncentrací NO<sub>2</sub> na hranici plochy obou sídlišť dosahují při centralizovaném způsobu vytápění právě této výše.

Tab. XII: Výsledky modelové situace č. 1

<b>modelová situace č. 1</b>	<b>centralizované zásobování teplem</b>	<b>domovní plynové kotelny</b>
max. koncentrace NO <sub>x</sub> * [µg.m <sup>-3</sup> ]	3,1 - 3,4	2,8 - 3,2
vzdálenost [m] od zdroje s koncentrací NO <sub>x</sub> * 3,0 µg.m <sup>-3</sup>	200 (na hranici analyzovaného území)	100 (za hranicí analyzovaného území)

Tab. XIII: Výsledky modelové situace č. 2

<b>modelová situace č. 2</b>	<b>centralizované zásobování teplem</b>	<b>domovní plynové kotelny</b>
max. koncentrace NO <sub>x</sub> * [µg.m <sup>-3</sup> ]	3,0 - 3,3	2,8 - 3,2
vzdálenost [m] od zdroje s koncentrací NO <sub>x</sub> * 3,0 µg.m <sup>-3</sup>	220 (za hranicí analyzovaného území)	100 (za hranicí analyzovaného území)

Tab. XIV: Výsledky modelové situace č. 3

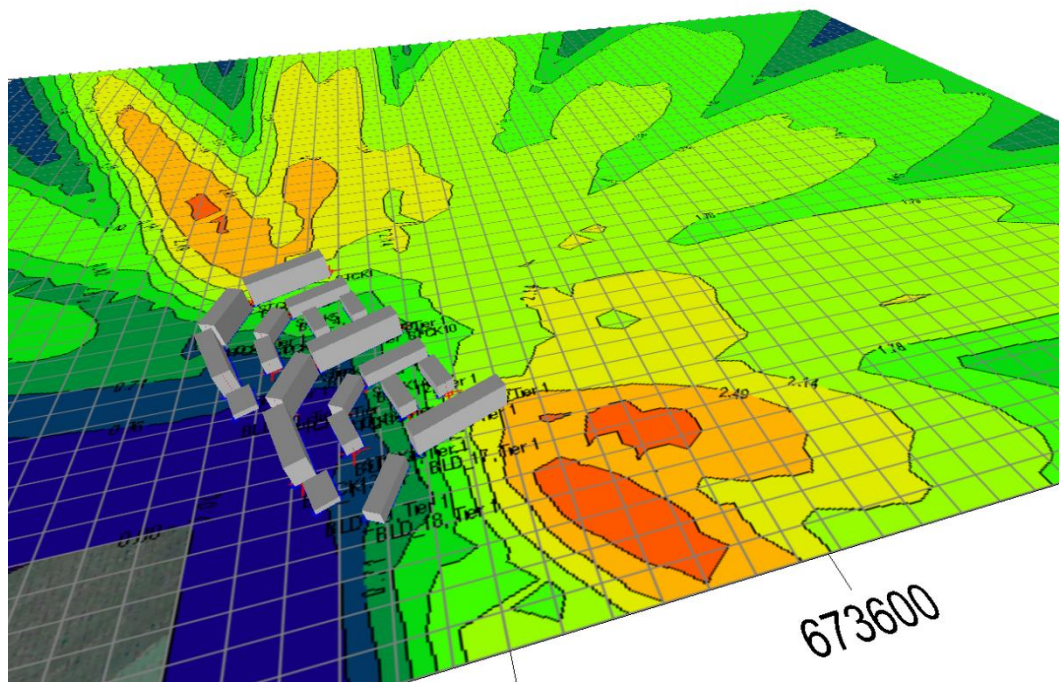
<b>modelová situace č. 3</b>	<b>centralizované zásobování teplem</b>	<b>domovní plynové kotelny</b>
max. koncentrace NO <sub>x</sub> * [µg.m <sup>-3</sup> ]	2,9 - 3,3	2,5 - 2,9
vzdálenost [m] od zdroje s koncentrací NO <sub>x</sub> * 3,0 µg.m <sup>-3</sup>	220 (za hranicí analyzovaného území)	hodnota 3,0 µg.m <sup>-3</sup> nebyla dosažena

\* vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>

### c) Vizualizace výsledků

Výstup programu AERMOD View je ve formě plošného 2D grafu (nebo 3D grafu, viz obr. 18), kde barevně odlišené plochy představují odlišné úrovně koncentrace NO<sub>x</sub> (vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>) na analyzovaném území. Všechny tři níže uvedené modelové situace se liší pouze rychlostí a směrem větru a výškou směšovací vrstvy. Ostatní meteorologické parametry, jako je např. teplota, tlak a vlhkost okolního vzduchu, včetně uvažovaných srážek, jsou stejné ve všech třech případech. Stejná jsou i geografická a emisní vstupní data.

Grafické výstupy byly vygenerovány s využitím počítačového programu AERMOD View™ Gaussian Plume Air Dispersion Model, přípravu vstupních dat a konečné úpravy pro tisk provedla autorka této bakalářské práce, Eliška Čejková. Nastavení vstupních dat a parametrů pro výpočet provedl Ing. Luboš Matějčík, Ph.D.



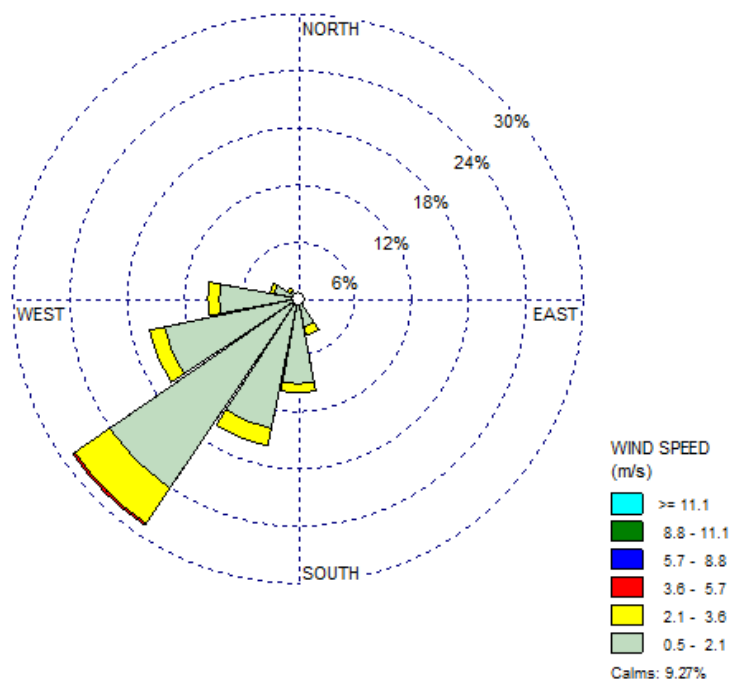
Obr. 18: Příklad výstupu programu AERMOD View ve formě 3D grafu

Následující plošné 2D grafy zaujímají oblast 1 500 x 1 000 m. 1 dílek na obou osách grafů představuje 10 m ve skutečnosti. U každé modelové situace je zobrazena směrová růžice (obr. 19, 23 a 27) a diagram rychlostí větru (obr. 20, 24 a 28).

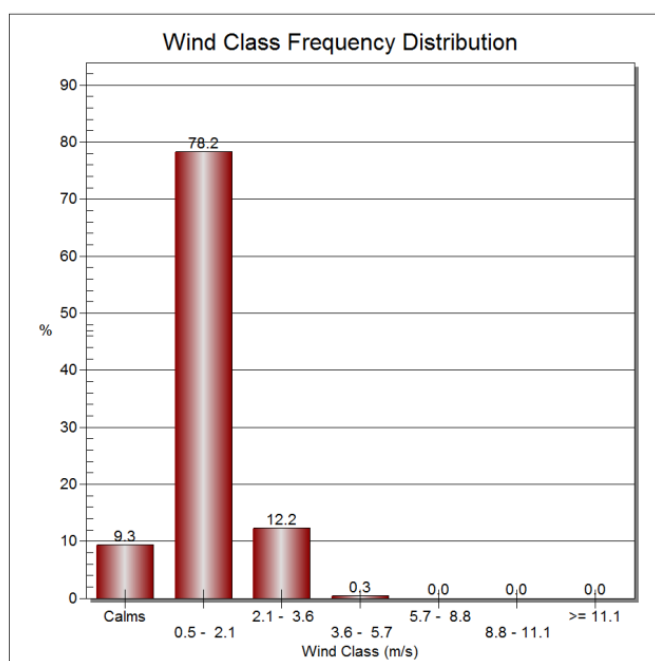


### Modelová situace č. 1

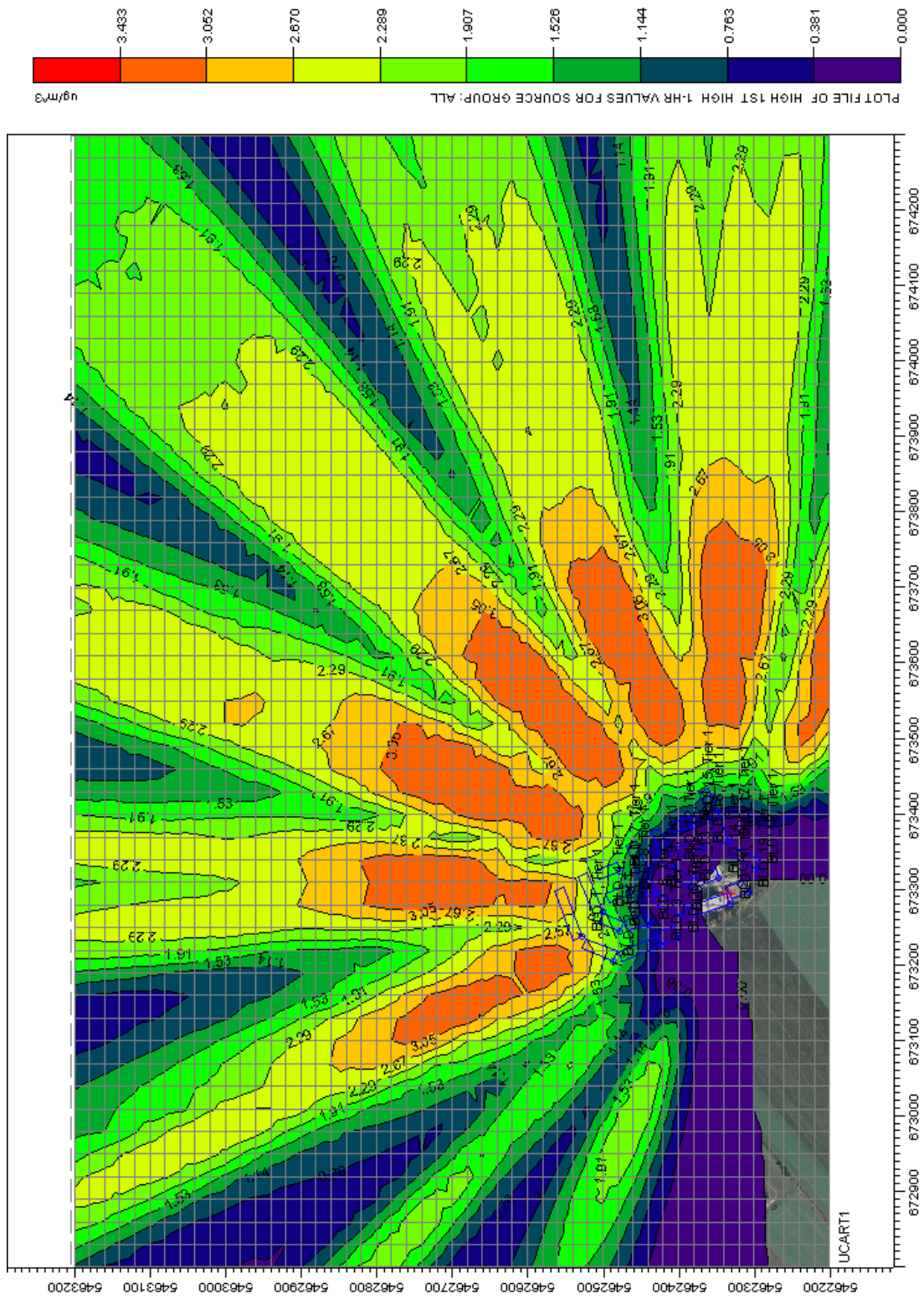
průměrná rychlost větru	směr větru	výška směšovací vrstvy
1,27 m.s <sup>-1</sup>	JZ	740 m



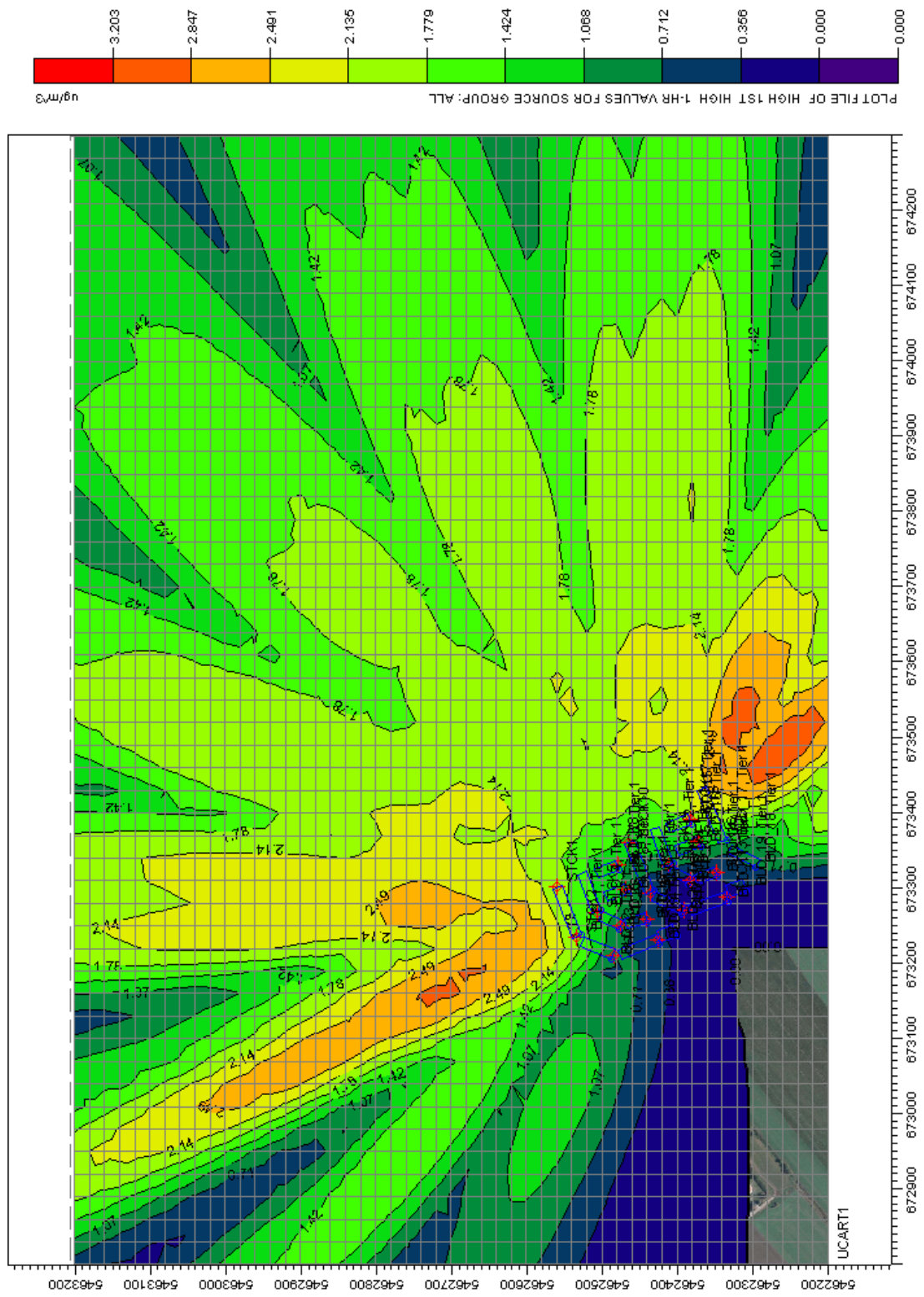
Obr. 19: Směrová růžice



Obr. 20: Diagram rychlostí větru



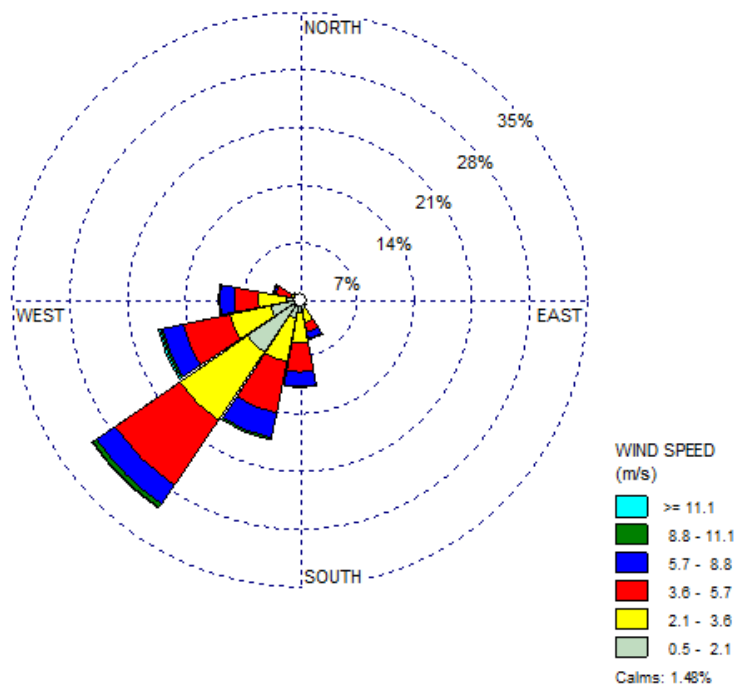
Obr. 21: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z CZT při jihozápadním proudění a průměrné rychlosti větru 1,27 m.s<sup>-1</sup>



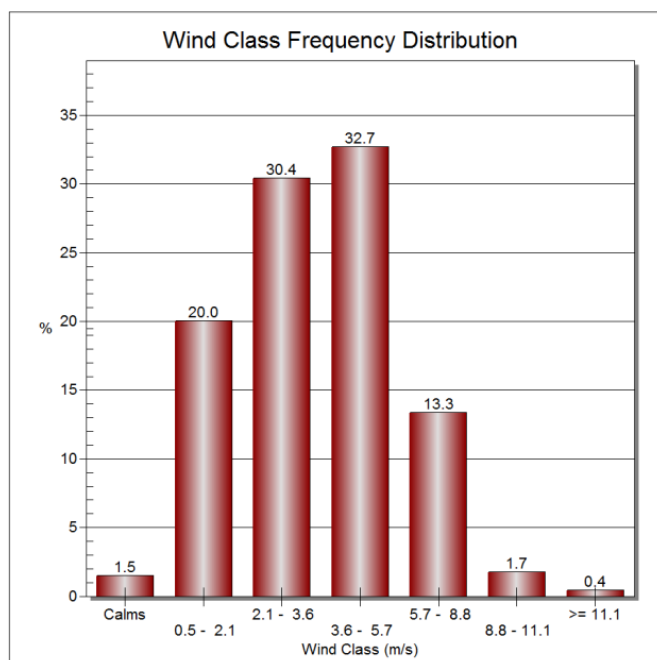
Obr. 22: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z 18ti domovních plynových kotelen při jihozápadním proudění a průměrné rychlosti větru  $1,27 \text{ m.s}^{-1}$

## Modelová situace č. 2

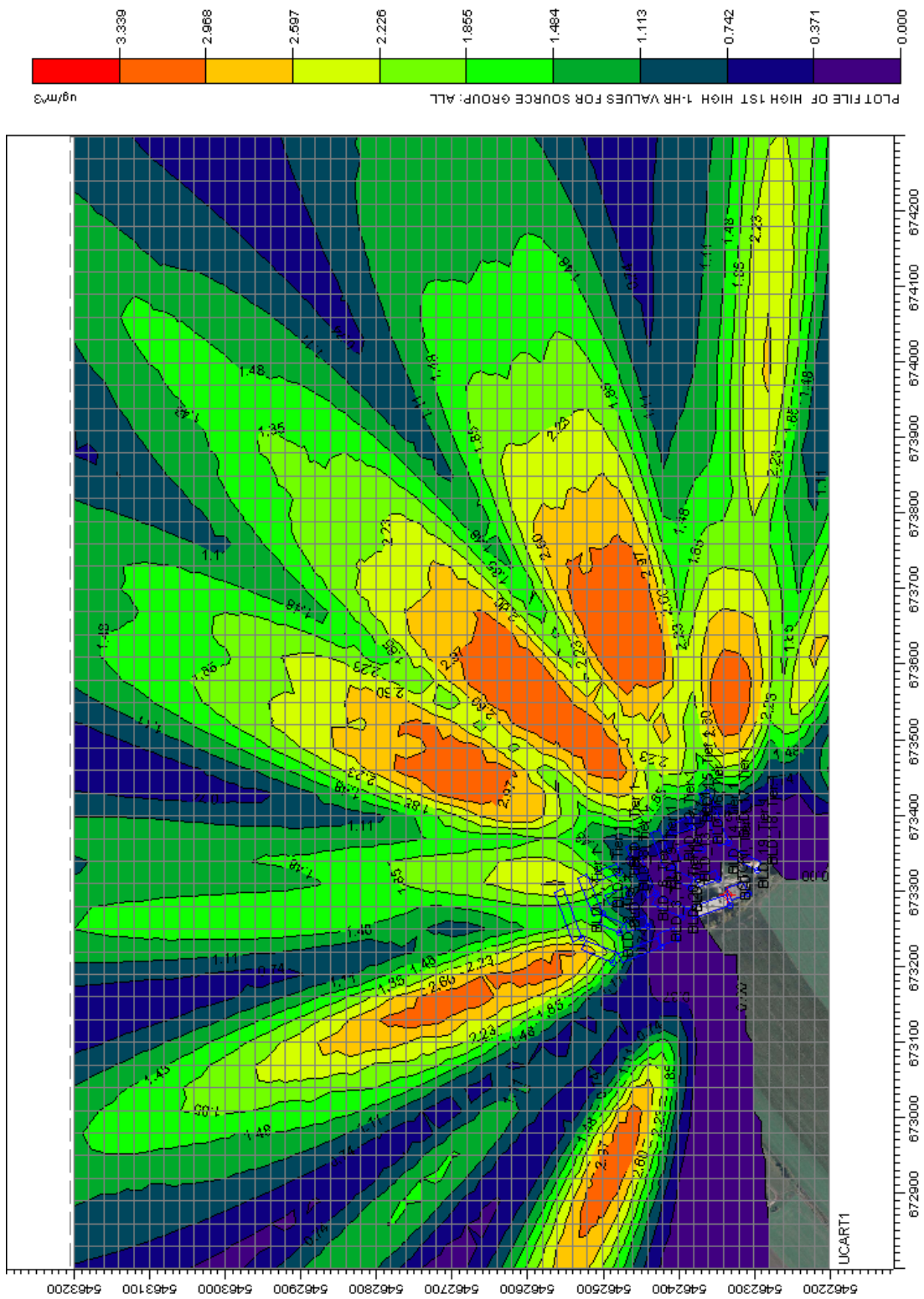
průměrná rychlost větru	směr větru	výška směšovací vrstvy:
$3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	JZ	2 230 m



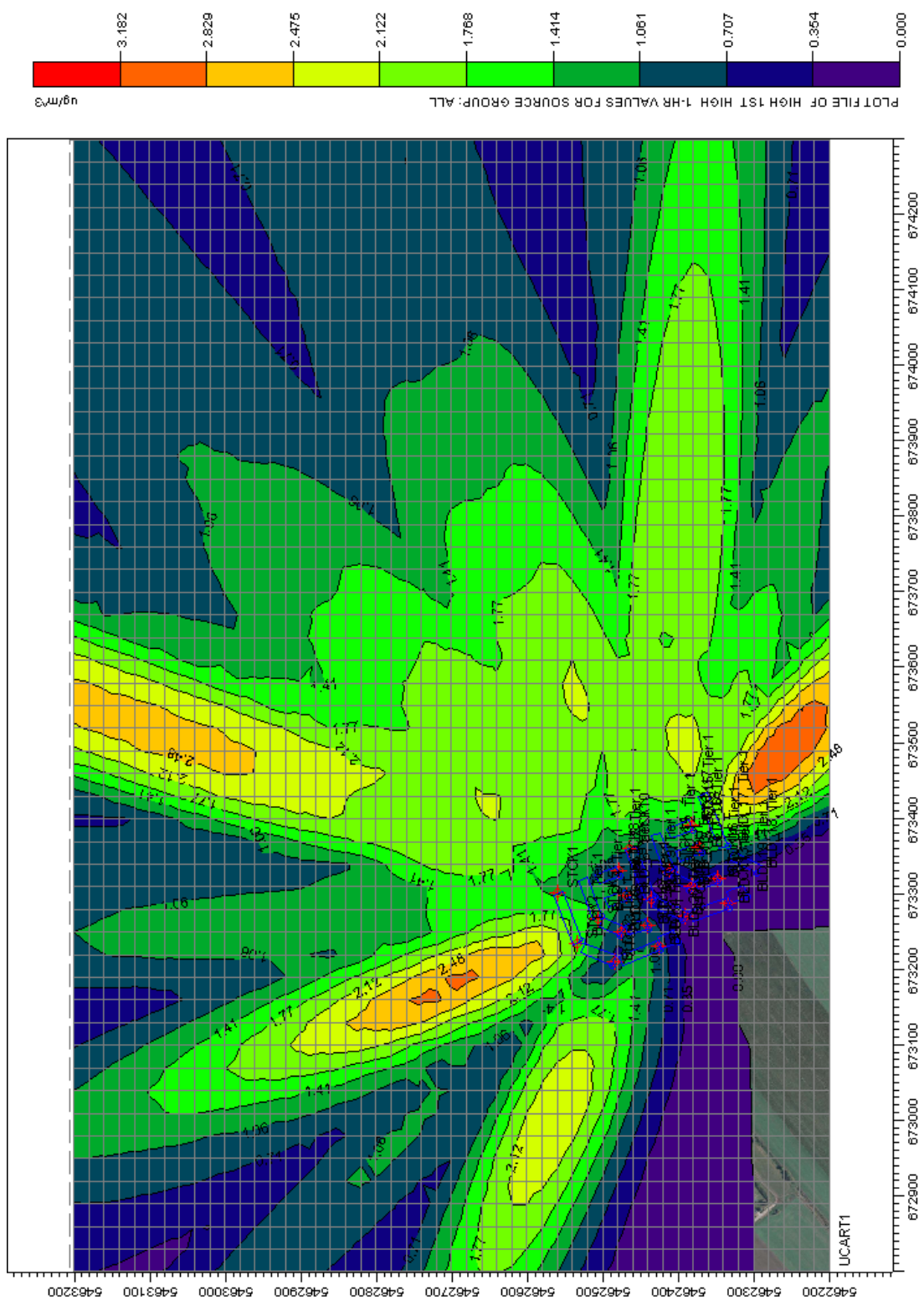
Obr. 23: Směrová růžice



Obr. 24: Diagram rychlostí větru



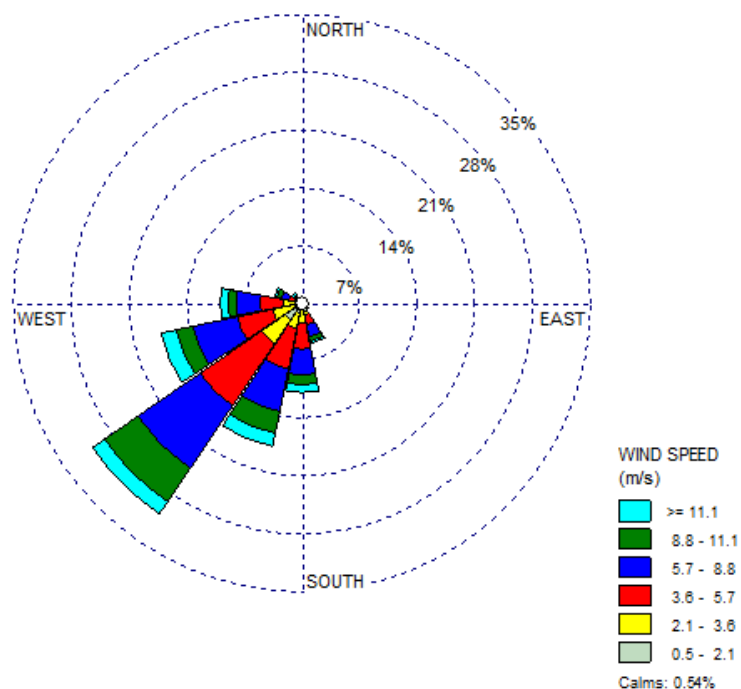
Obr. 25: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z CZT při jihozápadním proudění a průměrné rychlosti větru  $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



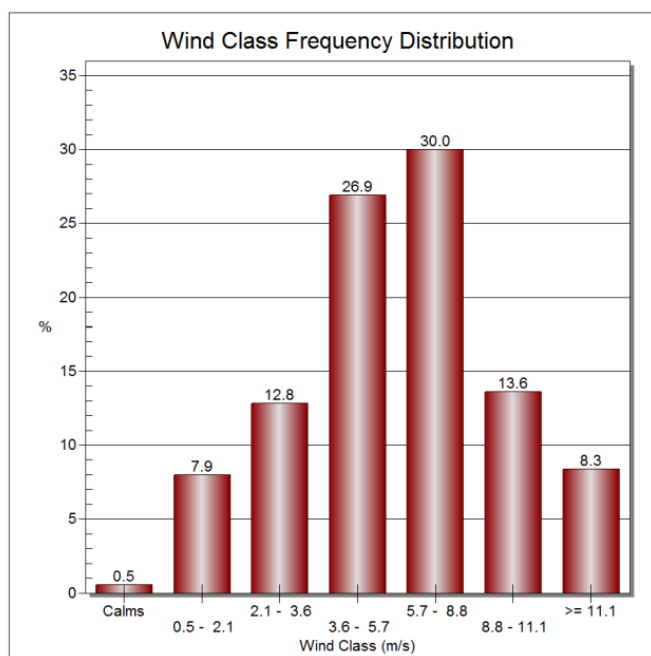
Obr. 26: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z 18ti domovních plynových kotelen při jižozápadním proudění a průměrné rychlosti větru  $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

### Modelová situace č. 3

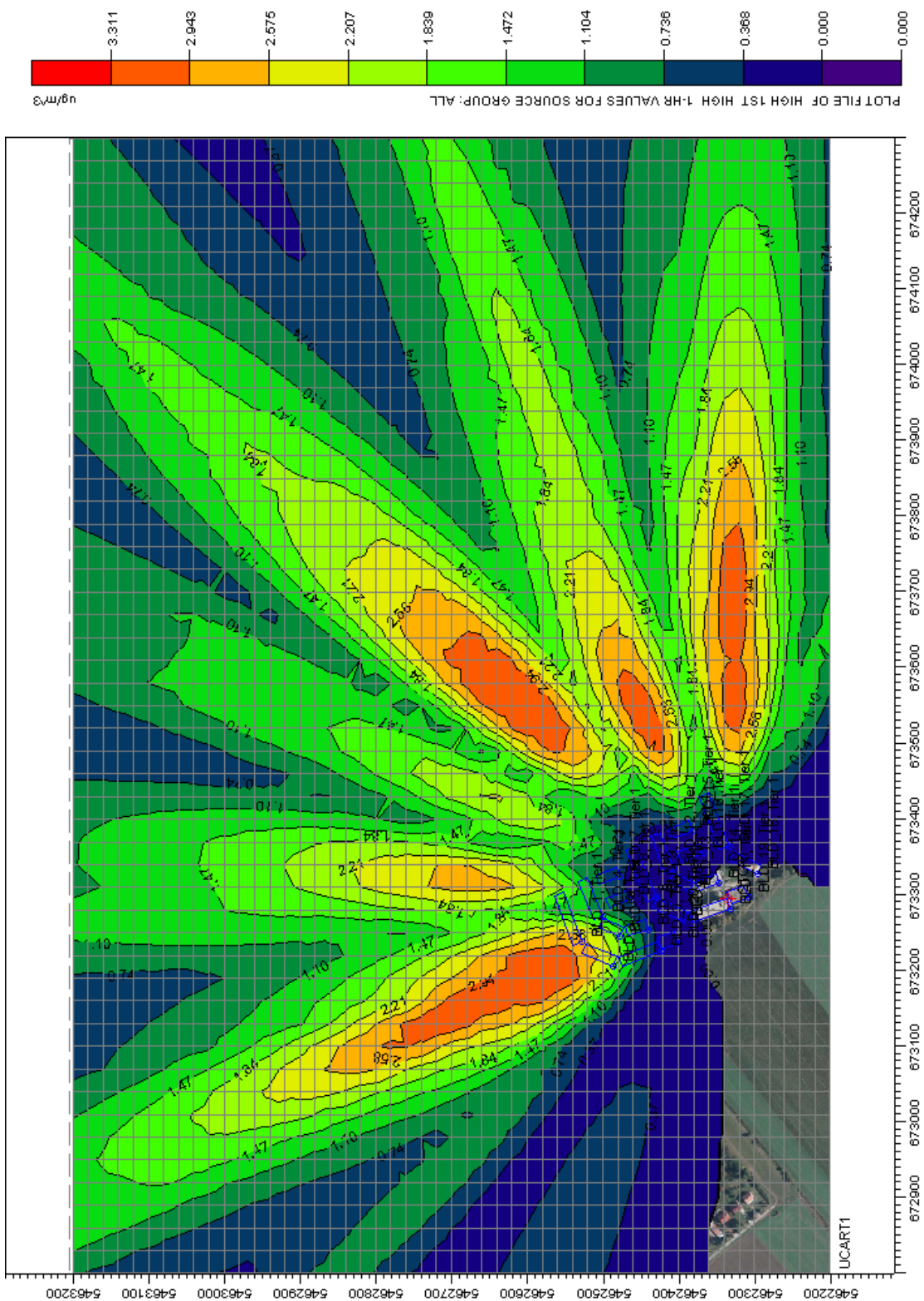
průměrná rychlost větru	směr větru	výška směšovací vrstvy
$6,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	JZ	3 640 m



Obr. 27: Směrová růžice

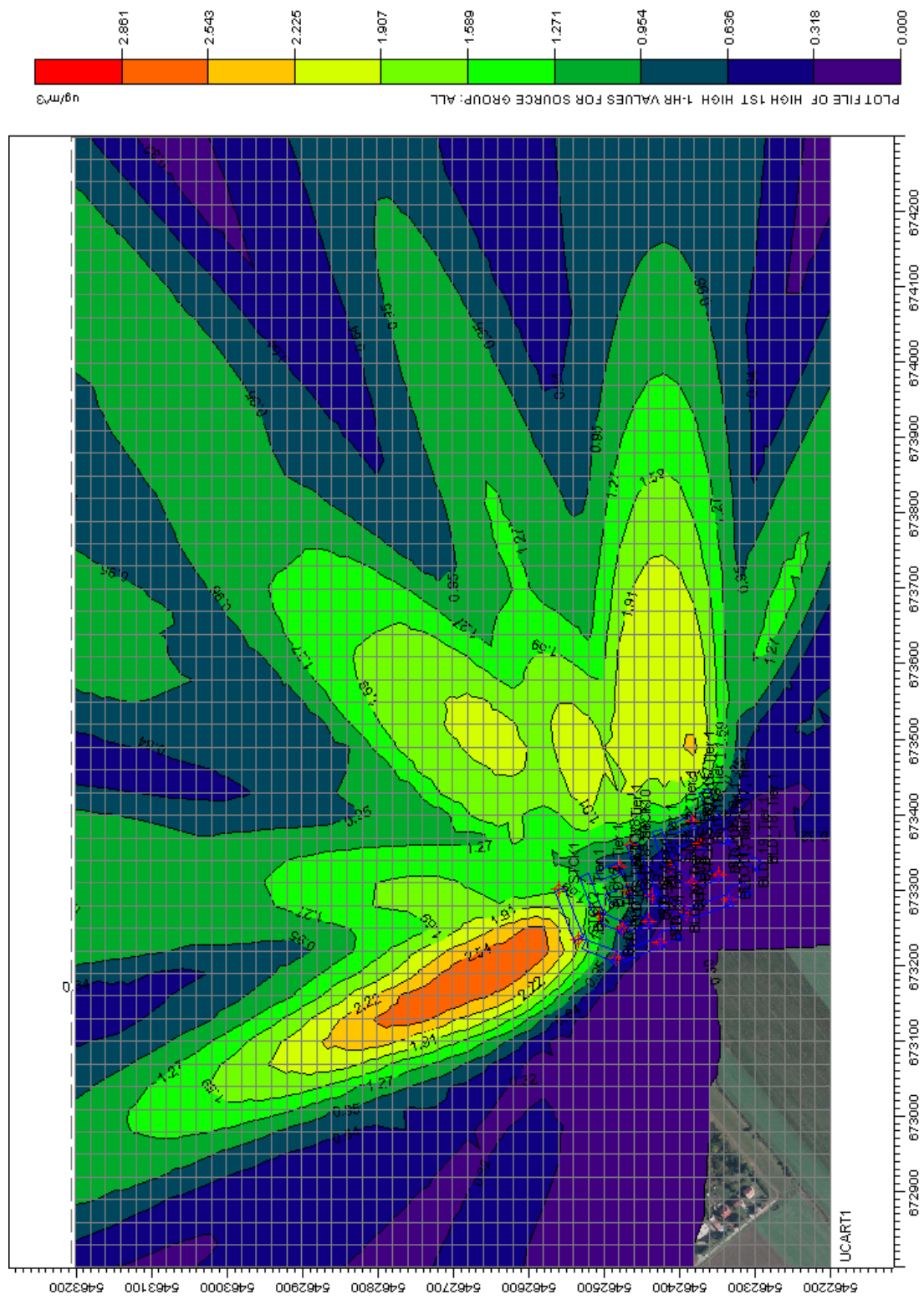


Obr. 28: Diagram rychlostí větru



Obr. 29: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z CZT při jihozápadním proudění a průměrné rychlosti větru 6,2 m.s<sup>-1</sup>





Obr. 30: Vizualizace rozptylu  $\text{NO}_x$  vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$  z 18ti domovních plynových kotelen při jihozápadním proudění a průměrné rychlosti větru  $6,2 \text{ m.s}^{-1}$

## 8) Závěrečné zhodnocení rozptylové studie

Na základě tří výše uvedených modelů rozptylu oxidů dusíku (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) lze obecně říci, že emise  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ), šířící se z CZT, dosahují na analyzovaném území obou sídlišť, v kontextu platných imisních limitů, nepatrně vyšších maximálních hodnot v porovnání s koncentracemi  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ), unikajícími z 18ti zdrojů decentralizovaného zásobování teplem. Plochy s těmito maximálními koncentracemi leží v obou případech mimo sídlištní zástavbu, avšak celkový rozsah těchto ploch je v případě CZT podstatně větší. To přirozeně vyplývá z nižší účinnosti systému CZT, větší spotřeby ZP a tím i vyššího množství emisí  $\text{NO}_x$ . S rostoucí rychlostí větru se tyto plochy zmenšují a koncentrace emisí  $\text{NO}_2$  klesá se vzdáleností rychleji. Stejně tak tomu je i u domovních plynových kotelen. Téměř ve všech šesti případech (3 modelové situace pro každý ze dvou způsobů vytápění) je většina analyzované plochy sídlišť zatížena koncentracemi  $< 1,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Proto lze konstatovat, že z hlediska ochrany zdraví obyvatel na obou sídlištních není mezi CZT a decentralizovaným způsobem výroby tepelné energie podstatný rozdíl. V obou dvou případech vytápění je však z výstupů studie patrné, že sídliště Zachar II je imisemi zasaženo o něco více než sídliště Zachar III. Na obou sídlištních je však splněn platný imisní limit (viz tabulka IV).

Je třeba si uvědomit, že tato rozptylová studie je pouze prvním přiblížením k řešení problematiky, která je daleko širší. Výsledky by byly přesnější, pokud by byl k dispozici hmotností tok emisí domovních plynových kotelen, získaný z autorizovaného měření. Jak již bylo uvedeno, autorizované měření emisí se u zdrojů takto malých výkonů neprovádí. Rovněž tak meteorologická data, získaná dlouhodobým měřením, než generováním, by modelování situací zpřesnila. V rozptylové studii také nebyla uvažována suchá ani mokrá depozice, která má určitě vliv na konečnou koncentraci emisí oxidů dusíku. V neposlední řadě zanedbání jakýchkoli okolních zdrojů emisí způsobilo, že na analyzované území bylo nazíráno jako na izolovaný ostrovní provoz. Sledované území sídlišť Zachar II a Zachar III však bude zcela jistě ovlivňováno okolními zdroji znečištění (další zdroje tepla a sousední komunikace). Přesto lze konstatovat, že ukončení provozu zdroje CZT a jeho náhrada 18ti lokálními domovními plynovými kotelny nepřinese zhoršení životního prostředí a ani neohrozí zdraví lidí ve sledované oblasti.

## 9) Seznam použitých podkladů

- Emisní data: připravila Eliška Čejková (tabulka VIII, IX a X)
- Meteorologická data: připravil Ing. Luboš Matějček, Ph.D.
- Geografická data: ČUZK (ZABAGED – polohopis, ZABAGED – výškopis 3D vrstevnice, ortofoto mapa ČR)

## 8. EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ OBOU ZPŮSOBŮ VÝROBY TEPELNÉ ENERGIE

### 8.1 Množství emisí jednotlivých způsobů vytápění

Za předpokladu, že by se v oblasti sídliště Zachar II a Zachar III neodpojil žádný z 18ti odběratelů, centrální kotelna PK3 by vyprodukovala ročně cca 459 kg emisí NO<sub>2</sub>. K tomu zatím nedošlo a z 18ti odběratelů bylo k 31.12. 2013 odpojeno 15 odběratelů, kteří si vybudovali vlastní lokální domovní plynové kotelny. Zbývající 3 objekty si zrealizují svůj samostatný zdroj do konce měsíce května roku 2014 [44]. Poté bude celková roční produkce všech 18ti lokálních domovních plynových kotelen cca 263 kg emisí NO<sub>2</sub>. Z výše uvedeného je patrné, že co se množství vypuštěných emisí NO<sub>2</sub> týče, má rozpad CZT a vybudování lokálních domovních plynových kotelen pozitivní účinek v úspoře cca 196 kg emisí NO<sub>2</sub> ročně. Tuto úsporu způsobují dva významné faktory. 1) plynové kotle v lokálních kotelnách mají vyšší účinnost a kotelny jsou umístěny přímo v patě objektu. Kotle centrálních kotelen mají většinou účinnost horší a další ztráty tepelné energie vznikají v rozvodech tepla, než se tepelná energie dostane k patě vytápěného objektu. 2) ačkoliv se v obou případech způsobu výroby tepelné energie používají tzv. nízkoemisní hořáky kotlů, hořáky menších domovních plynových kotelen vykazují lepší emisní hodnoty [40, 41, 46]. Úplné vyhodnocení vlivu rozpadu CZT a přechodu k decentralizované výrobě tepelné energie na životní prostředí vyžaduje v každém případě rozptylovou studii a zhodnocení obou způsobů vytápění i z hlediska uhlíkové stopy (produkce emisí CO<sub>2</sub>). Je třeba si uvědomit, že zařízení CZT zásobující studovanou oblast, je z let 2007 – 2008 (viz 2. kapitola), tedy zánovní a moderní. Po předpokládaném ukončení činnosti CZT během roku 2014 budou kotle v necelé polovině předpokládané životnosti a potrubní propoj cca ve čtvrtině. Zařízení zcela jistě nenajde v dnešní době další uplatnění a pro provozovatele to bude velká finanční ztráta. Na druhé straně se vybudovalo 18 nových lokálních domovních plynových kotelen. Zde je třeba počítat s negativním vlivem na životní prostředí, co se týče výroby technologie a samotné realizace

(výstavby) kotelen. To se týká také samotného provozování těchto zdrojů. Na straně jedné, například jedna revize kotlů, plynového zařízení, elektro a spalinové cesty, na straně druhé totéž, ale 18 x.

## **8.2 Rozptylová studie jednotlivých způsobů vytápění**

Tři provedené modelové situace rozptylu oxidů dusíku (vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>) v prvním přiblížení potvrdily, že emise NO<sub>x</sub> (vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>), šířící se z CZT, dosahují na analyzovaném území obou sídlišť, v kontextu platných imisních limitů, nepatrně vyšších maximálních hodnot v porovnání s koncentracemi NO<sub>x</sub> (vyjádřeno jako NO<sub>2</sub>), unikajícími z 18ti zdrojů decentralizovaného způsobu výroby tepelné energie. V obou případech leží plochy maximálních koncentrací mimo sídlištní zástavbu, avšak celkový rozsah těchto ploch je v případě CZT podstatně větší. To je způsobeno nižší účinností systému CZT, větší spotřebou ZP a tím i produkcí většího množství emisí NO<sub>x</sub>. S rostoucí rychlostí větru se tyto plochy zmenšují a koncentrace imisí NO<sub>2</sub> klesají se vzdáleností rychleji. Stejně tak tomu je i u domovních plynových kotelen. Téměř ve všech šesti případech (3 modelové situace pro každý ze dvou způsobů vytápění) je většina analyzované plochy sídlišť zatížena koncentracemi < 1,0 µg.m<sup>-3</sup>. Proto lze konstatovat, že z hlediska ochrany zdraví obyvatel na obou sídlišťích není mezi CZT a decentralizovaným způsobem výroby tepelné energie podstatný rozdíl. V obou dvou případech vytápění je však z výstupů rozptylové studie patrné, že sídliště Zachar II je imisemi zasaženo o něco více než sídliště Zachar III.

## **8.3 Další porovnání obou způsobů výroby tepelné energie**

Další výhody a nevýhody obou způsobů výroby tepelné energie jsou ve stručnosti uvedeny níže.

### **Centralizované zásobování teplem**

Klady:

- provoz, měření a regulace je realizována z jednoho centrálního místa
- je provozován, kontrolován pouze jeden zdroj z centrálního dispečinku (menší počet obsluhy) [1]
- bezpečný provoz (teplo se vyrábí mimo místo konečné spotřeby)
- jeden komín centrální kotelny je na samém okraji sídlištní panelové zástavby

Zápory:

- vyšší produkce emisí NO<sub>2</sub> [19]

- vyšší tepelné ztráty a nižší účinnost zařízení [1, 19]
- pro všechny odběratele jsou nastaveny stejné podmínky a parametry vytápění dle příslušných zákonů a prováděcích vyhlášek [19]
- vliv výše odběrů TE na jednotkovou cenu tepelné energie [Kč.GJ<sup>-1</sup>]

### **Domovní plynové kotelny**

Klady:

- nižší produkce emisí NO<sub>2</sub> [1, 19]
- nižší tepelné ztráty a vyšší účinnost zařízení [19]
- operativnější přizpůsobení potřebám jednoho konkrétního odběratele – objektu (vytápění s nižšími parametry a v jiném čase než nařizuje zákon) [1, 19]
- menší riziko rozvoje bakterií typu *Legionella pneumophylis* (snazší udržování teploty teplé vody nad teplotou 55 °C)\* [19]
- nižší cena tepelné energie [Kč.GJ<sup>-1</sup>] (vyšší účinnost výroby, neexistují ztráty tepla v rozvodech po sídlišti, menší režijní náklady, SVJ nevytváří zisk)
- rychlejší přístup k údajům o spotřebě tepelné energie a v důsledku toho i vědomá regulace spotřeby (zamezení finančních nedoplatků) [19]

Zápory:

- každý zdroj je provozován a kontrolován samostatně, není možné centrální řízení (větší počet obsluhy) [1]
- 18 lokálních domovních kotelen představuje rovněž 18 komínových těles; některé komíny, ty nejnižší, jsou uprostřed sídlištní panelové zástavby
- zatížení SVJ investičním úvěrem
- architektonické hledisko (18 komínů)
- větší množství vyrobených kotlů a s tím spojené větší zatížení životního prostředí výrobou, provozem a později i likvidací zařízení

\* Tyto bakterie žijí ve vodním prostředí a mohou způsobit tzv. legionářskou nemoc, což je poměrně vážné onemocnění plic. *Legionella* potřebuje ke svému přežití určité optimální podmínky. Důležitá je především teplota vody. Nejlépe se této bakterii daří při teplotě mezi 20 – 45 °C. Při vyšší teplotě tato bakterie umírá. Nebezpečí této bakterie spočívá hlavně v obrovské rychlosti jejího rozmnožování. Za 4 hodiny se bakterie rozdělí na 2 nové bakterie a takto to pokračuje s každou novou bakterií [int 11]. U CZT je tedy větší riziko dodání teplé

vody s nižší teplotou (vlivem delších potrubních tras a jejich členění), která podporuje množení těchto bakterií.

## 9. VYTÁPĚNÍ V EVROPĚ

### 9.1 Centralizovaný a decentralizovaný způsob výroby tepelné energie

Důvody pro odpojování odběratelů/zákazníků od CZT jsou různé. Jedním z nich může například být, že v poslední době dochází stále častěji k zateplování obvodových plášťů a výměně oken v panelových domech. Děje se tak především kvůli snížení tepelných ztrát a s tím spojenému snížení nákladů na vytápění. Podle zateplení a dalších provedených úprav proti ztrátám tepla by se měl pak systém CZT správně přizpůsobit. To se však ve většině případů nestane a dochází tak k předimenzování celého systému, což vede ke snížení účinnosti a zvýšení nákladů na jeho provoz. Při zachování stejné tepelné soustavy je tedy důležité ji důkladně a dynamicky regulovat [12, int 10]. Systémy CZT byly obecně projektovány na určitý tepelný příkon odběratelů, který byl v čase téměř konstantní. V průběhu posledních 20ti let se vlivem použití nových technologií jak v technice zařízení budov, tak i ve stavebnictví samotném, ale i vlivem dalších úsporných opatření odběratelů staly některé systémy CZT neefektivní, s nižší účinností. O zefektivnění provozu CZT by se měli starat výrobci energií. Problémem je však povolená doba odepisování investičních nákladů spojených s rekonstrukcí rozvodných sítí a zdrojů tepla samotných. Jde zde především o nejistotu v prostředí trhu, kdy si výrobci energií nejsou jisti tím, zda zákazníci zůstanou připojeni k odběru tepla po celou dobu odpisů. Může totiž dojít ke stejné situaci jako v Kroměříži, kdy výrobce tepelné energie investoval nemalé finanční prostředky do zefektivnění a modernizace provozu, ale odběratelé se začali za nedlouho odpojovat a investované náklady se proto nikdy výrobci nevrátí [44]. Místo úplného odpojení od CZT je také možná alternativa, kdy by se zachovala přípojka k CZT a odběratelé by si sjednali s výrobcem nižší množství dodávaného tepla. CZT by tak mohlo pomoci například při pokrytí špiček či při extrémně nízkých teplotách [int 10].

V poslední době se stále častěji diskutuje o klimatických změnách a ochraně životního prostředí, a proto je stále naléhavější otázka udržitelnosti rozvoje s ohledem na lepší využití zdrojů a snižování dopadů lidských činností na životní prostředí. V této souvislosti se Evropská Unie (dále jen „EU“) snaží v oblasti klimatu a energetiky o politiku zaměřenou na podporu trvale udržitelného rozvoje spojenou se zvyšováním účinnosti využití fosilních paliv

a využitím obnovitelných zdrojů energie [4]. Pod termínem udržitelnost si lze představit spravedlivé rozdělování omezených zdrojů a příležitostí v rámci ekonomiky, společnosti a životního prostředí. Cílem udržitelnosti je spokojenost všech, nyní i v budoucnu, s přihlédnutím k faktu, že budoucnost může být zcela jiná než přítomnost. Udržitelný energetický systém tedy představuje vysoce účinný systém, který je schopný poskytnout dostatek energie všem, za přijatelnou cenu, šetrnou k životnímu prostředí, bezpečnou a s efektivním využitím zdrojů. Udržitelný rozvoj nás nepřipraví zcela na budoucnost, ale postaví základy, na kterých mohou budoucí generace dále stavět [1].

Spotřeba energie pro vytápění obytných a veřejných budov představuje více než 40 % celé energetické spotřeby v EU [3, 4, 33]. Stupeň decentralizace, či centralizace systémů zásobování teplem záleží na mnoha aspektech, jako je politická, ekonomická, či sociální situace [1]. V dnešní době je v mnoha zemích preferován decentralizovaný (individuální) systém zásobování teplem před tradičním centralizovaným systémem. Důvodem je především fakt, že se díky kratšímu vedení sníží tepelné ztráty. Jedním takovým příkladem je situace ve městě Lublin v Polsku, zemi s vysokým podílem CZT na vytápění [19]. Zde došlo k nahrazení CZT jednotlivými domovními kotelny. Tyto zdroje stabilizují cenu tepla, šetří energii a snižují tepelné ztráty způsobené vedením tepla [19]. Opačným příkladem je Dánsko, jedna z evropských zemí s nejrozvinutějším systémem CZT. Zde naopak dochází k rozvoji CZT a nahrazování individuálního vytápění na bázi zemního plynu centralizovaným vytápěním. CZT má v Dánsku významnou roli a v současné době zprostředkovává 46 % vytápění. Všechna velkoměsta a většina menších měst a i mnoho vesnic je zásobováno jedním ze 430 systémů CZT. V budoucnosti je cílem zvýšit tento podíl CZT ze stávajících 46 % na 50 až 70 % a co nejvíce využívat obnovitelné zdroje energie pro CZT, např. větrnou energii. Podíl obnovitelných zdrojů energie, využívaných pro CZT, má dosáhnout 100 %. V Dánsku argumentují tím, že CZT je ideální pro podporu rozvíjejících se technologií, jako je geotermální energie, produkty biomasy, či využití solárního ohřevu ve velkém měřítku. V současné době získává dánské CZT 33 % energie z obnovitelných zdrojů (včetně spalování hořlavého komunálního odpadu). Jako výhodu obnovitelných zdrojů uvádějí oproti zemnímu plynu stabilní ceny v čase, dostatečnou zásobu zdrojů a z toho vyplývající soběstačnost. V Dánsku naopak panuje názor, že CZT produkuje méně emisí (hlavně méně skleníkového plynu CO<sub>2</sub>), spotřebovává méně paliva a nabízí i snížení nákladů na vyrobenou energii. O podobném rozvoji se v poslední době hovoří v chladných evropských oblastech, jako je Švédsko a Finsko a nebo i mimo Evropu v Kanadě [33]. Obdobná situace s podporou obnovitelných zdrojů při výrobě tepelné a elektrické energie je i ve Velké Británii. Jde

především o využití odpadu ze dřeva, papíru a spalování odpadů, ale v budoucnu se bude rozvíjet i využívání solární a geotermální energie. V Británii existuje speciální motivační program, který nabízí finanční podporu na instalaci tepelných zdrojů využívajících obnovitelné zdroje. Většina tamější generované elektřiny pochází z kombinovaných centralizovaných systémů (na výrobu tepelné a elektrické energie), které využívají k výrobě energie fosilní paliva – nejčastěji uhlí a plyn. V budoucnu by mělo dojít k náhradě těchto fosilních paliv za biomasu a komunální odpad, což by znamenalo především úsporu CO<sub>2</sub>. Místní komunální odpad by mohl v Británii pokrýt až 20 % potřebné energie ve městech. Výhodná je také spolupráce CZT s lokálními průmyslovými podniky, kdy je odpadní teplo ze zpracovatelského průmyslu dodáváno do nejbližší sítě CZT, či teplárny pro redistribuci. Dalším výhodným využitím dodaného tepla je produkce chlazení nebo chladicí vody. V poslední době vyžaduje chlazení budov stále více elektrické energie, proto se v budoucnu dočkáme budování centralizovaného chlazení, respektive jednalo by se o začlenění absorpčních chladicích jednotek do kombinovaných tepláren, ze kterých se stane teplárna na výrobu tepla, chladu a elektrické energie. To bude výhodné zejména ve městech, které potřebují v zimě tepelnou energii a v létě chlazení. V případě, že kapacita takových tepláren zvládne zatížení vytápěním, chlazením i výrobou elektrické energie, bude jejich energetická účinnost o mnoho lepší a takto vyrobená energie bude mnohem šetrnější k životnímu prostředí, ale samotné elektrárny na výrobu pouze elektrické energie budou stále potřebné [14]. I v mnoha dalších zemích EU podporují výrobu tepelné energie a chlazení budov z obnovitelných zdrojů. Tato výroba je podporována zejména řadou politických rozhodnutí, jako jsou dotace, daňové úlevy, výhodné výkupní ceny a další finanční podpora. Ve většině zemí má elektřina vyrobená z obnovitelných zdrojů výhodnější výkupní cenu, ale jen málo zemí aplikuje ty samé výhody na výrobu tepelné energie [14].

## **9.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla**

Jak již bylo zmíněno, výhodné je spojení výroby tepelné energie s elektrickou energií, to umožňují tzv. kombinované teplárny. Teplárna je samostatně stojící zdroj tepla, které je vyráběno v kombinovaném cyklu společně s elektřinou a které je dodáváno do sítě dálkového zásobování teplem [int 4]. Nezanedbatelný podíl mají teplárny v Dánsku, kde se touto cestou vyrábí 52,9 % elektřiny, či na Slovensku, kde se jedná o 37,7 % elektřiny. Podstatná část elektrické energie je díky kombinovaným teplárnám vyrobena i ve Skandinávii a Východní Evropě. Naopak například Francie, Řecko a Irsko vyrábí jen malou část potřebné elektrické energie pomocí tepláren. Největší zastoupení kombinovaných tepláren k uspokojení tepelných nároků v odvětví služeb a v domácnostech je na Islandu a to 93,9 %. I další státy pokrývají



také podstatnou část vyrobeného tepla skrze kombinované teplárny a to Rusko svými 63 %, Švédsko 55 %, Litva 50 %, Finsko 49 % a Polsko 47 %. Nejčastějším typem kombinovaných tepláren v Evropě je parní typ, který pokrývá 52 % produkce tepla a elektrické energie v Evropě. Celých 70 % z celoevropsky vyrobené energie skrze kombinované teplárny je vyrobeno spalováním fosilních paliv. Jak je vidět, tak kombinované teplárny jsou v Evropě celkem běžné. Hlavním důvodem je jejich vysoká účinnost, menší produkce emisí a ekonomická dostupnost. Účinnost kombinované teplárny je 85 % oproti samotné elektrárně, která vyrábí jen elektrickou energii, ta má účinnost asi okolo 55 %. Elektrická energie ve spojení s výrobou tepla je tedy produkována s vyšší efektivností, než kdyby byla vyráběna jen samostatně, což znamená úsporu paliva, menší produkci emisí a tím pádem ekologičtější výrobu energie. Kombinovaná výroba vyprodukuje až o 76 % méně emisí CO<sub>2</sub> v porovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla. Více než 3 000 měst v Evropě využívá kombinovanou výrobu tepelné a elektrické energie, takové rozsáhlé zásobování je například v Paříži (největší v EU), Vídni a také v ruské Moskvě a americkém New Yorku. Rozsáhlé sítě zásobování najdeme ale mimo jiné i v Německu, Švédsku, Finsku, Dánsku, Rakousku a také ve všech státech Východní Evropy. Oproti tomu například ve Velké Británii, Belgii, Francii, Řecku, Irsku, Itálii, Lucembursku, Holandsku, Portugalsku a Španělsku je podíl vytápění kombinovanými teplárnami a CZT většinou menší než 3 %. Výše uvedená Británie je typem země, kde je centralizované vytápění spíše ojedinělé. Města v severní Británii však prosazují teplárny s kombinovanou výrobou tepelné a elektrické energie. Proto, aby mohlo CZT efektivně fungovat, je zapotřebí nejen potencionální dodavatel, ale hlavně konečný uživatel. Pro jeho další rozvoj je nutné najít oblasti, kde je tento druh zásobování teplem či elektřinou ekonomicky proveditelný, vhodné jsou oblasti s tepelnou hustotou větší než 3 000 kW.km<sup>-2</sup>. Kdyby ve všech těchto oblastech v Británii bylo vybudované centralizované zásobování teplem, pokrylo by se tak 20 % celkové tepelné spotřeby v Británii, nyní je k této síti připojeno méně než 0,1 % domácností [14]. Příkladem využití kombinovaných tepláren mimo EU může být Čína, kde jsou tyto teplárny velmi časté, ale bohužel většina z nich používá stále jako hlavní palivo uhlí. Poslední dobou se však v Číně snaží snížit množství spáleného uhlí a nahradit ho například zemním plynem. Proto jsou v kombinovaných teplárnách ve špičkách a nejvíce vytížených měsících (když teplota klesne pod určitou hodnotu) používány plynové kotle. Plynové kotle zvýší celkovou účinnost systému a zároveň sníží v porovnání se spalovaným uhlím množství emitovaných ZL a tím i dopady na životní prostředí [15].

### 9.3 Úspora energie a budoucnost CZT

Společnost se snaží najít optimální cestu, jak redukovat spotřebu energie z důvodu životního prostředí a také kvůli zvyšujícím se cenám energií. Kromě typu zásobování elektrickou energií a teplem, vhodné konstrukce takového zařízení, optimálních počátečních investic, provozních nákladů a použitého paliva je důležité i chování spotřebitelů [20]. Lidské chování (zejména to proenvironmentální) je důležitým faktorem při spotřebě energie. Jde především o komfort, motivaci k úspoře a znalosti o systému vytápění. Některé zdroje uvádí, že chování obyvatel může mít daleko větší vliv na úsporu energie než samotná efektivnost daného zařízení. Energeticky úsporné chování může představovat až 51 % úsporu ve spotřebě tepla, 37 % úsporu ve spotřebě elektřiny a 11 % úsporu ve spotřebě vody ve stejných bytech s rozdílnými nájemníky. Podstatným nedostatkem, který ovlivňuje chování lidí, je deficit potřebných instrukcí jak správně nastavit a používat tepelné zařízení [17]. Důležité je tedy vzdělat a poučit spotřebitele, jak mohou vhodně ovlivnit svoji spotřebu, naučit je úspornému chování a poskytovat jim data o jejich spotřebě [20]. Ve Velké Británii proběhla studie, ve které se nájemníkům nekomerčních objektů (domácností) dal k dispozici dotazník s otázkou: „Co pro Vás znamená komfort?“. 45 % tázaných zaškrtnulo odpověď: teplo. Z toho vyplývá, že teplo je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících pocit komfortu. Obecně vzato, čím větší příjem financí spotřebitelé mají, tím více energie spotřebují, vše také závisí na zvycích a hlavně na znalostech, či neznalostech environmentálních problémů a jejich příčin. Znalosti environmentálních problémů jsou důležitým prekursorem ke změně chování. Největší motivací ke změně zvyků je však stále místo ochrany životního prostředí důvod ušetřit náklady spojené s vytápěním [17].

Vždy bude existovat vztah mezi vypuštěnými emisemi a různými technologiemi a způsoby vytápění. Je velmi těžké se snažit o minimalizaci dvou cílů a najít kompromis mezi nimi. Většinou nemůže být hodnota jednoho cíle snížena, aniž by nedošlo ke zvýšení hodnoty jiného cíle. V reálném světě se potýkáme hned s několika cíli současně, například snížením investičních a provozních nákladů a zároveň minimalizací emitovaného znečištění. Většina ekologických způsobů vytápění však bohužel stále vyžaduje vysoké provozní náklady a naopak [32]. Rozhodnutí je tedy především na lidech a dostatečné dostupnosti finančních prostředků. V mnoha městech Evropy nyní čelí otázce: budovat novou decentralizovanou síť vytápění, či připojit nové budovy ke stávající centralizované síti s její případnou rekonstrukcí?! Odpověď na tuto otázku není však zatím jednoznačná.

Současné trendy směřující k razantním změnám ve využívání půdy povedou ke změnám v počtu obyvatel, změnám spotřeby energie, změnám v množství vypuštěných emisí

a konečně ke změnám kvality ovzduší. V budoucnu bude tedy podstatné zamyslet se nad měnící se strukturou měst a s tím související změnou kvality ovzduší ve městech. Jestli se v budoucnu prosadí spíše decentralizovaný (disperzní) typ měst, či centralizovaný (kompaktní) typ měst, s tím bude také úzce souviset i volba vhodného vytápění nově postavených objektů. To určitě ovlivní rozpad či budování nových CZT. Kromě typu vytápění dojde také ke změnám vyprodukovaných emisí z dopravy v důsledku vzrůstající potřeby dojíždění a cestování v decentralizované městské zástavbě. V budoucnu tedy způsob rozšiřování stávajících měst ovlivní podstatně množství vznikajících emisí [28].

Neméně důležitý je také přístup vlády v jednotlivých zemích. Pokud vláda neučiní žádná rozhodnutí, je to otázka několika let, než dojde v ČR k rozpadu CZT a místo něj vyrostou mnoho komínů táhnoucích se po fasádách domů. Nejvýhodnější by pro stát a hlavně pro úsporu emisí a paliva bylo podporovat kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Výhodou je, že se ze stejného množství vstupní suroviny získá jak teplo, tak elektřina a šetří se tak naše ovzduší. Například v Německu, Polsku, či Slovensku podporují kombinovanou výrobu více než v České republice. EU také podporuje kombinovanou výrobu a to zejména kvůli tomu, že se jedná o šetrnější způsob výroby vzhledem k životnímu prostředí. V dnešní době využívá dodávky tepla skrze CZT asi 1,5 milionu domácností a proto je možný rozpad CZT důležitým energetickým tématem [int 9]. Jak se bude situace v budoucnu vyvíjet, je složité odhadnout. Podle většiny předpokladů nedojde k úplné decentralizaci ani k centralizaci systémů zásobování teplem.

## 10. ZÁVĚR

Dva způsoby výroby tepelné energie, CZT na bázi ZP a decentrální způsob prostřednictvím lokálních domovních plynových kotelen, byly podrobeny na jednom konkrétním případu analýze spočívající v porovnání spotřeby ZP a produkce emisí  $\text{NO}_2$ . Rozpad CZT a jeho náhrada decentralizovanou výrobou tepelné energie v dané oblasti se pozitivně projevuje roční úsporou cca 196 kg emisí  $\text{NO}_2$ . Tři provedené modelové situace rozptylu oxidů dusíku (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) v ovzduší pro každý ze dvou způsobů vytápění v prvním přiblížení potvrdily, že emise  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ), šířící se z CZT, dosahují na analyzovaném území obou sídlišť, v kontextu platných imisních limitů, nepatrně vyšších maximálních hodnot v porovnání s koncentracemi  $\text{NO}_x$  (vyjádřeno jako  $\text{NO}_2$ ) unikajícími z 18ti zdrojů decentralizovaného způsobu výroby tepelné energie. V obou případech leží

plochy maximálních koncentrací mimo sídlištní zástavbu, avšak celkový rozsah těchto ploch je v případě CZT podstatně větší. Téměř ve všech šesti případech této zjednodušené rozptylové studie je většina analyzované plochy sídlišť zatížena koncentracemi  $< 1,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Proto lze konstatovat, že z hlediska ochrany zdraví obyvatel na obou sídlištích není mezi CZT a decentralizovaným způsobem výroby tepelné energie podstatný rozdíl. V obou dvou případech vytápění je však z výstupů patrné, že sídliště Zachar II je imisemi zasaženo o něco více než sídliště Zachar III. Na obou sídlištích je splněn platný imisní limit (viz tabulka IV). Obecně nelze vliv rozpadu CZT na životní prostředí posuzovat pouze z hlediska snížení množství emisí  $\text{NO}_2$  a výsledků rozptylové studie. Aby bylo možné komplexně porovnat centralizované a decentralizované zásobování teplem, musela by taková podrobná analýza zahrnovat například i uhlíkovou stopu, či celý životní cyklus tepelného systému, který začíná výrobou zařízení, jeho dopravou a instalací na určeném místě, získáváním vhodné palivové suroviny, celým provozem zařízení a jeho konečným odstraněním a likvidací. Mnoho emisí totiž vzniká již při výrobě tepelného zařízení a při těžbě, přípravě a transportu palivové suroviny [13, 32]. Tato další analýza by však byla nad rámec rozsahu této práce. Odpojování zákazníků od CZT a budování vlastních zdrojů, které se v poslední době velmi rozrůstá, je motivováno pouze snížením nákladů na vytápění a přípravu teplé vody na straně odběratelů bez ohledu na zdravotní důsledky a vliv na životní prostředí. Nepřipojování nových zákazníků, zejména nově postavených obchodních a kancelářských komplexů k CZT (často vzdálených od stávajících zdrojů CZT řádově jen stovky metrů), je motivováno nejen současnou potřebou kontroly vlastníků nad náklady za energie, ale i pocitem jisté nezávislosti. Oba aspekty potom mají nepříznivý vliv na stávající odběratele, kteří se od CZT odpojit nechtějí nebo nemohou, zvýšením jednotkové ceny tepelné energie a snížením účinnosti stávajícího systému CZT. Odpojování, či připojování nově postavených objektů k CZT může částečně regulovat tzv. územní energetická koncepce obcí, měst a krajů, je-li v konkrétní oblasti přijata. Ta však ve městě Kroměříž i jinde schází. Kroměříž je svou Květnou a Podzámeckou zahradou a Arcibiskupským zámkem členem Seznamu světového kulturního dědictví UNESCO [int 13]. Květná zahrada je od lokality sídliště Zachar II a Zachar III s 18 lokálními domovními plynovými kotelny vzdálena jen cca 350 m. Situace, která proběhla v analyzované lokalitě, probíhá i v dalších sídlištích města. Majitel a provozovatel tepelného hospodářství, společnost SFW, s. r. o., předpokládá, že ukončí svoji činnost nejpozději do konce roku 2015 [44]. V budoucnu tak budou hlavní dominantou města Kroměříž desítky komínů. Tato bakalářská práce se snažila nastínit problematiku rozpadu systémů CZT a jejich náhradu lokálními zdroji tepelné energie na jednom konkrétním případě z pohledu vlivu tohoto děje na životní prostředí. Vzhledem k tomu, že podobný vývoj je i v dalších městech

České republiky, například v některých pražských okrajových lokalitách, zasloužila by si tato problematika zcela jistě pozornost nejen městských samospráv, ale i příslušných ministerstev, orgánů a organizací.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Literatura:

- [1] Alanne K., Saari A. (2006): Distributed energy generation and sustainable development, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, 539 – 558
- [2] Amster E. D., Haim M., Dubnov J., Broday D. M. (2014): Contribution of nitrogen oxide and sulfur dioxide exposure from power plant emissions on respiratory symptom and disease prevalence, *Environmental Pollution*, vol. 186, 20 – 28
- [3] Aste N., Adhikari R.S., Compostella J., Del Pero C. (2013): Energy and environmental impact of domestic heating in Italy: Evaluation of national NO<sub>x</sub> emissions, *Energy Policy*, vol. 53, 353 – 360
- [4] Aste N., Del Pero C. (2012): Impact of domestic and tertiary buildings heating by natural gas in the Italian context, *Energy Policy*, vol. 47, 164 – 171
- [5] Bednář J. (2003): Meteorologie – Úvod do studia dějů v zemské atmosféře, Portál, Praha
- [6] Bednář J., Zikmunda O. (1985): Fyzika mezní vrstvy atmosféry, Academia, Praha
- [7] Brada V. et al. (2006): Energetický audit CZT Kroměříž, SEAP Rokycany s. r. o.
- [8] Braniš M., Hůnová I. eds (2009): Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší, Karolinum, Praha
- [9] Bucek J. (2013): Rozptylová studie Zlínského kraje – Podklad pro územní energetickou koncepci a program snižování emisí a imisí Zlínského kraje, Brno
- [10] Buriánek V., Novotný R., Šrámek V. (2009): Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinku přizemního ozonu (Recenzovaná metodika), *Lesnický průvodce*, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady, no. 6, 10 – 11
- [11] Cetkovský S., Frantál B., Štekl J. et al. (2010): Větrná energie v České republice, Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Brno
- [12] Curti V., Favrat D., Spakovsky M. R. (2000): An environomic approach for the modeling and optimization of a distric heating network based on centralized and decentralized heat pumps, cogeneration and/or furnace. Part II: Application, *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 39, 731 – 741

- [13] Curti V., Spakovsky M. R., Favrat D. (2000): An environomic approach for the modeling and optimization of a distric heating network based on centralized and decentralized heat pumps, cogeneration and/or furnace. Part I: Methodology, *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 39, 721 – 730
- [14] Finney K. N., Zhou J., Chen Q., Zhang X., Chan Ch. et al. (2013): Modelling and mapping sustainable heating for cities, *Applied Thermal Engineering*, vol. 53, 246 – 255
- [15] Haichao W., Wenling J., Lahdelma R., Pinghua Z., Shuhui Z. (2013): Atmosferic environmental impact assessment of a combined distric heating system, *Buildings and Environment*, vol. 64, 200 – 211
- [16] Hartman M., Svoboda K., Veselý V. (1999): Sira při zplyňování uhlí, *Chemické Listy*, Česká společnost chemická (časopis Asociace českých chemických společností), Praha, vol. 93, no. 5, 315 – 319
- [17] Huebner G. M., Cooper J., Jones K. (2013): Domestic energy consumption – What role do comfort, habit, and knowledge about the heating system play?, *Energy and buildings*, vol. 66, 626 – 636
- [18] Hůnová I., Janoušková S. (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha
- [19] Cholewa T., Siuta - Olcha A. (2010): Experimental investigations of decentralized system for heating and hot water generation in a residential bildings, *Energy and buildings*, vol. 42, 183 – 188
- [20] Cholewa T., Siuta-Olcha A., Skwarczyński M. A. (2012): Experimental evaluation of three heating systems commonly used in the residential sector, *Energy and buildings*, vol. 43, 2140 – 2144
- [21] Interní reporting SFW, s. r. o., Kroměříž 2008 – 2013
- [22] Jančík P. (1998): Modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší, Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Ostrava
- [23] Janoušková S., Hůnová I., Šantroch J. (2002): Koncepce imisních limitů pro oxidy dusíku v české legislativě, *Ochrana ovzduší*, Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, Praha, vol. 14, no. 2, 1 – 6

- [24] Jesse L., Cristiane L., Michael A. J. (1996-2007): User's Guide – ISC – AERMOD View – Interface for the U.S. EPA ISC AERMOD Models (The American Meteorology Society – Environmental Protection Agency Regulatory Model), Lakes Environmental Software, Canada
- [25] Kopáček J., Veselý J. (2005): Sulfur and nitrogen emissions in the Czech Republic and Slovakia from 1850 till 2000, *Atmospheric Environment*, vol. 39, 2179 – 2188
- [26] Kraft M., Eikmann T., Kappos A., Künzli N., Rapp R. et al. (2005): The German view: Effects of nitrogen dioxide on human health – derivation of health – related short – term and long – term values, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 208, 305 – 318
- [27] Lollek V. (2008): Odborný posudek č. 541/08/OP „Plynová kotelna PK3, Rumunská č.p. 4064, Kroměříž – Zachar, Výměna plynových kotlů“, E – expert, spol. s r. o.
- [28] Martins H. (2012): Urban compaction or dispersion? An air quality modelling study, *Atmospheric Environment*, vol. 54, 60 – 72
- [29] Matějčíček L., Engst P., Jaňour Z. (2006): A GIS – based approach to spatio-temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data, *Ecological Modelling*, vol. 199, 261 – 277
- [30] Matoušková L., Ostatnická J. (2013): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012, Český hydrometeorologický ústav, Praha
- [31] Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší pro vypracování rozptylových studií podle § 32 odst. 1 písm. e) zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, Ministerstvo životního prostředí
- [32] Molyneaux A., Leyland G., Favrat D. (2010): Environomic multi-objective optimisation of a district heating network considering centralized and decentralized heat pumps, *Energy*, vol. 35, 751 – 758
- [33] Möller B., Lund H. (2010): Conversion of individual natural gas to district heating: Geographical studies of supply costs and consequences for the Danish energy system, *Applied Energy*, vol. 87, 1846 – 1857
- [34] Novák S. (2005): „Koncepce snižování imisí a emisí Zlínský kraj“, Uherský Brod



- [35] Realizační projekt „Sloučení a propojení kotelen PK2 + PK3 = PK23, Rumunská č.p. 4064, Kroměříž – Zachar, SO 01 – Tepelný kanál, SO 02 – Plynová kotelna“, Arekop, s. r. o., 2006, 2007
- [36] Realizační projekt „Plynová kotelna PK3, Rumunská č.p. 4064, Kroměříž – Zachar, Výměna plynových kotlů“, Arekop, s. r. o., 2008
- [37] Rozhodnutí o povolení změny na zdroji a trvalého provozu středního zdroje znečišťování ovzduší, Krajský úřad Zlínského kraje, Odbor životního prostředí a zemědělství, sp. zn. KUSP 74060/2008 ŽPZE–BP, ze dne 13.01.2009
- [38] Seangkiatiyuth K., Surapipith V., Tantrakarnapa K., Lothongkum A.W. (2011): Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO<sub>2</sub> emission from a cement complex, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 23, 931 – 940
- [39] Skřehot P. (2008): Modelování rozptylu toxických látek v atmosféře při průmyslových haváriích, Diplomová práce PřF UK
- [40] Šilháková D. (2008): Protokol o autorizovaném měření emisí č. 391/08, EKOME, spol. s r. o.
- [41] Šilháková D. (2011): Protokol o autorizovaném měření emisí č. 401/11, EKOME, spol. s r. o.
- [42] Šober E. et al. (2013): Domovní plynová kotelna Kroměříž, Francouzská 4035 – 36
- [43] Ústní sdělení Ing. Luboš Matějček, Ph.D.
- [44] Ústní sdělení společnosti SFW, s. r. o.
- [45] Zákon č. 201/2012 Sb, o ochraně ovzduší, Sbírka zákonů 2.5.2012
- [46] Zákřecký L. (2013): Protokol o autorizovaném měření plynných emisí CO a NO<sub>x</sub> č. 291/2013

### **Internetové zdroje:**

[int 1] AERMOD View Overview. Lakes Environmental Software [online]. Dostupné na: <<http://www.weblakes.com/products/aermod/index.html>> [23.3.2014]

[int 2] Burden of disease from Household Air Pollution for 2012, Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012, Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012. World Health Organization 2014 [online]. Dostupné na: <[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/FINAL\\_HAP\\_AAP\\_BoD\\_24March2014.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1)> [26.3.2014]

[int 3] Cenová rozhodnutí. Energetický regulační úřad [online]. Dostupné na: <[http://www.eru.cz/dias-browse\\_articles.php?parentId=115](http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=115)> [27.11.2013]

[int 4] Co to je. Teplárenské sdružení České republiky (sdružení podnikatelů v teplárenství) [online]. Dostupné na: <<http://www.tscr.cz/?pg=0720&1386509570#>> [25.11.2013]

[int 5] Emise. Vysoká škola báňská [online]. Dostupné na: <[http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/Emise.pdf](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Emise.pdf)> [6.12.2013]

[int 6] Hermenka J., Hrdlička F. (2004): Emise z kotelen a ochrana ovzduší (I). Technické zařízení budov [online]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/2294-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-i>> [6.12.2013]

[int 7] Hrudová E. : Abionozologie pro rostlinolékaře. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně – Agronomická fakulta [online]. Dostupné na: <[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_sklad/frvs/hrudova/index.htm](http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm)> [10.3.2014]

[int 8] Chyba A. (2005): Hospodárnost provozu zdrojů tepla. Technické zařízení budov [online]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/2477-hospodarnost-provozu-zdroju-tepla>> [23.11.2013]

[int 9] Konečná K. (2010): Konečná: Opravdu chce ČSSD likvidovat teplárenství a zvyšovat náklady na obnovitelné zdroje? Parlamentní listy [online]. Dostupné na: <<http://www.parlamentnilisty.cz/politika/politici-volicum/Konecna-Opravdu-chce-CSSD-likvidovat-teplarenstvi-282350>> [14.4.2014]

[int 10] Kotek P., Purkert M., Šancová L., Vogel P. (2011): Alternativa k centralizovanému zásobování teplem pro panelové domy. Technické zařízení budov [online]. Dostupné na:

<<http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/7234-alternativa-k-centralizovanemu-zasobovani-teplem-pro-panelove-domy>> [27.3.2014]

[int 11] Legionella a prostředí. Legionella Pneumophylis-Legionella a vše o ni [online]. Dostupné na: <<http://legionella.cz/>> [13.12.2013]

[int 12] Mapy.cz (Seznam.cz) [online]. Dostupné na: <[www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)> [18.11.2013]

[int 13] Město Kroměříž [online]. Dostupné na: <<http://www.mesto-kromeriz.cz/uvod.asp?modul=obcan>> [23.11.2013]

[int 14] Ministerstvo životního prostředí České republiky (1996). Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě – Oxid dusičitý. Ekologické centrum Most [online]. Dostupné na: <<http://www.ecmost.cz/ovzdusi.php?page=no2>> [6.12.2013]

[int 15] Ministerstvo životního prostředí České republiky (1996). Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě – Oxid uhelnatý. Ekologické centrum Most [online]. Dostupné na: <[http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm)> [6.12.2013]

[int 16] On-line data z Volar na Prachaticku [online]. Dostupné na: <<http://www.pocasi-volary.cz/aktualne.php>> [14.4.2014]

[int 17] Pojmové oblasti – environmentální bezpečnost. Ministerstvo vnitra České republiky [online]. Dostupné na: <<http://www.mvcr.cz/clanek/environmentalni-bezpecnost.aspx>> [10.3.2014]

[int 18] Skřehot P., Říman R. (2007): Modelování úniku a rozptylu nebezpečných plynných látek v atmosféře. Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí – Příspěvky přednesené na konferenci v Úpici ve dnech 22. – 24.5.2007 [online]. Dostupné na: <<http://www.cbks.cz/upice2007/119.pdf>> [ 2.3.2014]

[int 19] Slovníček pojmů. Čisté nebe [online]. Dostupné na: <<http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu>> [10.3.2014]

[int 20] Spalné teplo. RWE GasNet, s. r. o. [online]. Dostupné na: <<http://www.rwe-distribuce.cz/cs/spalne-teplo/jmp/>> [25.11.2013]

[int 21] Vágnerová M. (2011): Znečišťující látky v ovzduší. Ekologické centrum Most, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s. [online]. Dostupné na: <<http://www.ohk-most.cz/Files/OHK/Most/VUHU-Nezkracenaverze.pdf>> [6.12.2013]

[int 22] Viessmann, spol. s r. o. [online]. Dostupné na: <<http://www.viessmann.cz/>> [23.11.2013]

[int 23] What does the average wind speed really mean? Caleb Engineering, LLC. [online]. Dostupné na: <<http://www.calebengineering.com/how-much-wind.html>> [6.5.2014]

[int 24] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a související předpisy. Technické zařízení budov [online]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-a-souvisejici-predpisy>> [6.12.2013]

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BRICS – společné hospodářské uskupení zemí Brazílie, Ruska, Indie, Číny a Jižní Afriky

CZT – centralizované zásobování teplem

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČUZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DPH – daň z přidané hodnoty

EIA – Environmental Impact Assessment

EU – Evropská unie

GWP – Global Warming Potential, globální oteplovací potenciál

NP – nadzemní podlaží

PK – plynová kotelna

REZZO – Registr emisních zdrojů znečištění ovzduší

SVJ – společenství vlastníků jednotek

TE – tepelná energie

WHO – World Health Organization

ZL – znečišťující látka

ZP – zemní plyn