

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

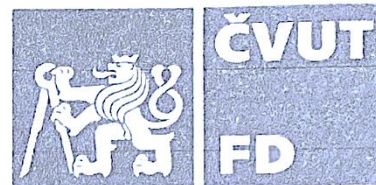
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Tomáš Hochman

Využití bioreaktoru pro zlepšení kvality ovzduší v hlavním  
městě Praze

Diplomová práce

**2021**



K620..... Ústav dopravní telematiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Tomáš Hochman**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Využití bioreaktoru pro zlepšení kvality ovzduší  
v hlavním městě Praze**

Název tématu (anglicky): Use of Bioreactor to Improve Air Quality in the Capital City  
of Prague

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Zmapování aktuálního stavu produkovaných emisí na území Prahy a České republiky.
- Analýza vlastností, funkcí, výhod i nevýhod bioreaktoru a provedení průzkumu trhu za účelem zjištění potenciálních dodavatelů.
- Provedení analýzy rizik využití bioreaktoru a navržení vhodného umístění.
- Hodnocení metodou CBA, závěr a doporučení.



- Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: NEUBERGOVÁ, Kristýna. Ekologické aspekty dopravy. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03131-4.  
SIEBER, Patrik. Analýza nákladů a přínosů - metodická příručka. Praha: MMR, 2004. 45 s  
ŠEFČÍK, Vladimír. Analýza rizik. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-696-8.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Patrik Horažďovský**  
**Ing. Přemysl Derbek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **11. června 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.  
vedoucí  
Ústavu dopravní telematiky



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Tomáš Hochman  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 11. června 2020

## Prohlášení

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

## Poděkování

Děkuji svým vedoucím Ing. Přemyslu Derbekovi, Ph.D. a Ing. Patriku Horažďovskému za vstřícné jednání a ochotu předávat dál cenné znalosti při tvorbě diplomové práce. Děkuji své rodině za podporu při studiu.

V Praze dne

.....

## Abstrakt

Tato práce se skládá z analýzy současného stavu kvality ovzduší primárně v hlavním městě Praze, kde bylo zjištěno, že obecně nedochází k zásadnímu překračování imisních limitů. Sekundárně se kapitola věnuje i kvalitě ovzduší na úrovni České republiky. Následovala řešeršní část ohledně fotobioreaktorů, ze které vyplynulo doporučené využití u podniků se značným množstvím odpadního plynu a tepla. Z poznatků získaných v předešlé kapitole byly navrženy dva podniky pro potenciální umístění fotobioreaktorů na území Prahy, což bylo posléze ověřeno metodou SAFMEA. Z metody vyplynulo nepatrně nižší riziko u spalovny odpadu než u čistírny odpadních vod, ale ani jedna z variant neobsahovala nepřijatelná rizika. Nakonec byla zpracována Analýza nákladů a přínosů.

**Klíčová slova**      **fotobioreaktor, mikrořasa, SAFMEA, CBA, znečištění ovzduší**

## Abstract

This master thesis consists of air quality current state primarily in the capital city of Prague, where it was found that there is generally no significant exceedance of air pollution limits. Secondly the chapter deals with air quality at the level of the Czech Republic. This was followed by a photobioreactors research section which revealed recommended use in factories with significant amount of waste gas and heat. From the findings obtained in the previous chapter, two factories were suggested for photobioreactors potential placement in Prague, which was later verified by the SAFMEA method. This method showed slightly lower risk for the waste incinerator than for wastewater treatment plants, but none of the variants contained unacceptable risks. Finally, a Cost-Benefit analysis was written up.

**Keywords**      **photobioreactor, microalgae, SAFMEA, CBA, air pollution**

# Obsah

Seznam zkratk .....	8
Úvod .....	10
1 Aktuální stav produkovaných emisí na území Prahy a ČR .....	12
1.1 Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší .....	13
1.2 Strategické dokumenty a akční plány .....	14
1.3 Emise na území Prahy .....	14
1.3.1 Suspendované částice PM <sub>10</sub> a PM <sub>2,5</sub> .....	14
1.3.2 Benzo[a]pyren .....	15
1.3.3 Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> ) .....	16
1.3.4 Přízemní ozon (O <sub>3</sub> ) .....	16
1.3.5 Ostatní látky .....	17
1.4 Emise na území České republiky .....	17
1.4.1 Oxid siřičitý SO <sub>2</sub> .....	18
1.4.2 Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> .....	19
1.4.3 Oxid uhelnatý CO .....	20
1.4.4 Oxidy dusíku NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> ) .....	21
1.4.5 Těžké kovy .....	22
1.4.6 Benzo[a]pyren C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> .....	24
1.4.7 Benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> .....	25
1.4.8 Přízemní ozon O <sub>3</sub> .....	26
1.4.9 Suspendované částice PM .....	26
1.5 Shrnutí kapitoly .....	28
2 Analýza bioreaktoru .....	29
2.1 Otevřené kultivační systémy .....	30
2.2 Uzavřené kultivační systémy – bioreaktory .....	32
2.3 Řasy .....	36
2.3.1 Mikroskopické řasy .....	36

2.3.2	Makroskopické řasy .....	37
2.4	Parametry růstu řas .....	38
2.4.1	Světlo .....	38
2.4.2	Nutrienty .....	40
2.4.3	Oxid uhličitý .....	40
2.4.4	Teplota .....	42
2.5	Systémy kultivace mikrořas k zachycování CO <sub>2</sub> .....	44
2.6	Výhody a nevýhody .....	47
2.7	Průzkum trhu .....	48
2.8	Shrnutí kapitoly.....	49
3	Analýza rizik – SAFMEA.....	50
3.1	Navržení potenciálně vhodných lokalit.....	50
3.2	Teoretická část .....	53
3.2.1	Předmět a cíl analýzy metodou SAFMEA.....	54
3.2.2	Charakteristika metody SAFMEA.....	54
3.2.3	Základní prvky .....	54
3.3	Zabezpečení analýzy SAFMEA .....	54
3.3.1	Rizikový analytik (RA).....	54
3.3.2	Tým expertů.....	54
3.4	Vlastní postup.....	55
3.4.1	Příprava.....	55
3.4.2	Brainstorming .....	55
3.4.3	Účast expertů .....	57
3.4.4	Stupnice hodnocení a přijatelnost rizik.....	58
3.4.5	Výstup analýzy .....	59
3.5	Shrnutí a doporučení k umístění .....	60
4	Hodnocení metodou CBA .....	62
4.1	Teoretická část k metodě CBA.....	62

4.2	Vymezení základních pojmů .....	63
4.3	Specifikace projektu.....	64
4.3.1	Co je předmětem investice .....	64
4.3.2	Kde a jak by byl projekt realizován.....	64
4.3.3	Jaké služby nebo produkty by měly být zajištěny.....	64
4.3.4	Jaké jsou představy investora o následném provozu investice .....	64
4.3.5	Jaké jsou předpokládané fáze projektu.....	65
4.4	Vymezení beneficentů .....	66
4.5	Popis nulové a investiční varianty .....	67
4.6	Identifikace nákladů a přínosů .....	67
4.7	Oceňování nákladů a přínosů .....	68
4.7.1	Neocenitelné efekty .....	68
4.7.2	Stanovení ceny trhem.....	68
4.7.3	Stanovení ceny pomocí náhražkových trhů .....	69
4.7.4	Kontingentní ohodnocování .....	69
4.7.5	Stínové ceny.....	69
4.8	Společenská diskontní sazba .....	69
4.8.1	Diskontní sazba .....	69
4.8.2	Vazba reálné a nominální diskontní sazby.....	70
4.9	Kritériální ukazatele CBA.....	70
4.9.1	Současná hodnota.....	70
4.9.2	Čistá současná hodnota .....	71
4.9.3	Index rentability .....	72
4.9.4	Vnitřní výnosové procento .....	72
4.9.5	Další ukazatele .....	73
4.10	Výstup CBA .....	73
4.10.1	Přínosy .....	73
4.10.2	Náklady .....	74



4.10.3 Finanční analýza .....	75
4.11 Shrnutí kapitoly a doporučení .....	76
5 Závěr .....	77
Použité zdroje.....	79
Seznam obrázků.....	87
Seznam tabulek.....	89
Seznam rovnic.....	90
Seznam příloh.....	91

## Seznam zkratek

Zkratka	Popis
a.s.	akciová společnost
CAPEX	Capital expenditures
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
DOSED	Databáze oceněných socio-ekonomických dopadů
DP	Diplomová práce
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
IAD	Individuální automobilová doprava
MHMP	Magistrát hlavního města Prahy
Mikrobiologický ústav AV ČR	Mikrobiologický ústav Akademie věd České republiky
mRPN	Mean Risk Priority Number
MS Teams	Microsoft Teams
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
OICT	Operátor ICT, a.s.
OOP	odbor ochrany prostředí
OPEX	Operating expense
OSN	Organizace spojených národů
PM	Particulate matter
PR	Public relations
PS	Pražské služby, a.s.
PVaK	Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
RA	Rizikový analytik
RHMP	Rada hlavního města Prahy
RPN	Risk Priority Number
s.r.o.	společnost s ručením omezeným

SAFMEA	Statistical Failure Mode and Effect Analysis
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
ÚVGZ	Ústav výzkumu globální změny
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadu

## Úvod

V posledních dekáдах se o životním prostředí a kvalitě ovzduší hovoří stále intenzivněji. Zdá se, že tato slovní spojení zpravidla rozdělují společnost svými názory na dva protichůdné tábory. Můj osobní názor je, že svět není černobílý a nelze jednoduše definovat, co je správné a co špatné. Proto vnímám potřebu nalezení rozumného kompromisu. Ukazuje se však, že pokud je obecným cílem snížení emisí, je nezbytné k problematice přistupovat obzvláště objektivně a nezaujatě. Ať se nám to líbí nebo ne, problematika se nás všech dotýká. Příkladem může být nejčastěji právě IAD nebo probíhající debaty o ukončení provozu uhelných elektráren v ČR. Téma diplomové práce jsem si zvolil na základě myšlenky obyvatele hl. m. Prahy ohledně fotobioreaktorů (dále jen bioreaktor), kterou obdržela společnost OICT skrze platformu Mám nápad. Tato platforma umožňuje jednoduše sdílet ideje a nápady obyvatel podněcující inovace, využití inteligentních řešení nebo návrhy pro zlepšení v hl. m. Praze přímo s projektovou kanceláří OICT Smart Prague. Karta zmiňované myšlenky se odkazuje na zahraniční projekty, kde je tento systém uplatněn s cílem zlepšit kvalitu ovzduší. V písemném vyjádření zástupců OOP MHMP pro OICT byla jednoznačně naznačena náklonnost k rozvoji tohoto nápadu a shromáždění více informací, neboť odkazované zahraniční projekty jsou spíše laboratorně/experimentálního charakteru. Dne 9. 12. 2020 došlo k předložení nápadu Komisi RHMP pro rozvoj konceptu Smart Cities. Ten nebyl schválen kvůli nedostatku informací s doporučením vypracovat projektový záměr a posléze ho předložit Komisi ke schválení. Shromáždění podrobných informací o bioreaktorech a dalších způsobech kultivace mikroskopických řas včetně analýzy je proto přirozeně jedním z výstupů této práce. Motivací ke zvolení tohoto tématu bylo jednak propojení praktických požadavků s akademickou půdou, přičemž tato práce může sloužit i jako vstupní materiál pro OICT a OOP MHMP při tvorbě projektového záměru bioreaktoru. Druhotnou motivací poté vlastní nelhostejnost k samotnému životnímu prostředí a snaha o prozkoumání nových možností snižování emisí. Jelikož se mi tato problematika jeví jako běh na dlouhou trať, o to víc vnímám, že souvisí s mladší generací. Přestože je téma od dopravního inženýrství, respektive Fakulty dopravní na první pohled poměrně vzdálené, existuje však souvislost s konceptem chytrých měst, což je můj zvolený magisterský projekt. Systém pro kultivaci mikroskopických řas – bioreaktor totiž spadá do oblasti jednoho z pilířů konceptu chytrých měst a sice životního prostředí. V Praze se tento pilíř označuje názvem Lidé a městské prostředí. Oblasti životního prostředí a dopravy jsou poměrně spjaté. Jeden z referovaných projektů karty nápadu byl umístěn u frekventované pozemní komunikace v Mexiku, kde bylo cílem snížení znečišťujících látek projíždějících vozidel. Předpokládám tedy, že bioreaktor může nalézt své uplatnění i v některých oblastech dopravy.

Jako první cíl si stanovuji prozkoumání současného stavu ovzduší v hl. m. Praze i v rámci ČR a vyzdvíhnutí potřeb obyvatelů města oproti globálním potřebám. Druhým cílem je rešeršní část ohledně bioreaktorů, kde je záměrem popsat jejich vlastnosti, funkce, principy a snaha ověřit, zdali některé funkce odpovídají potřebám obyvatel města. Třetím cílem je navržení potenciálně vhodných lokalit k umístění v rámci hl. m. Prahy a následné posouzení z hlediska rizik. Posledním, čtvrtým cílem je Analýza nákladů a přínosů, kde je mojí snahou ověřit ekonomickou stránku provozu bioreaktoru.

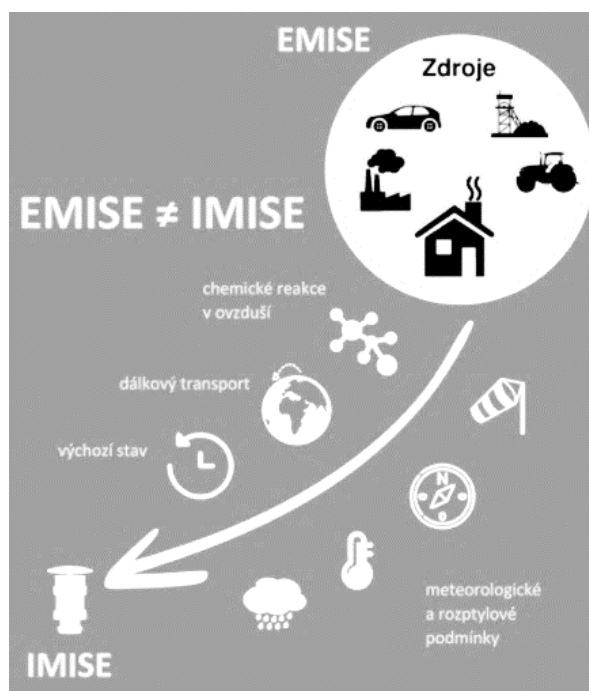
# 1 Aktuální stav produkovaných emisí na území Prahy a ČR

Tato kapitola by měla primárně nastínit, jaké jsou nejzásadnější znečišťující látky z hlediska obyvatel města. Znalost této informace později pomůže posoudit vhodnost bioreaktoru, respektive zdali existují vlastnosti bioreaktoru, které se shodují s potřebami rezidentů.

Pro začátek je na místě pochopit rozdíl mezi emisemi a imisemi. Emise jsou znečišťující chemické látky, které jsou v různých koncentracích vylučovány přímo ze zdroje v jeho místě. Zdrojem může být třeba výfuk automobilu nebo komín.

Imise oproti tomu přímo vdechujeme poté, co se emise ze svých zdrojů rozptýlí v ovzduší, přičemž do tohoto procesu vstupují další faktory. Zejména jsou to meteorologické podmínky, jako rychlost větru a teplotní zvrstvení ovlivňující rozptyl látek v horizontálním a vertikálním směru, ale také srážky. Do dalších faktorů spadá dálkový transport látek od zdroje nebo chemické reakce v ovzduší [1]. Rozdíl mezi emisemi a imisemi vysvětluje Obrázek 1.

Imisní limit znamená nejvyšší přípustná hodnota hmotnosti znečišťující látky na jednotku objemu, ať už průměr nebo maximum při standardním tlaku a teplotě za definovaný časový interval. U některých se uvádí maximální počet opakovaní překročení limitu za definovaný časový interval. Imisní limity vznikly za účelem ochrany lidského zdraví, ekosystémů a vegetace. Jsou definovány zákonem č. 201/2012 Sb. [2]. Konkrétní hodnoty imisních limitů uvádí Tabulka 1 až Tabulka 4.



**Obrázek 1 - emise ≠ imise [1]**

**Tabulka 1 - imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení [2]**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO <sub>2</sub>	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
PM <sub>10</sub>	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
PM <sub>2,5</sub>	kalendářní rok	12	17	20 (od roku 2020)*
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
Benzen	kalendářní rok	2	3,5	5

**Tabulka 2 - imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace [2]**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	rok a zimní období (1.10.-31.3.)	8	12	20
NO <sub>x</sub>	kalendářní rok	19,5	24	30

**Tabulka 3 - imisní limity pro ochranu zdraví – celkový obsah v částicích PM<sub>10</sub> [2]**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ng.m <sup>-3</sup> ]		Imisní limit [ng.m <sup>-3</sup> ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
As	kalendářní rok	2,4	3,6	6
Cd	kalendářní rok	2	3	5
Ni	kalendářní rok	10	14	20
Benzo(a)pyren	kalendářní rok	0,4	0,6	1

**Tabulka 4 - imisní limit pro troposférický ozón [2]**

	Časový interval	Imisní limit
O <sub>3</sub>	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ max. 25x průměr za 3 roky
AOT40	vypočten z 1h hodnot v období květen–červenec	18 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ průměr za 5 let

## 1.1 Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší

V souladu se zákonem č. 86/2002 Sb. jsou v ČR zřízeny Registry emisí a zdrojů znečištění ovzduší (REZZO). Ty jsou děleny na stacionární a mobilní, přičemž stacionární jsou dále děleny dle velikosti a významu. Velké zdroje znečišťování mohou evokovat největší problém, faktem však je, že jsou pod největším drobnohledem. Paradoxně jsou to právě mobilní a malé zdroje (lokální topeniště), které významně přispívají znečišťování ovzduší [3].

- Rezzo 1 – velké zdroje znečišťování (cca 2200)
- Rezzo 2 – střední zdroje znečišťování (cca 30 000)
- Rezzo 3 – malé zdroje znečišťování (lokální topeniště)
- Rezzo 4 – mobilní zdroje znečišťování

## 1.2 Strategické dokumenty a akční plány

V rámci hl. m. Prahy byl připravován strategický dokument, Akční plán Smart Prague 2030, který je v souladu s vyhlášením klimatického závazku schváleného dle usnesení Zastupitelstva hl. m. Prahy č. 8/42 ze dne 20.6.2019. Zastupitelstvo hl. m. Prahy tímto schválilo klimatický závazek, tj. cíl snížit emise CO<sub>2</sub> v hl. m. Praze o minimálně 45 % do roku 2030 (oproti roku 2010) a dosáhnout nulových emisí CO<sub>2</sub> nejpozději do roku 2050 [4]. Na národní úrovni je dalším příkladem strategického dokumentu Politika ochrany klimatu v ČR vydaný MŽP ČR [5]. Na Evropské i světové úrovni je pak platná Pařížská dohoda v rámci OSN, ke které se ČR zavázala 4.listopadu 2017 [6]. Ta si klade za cíl snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 o nejméně 40 % oproti roku 1990. Během summitu Evropské rady v prosinci 2020 však došlo k posílení cíle na hodnotu nejméně 55 % na úrovni EU [7].

## 1.3 Emise na území Prahy

Z pohledu znečištění ovzduší Praha spadá mezi nejzatíženější oblasti. Příčinou jsou jak antropogenní, tak přírodní faktory. Přírodním faktorem je samotná poloha a členitý terén, např. údolí řeky Vltavy bývá znečištěním zatíženo zejména v zimním období, to souvisí s teplotními inverzemi a akumulací nežádoucích látek v přízemní části atmosféry. Do antropogenních faktorů pak jednoznačně spadá doprava, přičemž Praha má významnou dopravní polohu nejen z národního, ale i z mezinárodního hlediska. Dalšími antropogenními příklady jsou průmyslové závody a spotřeba pevných paliv při vytápění nemovitostí. Zátěž z lokálních topenišť se týká převážně okrajových částí města [8].

V rámci Prahy je v databázi REZZO 1 a REZZO 2 v současnosti přibližně 1940 provozoven podílejících se na znečišťování ovzduší. Nejvyšší podíl mají provozovny Cementárna Radotín, ZEVO Malešice, MITAS, a.s., ale také např. ÚČOV PVaK, kde vznikají emise z výroby elektrické energie.

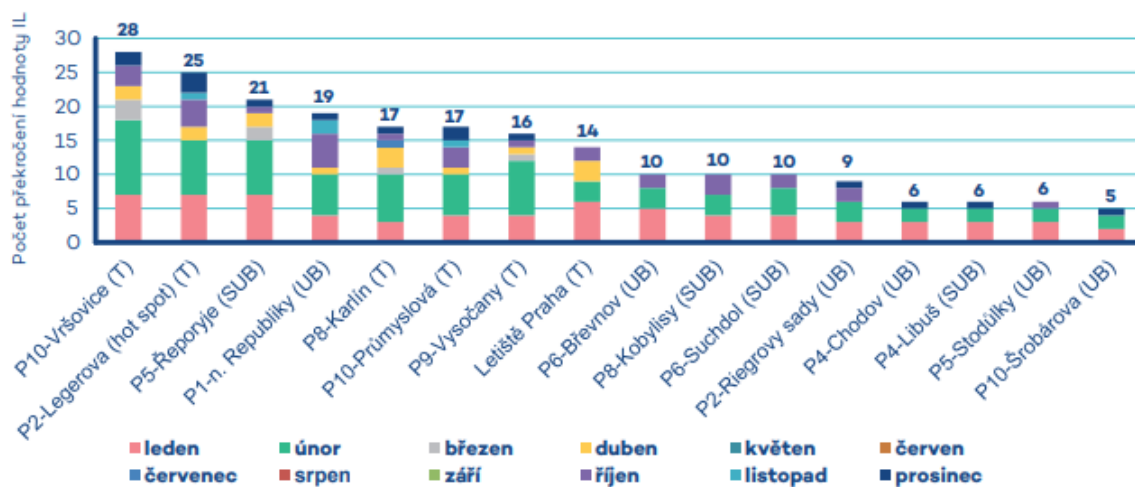
Praha je oproti ostatním aglomeracím specifická v tom, že znečištění ovzduší se v rámci ČR týká nejvyššího počtu lidí. V roce 2019 obecně došlo ke zlepšení situace z důvodů hlavně příznivých rozptylových podmínek, obnovy vozového parku a obměny kotlů v domácnostech.

### 1.3.1 Suspendované částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>

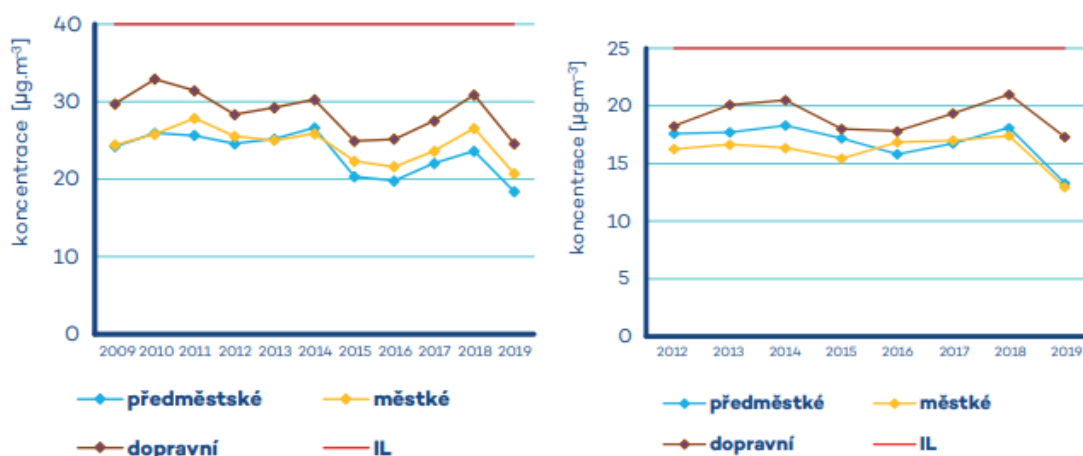
V roce 2019 v rámci Prahy nedošlo na žádné z 16 měřicích stanic k překročení imisního limitu průměrné 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub>. V předchozích letech k překročení docházelo zejména v dopravně vytížených lokalitách. Roční imisní limity v roce 2019 pro PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> také nebyly překročeny, stejně jako v předchozích letech. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v měsících lednu a únoru, což je přisuzováno nepříznivým podmínkám. Nejčteněji docházelo k překročení imisního limitu v lokalitě Praha 10 – Vršovice, ostatní hodnoty lokalit ukazuje



Obrázek 2. Historický vývoj koncentrací pak ukazuje Obrázek 3, na něm je zřejmý významný meziroční pokles oproti roku 2018 [8].



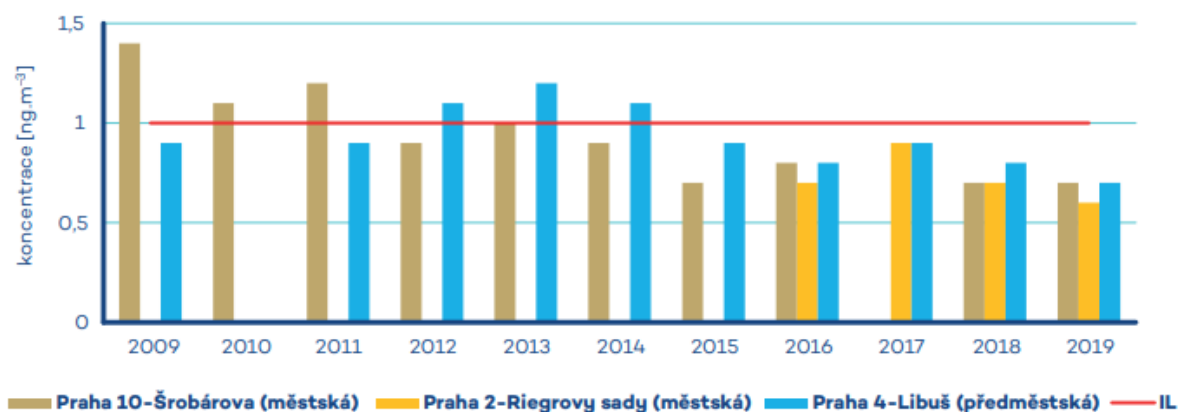
**Obrázek 2 - Počet dní s koncentracemi  $PM_{10} > 50 \mu g.m^{-3}$ , aglomerace Praha (2019) [8]**



**Obrázek 3 – Historický vývoj koncentrací na jednotlivých typech stanic  $PM_{10}$  (vpravo) a  $PM_{2,5}$  (vlevo) [8]**

### 1.3.2 Benzo[a]pyren

Během roku 2019 nedošlo k překročení imisního limitu pro roční průměrnou koncentraci na žádné ze 3 stanic. Naměřené hodnoty byly nejnižší na období 2009-2019. Důvodem jsou nezvykle vysoké teploty v zimních měsících a poměrně dobré rozptylové podmínky ke konci roku 2019. K překročení imisního limitu už nedošlo pátým rokem na žádné z měřících stanic v rámci Prahy viz Obrázek 4 [8].

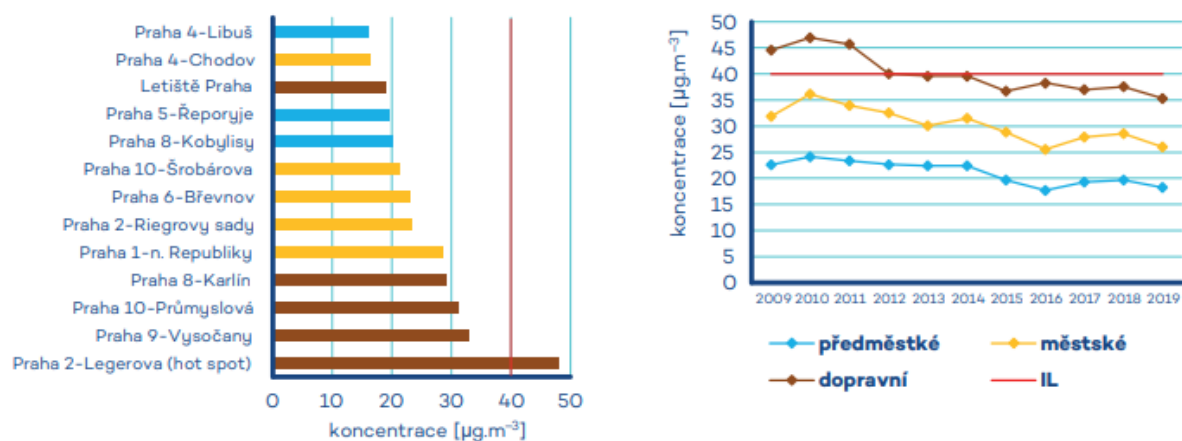


**Obrázek 4 - Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu v letech 2009–2019, aglomerace Praha [8]**

### 1.3.3 Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>)

V roce 2019 nedošlo k překročení hodinového imisního limitu, přičemž data byla vyhodnocena z 13 měřících stanic. Nejvyšší hodnota 145,6  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  byla naměřena u měřící stanice Legerova – Praha 2 na konci letních prázdnin.

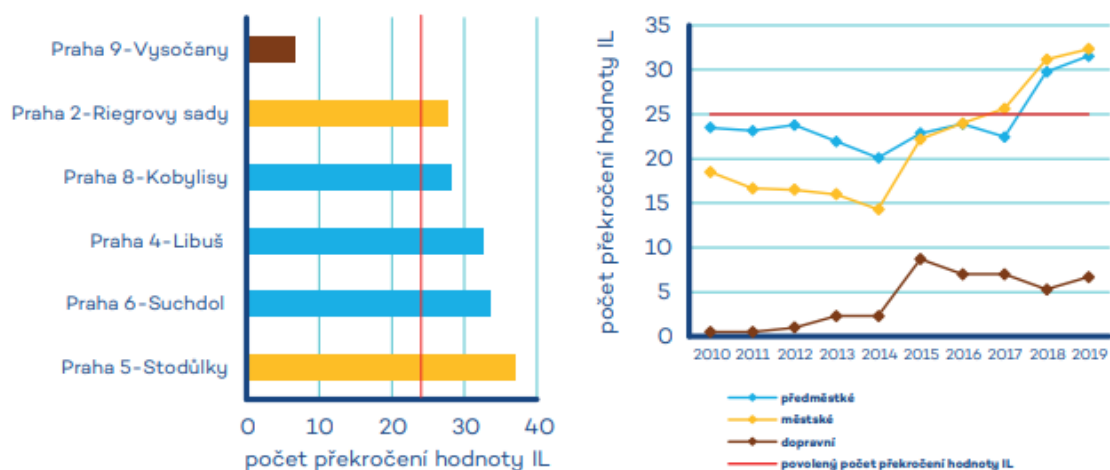
Průměrný roční imisní limit byl překročen o 20 % právě na stejné lokalitě. Příčinou jsou samozřejmě emise z dopravy [9]. Data k ostatním měřícím stanicím a dlouhodobě klesající trend vývoje koncentrací zobrazuje Obrázek 5 [8].



**Obrázek 5 - Průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub> v roce 2019 a vývoj koncentrací na jednotlivých typech stanic v letech [8]**

### 1.3.4 Přizemní ozon (O<sub>3</sub>)

V roce 2019 byl imisní limit překročen na 5 z 6 měřících stanic. Nejvyšší hodnota byla dosažena v lokalitě Praha 5 – Stodůlky. Obrázek 6 zobrazuje rostoucí trend počtu překročení hodnoty imisního limitu. To je dáno převážně atypicky vysokými teplotami a srážkově podnormálních letních měsíců spolu s dalšími příznivými podmínkami pro vznik ozonu, přičemž rok 2019 dosáhl maximálních hodnot v období od roku 2010 [8].



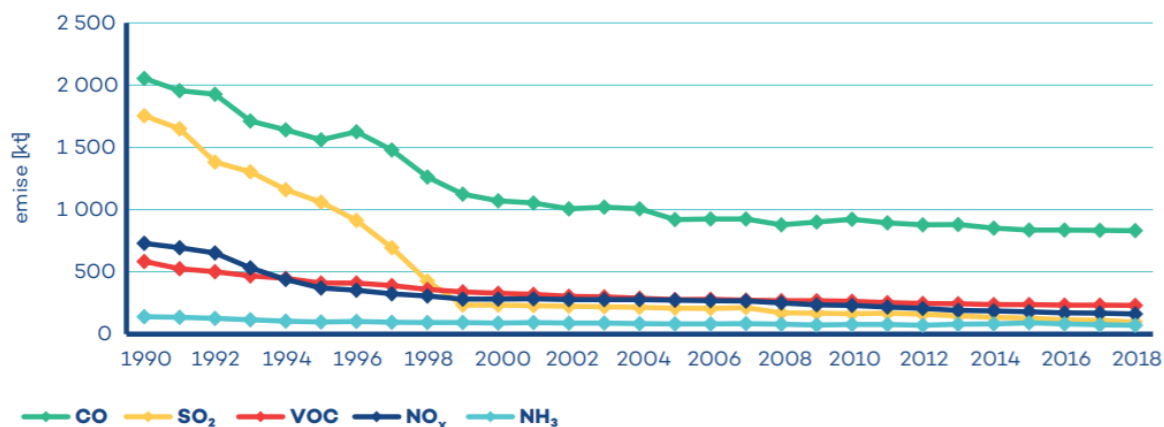
**Obrázek 6 - Počty překročení hodnoty imisního limitu O<sub>3</sub> v průměru za tři roky v letech 2010–2019, aglomerace Praha [8]**

### 1.3.5 Ostatní látky

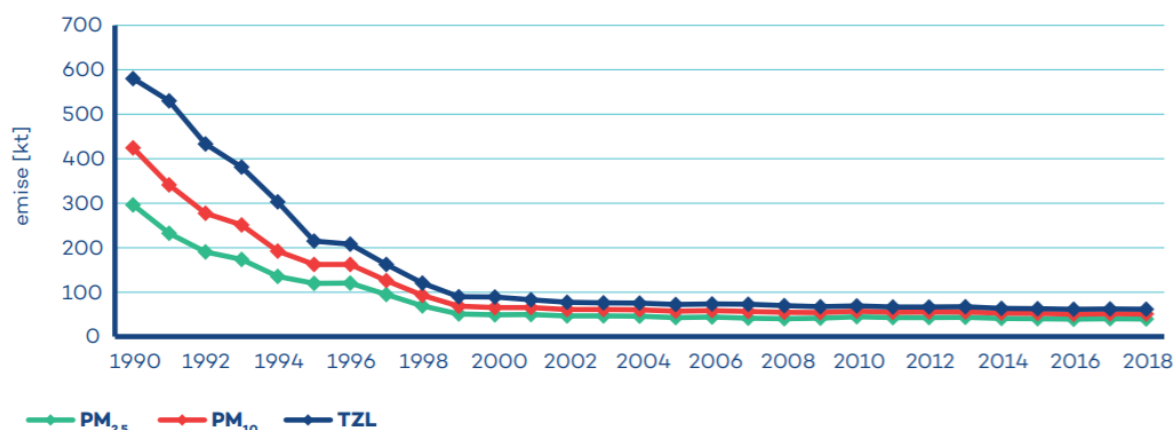
U ostatních znečišťujících látek (CO, SO<sub>2</sub>, benzen, těžké kovy), na které se vztahuje legislativa ve formě imisních limitů dlouhodobě nedochází k překračování [8].

## 1.4 Emise na území České republiky

Pro celkový přehled o emisích na území ČR jsou uvedeny Obrázek 7 a Obrázek 8. Z nich je patrný nejstrmější pokles v poslední dekádě minulého století. Za poslední 2 dekády se pokles výrazně zpomalil a v tomto měřítku osy y již rozdílů nejsou tak markantní.



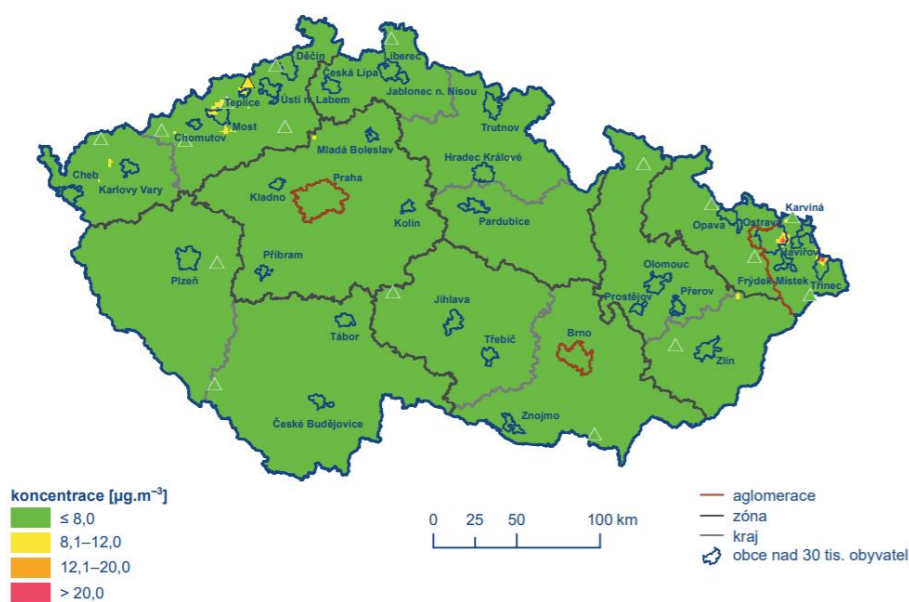
**Obrázek 7 - Vývoj celkových emisí hlavních znečišťujících látek, 1990-2019**



**Obrázek 8 - Vývoj celkových emisí částic, 1990-2018**

### 1.4.1 Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>

V ovzduší oxiduje vzdušným kyslíkem za přítomnosti vody na kyselinu sírovou, která je spolu s kyselinou siřičitou, tak vznikají tzv. kyselá deště (depozice). V roce 2019 došlo k překročení horní meze pro posuzování roční průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> jenom na malých plochách Ústeckého a Moravskoslezského kraje viz Obrázek 9 [10]. Mezi přímé negativní vlivy oxidů síry patří zvýšená koroze kovů, narušování omítek budov, poškozování uměleckých děl (soch) a památek, opadávání stromů, narušení fotosyntézy reakcí s chlorofylem (tj. toxické pro rostliny) a změna kyselosti (pH) půdy i vody, což vede k úhynu rostlin a živočichů. Ve vztahu k lidskému zdraví působí dráždivě na horní cesty dýchací, způsobuje kašel, edém plic, záněty průdušek, ale i astma. V dlouhodobém hledisku negativně působí na krevní oběh, dochází k rozedma plic a k poškození srdečního svalu [10].

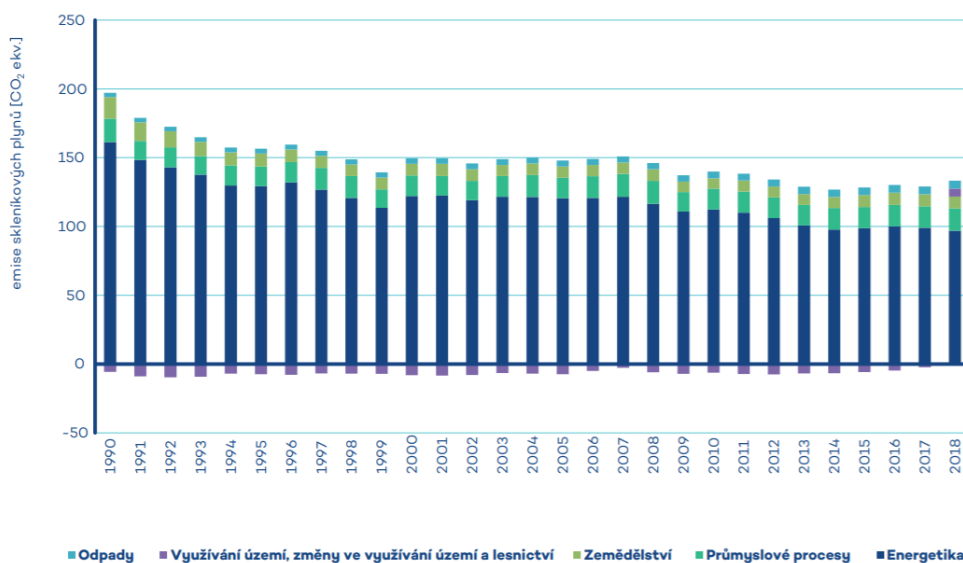


**Obrázek 9 - roční průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> (2019) [10]**

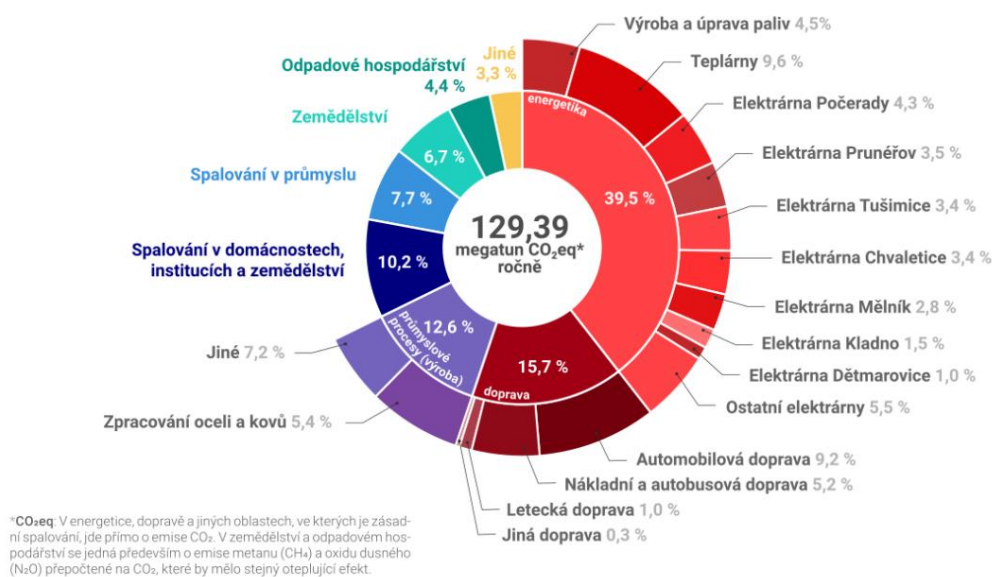
## 1.4.2 Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>

Je považován za nejdůležitější skleníkový plyn, protože nepřímo ovlivňuje planetární procesy. K tomu dochází tak, že krátkovlnné sluneční paprsky dopadající na Zemi se po odrazu změň na dlouhovlnné. Ty jsou oproti krátkovlnným propouštěny zpět do vesmíru skrze skleníkové plyny v mnohem menší míře. Tím je zapříčiněna vyšší akumulace tepla na Zemi, a proto se hovoří o skleníkovém efektu. Z těchto formulací vyplývá, že jsou skleníkové plyny špatné. Pravdou však je, že jsou nezbytné pro udržování rozumné teploty na Zemi. Nemají však přímý vliv na lidské zdraví. CO<sub>2</sub> vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem např. při spalování, hoření oxidu uhelnatého nebo organických látek jako třeba methanu. Koncentrace CO<sub>2</sub> narostla z 280 ppm na 415 ppm v období od roku 1750 (počátek průmyslové revoluce) do roku 2019. Negativní následky na lidské zdraví mohou mít hodnoty od 1000 ppm, smrtelné pak od 50 000 ppm, což jsou velmi vzdálené hodnoty od aktuálního stavu. Proto pro CO<sub>2</sub> není definován imisní limit zákonem č. 201/2012 Sb., protože ho nelze považovat za znečišťující látku, avšak se k němu vztahují strategické dokumenty jak na lokální, národní, tak celosvětové úrovni, jak už je zmíněno v kapitole 1.2. Nejznámější monitorovací stanice CO<sub>2</sub> se nachází na Hawaji. Měří se z velké vzdálenosti pro minimalizaci výchylek lokálních zdrojů [11].

Vzhledem k tomu, že mezi skleníkové plyny kromě CO<sub>2</sub> patří také metan, oxid dusný a fluorované plyny jsou převáděny na ekvivalent CO<sub>2</sub>. Vývoj skleníkových plynů zobrazuje Obrázek 10 [12]. Je zřejmé, že majoritní podíl má energetika. Podrobnější popis dle jednotlivých sektorů znázorňuje Obrázek 11.



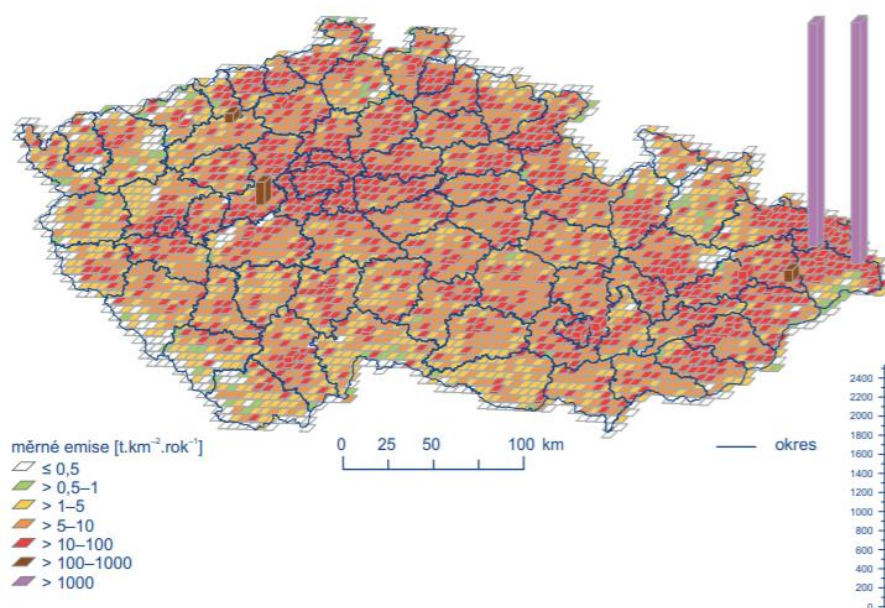
**Obrázek 10 - Podíl jednotlivých sektorů na celkových emisích skleníkových plynů v letech 1990–2018 [12]**



**Obrázek 11 - emise skleníkových plynů v ČR (2018) [13]**

### 1.4.3 Oxid uhelnatý CO

Je bezbarvý jedovatý plyn bez zápachu. Z krve se vylučuje mnoho hodin až dní. Ve své podstatě znemožňuje přenos kyslíku z plic do tkání, což je jeden ze škodlivých vlivů kouření. Přestože vizualizace, kterou znázorňuje Obrázek 12 vypadá v okolí Ostravy poměrně dramaticky, tak v roce 2019 stejně jako v předchozích letech nedošlo k překročení imisního limitu. Největší podíl na znečišťování ovzduší emisemi CO je ze zdrojů lokálního vytápění domácností [14].



**Obrázek 12 - emisní hodnoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5 x 5 km (2018) [14]**

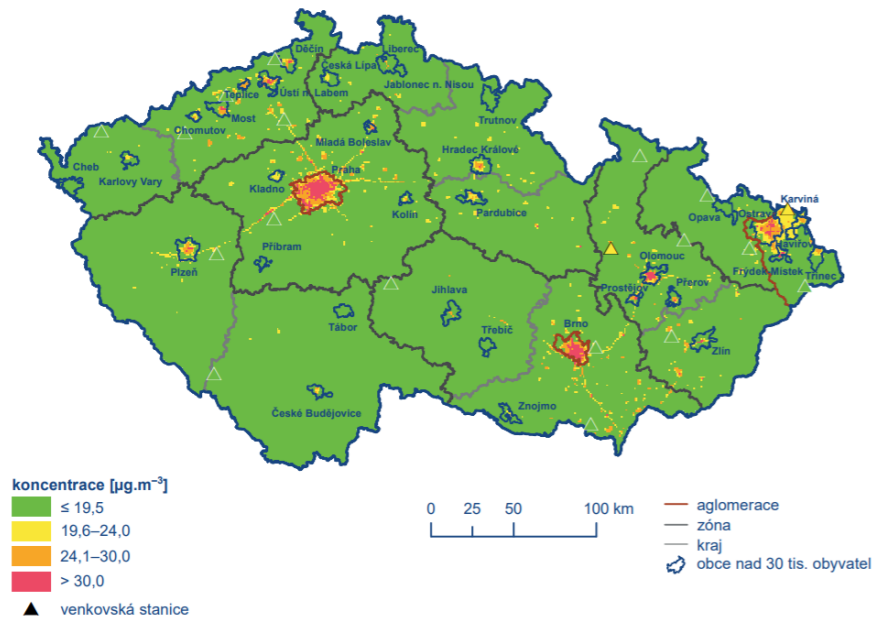
#### 1.4.4 Oxidy dusíku NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>)

Mezi sloučeniny oxidů dusíku patří:

- Oxid dusný (N<sub>2</sub>O) – známý také jako rajský plyn, dříve se používal jako narkotikum v medicíně
- Oxid dusnatý (NO) – velmi jedovatý bezbarvý plyn, s kyslíkem reaguje na oxid dusičitý
- Oxid dusitý (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – tmavě modrá kapalina
- Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) – silně jedovatý, hnědočervený plyn s intenzivním zápachem
- Oxid dusičný (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – bezbarvá krystalická látka, ve vzduchu se rychle rozplývá

Způsobují na území Evropy 1/3 okyselení dešťových srážek. V rámci Evropy emise NO<sub>x</sub> pochází ze 60% z dopravy. Korelaci tohoto tvrzení potvrzuje Obrázek 13, ze kterého lze dokonce částečně vyčíst dálniční síť ČR. Horší hodnoty jsou také vizualizovány na území Prahy, Brna, Olomouce a Ostravy. NO<sub>2</sub> zároveň snižuje odolnost proti virovým onemocněním, bronchitidě a zápalu plic. Imisní limit NO<sub>x</sub> je dle platné české legislativy stanoven pro ochranu ekosystémů a vegetace viz Tabulka 2, což se týká pouze venkovských měřících stanic viz Obrázek 13. Na žádné venkovské stanici nebyl v roce 2019 překročen imisní limit [15].





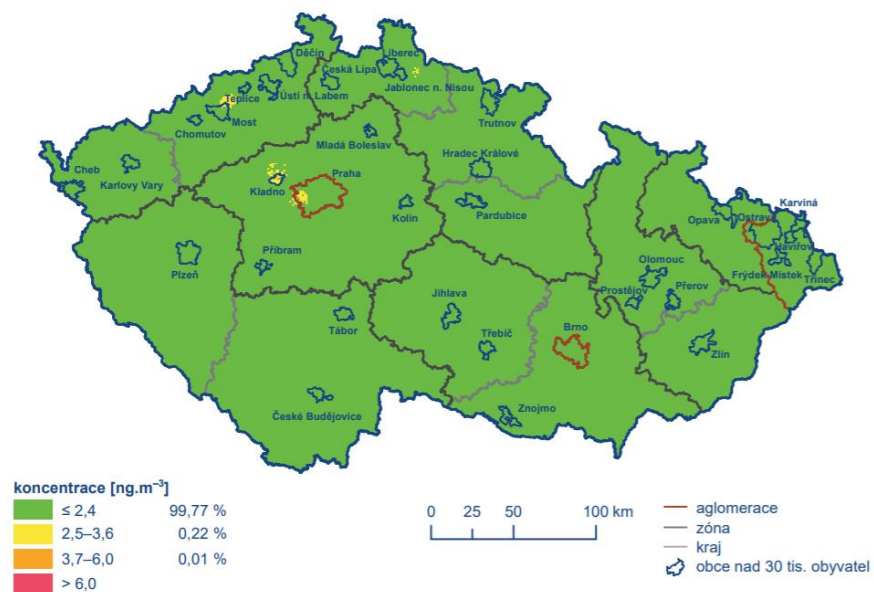
**Obrázek 13 - pole roční průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  (2019) [15]**

### 1.4.5 Těžké kovy

V této kapitole jsou popsány těžké kovy, pro které jsou také stanovené imisní limity. Do těžkých kovů spadá arsen, kadmium, nikl a olovo.

#### 1.4.5.1 Arsen As

V roce 2019 nebyl imisní limit arsenu překročen. Nejvyšší pětileté průměry ročních koncentrací byly naměřeny v Praze, Kladně, ale také u Mostu a Jablonce nad Nisou viz Obrázek 14 [16].

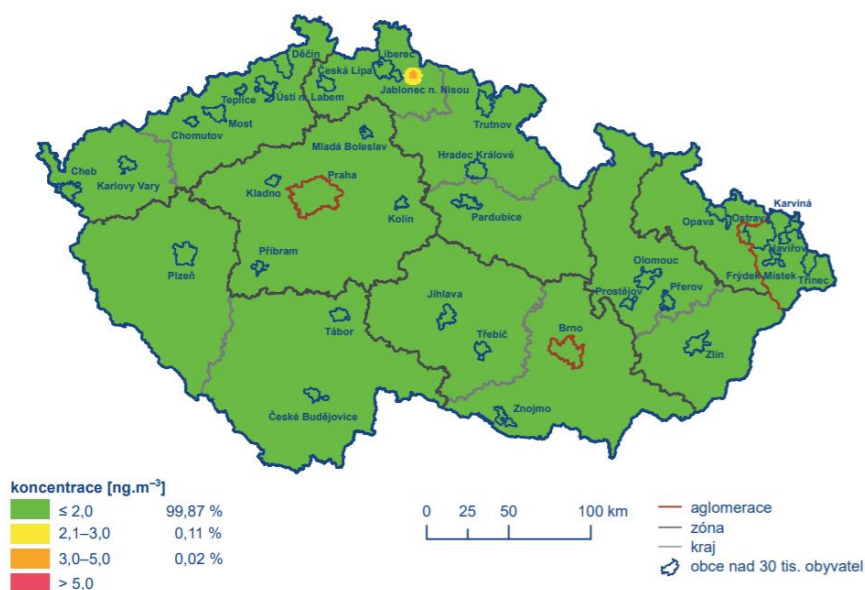


**Obrázek 14 - pětiletý průměr ročních koncentrací arsenu (2015–2019) [16]**



### 1.4.5.2 Kadmium Cd

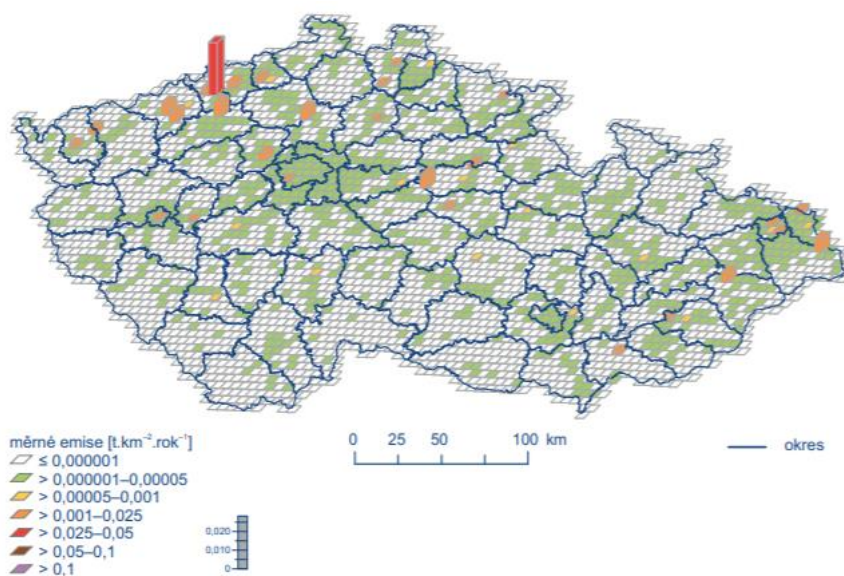
V roce 2019 nebyl imisní limit kadmia překročen. Nejvyšší pětiletý průměr ročních koncentrací byl naměřen v okrese Jablonec nad Nisou viz Obrázek 15 [16].



**Obrázek 15 - pětiletý průměr ročních koncentrací kadmia (2015-2019) [16]**

### 1.4.5.3 Nikl Ni

V roce 2019 nebyl imisní limit niklu překročen. Nejvyšší roční průměr byl naměřen v průmyslové stanici Ostrava-Mariánské Hory (4 ng.m<sup>-3</sup>), stejně jako předchozí rok. Obrázek 16 ukazuje emisní hustoty niklu, kde se nejvyšší hodnoty vztahují k povrchovým lomům [16].



**Obrázek 16 - emisní hustoty niklu ze čtverců 5 x 5 km (2018) [16]**

#### 1.4.5.4 Olovo Pb

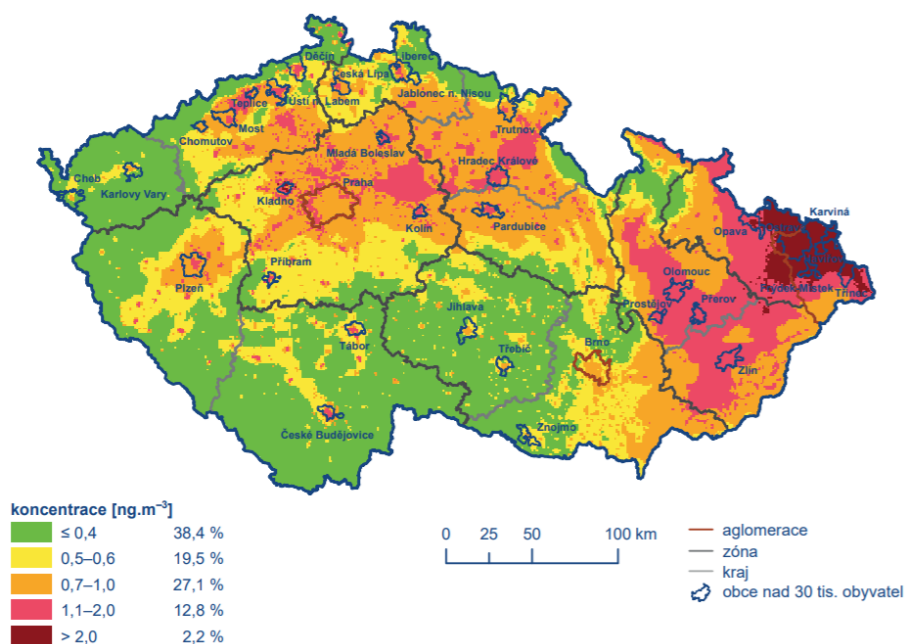
Jedná se o toxický kov, který se po vniknutí do organismu ukládá zejména v kostech, ale nachází se částečně i v krvi. V roce 2019 nebyl imisní limit olova překročen. Nejvyšší roční průměr byl naměřen ve stanici Ostrava-Radvanice ( $52 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Emisní hustoty olova znázorňuje Obrázek 17 [16].



**Obrázek 17 - emisní hustoty olova ze čtverců 5 x 5 km (2018) [16]**

#### 1.4.6 Benzo[a]pyren $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$

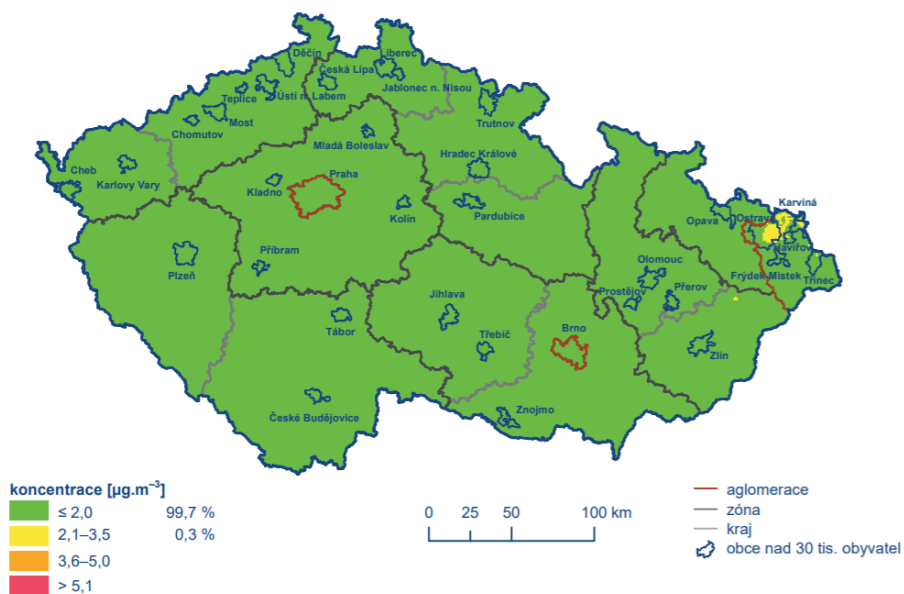
Benzo[a]pyren je jedním z největších problémů co se týče kvality ovzduší v ČR. Vzniká nedokonalým spalováním fosilních paliv. Během roku 2019 došlo k překročení imisního limitu ( $1 \text{ ng.m}^{-3}$ ) roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na 41 % měřících stanic. K překračování dochází dlouhodobě zejména v Moravskoslezském, Zlínském a Olomouckém kraji. Vizualizaci pětiletého průměru ročních koncentrací zobrazuje Obrázek 18 [17].



**Obrázek 18 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu (2015–2019) [17]**

#### 1.4.7 Benzen C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>

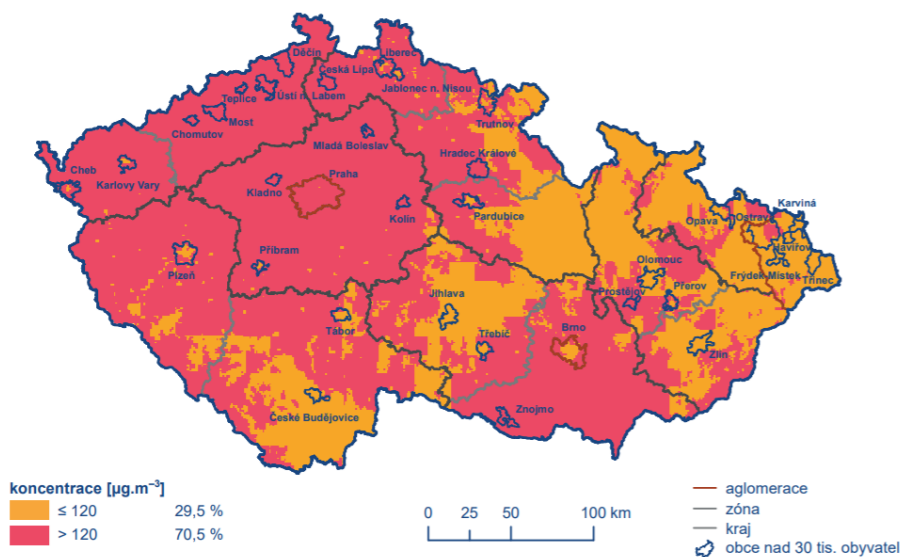
V roce 2019 nedošlo k překročení imisního limitu benzenu (5  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) na žádné z 36 stanic. Nejvyšší hodnoty se vztahují k aglomeraci Ostrava, Karviná, Frýdek-Místek (dále jen aglomerace O/K/F-M) viz Obrázek 19. U člověka dráždí oči, sliznice, způsobuje astma a je potenciálně karcinogenní [18].



**Obrázek 19 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzenu (2015–2019) [18]**

### 1.4.8 Přizemní ozon O<sub>3</sub>

Během let 2017 až 2019 došlo k překročení imisního limitu na 56 % měřících stanic. Plocha ČR, na které došlo k překročení limitu činí 70,5 % a je osídlena cca 56,9 % obyvateli. Příčinou těchto čísel jsou dlouhotrvající příznivé meteorologické podmínky pro vznik přizemního O<sub>3</sub>. Dráždí plíce, oči a způsobuje kašel. Při vysokých koncentracích je jedovatý, ale používá se i pro dezinfekci například vody. Vizualizaci zobrazuje Obrázek 20 [19].



**Obrázek 20 - Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace přizemního ozonu v průměru za 3 roky (2017–2019) [19]**

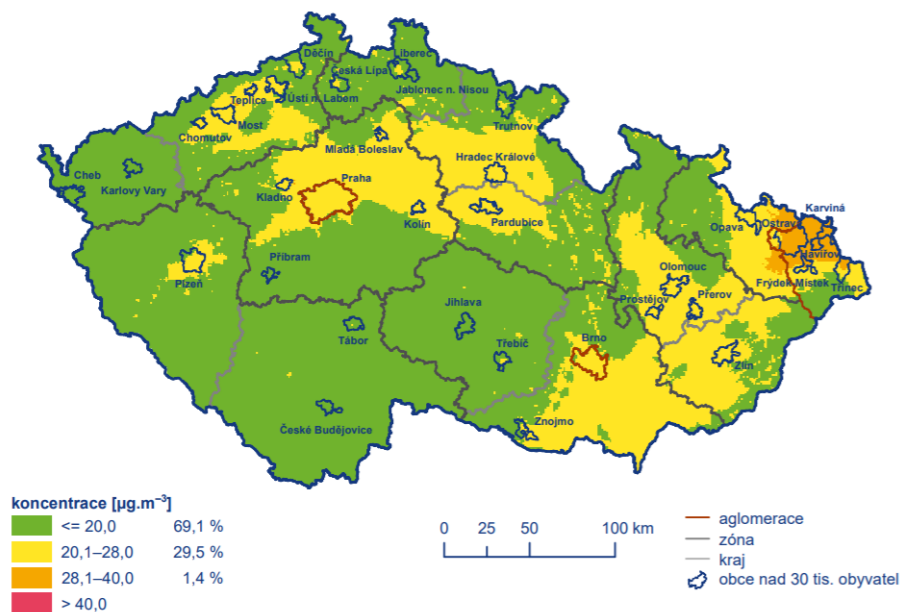
### 1.4.9 Suspendované částice PM

Také se jim říká prachové částice. Jsou jedním z hlavních problémů, které se týkají kvality ovzduší, dlouhodobě totiž dochází k překračování imisního limitu. Patří k nejvíce škodlivým emisím pro člověka a mimo jiné jsou potenciálně karcinogenní. Nejmenší částice se dostávají až do plicních sklípků, kde se navždy usazují. Mají za následek respirační onemocnění, astma a onemocnění dýchacího a kardiovaskulárního systému. Číslo dolního indexu označuje maximální velikost v mikrometrech. Čím menší je částice, tím déle zůstává v ovzduší, dokud není spláchnuta deštěm. Zdroje jsou antropogenní (nedokonalé spalování fosilních paliv), ale i přírodní (pyl, sopečná činnost apod.).

#### 1.4.9.1 Suspendované částice PM<sub>10</sub>

Během roku 2019 došlo k překročení 24hodinového imisního limitu na 5 % měřících stanic. K překročení obvykle dochází během ledna, února a října. Nejvyšší hodnoty se vztahují k aglomeraci O/K/F-M a k městu Kladno. Ovšem roční imisní limit nebyl poprvé za hodnocené

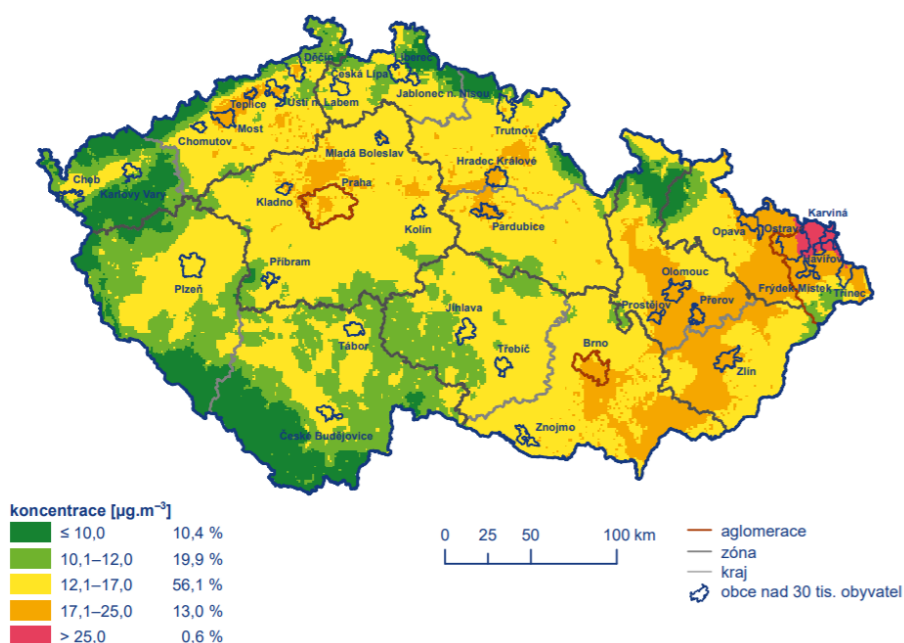
období 2009 až 2019 překročen. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny také v aglomeraci O/K/F-M viz Obrázek 21.



**Obrázek 21 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací  $\text{PM}_{10}$  (2015–2019) [20]**

#### 1.4.9.2 Suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$

V roce 2019 došlo k překročení roční průměrné koncentrace na 2 měřicích stanicích, tj. 2,2 %. Oproti předchozímu roku je to zlepšení o 14 %. Opět se nejhorší hodnoty vyskytují převážně v aglomeraci O/K/F-M viz Obrázek 22.



**Obrázek 22 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací  $\text{PM}_{2,5}$  (2015–2019) [20]**

## 1.5 Shrnutí kapitoly

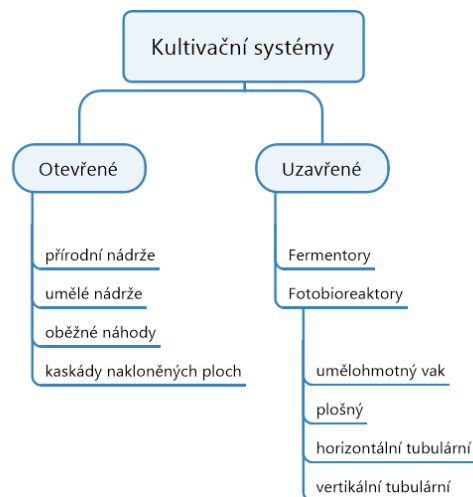
Z pohledu znečišťování ovzduší města ve vztahu ke zdraví obyvatel mají nejvyšší dopad zejména oxidy síry, dusíku a suspendované částice. CO<sub>2</sub> a ostatní skleníkové plyny mají vliv na planetární procesy v globálním hledisku, nemají však přímý vliv na zdraví obyvatel v aktuální míře, ve které se běžně vyskytují v atmosféře. Pokud by tedy bylo cílem zvýšení životního komfortu, respektive zlepšení kvality ovzduší obyvatel ve městě, tak snižováním právě CO<sub>2</sub> v rámci města tohoto cíle nelze dosáhnout. Snižováním zejména oxidů síry, dusíku a suspendovaných částic však ano. Bioreaktor tak musí snižovat množství emisí alespoň jedné z těchto znečišťujících látek v rozumném měřítku, aby z tohoto pohledu dávalo smysl jeho použití přímo ve městě. Toto je důležité si uvědomit pro pokračování v další kapitole.



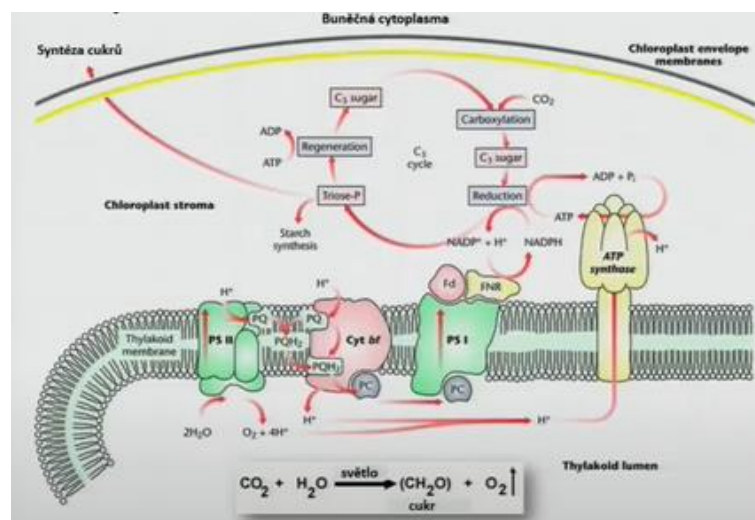
## 2 Analýza bioreaktoru

Na úvod je vhodné si vysvětlit, že bioreaktor je jedním z několika druhů kultivačních systémů. Pro pochopení jsou tedy představeny všechny známé kultivační systémy doplněny o popis jejich hlavních rozdílů. Standartně se dělí na otevřené a uzavřené kultivační systémy, podrobnější dělení ukazuje Obrázek 23.

Jednu z hlavních rolí kultivačních systémů má fotosyntéza. Prášil (2017) o ní hovoří, jako o soustavě několika desítek složitých reakcí, a to co vypadá zdánlivě jednoduše probíhá časově a prostorově v zcela jiných částech. Pro potřeby DP lze brát v úvahu pouze zjednodušenou rovnici fotosyntézy viz Obrázek 24, kde dochází ke vzniku uhlikatých látek, kyslíku, škrobů a cukrů [21].



**Obrázek 23 - dělení kultivačních systémů [vlastní zpracování] [22]**



**Obrázek 24 – podrobný a zjednodušený proces fotosyntézy (dole) [21]**

## 2.1 Otevřené kultivační systémy

Jedná se o přírodní či umělé nádrže, oběžné náhony nebo kaskády nakloněných ploch. Takové systémy jsou konstrukčně jednodušší a provozně levnější než bioreaktory a jsou určeny pro produkci velkého množství biomasy. Ke konstrukci se používají materiály jako beton, PVC, laminát nebo nerezová ocel. O míchání se starají čerpadla, rotující ramena, lopatková kola nebo bubláni vzduchu. Vyšší hloubka suspenze (10–30 cm; poměr ozářeného povrchu a celkového objemu je obvykle  $< 10$ ) v tomto typu systému obvykle způsobuje nižší průměrnou ozářenost buněk a nedostatečné míchání. To jsou vlivy, která mají za následek pěstování při nižší koncentraci biomasy v intervalu 0,5-1 g biomasy na litr a produktivita biomasy bývá nízká ( $\sim 1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ ) právě kvůli nedostatku světla ve spodních vrstvách suspenze a omezenému míchání. To je především daň za nízké provozní náklady vztahující se k produkci biomasy. V naprostém minimu případů dochází k přehřívání, kyslík (který je mimochodem pro řasy obvykle toxický narozdíl od lidí) je snadno odváděn a současně je obsluha takového systému relativně jednoduchá. Otevřené kultivační systémy jsou tedy vhodné spíše pro rychleji rostoucí kmeny ale také ty, které musí být kultivovány za poměrně specifických podmínek (kupříkladu kvůli vysoké alkalitě nebo salinitě živného roztoku). U produkci biomasy o velkých objemech se běžně využívají mikroskopické řasy *Arthrospira* (sinice), *Chlorella*, *Dunaliella* a *Nannochloropsis*. Rozlehlé, mělké nádrže, které mívají plochu o velikosti několika  $\text{km}^2$  se uplatňují třeba u komerčního pěstování halofilní (slanomilné) mikroskopické řasy *Dunaliella salina* v západní Austrálii k produkci  $\beta$ -karotenu. Produktivita takových nádrží je ale velmi nízká ( $\sim 1 \text{ g [sušiny]}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ ). Dalším příkladem otevřených nádrží ze světa je také využití pro pěstování *Arthrospiry* a *Chlorelly* v Japonsku, Thajsku, Kalifornii, na Havaji, Taiwanu, v Indii a Číně. Nutno dodat, že i ČR má svého zástupce otevřeného tenkovrstvého systému v Třeboni, kde leží Mikrobiologický ústav AV ČR. Tenkovrstvý systém má za cíl snížení tloušťky vrstvy kultury na maximálně několik jednotek cm, aby mohlo dojít k lepšímu osvětlení buněk mikroskopické řasy v celém objemu. Cirkulace kultury je zajištěna prostřednictvím čerpadla. Kaskády v Třeboni se používají už od roku 1960 pro kultivaci relativně rychle rostoucích kmenů zelených mikroskopických řas (Chlorophyta). Kultura mikroskopických řas roste ve vrstvě tenčí, než 1 cm a poměr ozářeného povrchu k celkovému objemu je proto typicky větší než 100. To je významný rozdíl oproti předchozím příkladům. Tak je možné docílit vyšších hustot biomasy ( $15\text{--}35 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ), což je opět obrovský rozdíl v porovnání s předchozími příklady ze světa. V této variantě systému je tedy možné dosáhnout větších produkcí biomasy na plochu i objem (až  $40 \text{ g [sušiny]}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) i v mírném klimatickém pásu. Tato varianta částečně kombinuje výhody otevřených systémů jako je přímé sluneční ozáření, snadný odvod tepla a kyslíku, jednoduché čištění a údržba, nižší náklady na produkci společně s některými výhodami uzavřených systémů jako je lepší turbulence kultury,



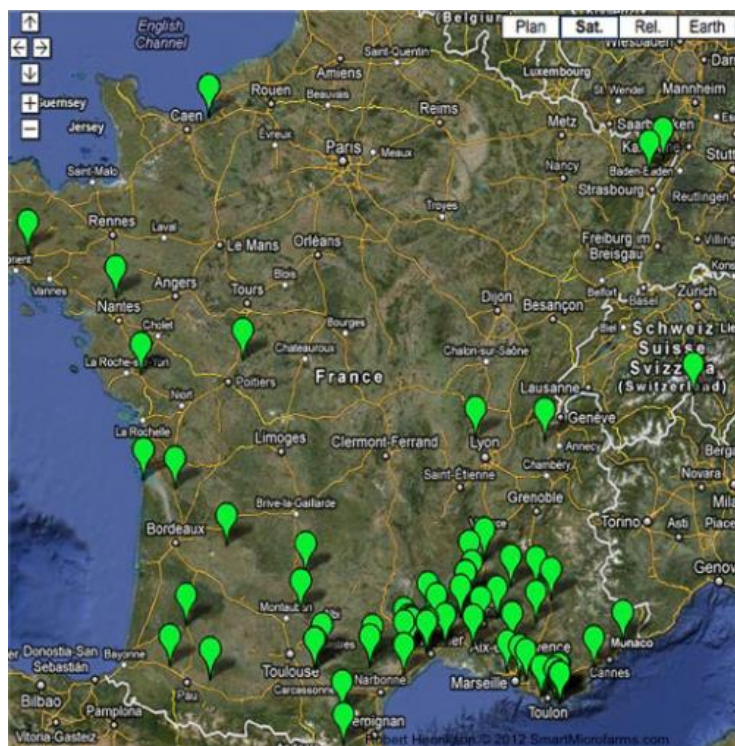
velká hustota kultury a vysoká produktivita [23]. U Třeboňského systému byla dosažena účinnost fotosyntézy okolo 4 %, přičemž maximální teoretická účinnost fotosyntézy se odhaduje mezi 5-10 % [21]. Příklady zmíněných systémů zobrazuje Obrázek 25.

Mezi hlavní vlastnosti tedy patří ovlivnění růstových podmínek povětrnostními vlivy, sezónními vlivy, tedy nestálými světelnými podmínkami a proměnným počasím. Nutno podotknout, že ČR pro kultivaci mikroskopických řas v otevřených systémech nemá ideální podmínky. Obrázek 26 ukazuje umístění farem kultivující mikroskopickou řasu *Arthrospira* na mapě Francie. Je z něj patrný hojnější výskyt těchto farem poblíž Středozemního moře pro výhodnější klimatické podmínky. Další neméně podstatnou vlastností je existence značného rizika kontaminace bakteriemi nebo jinými řasami. Proto je třeba zvolit vhodné kmeny řas, které dokážou tolerovat vnější podmínky a sníží riziko kontaminace tím, že se v suspenzi stanou dominantní [21]. Dochází také k většímu odpařování vody a obtížnějším možnostech kontroly teploty. Vínou těchto nevýhod dochází k nižší efektivitě systému, respektive k nižší produkci biomasy ve srovnání s bioreaktory. Typicky však na úkor nižších nákladů.

Tato kapitola byla uvedena pouze pro úplnost různých způsobů kultivací řas. Z původních vyjádření OOP MHMP ke kartě nápadu je zřejmé, že zástupci projevují zájem právě o uzavřené kultivační systémy – bioreaktory. Otevřené systémy nejen pro vysoké nároky na rozlohu ve vztahu k záboru pozemků a požadavky na klimatické podmínky nelze považovat za dobrou volbu pro umístění v hl. m. Praze. V této části bylo nicméně vyzdvihnuto, jak podstatnou vlastností ke kultivaci mikroskopických řas je ozáření suspenze světlem, a proto je zapotřebí dbát na význam tohoto jevu.



**Obrázek 25 - Příklady otevřených kultivačních systémů ze světa (vlevo) [24] a z Třeboně (vpravo) [25]**



**Obrázek 26 - Farmy kultivující *Arthrospira* ve Francii [24]**

## 2.2 Uzavřené kultivační systémy – bioreaktory

Názvem bioreaktor se označuje uzavřený nebo polouzavřený kultivační systém. Ten lze osvětlovat buďto přirozeným anebo umělým světlem. Na celém světě se používají různé druhy bioreaktorů. Rozeznáváme je dle druhu použité nádoby pro kultivaci. Existují průhledné vaky, trubice a válce nebo ploché panely viz Obrázek 27, která pak tvoří kultivační smyčku. Vaky jsou typicky z umělohmotného materiálu, ale ostatní druhy je možné konstruovat i ze skla buďto ve smyčce nebo v sérii, ať už horizontálně nebo vertikálně. Vaky mají výhodu nízké ceny na úkor nízké efektivity. Za nejefektivnější jsou považovány trubice, které vlastností vedením světla připomínají optické vodiče. Vědecké články se shodují na preferenci vertikální orientace, protože ve vodorovných částech mají řasy tendenci se usazovat u dna nádoby, pokud není zajištěn dostatečný proud cirkulace. Podmínkou je zachování odolnosti vůči vnějším vlivům a průhlednosti materiálu, pokud se zrovna nejedná o raritní typ řasy, která nepotřebuje světlo jako zdroj energie. Zvolení toho nevhodnějšího druhu bioreaktoru závisí především na kmenu mikroskopických řas, účelu a lokalitě. Ve svých vlastnostech se přirozeně zásadně liší oproti otevřeným kultivačním systémům. Obecně lze docílit mnohem vyšší hustoty biomasy. Důvodem je možnost zajištění podstatně lepších podmínek pro kultivaci a mikroskopické řasy lze řádně promíchávat. Pro cirkulaci kultury mikroskopických řas lze použít proud stlačeného vzduchu nebo čerpadla, ideálně peristaltická či membránová. Za nevhodné se považují odstředivá, protože mohou mít na kulturu negativní vliv z hydrodynamického hlediska.





**Obrázek 27 - Druhy bioreaktorů: a) plošný bioreaktor, b) vertikální tubulární bioreaktor, c) horizontální tubulární reaktor, d) umělohmotný vak [26]**

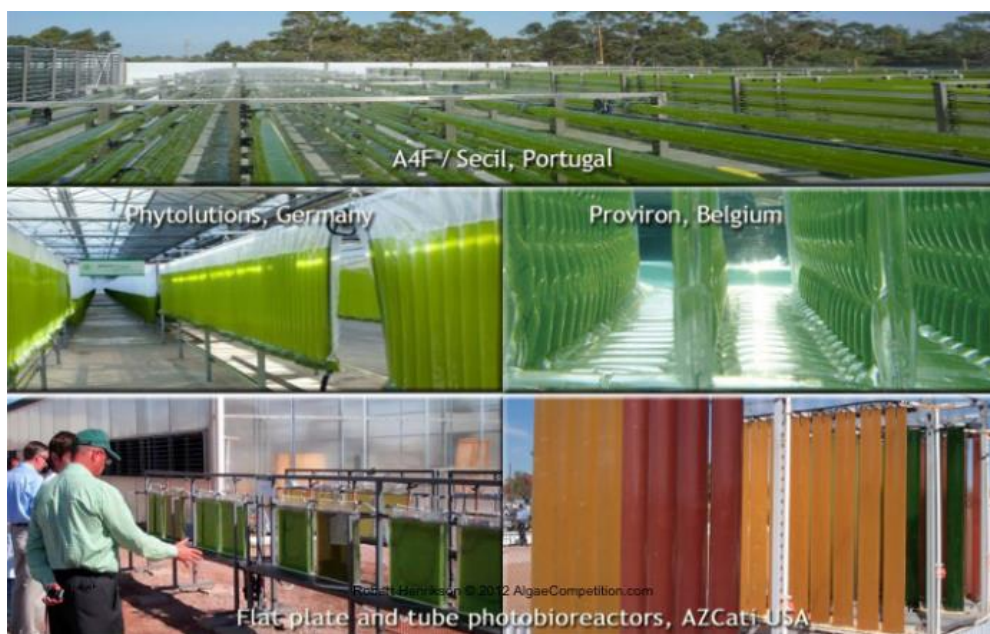
Zajištění lepších podmínek pro kultivaci lze docílit kontrolou jednoho z nejdůležitějších parametrů, kterým je teplota. Ta se musí udržovat v optimálním intervalu. Lze toho docílit prostřednictvím tepelných výměníků nebo pokropením povrchu vodou, pokud je cílem teplotu snížit. Existuje i možnost celou kultivační smyčku potopit do nádrže. Pro řadu řas se za optimální interval teploty obvykle považuje 15–30 °C. Pokles teploty pod 15 °C zpravidla vede ke zpomalení růstu a množení kultivovaných buněk. Dlouhodobý nárůst teploty nad 35 °C je pro široké spektrum řas nevhodný. Neméně důležitým parametrem je fotoperioda neboli počet hodin světla ve 24hodinovém cyklu. Jako minimální hodnota se uvádí 8, optimální 12 a maximum pak přirozeně 24 hodin. Dalším parametrem je hodnota vodíkového exponentu neboli pH. Obecně se pro kultivaci řas doporučuje interval 7–9, to se ale může lišit dle konkrétních kmenů [27].

Narůstající složitost systému je vykoupena celou řadou výhod. Mezi ty nejzásadnější patří zejména zajištění vhodných kultivačních podmínek i přes různé vlivy prostředí. Dále razantně snížené riziko kontaminace kultury, což umožňuje kultivaci kmenů, která standartně není možná v otevřených systémech. Další výhodou je snížení ztrát CO<sub>2</sub> a podstatně menší nároky na prostor umístění. To je pro potenciální umístění v hl. m. Praze velmi zajímavou výhodou, kvůli problematice záboru pozemků. Bioreaktory mají přirozeně i svoje nevýhody. Problematické je čištění takových systémů v jeho hůře přístupných částech. Nádoba z průhledného materiálu časem stárne (u nevhodných umělohmotných materiálů se to může projevat i zažloutnutím) a může dojít ke snížení pronikajícího světla. Jak už bylo výše

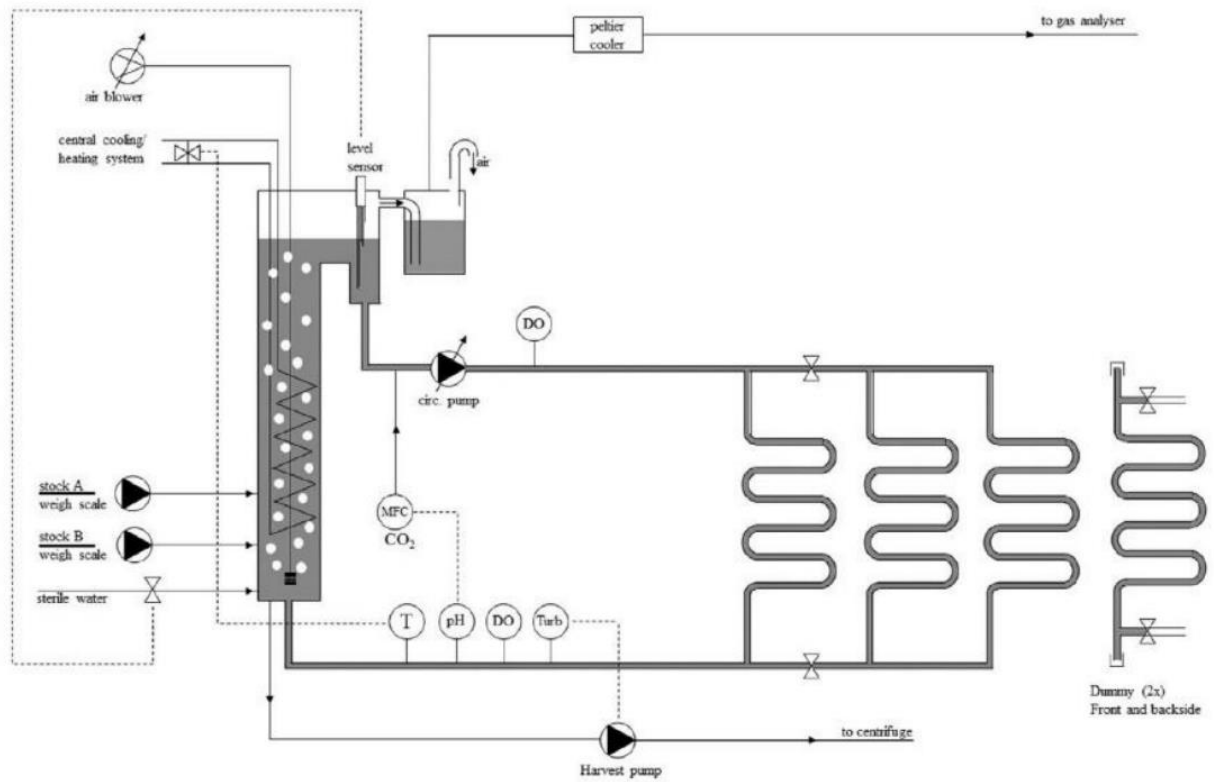
zmíněno, tak chlazením narůstá složitost systému. Další neméně důležitým nárokem je odbavování  $O_2$ , čímž se předchází snížení efektivity fotosyntézy.

Ke kultivaci sinicových a řasových kmenů se využívá několik typů živných médií přizpůsobených svým složením nárokům konkrétních druhů (BBM médium určené zejména pro kultivaci zelených řas např. Chlorophyceae, Trebouxiophyceae; OGM médium vhodné pro kultivaci nižších rostlin - krásivek Desmidiales; Z medium či BG-11 pro zástupce sinic aj.) [23].

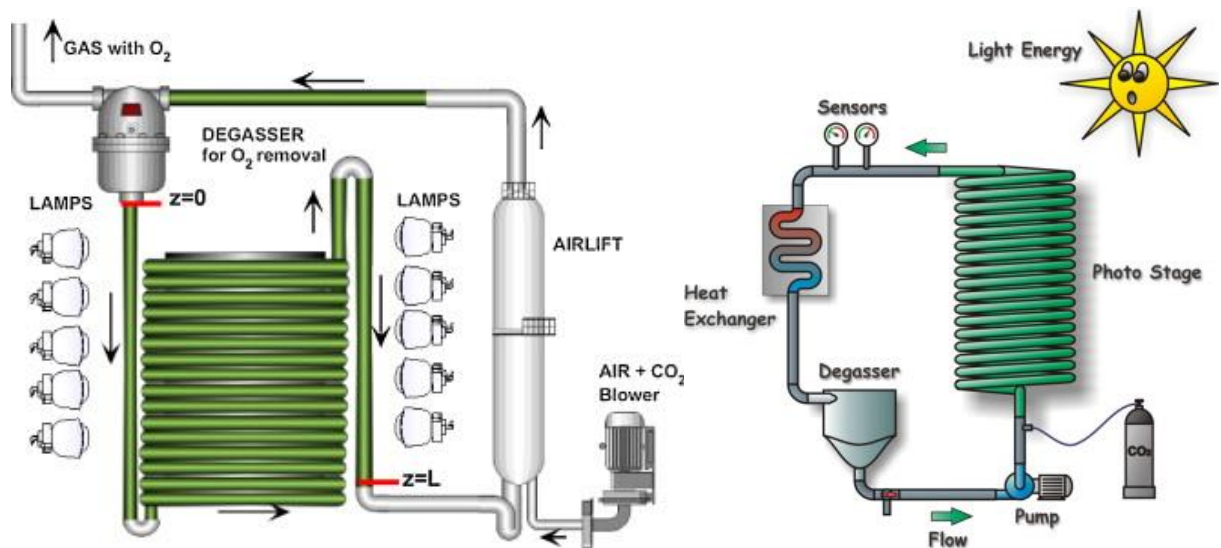
Narůstající složitost koreluje s narůstajícími náklady na produkci biomasy. V porovnání s otevřenými kultivačními systémy se konstrukční náklady, náklady spojené s údržbou a obsluhou zvyšují přibližně o řád. Lhotský (2019) tvrdí, že běžná cena bioreaktoru na  $m^2$  se pohybuje okolo 4 500 Kč/ $m^2$  [28]. Sofistikovanější systémy včetně tepelné integrace (využití tepelného výměníku) pak dosahuje 632 USD/ $m^2$ , což při kurzu 21,1 Kč za 1 USD odpovídá 13 335 Kč/ $m^2$  [29]. Protože se pro případné potřeby hl. m. Prahy předpokládá vyšší složitost systému včetně tepelné integrace bude v závěrečné kapitole 4 uvažována právě hodnota 13 335 Kč/ $m^2$ . Několik reálných příkladů bioreaktorů ze světa ukazuje Obrázek 28. Příklady schématických modelů pak zobrazují Obrázek 29 a Obrázek 30.



**Obrázek 28 - Příklady bioreaktorů ze světa [24]**



Obrázek 29 - schématický model vertikálního tubulárního systému [30]



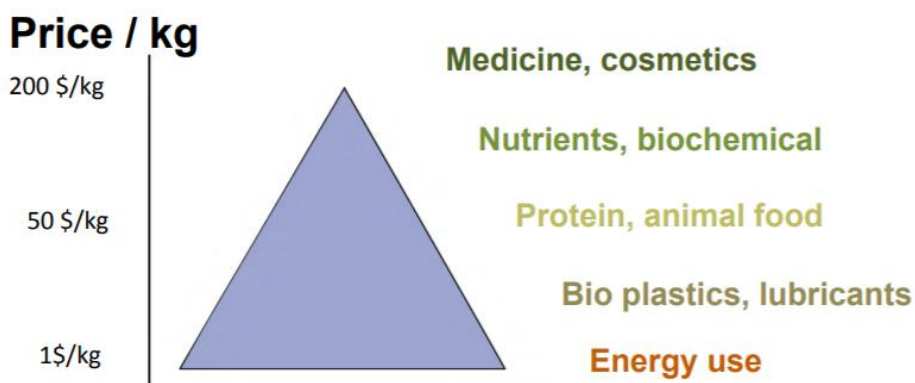
Obrázek 30 - obecná schémata spirálovitého bioreaktoru [31] [32]

## 2.3 Řasy

Řasám můžeme být vděční za zhruba 50 % celosvětově produkovaného O<sub>2</sub>. Důvod jejich relativně vysoké efektivity fotosyntézy oproti například stromům je jednoduchý. Fotosyntéza u stromů neprobíhá u dřevnatých částí větví, kmenů a kořenů, ale pouze prostřednictvím listů. U řas může oproti tomu fotosyntéza probíhat na celé jejich ploše [33].

Celkový počet druhů se odhaduje vysoko nad 1 milion. Vznik prvních řas se datuje před 3 miliardami let. První nálezy mořských řas jsou staré přibližně 14 000 let a nalezeny byly v lokalitě Chile – Monte Verde. Počátky výzkumů sahají do poloviny 19. století. V období 1. světové války se uvažovalo o možnosti zdroje potravy pro vojáky. Během 2. světové války byla německá armáda odříznuta o významná ložiska ropy ve středoasijských zemích. To je vedlo k úvahám o použití skupiny mikroskopických řas bohaté na olej jako palivo do tanků a jiných válečných strojů. Postupem času se od výzkumů upustilo a znovu byly obnoveny během ropných krizí, přičemž tyto pokusy vždy ztroskotaly na příliš drahé kultivaci mikroskopických řas. V současnosti se používají v celé řadě odvětvích. Jmenovitě je to výživa, farmacie, kosmetický a textilní průmysl, výroba přírodních barviv, zemědělství, ale i biopaliva. Orientační cenu vzniklé biomasy z řas v různých segmentech využití zobrazuje Obrázek 31. Rovnice pro kultivaci řas je následující.

### **Rovnice 1 - kultivace řas [28]**



**Obrázek 31 - orientační cena biomasy napříč různými segmenty využití [34]**

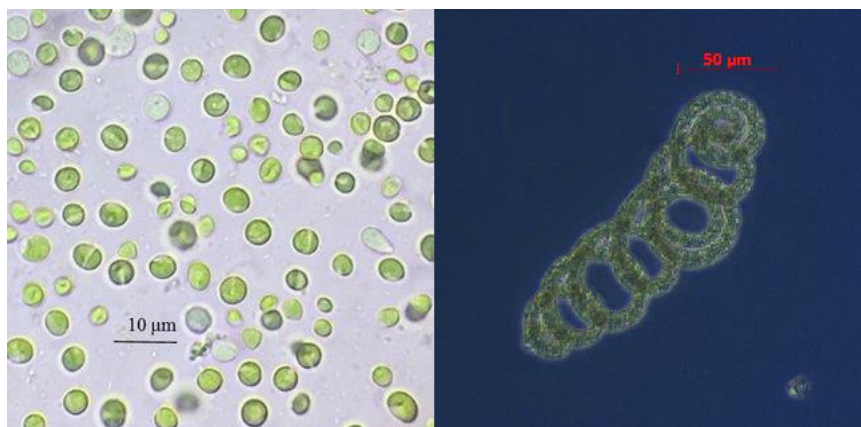
### 2.3.1 Mikroskopické řasy

Mikroskopické řasy (dále jen mikrořasy) jsou jednoduché fotosyntetické organismy žijící převážně ve vodě. Obecně je lze považovat za nižší rostliny s jednoduchou stavbou. Na světě se vyskytují jednotky miliard let. Odhadovaný počet jednotlivých druhů je 700 000, přičemž pouze 20–30 druhů se používá komerčně. V ideálních podmínkách se dělí, respektive



zdvojnásobí během několika hodin. Ve skutečnosti je samozřejmě obtížné dosáhnout ideálních podmínek, a proto to obvykle bývají nižší jednotky dní. I tak se stále jedná o enormně krátkou dobu reprodukce mezi rostlinami. U mikrořas se dále rozeznávají skupiny rozsivek, zelených řas a zlativek [28]. Nejznámější zelenou řasou je *Chlorella* viz Obrázek 32.

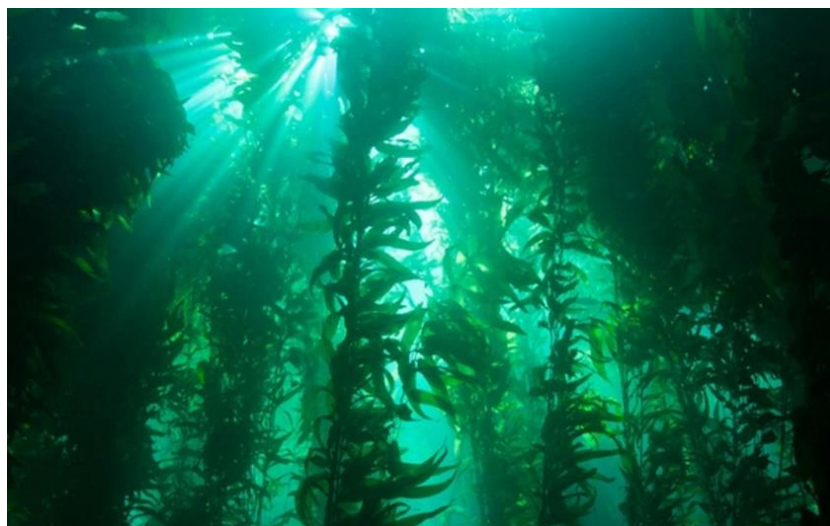
Mezi mikrořasy jsou zařazovány i sinice. Jejich stáří je pravděpodobně více než 2,5 miliardy let. Jedná se o jednobuněčné, někdy vláknité organismy žijící ve vodě, které jsou příbuzné více bakteriím než rostlinám. Některé produkují silné toxiny. Nejznámější sinicí je *Arthrospira* (často nazývána také *Spirulina*) viz Obrázek 32. Ta obsahuje až 60 % bílkovin, což je téměř dvojnásobek oproti sóje, která je považována za nejbohatší rostlinný zdroj bílkovin. Zajímavostí je, že obsahuje všechny esenciální aminokyseliny. 12 000 tun je její celosvětová roční produkce. Druhá nejznámější sinice nese název *Nostoc* [28].



**Obrázek 32 - zelená řasa *Chlorella vulgaris* (vlevo) [35] a sinice *Arthrospira* (vpravo) [36]**

### 2.3.2 Makroskopické řasy

Z hlediska tématu diplomové práce nemají makroskopické řasy význam, ale pro úplnost je uveden stručný popis. Rozeznáváme hnědé, červené a zelené makroskopické řasy. Vyskytují se ve slaných vodách a dorůstají i několika metrů. Příklad hnědé řasy třídy Phaeophyceae z čeledi Laminariaceae dorůstající i výšky 30 m zobrazuje Obrázek 33. Celosvětově je vyprodukováno přibližně 21 milionu tun ročně. Využívá se asi 220 druhů a nejčastěji slouží jako krmivo pro zvěř. Obsahují celulózovou stěnu, kterou jsou přežvýkavci na rozdíl od lidí schopni strávit [28].



**Obrázek 33 - hnědá řasa [37]**

## **2.4 Parametry růstu řas**

Růst řas závisí na několika různých parametrech jako jsou intenzita světla a fotoperioda, dostupnost živin (hlavně makronutrientů dusíku a fosforu), koncentrace CO<sub>2</sub>, vodíkový exponent neboli pH a teplota. Obvykle použité intervaly se pro intenzitu světla pohybují mezi 1000–10000 lx, pro pH se uvádí interval 7–9 a teplotní rozsah 15 – 30°C [27] [38].

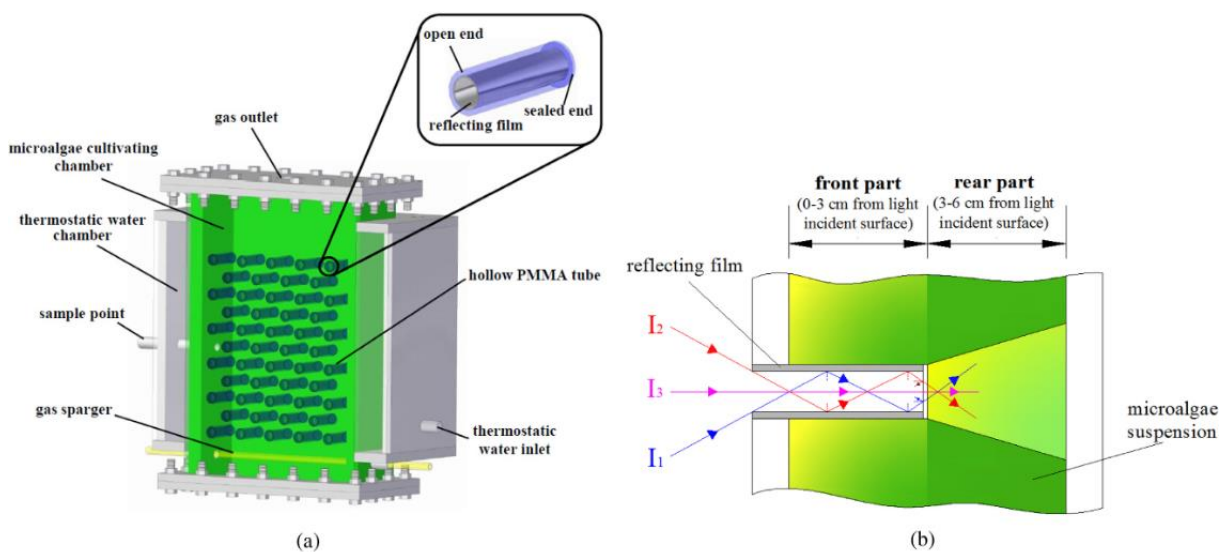
### **2.4.1 Světlo**

Světlo je jedním z klíčových parametrů, jakožto zdroj energie pro růst řas. Studie ukazují, že více neznamena lépe, a to platí jak pro intenzitu světla, tak pro fotoperiodu. Při hodnotě kolem 6500 lx dochází k saturaci neboli limitu nasycení, což při ještě vyšších hodnotách může vést k fotoinhibici, čímž je snížena účinnost celého systému [39]. U řasy *Nannochloropsis* bylo objeveno, že k dosažení nejvyšší účinnosti je potřeba parametry světla optimalizovat a nikoliv maximalizovat [40]. Záleží také na vlnové délce, jejíž interval se pro řasy uvádí mezi 400 a 700 nm. To představuje přibližně 50 % slunečního světla. Při jiných vlnových délkách může být následkem snížení potenciální fotosyntetické účinnosti, která je ještě dále snížena odrazivostí světla a buněčným dýcháním [39].

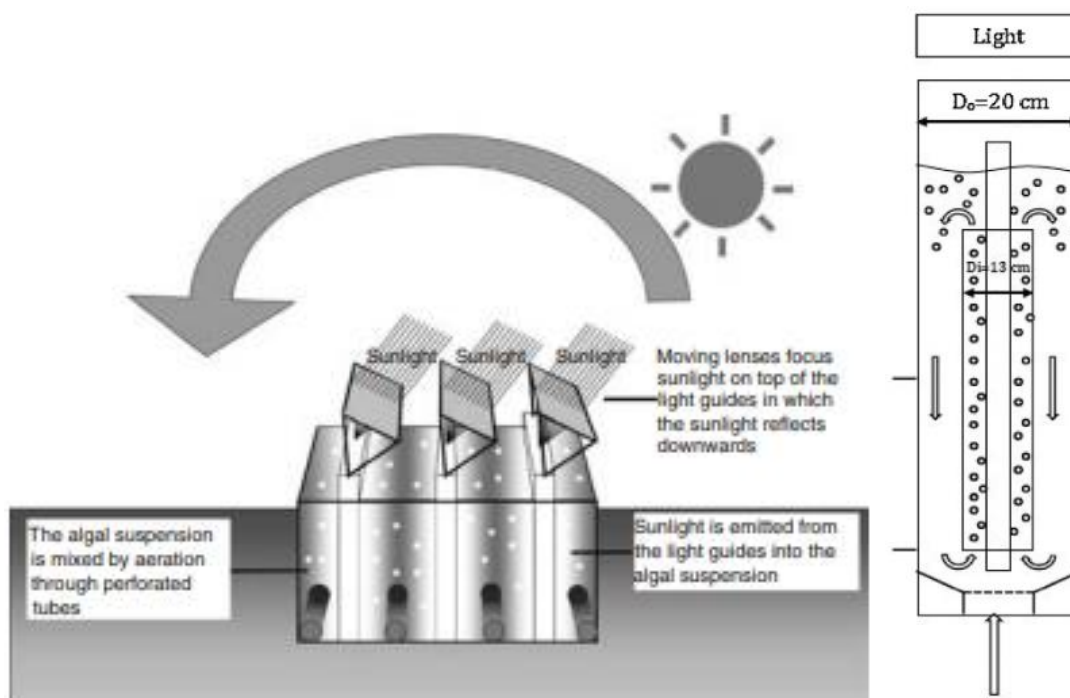
Dodání světla, intenzita, spektrum, fotoperioda, frekvence světla ve smyslu tmavých cyklů a plocha povrchu vystaveného světlu jsou všechno vlivy, které mají dopad na výsledné množství produkované biomasy. Z hlediska snížení investičních a provozních nákladů je vhodnější nevyužívat umělé osvětlení nýbrž osvětlení sluncem. Umístěním bioreaktoru ven lze snížit náklady za spotřebu elektřiny o 90 % [41]. Je však dobré mít na paměti, že s rostoucím množstvím biomasy v systému dochází k samovolnému stínování mikrořas [42]. V tomto ohledu lze udržet vysokou účinnost cyklickou cirkulací buněk mezi osvětlenou a neosvětlenou částí systému [43]. Samotnou konstrukcí systému lze efektivitu průchodu světla značně zvýšit.



Úpravou plochého bioreaktoru použitím dutých trubic vyústilo ke zvýšení produkce biomasy o 23 % viz Obrázek 34 [44]. Geometrická složitost nádoby nepochybně povede k vyšším pořizovacím nákladům spolu s obtížnější údržbou. Další zdroje poukazují na možnost použití čoček k účinnějšímu zachycení a distribuci světla v systému viz Obrázek 35 [45]. Je vhodné mít na paměti, že každá modifikace zvyšuje investiční i provozní náklady (např. ve smyslu častější nutnosti čištění u bioreaktoru s dutými trubicemi). Vlivem modifikace distribuce světla vzrůstá také riziko akumulace povrchových filmů, což vede k nižší účinnosti. Pokud by bylo cílem snížit údržbu na nezbytné minimum, pak je vhodné uvažovat o jednoduchých konstrukcích jakými jsou třeba prosté vertikální trubice. Zvýšení účinnosti a zároveň zachování relativně jednoduché konstrukce je možné docílit vložení další duté trubice obsahující pouze vodu přímo do nádoby se suspenzí. Ta tak distribuuje světlo hlouběji do systému a lze zvýšit produkci biomasy téměř o 34 %. Nutno podotknout, že významný podíl má na svědomí i systém nazývaný gas-lift, při kterém je plyn obsahující  $\text{CO}_2$  probubláván suspenzí směrem vzhůru viz Obrázek 35 [42]. Kombinace takového řešení spolu s využitím čoček bezpochyby razantně zvyšuje účinnost celého systému.



**Obrázek 34 – (a) schématický diagram plochého bioreaktoru s dutými trubicemi, (b) přenos světla v trubicích [44]**



**Obrázek 35 - Green solar collector – použití čoček (vlevo) [45] a top-lit gas-lift bioreactor equipped with a light guide (vpravo) [42]**

## 2.4.2 Nutrienty

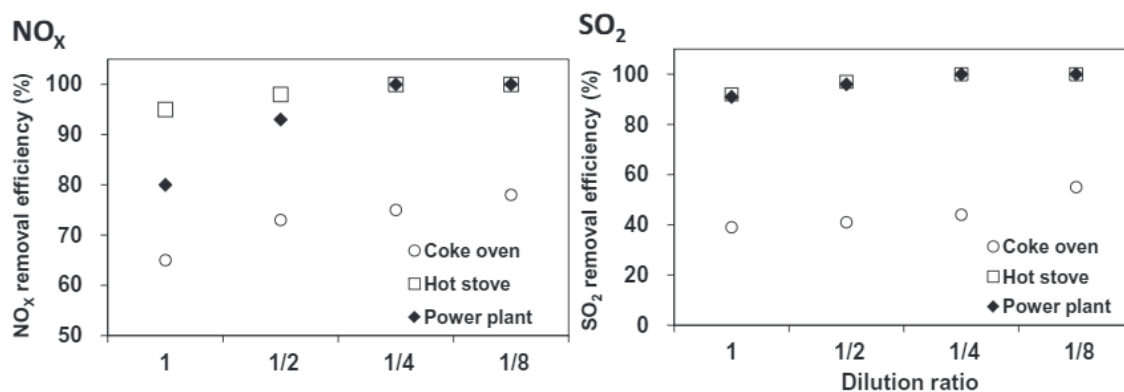
Obecně řasám vyhovuje zejména draslík a fosfor nicméně v této oblasti není výzkum příliš daleko. V laboratorním prostředí bývá zvykem přebytek živin pro růst mikrořas a následným snížením za účelem vyvolání stresu mikrořasám, čímž následuje akumulace lipidů. Různé studie ukazují, že nebyl nalezen významný účinek právě vyjma draslíku a fosforu [46]. Potencionální náklady na nutrienty jsou ve velkém měřítku znatelné. Stále častěji je proto zmiňováno spojení s využitím odpadních vod, jakožto zdroje makroživin. Tento přístup má potenciál snížit celkové výrobní náklady, přičemž vliv nutrientů, vody a CO<sub>2</sub> se v této souvislosti odhaduje na 10–30 % [47]. Během diskuse se Sukačovou (2021) bylo využití odpadní vody pro kultivaci mikrořas vyvráceno, resp. za těmito účely je nutné použít výhradně pitnou vodu [48].

## 2.4.3 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) je prostřednictvím světelné energie zachycován mikrořasami, které následně uvolňují kyslík (O<sub>2</sub>) jako vedlejší produkt. Vysoké koncentrace O<sub>2</sub> však mohou u mikrořas vyvolat fotorespiraci, což je proces, při kterém se naopak spotřebovává O<sub>2</sub> a uvolňuje CO<sub>2</sub> [39]. Faktem je, že O<sub>2</sub> je pro mikrořasy při vyšších koncentracích toxický [21]. Množství dodaného CO<sub>2</sub> do systému samozřejmě souvisí s účinností. Zvolení průmyslového odpadního CO<sub>2</sub> umožňuje vyšší účinnost oproti atmosférickému CO<sub>2</sub> [49]. Musí být však zajištěn dostatečně vhodný povrch a doba zdržení kvůli nezbytnému přenosu hmoty do

kapaliny. Vhodného povrchu lze docílit probubláváním plynu v suspenzi, přičemž platí, že menší velikost bublin vede k větší povrchové ploše na jednotku objemu plynových bublin. Snížení velikosti bublin z rozprašovače je možno docílit fluidní oscilací [49]. Doba zdržení je závislá na délce dráhy bublin. To je problém u otevřených kultivačních systémů, protože jejich hloubka (která je typicky 15-35 cm) poskytuje krátkou dráhu, což vede k 80-90% ztrátě CO<sub>2</sub> do atmosféry [50]. V běžných průmyslových procesech dochází k emisi nezanedbatelného množství CO<sub>2</sub>. Plyny z těchto procesů však mohou kromě CO<sub>2</sub> obsahovat i jiné látky, které mohou být pro řasy toxické při vysokých koncentracích. Pro představu jsou to kupříkladu kyselé plyny jako oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) a oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) vlivem kterých dochází při vyšších koncentracích ke snížení pH suspenze. Při nízkých koncentracích do 100 ppm k ovlivnění růstu řas téměř nedochází [51]. Z diskuse se Sukačovou (2021) vyplynulo, že i tyto plyny mikrořasy využívají částečně jako zdroj energie, avšak vědecké publikace se v tomto rozcházejí [48]. V některých se např. uvádí, že mikrořasy využijí celé množství NO<sub>x</sub>, jiné uvádí pouze částečné využití. Tak či onak je zřejmé, že bioreaktor v tomto skutečně má pozitivní dopad na zlepšení kvality ovzduší, protože pro NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub> je v ČR legislativně stanoven imisní limit viz kapitola 1.

Kao (2014) testoval odebrání těchto plynů pocházejících z koksovací pece, horké pece a elektrárny [52]. V jeho výsledcích dosáhl 100% účinnosti odebrání NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub> při nižším ředícím poměru u odpadního plynu z elektrárny a horké pece čínské ocelářské společnosti viz Obrázek 36.



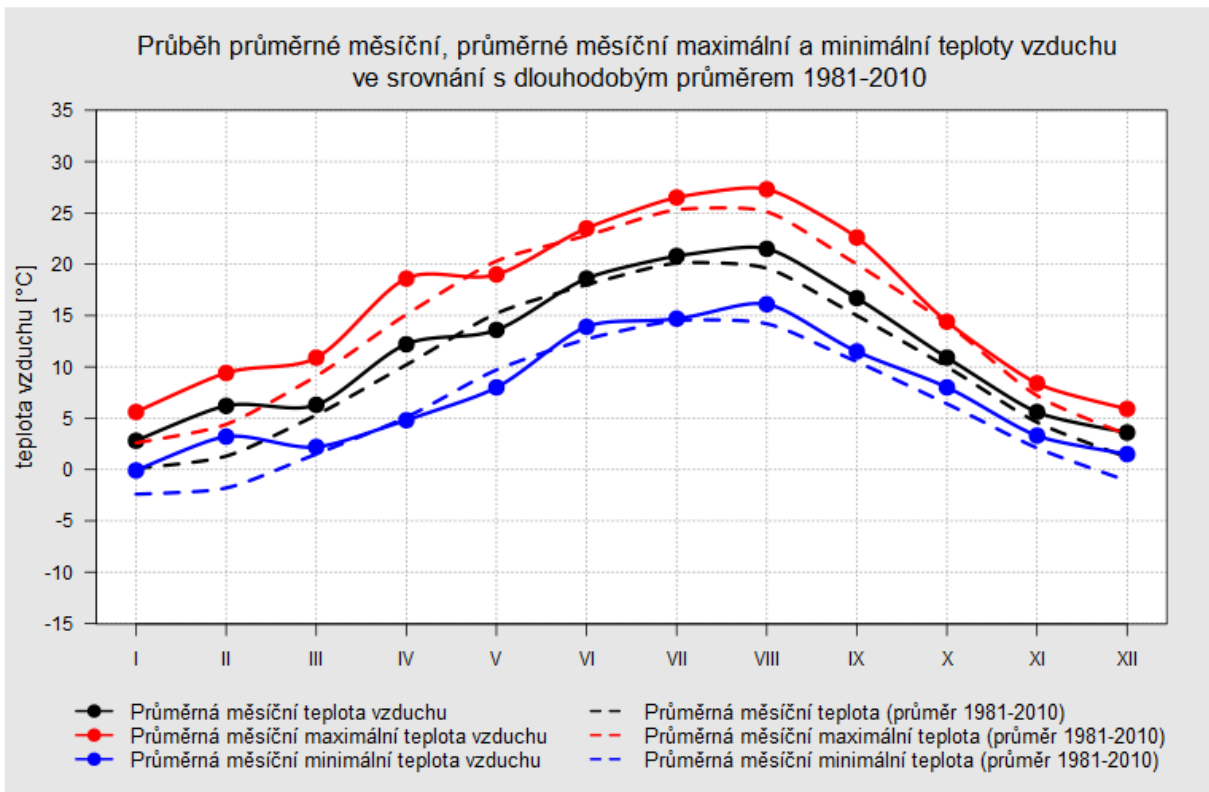
**Obrázek 36 - účinnost odebrání plynů NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub> [52]**

V průmyslových procesech běžně dochází k emisi značného množství CO<sub>2</sub>. Příkladem mohou být spalování zemního plynu (9% CO<sub>2</sub> [53]), elektrárny na fosilní paliva (5-15% CO<sub>2</sub> [54]), ocelárny a železárny (30% CO<sub>2</sub> [53]), výroby cementu (15-25% CO<sub>2</sub> [55]), tavicí pece (6-7% CO<sub>2</sub> [56]), bioplynové stanice (50% CO<sub>2</sub> (Sukačová (2021) [48]) nebo spalovny odpadu (11% CO<sub>2</sub> [57]). Z diskuse se Sukačovou (2021) vyplynulo, že zvolení technologie je závislé

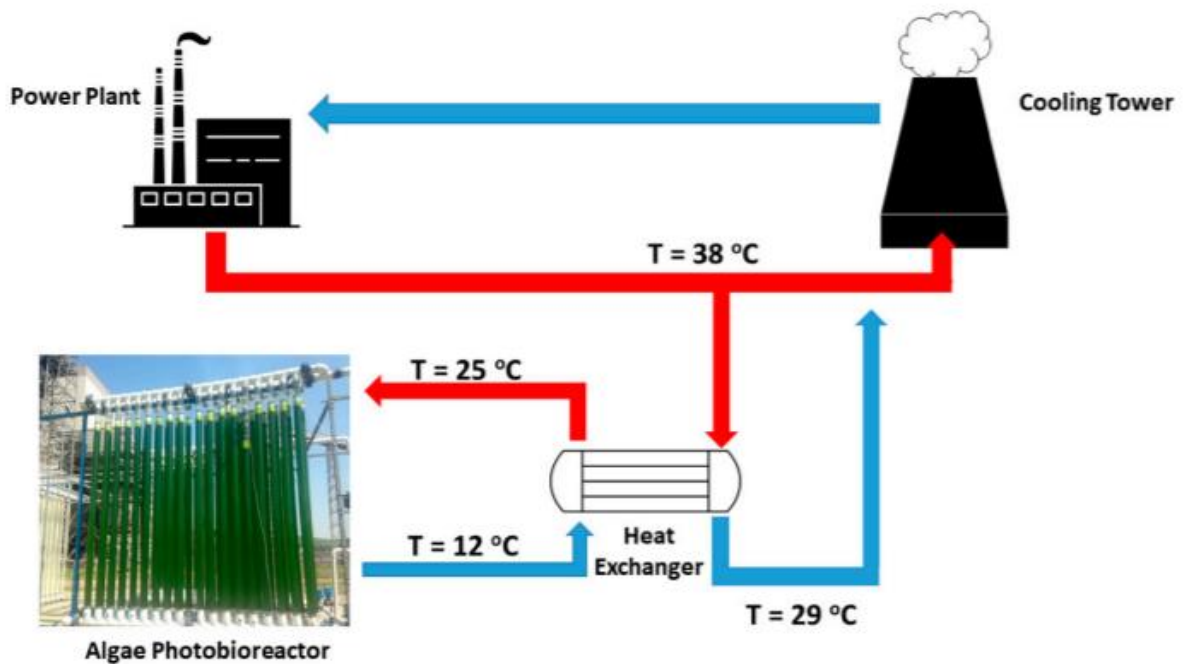
na koncentraci CO<sub>2</sub> [48]. Zároveň obecně platí vztah, čím vyšší je koncentrace CO<sub>2</sub>, tím náročnější, a tudíž i dražší musí být zvolená technologie.

#### **2.4.4 Teplota**

Za vhodný interval teplot se pro většinu mikrořas uvádí 15–30°C. Mikrořasy rodu *Chlorella* tolerují dokonce 40°C. Z celosvětového hlediska uplatnění je tak při venkovním umístění lepší tropický nebo subtropický podnebný pás. To příliš nehraje do karet ČR pro svoji polohu v mírném podnebném pásu, jak ukazuje Obrázek 37 [58]. Z něj je patrné, že průměrná měsíční teplota okolí měřicí stanice Praha – Karlov za rok 2020 byla 15 °C a více po dobu 4 měsíců z celého roku, tj. přibližně od 1/3 května do 1/3 září. Z toho vyplývá, že zbylých 8 měsíců bych nedoporučoval umístění bioreaktoru ve venkovním prostředí bez systému ohřevu. Nutno dodat, že hodnota 15 °C je dolní limit doporučeného intervalu, avšak za optimální teplotu různé zdroje považují cca 25 °C v závislosti na různých faktorech, např. druhu zvolené mikrořasy. Je také možné po tuto dobu přesunout bioreaktor do interiéru/skleníku a v takovém případě je na místě uvažovat i o částečně umělém osvětlení. Skleník využívají u projektu Ecoduna, který je situován nedaleko Vídně. Protože má tato lokalita podobné klimatické podmínky jako Praha budu skleník později uvažovat jako součást investičních výdajů v kapitole 4. Příklad využití tepelného výměníku pro ohřev suspenze znázorňuje Obrázek 38. Během nejteplejších letních měsíců, však může docházet i k opačné situaci a sice přehřívání. To je v tropických a subtropických oblastech zcela přirozené. Teplota suspenze může dosahovat v rozmezí 10–30 °C nad venkovní teplotu [39]. Dosavadní přístupy se s přehříváním vypořádávají třeba ponořením bioreaktoru do vodní nádrže, postříkáním povrchu vodou, použitím tepelného výměníku nebo i zastíněním. Je zřejmé, že tyto řešení si vyžadují další náklady. V případě zastínění dochází ke snížení množství slunečního světla pro výrobu biomasy. V průmyslových procesech, kdy vzniká značné množství odpadního CO<sub>2</sub> se však typicky vyskytuje úměrné množství odpadního tepla, které lze potenciálně využít pro ohřev bioreaktoru v chladnějších měsících [59].



Obrázek 37 - průměrná měsíční teplota, Praha – Karlov (2020) [58]



Obrázek 38 - schéma využití tepelného výměníku u bioreaktoru elektrárny East Bend Station, stát Indiana, USA [29]

## 2.5 Systémy kultivace mikrořas k zachycování CO<sub>2</sub>

V současné době se ve větším měřítku používají především mělké otevřené systémy zejména kvůli nízkým nákladům. Studie však ukazují, jak významný vliv na účinnost systému mají absence kontroly teploty, světla, riziko kontaminace apod. To vede ke konečné nízké produkci, což činí následné zpracování ve smyslu oddělení biomasy od kapaliny drahé. Proto byly zkoumány jiné typy kultivačních systémů z hlediska zachycování CO<sub>2</sub> a sice bioreaktory. Při návrhu bioreaktoru je několik oblastí podléhajících pečlivé optimalizaci, aby došlo k co nejvyšší účinnosti:

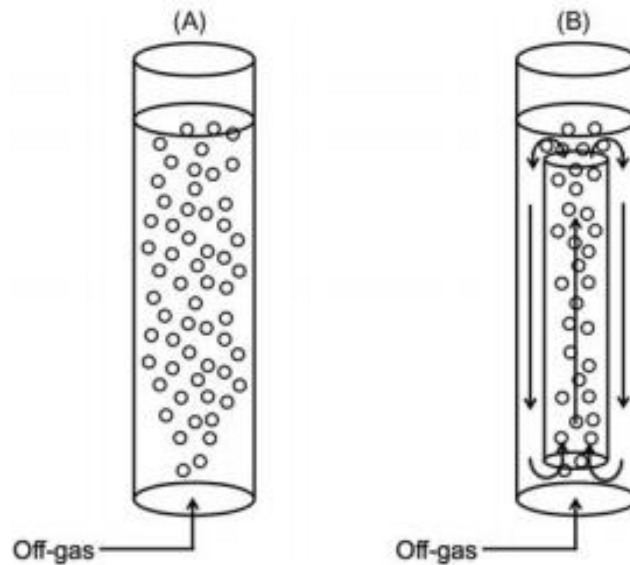
- Jednoduché a přesné ovládání kontrolních parametrů
- Minimalizace investičních a provozních nákladů
- Minimalizace spotřeby energie
- Využití co největšího množství sluneční energie a efektivní distribuce v systému

Pro tyto potřeby bylo vyvinuto několik druhů bioreaktorů viz kapitola 2.2, přičemž žádný neuspokojil ideální požadavky [47]. Existuje několik módů provozu, jejichž anglické názvy zní batch, fed-batch, semicontinuos nebo continuous. V překladu jsou to kategorie od dávkového (nekontinuálního) až po plně kontinuální mód. Nejčastěji se používají nekontinuální batch a fed-batch, které s nimi umožňují jednoduše operovat, ale nejsou tak efektivní jako plně kontinuální. Ty totiž naopak zachovávají nepřetržitou produkci, snadnou automatizaci a obecně schopnost udržovat systém při maximální možné produktivitě. Plně kontinuální provoz, tak může umožnit vyšší produkci, ale stále je třeba provést značné úsilí k přesunutí systému z laboratorně-experimentální prostředí do komerčního v plném rozsahu a větším měřítku [38]. Dle Sukačové (2021) provozování bioreaktoru v plně kontinuálním módu bez umělého osvětlení nedává smysl [48]. Výkon systému zásadně určují samotná konfigurace a režim provozu. Přispívají totiž k provozním nákladům spotřebou energie třeba umělým osvětlením, mícháním a probubláváním plynu suspenzí. Spotřeba energie tak může být v intervalu od 50 W/m<sup>3</sup> do 2000 W/m<sup>3</sup> u horizontálního trubkového bioreaktoru.

Přímá aplikace odpadního plynu ve formě probublávání suspenzí pravděpodobně poskytne u vertikálního trubkového bioreaktoru nejvyšší efektivitu zachycení. Ovšem relativně nízký poměr plochy k celkovému poměru snižuje sumární zachycení sluneční energie, čímž je omezeno maximální možné tempo růstu. Na druhou stranu se tím snižuje riziko fotoinhibice. Proto je důležité, aby bylo u bioreaktorů pro zmírnění průmyslových emisí CO<sub>2</sub> zajištěno probublávání odpadním plynem pro rovnoměrnou distribuci k mikrořasám. Tím je zajištěna jejich cirkulace mezi horní a spodní částí pro rovnoměrné osvětlení. Cyklus mezi tmavým a osvětleným prostředím dle různých zdrojů totiž zlepšuje fotosyntetickou účinnost [42] [47]. Probublávání odpadním plynem mimo jiné pomáhá odstraňovat O<sub>2</sub> ze suspenze

produkovaného během fotosyntézy, čímž je předcházeno problémům s akumulací. O<sub>2</sub> je totiž pro mikrořasy obvykle toxický, jak už bylo zmíněno v přechozích kapitolách. Vertikální tubulární bioreaktory lze dělit do dvou kategorií dle jejich činnosti na tzv. bubble a gas-lift viz Obrázek 39. V obou případech je možné odpadní plyn vpustit v dolní části trubice a nechat ho probublat suspenzí. Tím je zajištěna optimální doba zdržení pro přenos CO<sub>2</sub> a zároveň dochází k míchání. Klíčovým rozdílem mezi typem bubble a gas-lift je ten, že gas-lift spočívá ve stoupání plynu uvnitř trubice, přičemž na vrcholu může být plyn opět stáhnut proudem suspenze směrem dolu. Typ gas-lift proto poskytuje vyšší efektivitu, účinnějším mícháním a delší dobou zdržení plynu v suspenzi. U obou typů je nezbytné zachování šetrného proudu odpadního plynu, aby nedocházelo k poškození mikrořas. Výsledky zachycování CO<sub>2</sub> vertikálních tubulárních bioreaktorů zobrazuje Tabulka 5. Z ní je patrné, že nejvyšší hodnota zachycování CO<sub>2</sub> byla 0,966 g/l/den. Toho bylo docíleno u řasy *Chlorella* se systémem proudění bubble, při koncentraci vstupního plynu 12–13 % CO<sub>2</sub>. Tato hodnota však nebyla naměřena nýbrž spočtena. Je však zřejmé, že při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> (kolem 6 %) hodnota jeho zachycování násobně klesá. Jiné zdroje uvádí hodnotu fixace CO<sub>2</sub> mikrořasy *Chlorella vulgaris* dokonce 6,24 g/l/den [60].

Nejpokročilejší systémy pracují v kontinuálním režimu s nepřetržitým přísunem plynu se zvýšeným obsahem CO<sub>2</sub>. Ke zvýšení odolnosti proti nízké teplotě vertikálních tubulárních bioreaktorů ve venkovním prostředí je možné částečné umístění do země. Tím se zlepší tepelná izolace na úkor zhoršených světelných podmínek. Nicméně lze prostřednictvím vysokých, shora osvětlených tubic dosáhnout mnohem lepší plošné produktivity oproti otevřeným systémům. To je nejvýznamnější z hlediska vztahu k průmyslovým procesům [46]. Dle různých zdrojů v současnosti není zachycování a mitigace průmyslového CO<sub>2</sub> pomocí výroby biopaliv z řas ekonomicky výhodné. Do budoucna však lze předpokládat že, zdokonalování technologie, zvyšování nákladů na fosilní paliva a zvyšování cen emisních povolenek obrátí tento stav v ekonomicky výhodný. Bylo zjištěno nespočet slibných výsledků tubulárních bioreaktorů, které lze použít pro konkrétní scénáře, avšak je žádoucí problematiku dále rozvíjet, testovat a přenášet laboratorní návrhy do průmyslového měřítká. Podrobnější výzkum vyžadují zejména oblasti aplikace skutečných odpadních plynů (včetně kyselých) oproti simulovaným, rozšiřování laboratorních technologií (kupříkladu absorpce CO<sub>2</sub> a přenos světla) nebo porozumění podmínkám procesů primárně u venkovních systémů (např. proměnlivost osvětlení a teploty). Tento přístup má příznivou budoucnost, která se může stát realitou při pokračování výzkumů za účelem boji proti antropogenním emisím CO<sub>2</sub> [61].



**Obrázek 39 - způsoby proudění plynu vertikálních tubulárních bioreaktorů [62]**

**Tabulka 5 - Výsledky zachycování CO<sub>2</sub> tubulárních bioreaktorů [62]**

Microalgae strain	Reactor	CO <sub>2</sub> source	CO <sub>2</sub> content	Capture rate (g/l/day)
Dunaliella salina	Airlift	Steel plant off-gas	20 %	0,1
Spirulina	Bubble column	Synthetic	12 %	0,27
Scenedesmus obliquus	Bubble column	Synthetic	12 %	0,22
Chlorella	Bubble column	Steel plant off-gas	24-26 %	0,942
Chlorella	Bubble column	Steel plant off-gas	12-13 %	0,966
Scenedesmus	Airlift	Synthetic	6 %	0,110
Chlorella	Bubble column	Synthetic	10 %	0,249
Chlorella	Bubble column	Coke oven	10-15 %	0,175



## 2.6 Výhody a nevýhody

**Tabulka 6 - výhody a nevýhody bioreaktorů [63]**

<b>Sloupcové bioreaktory</b>	výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dobrá produkce biomasy, vysoká účinnost fotosyntézy, vysoký potenciál škálovatelnosti, omezená fotoinhibice a fotooxidace,</li> <li>• levné, kompaktní a snadno se udržuje,</li> <li>• potenciál expozice střídáním temných a světlých cyklů,</li> <li>• malé předpoklady prostoru vyžadované pro kultivaci,</li> <li>• vhodné pro venkovní pěstování,</li> <li>• nízká spotřeba energie.</li> </ul>
	nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malá plocha světelné expozice, kterou lze zvětšit pouze průměrem sloupce,</li> <li>• nízký poměr povrchu reaktoru k jeho objemu,</li> <li>• možnost tvorby biofilmu na stěnách reaktoru.</li> </ul>
	použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Není vhodný pro pěstování řas s nízkou specifičností hmotnosti, např. kmeny obsahující velké množství lipidů.</li> </ul>
<b>Plošné bioreaktory</b>	výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velká plocha expozice světlu,</li> <li>• velký poměr povrchu k objemu,</li> <li>• vhodné pro venkovní pěstování,</li> <li>• vysoká produktivita biomasy,</li> <li>• schopnost udržovat jednotný přístup ke světlu napříč celým objemem kultivace,</li> <li>• relativně levné,</li> <li>• snadná výroba, údržba, čištění a provoz,</li> <li>• vysoká účinnost fotosyntézy,</li> <li>• malá koncentrace rozpuštěného kyslíku.</li> </ul>
	nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jakékoli zvýšení rozsahu výroby vyžaduje použití mnoho modulů a podpůrnou strukturu,</li> <li>• potíže s kontrolou teploty kultivace,</li> <li>• riziko znečištění,</li> <li>• potenciál výskytu hydrodynamického stresu u některých druhů řas.</li> </ul>
	použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produkce kmenů řas s vysokým obsahem lipidů v podmínkách s omezeným přístupem k živinám.</li> </ul>
<b>Tubulární bioreaktory</b>	výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velká plocha světelné expozice,</li> <li>• vhodnost pro venkovní pěstování,</li> <li>• dobrá produktivita biomasy,</li> <li>• relativně nízké náklady na stavbu.</li> </ul>
	nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Značné požadavky na plochu pozemku pro instalace,</li> <li>• možné výkyvy pH, koncentrace rozpuštěného O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> po délce trubice,</li> <li>• riziko akumulace biofilmu na stěnách trubek,</li> <li>• špatný přenos hmoty.</li> </ul>
	použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Průmyslová výroba cenných barviv, astaxanthinu a pro produkci Haematococcus, Nannochloropsis a Chlorella.</li> </ul>
<b>Fermentory</b>	výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Možnost spuštění axenické-čisté kultivace,</li> <li>• kontrola všech parametrů procesu.</li> </ul>
	nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nízký poměr povrchu k objemu,</li> <li>• nízká účinnost absorpce světla,</li> <li>• nízká produktivita.</li> </ul>
	použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pěstování druhů mořských řas, tj. Chondrus crispus, Gracilari, procesy biologického čištění odpadních vod, produkce hodnotných metabolitů.</li> </ul>

## 2.7 Průzkum trhu

Během průzkumu trhu byly objeveny dvě společnosti sídlící v ČR poskytující bioreaktory. Pro pestřejší výběr byly zahrnuty společnosti zejména v rámci EU. Mimo EU je v seznamu Spojené království, které bylo donedávna součástí. Protože jsou za lídra v této oblasti považováni hlavně Izraelci, mají v seznamu svého zástupce. Nutno dodat, že z webových stran jednotlivých společností nebylo vždy zřejmé, zdali jsou schopní poskytnout bioreaktory v měřítku, které by bylo pro Prahu potenciálně atraktivní. Seznam společností zabývajících se poskytováním bioreaktorů zobrazuje Tabulka 7.

**Tabulka 7 - průzkum trhu**

Název společnosti	Země	Web
A4F	Portugalsko	<a href="https://a4f.pt/en/contacts">https://a4f.pt/en/contacts</a>
Algatech	Izrael	<a href="https://www.algatech.com/">https://www.algatech.com/</a>
Algoliner	Německo	<a href="https://www.algoliner.de/kontakt-1">https://www.algoliner.de/kontakt-1</a>
Aqualgae	Španělsko	<a href="https://aqualgae.com/en/contact/">https://aqualgae.com/en/contact/</a>
BBI-Biotech GmbH	Německo	<a href="https://bbi-biotech.com">https://bbi-biotech.com</a>
Buggy power	Portugalsko	<a href="http://www.buggypower.eu/">http://www.buggypower.eu/</a>
Ecoduna	Rakousko	<a href="https://jongerius-ecoduna.at/en/">https://jongerius-ecoduna.at/en/</a>
Femonline	Itálie	<a href="http://www.femonline.it/#contact">http://www.femonline.it/#contact</a>
Lgem	Nizozemsko	<a href="https://lgem.nl/">https://lgem.nl/</a>
PSI	ČR	<a href="http://photo-bio-reactors.com/contact-us/">http://photo-bio-reactors.com/contact-us/</a>
REDONO	Finsko	<a href="https://www.redono.fi/">https://www.redono.fi/</a>
SCHOTT AG	Německo	<a href="http://www.schott.com">www.schott.com</a>
Subitec	Německo	<a href="https://subitec.com/en">https://subitec.com/en</a>
Varicon Aqua Solutions	Spojené království	<a href="https://www.variconaqua.com">https://www.variconaqua.com</a>
VEKAMAF	ČR	<a href="http://www.vekamaf.cz">http://www.vekamaf.cz</a>
Xanthella	Skotsko	<a href="https://xanthella.co.uk/contact/">https://xanthella.co.uk/contact/</a>

## 2.8 Shrnutí kapitoly

V této kapitole jsem zjistil, že podnebí ČR není ideální pro provoz venkovních bioreaktorů v průběhu celého roku, zejména kvůli nízké průměrné teplotě. Prodloužení období provozu v průběhu roku lze docílit způsoby popsány v této kapitole. Hlavně se jedná o regulaci teploty a využití umělého osvětlení. Vědecké publikace nejčastěji opakují využití mikrořasy *Chlorella*, protože vykazuje nejvyšší hodnoty fixace CO<sub>2</sub>. Proto bych pro využití v hl. m. Praze doporučil právě tuto mikrořasu. Podotýkám však, že se po celém světě vyskytují stovky tisíc druhů mikrořas, přičemž se jich komerčně využívají pouze desítky. Je tedy více než pravděpodobné, že se s prohlubujícím výzkumem objeví ještě vhodnější druhy mikrořas. Využití bioreaktorů ke zlepšení kvality ovzduší v hl. m. Praze lze dosáhnout, protože řasy používají jako plynný zdroj energie kromě primárního CO<sub>2</sub> i sekundární SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>, tedy látky, na které se v ČR vztahuje imisní limit pro ochranu zdraví. Z předchozí kapitoly 1.2 je však zřejmé, že imisní limity v rámci Prahy byly překročeny pouze u NO<sub>2</sub> měřící stanice Legerova. Nutno dodat, že výzkumy pro využití sekundárních plynů SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> stále nemají jasné závěry. Jak už jsem avizoval, v některých případech jsou tyto plyny využity úplně, v jiných pouze částečně. Tak či onak k využití dochází, to tedy odpovídá požadavkům pro zlepšení kvality ovzduší v rámci města. V kapitole 1 jsem totiž zjistil, že jsou to mimo jiné primárně oxidy síry, dusíku a suspendované částice, které mají na obyvatele negativní vliv, nikoliv však CO<sub>2</sub> při běžných koncentracích. K CO<sub>2</sub>, jak už bylo zmíněno se vztahují jiné závazky, respektive strategické a akční plány na lokální, národní i evropské/globální úrovni, tedy nejsou to legislativně stanovené imisní limity jako tomu je právě u oxidů síry, dusíku, suspendovaných částic apod. Tyto závazky je také zapotřebí dodržovat, obyvatelé města už v tomto případě ale nehrají primární roli jakožto přímí beneficianti. Vzhledem k distribuci skleníkových plynů v atmosféře je tedy v podstatě jedno, jestli je systém umístěn v Praze nebo např. v rámci Středočeského kraje. Volba samotného zdroje odpadních plynů jako vstup do systému má samozřejmě vliv na celkovou efektivitu bioreaktoru. Ve vědeckých článkách byl často jako zdroj odpadního plynu použit syntetický CO<sub>2</sub>. To je při nasazení do reálných průmyslových procesů odlišnost, protože při spalování navíc typicky vznikají mimo jiné oxidy síry a dusíku, které ovlivňují kyselost suspenze a ve větším množství působí toxicky na mikrořasy, čímž je snížena účinnost systému. U rozumných koncentrací těchto látek se zásadní dopady na účinnost neprojeví.

### 3 Analýza rizik – SAFMEA

Součástí této kapitoly je navrzení vhodných lokalit pro potenciální umístění systému a ohodnocení jednotlivých variant metodou SAFMEA. Výstup z metody by měl sloužit jako podklad k rozhodování o umístění bioreaktoru, protože by z něj měly být patrné rozdíly v rizicích mezi jednotlivými variantami. Tato metoda byla studentům navazujícího magisterského studia představena v předmětu Analýza a řízení rizik a zvolil jsem ji, protože se jedná o poměrně univerzální metodu k hodnocení nejen dopravních projektů.

#### 3.1 Navrzení potenciálně vhodných lokalit

V kapitole 2.4.3 bylo naznačeno, že bioreaktor je nejvhodnější umístit u objektů, kde probíhají průmyslové procesy, během kterých dochází zejména k vylučování velkého množství odpadního plynu (obsahujícího primárně CO<sub>2</sub>) a odpadního tepla. Odpadní CO<sub>2</sub> je možné dodávat do bioreaktoru a odpadním teplem je možné suspenzi udržovat v optimálním intervalu teplot viz kapitola 2.4.4. Druhy doporučených průmyslových objektů k umístění bioreaktoru jsou pro připomenutí spalovny zemního plynu, elektrárny na fosilní paliva, ocelárny a železárny, výroby cementu, tavicí pece, bioplynové stanice nebo spalovny odpadu.

Vzhledem k zaměření této DP je uvažováno pouze s umístěním právě v rámci hl. m. Prahy. Zároveň není uvažováno se soukromými nýbrž pouze s městskými společnostmi, kde má Praha úplný nebo částečný podíl viz Obrázek 40. Z tohoto důvodu lze rovnou umístění v železárnách, cementárnách, elektrárnách na fosilní paliva a tavicí pece zanedbat. Na webu ČHMÚ existuje evidence zdrojů znečišťování za rok 2019, kde je možné zobrazit seznam týkající se pouze Prahy. Po odfiltrování společností bez majetkového podílu Prahy vznikla Tabulka 8.

Provozovny Dopravního podniku nemají potenciál pro využití systému. Většina provozoven produkuje těkavé organické látky pramenící ze servisní údržby dopravních prostředků. Pouze k Ústřední dílně Hostivař je evidováno spalování paliv ve spalovacích stacionárních zdrojích a celkovém jmenovitém tepelném příkonu od více než 0,3 MW do 5 MW včetně, což je relativně malé množství. Pro tyto důvody nejsou provozovny Dopravního podniku dále uvažovány.

Ke Kongresovému centru Praha jsou evidovány zdroje Spalování paliv v kotlích o celkovém jmenovitém tepelném příkonu nad 5 MW a spalování paliv v pístových spalovacích motorech o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 MW do 5 MW včetně i nad 5 MW. Kongresové centrum se nejeví, jako vhodný kandidát, a proto s ním není dále uvažováno.

Společnost Pražská energetika emise neohlásila u obou provozoven, a navíc je u nich evidován pouze zdroj spalování paliv v pístových spalovacích motorech. Dále se s touto společností nepočítá.

Nyní přichází na řadu Pražské služby, kde má Praha 100% majetkový podíl. Lakovna Dopravního značení nespadá do výše zmíněných doporučených průmyslových procesů, avšak ZEVO Malešice, které provozují od roku 1998 už ano [64]. ZEVO produkuje značné množství odpadního plynu i tepla, to jsou faktory, ze kterých může systém potenciálně profitovat.

Poslední společnost Pražské vodovody a kanalizace na území Prahy provozuje celkem 4 ČOV. Praha u této společnosti však disponuje majetkovým podílem pouze 49 % [65]. ČOV sama o sobě nemá velký potenciál k využití systému. Pokud se k ČOV však připojí bioplynová stanice spalující kalové plyny, tak se situace zcela mění. Bioplynová stanice je provozována v lokalitě Bubeneč – Praha 6, na Císařském ostrově v oblouku řeky Vltavy. Bioplynová stanice má na první pohled potenciálně lepší možnosti využití produkované biomasy. Již bylo zmíněno, že pro kultivaci mikrořas je nutné použít výhradně pitnou vodu, tedy množství odpadních vod zde nemá přínos.

Na území Prahy 8 v Ďáblicích existuje další bioplynová stanice v areálu skládky odpadu. Tu ale provozuje soukromá společnost, a proto s ní dále není uvažováno. Pražská teplárenská, a.s. přirozeně provozuje celou řadu tepláren, čímž by se mohla jevit jako další vhodný kandidát. Paradoxně u ní Praha nemá žádný majetkový podíl, a proto s ní není dále uvažováno [66].

Závěr této podkapitoly je tedy následující. Za předpokladu umístění bioreaktoru na území Prahy v provozovnách městských společností a z veřejné evidence zdrojů znečišťování vyplývá nejvyšší potenciál využití u provozovny Pražských služeb ZEVO Malešice a provozovny společnosti Pražské vodovody a kanalizace u ÚČOV na Praze 6. Tyto provozovny jsou zmíněné již v kapitole 1.2 a patří mezi největší zdroje znečištění ovzduší v rámci Prahy.

SPOLEČNOSTI SE 100% MAJETKOVÝM PODÍLEM	OSTATNÍ
 Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s.	 Pražské vodovody a kanalizace, a. s.
 Kolektory Praha, a. s.	 Kongresové centrum Praha, a. s.
 Obecní dům, a. s.	 Pražská energetika Holding a. s.
 Operátor ICT, a. s.	 PPF banka a. s.
 Prague City Tourism a. s.	 Úpravná vody Želivka, a. s.
 Pražská plynárenská Holding a. s.	 Zdroj pitné vody Káraný, a. s.
 Pražská vodohospodářská společnost a. s.	
 Pražské služby, a. s.	
 Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a. s.	
 Technologie hlavního města Prahy, a. s.	
 TRADE CENTRE PRAHA a. s.	
 Výstaviště Praha, a. s.	

**Obrázek 40 - přehled společností hl. m. Prahy s úplným nebo částečným majetkovým podílem [67]**

**Tabulka 8 – zdroje znečišťování – městské společnosti evidované ČHMÚ (2019) [68]**

<b>název společnosti</b>	<b>sídlo</b>
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Depo Hostivař	Strašnice - Praha 10
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Depo Hostivař – OZM	Strašnice - Praha 10
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Depo Kačerov	Michle - Praha 4
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Garáž Kačerov	Michle - Praha 4
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Garáž Klíčov	Vysočany - Praha 9
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Garáž Řepy	Řepy – Praha 17
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Garáž Vršovice	Michle - Praha 10
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Ústřední dílny Hostivař	Malešice - Praha 10
Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. - Vozovna Hloubětín	Hloubětín - Praha 9
Kongresové centrum Praha, a.s.	Nusle - Praha 4
Pražská energetika – Na Hroudě	Strašnice - Praha 10
Pražská energetika – Nltranská	Vinohrady - Praha 10
Pražské služby a.s. - Iakovna Dopravní značení – Pod Šancemi	Vysočany - Praha 9
Pražské služby, a.s. - Závod 14, ZEVO Malešice	Malešice - Praha 10
Pražské vodovody a kanalizace, a.s., PČOV Uhříněves – Dubeč	Dubeč - Praha 15
Pražské vodovody a kanalizace, a.s., PČOV Újezd nad lesy	Běchovice - Praha 9
Pražské vodovody a kanalizace, a.s., PČOV Zbraslav	Zbraslav - Praha 5
Pražské vodovody a kanalizace, a.s., ÚČOV Praha 6	Bubeneč - Praha 6

### **3.2 Teoretická část**

Rizikový management se podstatně váže k řízení podniků, projektů či procesů. Metoda Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) se pro potřeby identifikace a hodnocení rizik hojně využívá. Výstupem metody FMEA je index Risk Priority Number (RPN), tedy celková míra rizika. Podmínkou k uplatnění metody je shoda hodnotitelů analýzy, což je v praxi obtížně dosažitelné. Proto je tu modifikovaná varianta metody nazývaná se Statistical FMEA (dále jen SAFMEA) [69], kde je výstupem souhrnný index celkového rizika. Ten je dosažen poměrně náročnými výpočty a pro ně se obvykle používá softwarové zpracování. Pomocí kvantifikovaných výstupů z metody lze rozhodovat o riziku. SAFMEA se využívá kupříkladu v dopravním inženýrství pro hodnocení různých variant projektů ovšem pro svoji univerzálnost se hodí i do zcela jiných odvětví.

### 3.2.1 Předmět a cíl analýzy metodou SAFMEA

Metodou SAFMEA lze hodnotit projekty nebo procesy v kterékoliv etapě. Jejím cílem je predikovat a odhadovat možné způsoby poruch projektu, jejich následky a odhalit taková rizika, jejichž následky jsou nejvyšší.

### 3.2.2 Charakteristika metody SAFMEA

Vychází z metody FMEA, oproti ní navíc využívá statistické vyhodnocení souboru indexů RPN<sup>E</sup>, které jsou zjištěny odhadem hodnotitelů, jejichž pohled na hodnocení je typicky expertní. Metoda zohledňuje variabilitu odhadů napříč experty a závažnost rizik samostatným řazením dvojic „porucha-následek“, jejichž ukazatel se označuje Sv<sup>E</sup>. Pomocí metody SAFMEA nelze odhadovat absolutní rizika projektu a stejně tak to platí u metody FMEA [70].

### 3.2.3 Základní prvky

Tichý a Milík (2006) popisují následující základní prvky [70]:

- Formulář sloužící pro vyplnění experty
- Expertní tabulka, tj. de facto formulář již vyplněný experty
- Výsledná tabulka obsahující hodnoty indexu RPN a jeho parametrů

## 3.3 Zabezpečení analýzy SAFMEA

K této podkapitole se váže popis rizikového analytika a týmu expertů.

### 3.3.1 Rizikový analytik (RA)

Rizikový analytik by měl přirozeně rozumět problematice rizikového inženýrství a managementu rizika. Tyto činnosti jsem měl v kompetenci. V rámci zpracování analýzy jsem byl zodpovědný za činnosti [70]:

- Řízení průběhu expertní analýzy
- Instruování expertů
- Zpracování výchozího formuláře
- Finalizace formuláře dle připomínek expertů
- Vyhodnocení souboru expertních tabulek
- Zpracování závěrů pro rozhodovatele

### 3.3.2 Tým expertů

Jejich počet se označuje  $n_e$ . Tým se musí skládat z alespoň 3 expertů. Horní hranice není stanovena, avšak s počtem expertů roste vypovídací schopnost analýzy. Pakliže je počet expertů menší než 3, je provedena analýza FMEA. Je vhodné tým expertů informovat o jejich



úloze a vysvětlit význam pojmů „způsob poruchy“ a „následek poruchy“, význam stupnic a objasnit způsob vyplňování formuláře. Experti by vzájemně neměli znát hodnocení rizik, aby nedošlo k jejich ovlivnění [70]. Proto jsem je instruoval, aby po vyplnění hodnocení skryli vyplněné hodnoty před ostatními ve sdíleném dokumentu.

### **3.4 Vlastní postup**

V této podkapitole blíže popisuji, jaké kroky jsem podnikl pro zpracování analýzy.

#### **3.4.1 Příprava**

Prvním krokem rizikového analytika je seznámení se s projektem. To jsem ve své podstatě provedl už v kapitole 2. Šablonu formuláře jsem měl možnost použít již z předmětu navazujícího magisterského studia Analýza a řízení rizik.

#### **3.4.2 Brainstorming**

Obecně je brainstorming veden RA buď z hlediska rizika objednatele (např. rizika organizace) nebo rizika vnější osoby, vzniklá kupříkladu činností organizace. Záměrem brainstormingu je odhadnout způsoby možných poruch projektu a jejich následky. Připomínky jsou následně zapracovány do formuláře [70].

Brainstorming jsem zorganizoval formou online schůzky prostřednictvím MS Teams. Během schůzky bylo týmem identifikováno celkem 21 možných rizik napříč různými kategoriemi. Vzhledem k nejasnému konkrétnímu technickému provedení bioreaktoru u obou variant kvůli experimentálnímu stavu tématu byla převážně identifikována rizika obecného charakteru viz Tabulka 9.

**Tabulka 9 - Přehled rizikových událostí k umístění bioreaktoru**

Kategorie	R	Riziková událost
<b>Technická rizika</b>	R1	vysoká náročnost technologie
	R2	požadavek většího měřítka technologie
	R3	nedostupnost technologie
	R4	nestabilita vstupního odpadního plynu
	R5	nedostupnost inženýrských sítí
	R6	pozastavení provozu v důsledku odstávky
<b>Rizika týkající se umístění</b>	R7	zábor pozemku
	R8	nedostatek prostoru
<b>Bezpečnostní rizika</b>	R9	vandalismus
<b>Rizika týkající se životního prostředí</b>	R10	zničení silným větrem
	R11	záplavy, přívalový déšť
	R12	vznik odpadní vody při čištění
<b>Finanční rizika</b>	R13	vysoké náklady na experiment
	R14	nevhodná finanční strategie
	R15	nízká návratnost projektu
<b>Obecná rizika projektu</b>	R16	nerealizování projektu
	R17	zamítnutí z nefinančních důvodů
	R18	přihlášení nevhodného dodavatele
	R19	zpoždění v důsledku nevhodné zadávací dokumentace
	R20	nesouhlas vlastníka pozemku s výstavbou bioreaktoru
	R21	negativní ohlas veřejnosti

Během diskuse s experty vyplynuly na povrch některé zákonitosti. Náročnost samotné technologie souvisí s koncentrací CO<sub>2</sub> odpadního plynu. Tzn., že mikrořasa potřebuje náročnější technologii, aby dokázala zpracovat vyšší koncentraci CO<sub>2</sub>. To je předpokládáno u bioplynové stanice, kde se hodnota koncentrace pohybuje okolo 50 % viz kapitola 2.4.3. Hodnota je téměř pětinašobně větší než u spalovny. Částečně to souvisí i s rizikem nedostupnosti technologie, protože náročnější technologie bude pravděpodobně hůře dostupná. Dle Sukačové (2021) již experimenty u spalovny odpadu proběhly, ale u bioplynové stanice nikoliv [48].

Měřítka technologie zase souvisí se samotným množstvím odpadního plynu. U spalovny odpadu se předkládá násobně větší množství než u bioplynové stanice a tomu by mělo odpovídat i měřítko bioreaktoru.

Nestabilita vstupního odpadního plynu se v dosavadním experimentu u spalovny odpadu neprojevila. Důvodem jsou zřejmě poměrně důmyslné filtrační systémy, které jsou schopny udržovat téměř neměnné množství plynu. U bioplynové stanice experiment proveden nebyl, ale předpokládá se konstantní hladina vstupního odpadního plynu, pokud nedojde ke změně paliva.

ZEVO Malešice má pravidelnou odstávku 10 dní v roce, u ÚČOV Praha 6 informace není známa. ZEVO Malešice provozují PS, a.s., které jsou vlastněny ze 100 % hl. m. Prahou, ÚČOV Praha 6 je Prahou vlastněn pouze ze 49 %, tedy Praha zde nemá většinový podíl, jak jsem už zmínil v kapitole 3.1. ÚČOV na Praze 6 oproti spalovně odpadu přirozeně leží v záplavovém území. Z leteckých snímků obou provozoven je zřejmé, že kolem spalovny odpadu v Malešicích je podstatně více prostoru než v hustě zastaveném území ÚČOV na Praze 6.

### **3.4.3 Účast expertů**

Expertí hodnotící jednotlivá rizika a jejich následky by měli mít přirozeně dostatek zkušeností k samotnému hodnocení. V ČR jsou známy osobnosti, které s bioreaktory mají zkušenost a typicky se jedná o zaměstnance AV ČR z Mikrobiologického ústavu v Třeboni. Ty jsem pro účely této kapitoly opakovaně kontaktoval, avšak bez úspěchu. Později se ukázalo, že oslovení zaměstnanci se více věnují samotné fotosyntéze než bioreaktorům. Z mojí zkušenosti vyplývá, že využití této metody v rámci DP má svoje úskalí, protože oslovení experti z praxe nejsou nijak motivováni k účasti, respektive jejich účast je čistě dobrovolná a neohodnocená. To je ovlivněno různými faktory, ať už časovými nebo osobními. Předpokládám, že použití metody v čistě profesní sféře je z tohoto pohledu snazší, neboť se k expertům vážou standardní pracovní závazky a povinnosti.

Během rešeršní části jsem objevil vědecký článek [71], načež jsem kontaktoval jeho autorku RNDr. Sukačovou z ÚVGZ AV ČR a ta souhlasila s podílením se na analýze rizik. Tento ústav jako jediný v ČR provozuje 3 typy bioreaktorů, jmenovitě plošný, tubulární vertikální a spirálovitý (tj. tubulární s odlišným geometrickým uspořádáním trubic). Aby bylo dosaženo identifikace rizik z různých úhlů pohledu oslovil jsem po konzultaci s vedoucími práce a paní doc. Neubergerovou experty, jejichž kompletní seznam ukazuje Tabulka 10. Experti pokrývají oblast akademickou (FD ČVUT), urbanistickou (IPR), vědeckou (ÚVGZ AV ČR), oblast projektového řízení (OICT) a v neposlední řadě oblast municipální (MHMP). Celkový počet expertů je tedy 5, čímž byla splněna podmínka alespoň 3 expertů.

**Tabulka 10 - seznam expertů**

Experti	Společnost	Pozice
doc. Ing. Kristýna Neubergerová, Ph.D.	FD ČVUT	manažer projektů / ústav dopravních systémů
Ing. Jiří Peterka	OICT	Projektový manažer
RNDR. Kateřina Sukačová Ph.D.	ÚVGZ AV ČR	Vedoucí oddělení Experimental high-performance Photobioreactor
Ing. arch. Zuzana Rákosníková	IPR	vedoucí kanceláře KPU – autorizovaná architektka
Ing. Zuzana Zadražilová	OOP MHMP	Specialistka odpadového hospodářství

#### 3.4.4 Stupnice hodnocení a přijatelnost rizik

Pro hodnocení pravděpodobnosti vzniku, následku a přijatelnosti rizika byly použity následující stupnice viz Tabulka 11, Tabulka 12 a Tabulka 13, kde mRPN označuje mean Risk Priority Number, tedy střední hodnotu indexu rizika. Tyto stupnice byly studentům magisterského studia představeny během předmětu Analýza a řízení rizik. Stupnice následků by leckomu mohla připadat netypická, ale její výhoda spočívá v tom, že rizika s těžkými a kritickými následky obdrží ve výsledku vysokou hodnotu RPN a tím pádem více vyplynou na povrch.

**Tabulka 11 - Stupnice pravděpodobnosti vzniku rizika a následku**

Pravděpodobnost vzniku rizika		Následky	
0	Nenastane	0	Bez následků
1	Pravděpodobně nenastane	1	Nedůležité
2	Spíše nenastane	3	Mírné následky
3	Může nastat	9	Těžké následky
4	Spíše nastane	27	Kritické
5	Pravděpodobně nastane	-	-

**Tabulka 12 - Stupnice přijatelnosti rizika**

Následky	Pravděpodobnost				
	1	2	3	4	5
27	27	54	81	108	135
9	9	18	27	36	45
3	3	6	9	12	15
1	1	2	3	4	5

**Tabulka 13 - Intervaly přijatelnosti rizika**

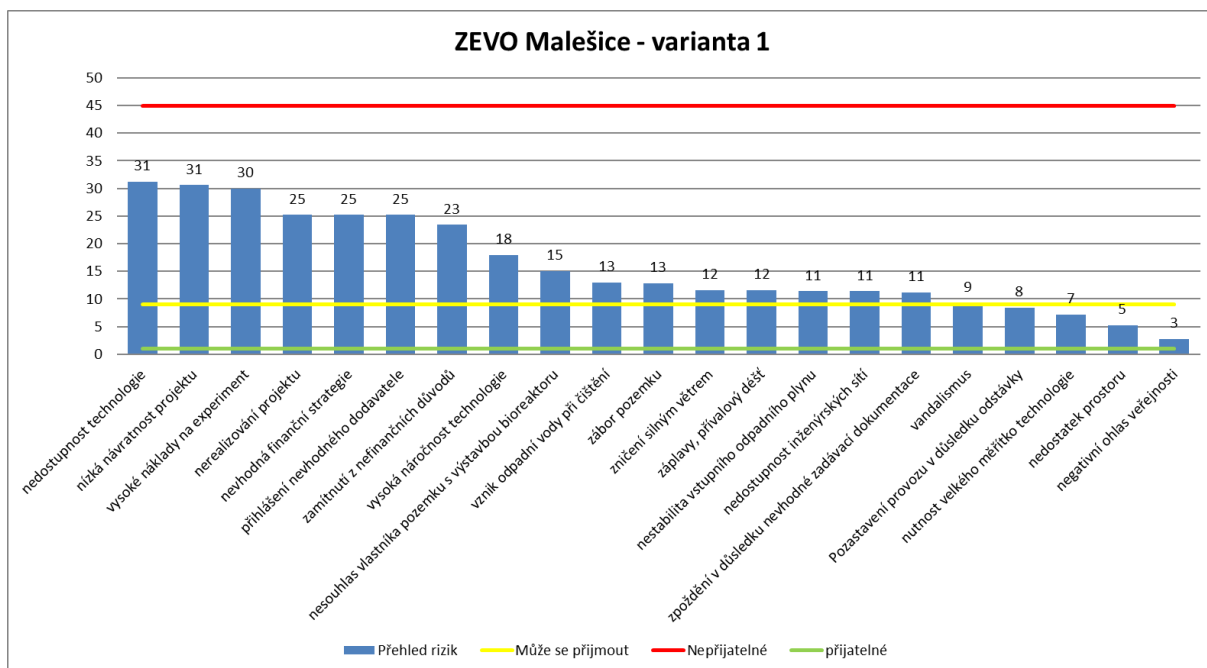
mRPN	Přijatelnost
1-9	Přijatelné
10-44	Může se přijmout
45-135	Nepřijatelné

### 3.4.5 Výstup analýzy

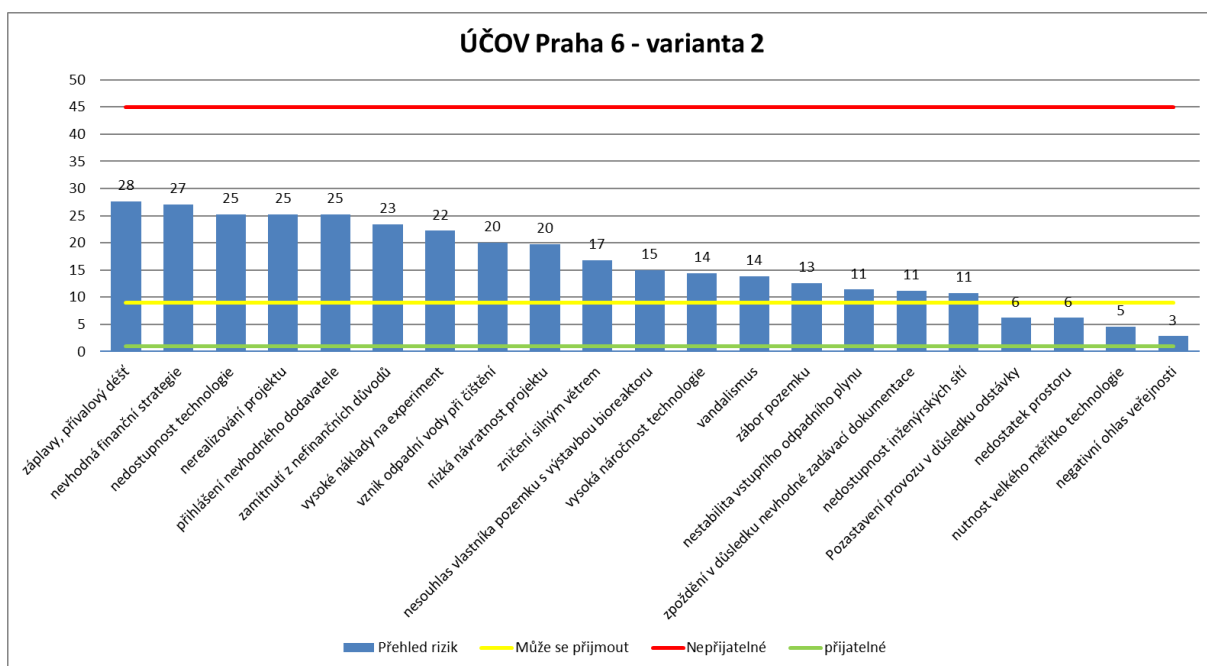
U obou variant nebylo identifikováno žádné nepřijatelné riziko. Počet rizik, která mohou být přijata je poměrově nejvyšší oproti ostatním kategoriím přijatelnosti rizik. Počet rizik této kategorie je o 1 nižší u varianty 1 – ZEVO Malešice, tzn. že je z tohoto pohledu tato varianta přijatelnější než varianta 2 – ÚČOV Praha 6. Rozdíly jsou však minimální. Detailní hodnocení expertů v listinné podobě obsahuje Příloha A. Kompletní výstup analýzy v elektronické podobě souboru MS Excel je součástí jako Příloha F.

U varianty 1 – ZEVO Malešice považuje tým hodnotitelů za nejrizikovější zejména nedostupnost technologie (mRPN 31), nízkou návratnost projektu (mRPN 31) a vysoké náklady na experiment (mRPN 30). Nutno dodat, že hodnoty těchto rizik mají poměrně velkou rezervu k nepřijatelné kategorii, kde je spodní hranice mRPN větší nebo rovno 45. Výsledné hodnoty jednotlivých rizik varianty 1 ukazuje Obrázek 41.

U varianty 2 – ÚČOV Praha 6 jsou považovány za nejvyšší rizika hlavně záplavy, přívalový déšť (mRPN 28), nevhodná finanční strategie (mRPN 27), nedostupnost technologie, nerealizování projektu a přihlášení nevhodného dodavatele (mRPN 25). Tato rizika mají opět poměrně velkou rezervu do spodního intervalu nepřijatelné kategorie rizik. Je zřejmé, že právě záplavy a přívalový déšť v ZEVO Malešice pravděpodobně nenastane oproti ÚČOV. Výsledné hodnoty rizik varianty 2 – ÚČOV Praha 6 zobrazuje Obrázek 42.



**Obrázek 41 - SAFMEA ZEVO Malešice**



**Obrázek 42 - SAFMEA ÚČOV Praha 6**

### 3.5 Shrnutí a doporučení k umístění

V této kapitole byla použita metoda SAFMEA k analýze rizik pro 2 varianty umístění bioreaktoru, tj. ZEVO Malešice a ÚČOV Praha 6. Zorganizoval jsem tým expertů, načež jsem vedl schůzku online formou, metodou zvanou brainstorming se podařilo identifikovat 21 rizik různých kategorií, a nakonec došlo k ohodnocení rizik sestaveným týmem expertů. Výsledky z analýzy ukazují, že v obou případech nebylo identifikováno žádné nepřijatelné riziko.

Varianta 1 – ZEVO Malešice vykazuje 16 rizik, které mohou být přijaty a varianta 2 – ÚČOV Praha 6 jich vykazuje 17. Rozdíl je tedy nevelký, ale z pohledu řízení rizik je nepatrně vhodnější umístit bioreaktor právě k ZEVO Malešice.

Obecně však doporučuji umístit bioreaktor na místa, kde je velké množství odpadního plynu a tepla. Tím lze docílit snížení nákladů a zvýšení účinnosti systému. Pokud systém není umístěn u zdroje odpadního plynu, nelze docílit vysoké účinnosti systému, protože mikrořasy dle vědeckých článků rostou nejrychleji při koncentraci CO<sub>2</sub> okolo 12 %. Vzhledem k faktu, že v atmosféře se běžně vyskytuje koncentrace CO<sub>2</sub> kolem 0,04 % je toto množství nedostatečné pro dosažení přijatelné účinnosti. Z těchto důvodů by měl být zajištěn přívod odpadního plynu.

Přítomnost odpadního tepla je zejména důležitá u mírného podnebného pásu, to se tedy vztahuje i pro ČR. Důvodem jsou nízké průměrné teploty během celého roku, které neumožňují kontinuální kultivaci řas ve venkovních podmínkách bez regulace teploty suspenze, protože za optimální teplotní interval se obecně považuje 15–30°C. Tento interval byl za rok 2019 v hl. m. Praze (měřicí stanice Karlov) splněn pouze po dobu 4 měsíců. Pokud je tedy cílem, prodloužit dobu kultivace mikrořas ve venkovních podmínkách a udržet minimální provozní náklady je nezbytné uvažovat o ohřevu suspenze odpadním teplem.

Podle mého úsudku by bioreaktor ve vztahu k dopravě teoreticky také mohl najít své uplatnění. V městských tunelech s vysokými intenzitami dopravy obvykle bývají systémy k zajištění odvětrávání (v závislosti na několika dopravně inženýrských parametrech), aby nedocházelo k tvoření vysokých koncentrací znečišťujících látek z vozidel přímo v prostoru tunelu. Pro představu bych uvedl příklad větrací šachty Strahovského tunelu. Zřejmě zde nebude moc možností využití odpadní tepla pro regulaci teploty suspenze (přestože teplota vzduchu v tunelu bývá obvykle velmi odlišná od venkovní teploty), ale s velkou pravděpodobností by byla podmínka přítomnosti odpadního plynu splněna. Záleželo by však na konkrétním množství emisí. Pokud bychom pracovali s myšlenkou podobné dopravní stavby s větrací šachtou v hustě osídleném intravilánu v subtropickém nebo tropickém podnebném pásu, pak by se situace zřejmě pozitivně zlepšila. Suspenze by v takovém případě musela být samozřejmě ochlazována, avšak právě protože teplota vzduchu v tunelu je v subtropickém a tropickém pásu podstatně nižší než venkovní teplota, mohlo by teoreticky docházet k ochlazení prostřednictvím nižší teploty vzduchu z tunelu. Produkovaná biomasa by mohla být využita například k částečnému zajištění přísunu elektrické energie pro provoz tunelu. Tyto úvahy by bylo přirozeně vhodné podstatně hlouběji prostudovat, vycházím čistě ze znalostí nabytých v předchozích kapitolách ve snaze je aplikovat pro účely v dopravě.

## 4 Hodnocení metodou CBA

V této kapitole si kladu za cíl vypracování Analýzy nákladů a přínosů pro zhodnocení ekonomické stránky provozu bioreaktoru. K jejímu vypracování jsem použil již hotovou šablonu v programu MS Excel s laskavým svolením vlastníka OICT. V této kapitole nebyl zpracován samotný rozpočet, protože se jedná o separátní záležitost, která není přímou součástí této analýzy a není obsahem oficiálního zadání DP.

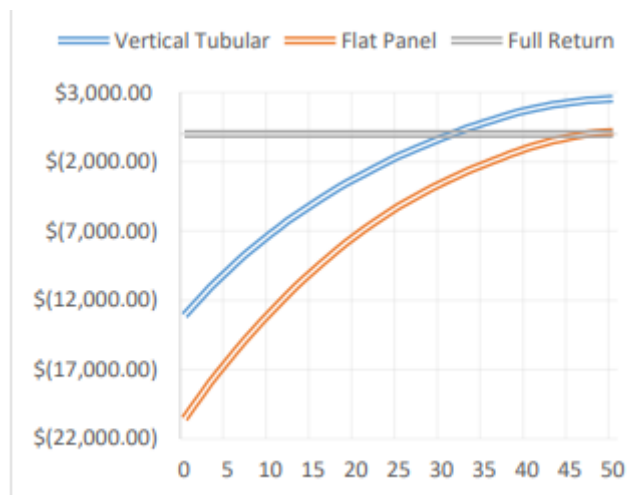
### 4.1 Teoretická část k metodě CBA

Cost-Benefit Analysis (dále jen CBA) je v překladu do češtiny Analýza nákladů a přínosů. Zmíněné náklady jsou vnímány jako veškeré újmy a negativní dopady. Dle Siebera (2004) tento metodický postup, svým průběhem postupně zodpovídá základní otázku „*Co komu realizace investičního projektu přináší a co komu bere?*“ Také popisuje, že „*Takto vymezené dopady akce jsou následně agregovány, převedeny na hotovostní toky a zahrnuty do výpočtu rozhodujících ukazatelů, na základě nichž lze rozhodnout, zda je projekt ve svém důsledku pro společnost přínosem či nikoli.*“ Používá se zejména jako systematický postup hodnocení projektů veřejné sféry [72].

Sukačová (2021) při společné diskusi zmínila, že se v ČR ekonomické stránce bioreaktorů nikdo nevěnuje, a proto bylo vycházeno pouze ze zahraničních publikací [48].

Bender (2017) porovnával plošné a vertikální tubulární bioreaktory pro účely produkce elektrické energie při umístění na střechu budovy Technologické univerzity v Sydney. Došel k závěru, že systém by generoval 0,6% roční spotřeby budovy. Z ekonomického hlediska by se investiční náklady vrátily za 30 let provozu vertikálního tubulárního bioreaktoru a za 46 let plošného bioreaktoru, jak ukazuje Obrázek 43 [30]. 30 let je shodou okolností doporučený časový horizont životnosti projektů kategorie Voda a životní prostředí ze strany Evropské komise viz Tabulka 14. Ve své práci však neuvádí zohlednění úspory CO<sub>2</sub>, kterou bioreaktor bezesporu má. Úspora v tunách za rok CO<sub>2</sub> byla dle Databáze oceněných socio-ekonomických dopadů (dále jen DOSED) pro období 2020–2029 oceněna na 807,- Kč (tj. přibližně 30 EUR) [73]. Cena emisní povolenky za tunu CO<sub>2</sub> se v květnu roku 2021 pohybuje kolem 50 EUR a stále rapidně stoupá [74], to je v přepočtu téměř 1300 Kč. Již v květnu roku 2021 je tedy cena stanovená v DOSED podhodnocena o téměř 20 EUR. Lze si jen domýšlet, jak velký rozdíl to bude v roce 2029. Bender ve své práci rovněž neuvádí úsporu NO<sub>x</sub> (úspora je dle DOSED vyčíslena na 179 374 Kč/t) a SO<sub>2</sub> (úspora je dle DOSED 229 822 Kč/t), protože jeho návrh nepočítá s využitím odpadního plynu, tedy pouze s atmosférickou koncentrací CO<sub>2</sub>, čímž účinnost systému samozřejmě klesá, to již bylo popsáno v předchozích kapitolách.





**Obrázek 43 - návratnost investice plošného a vertikálního bioreaktoru [30]**

## 4.2 Vymezení základních pojmů

Sieber (2004) vymezuje následující základní pojmy [72]:

- **Efekty plynoucí z investice** – Sieber (2004) je popisuje jako „Veškeré dopady na zkoumané subjekty, které realizace investiční akce přináší. Mohou se vyskytovat v podobě finanční i nefinanční (příp. nehmotné). Z hlediska určitého subjektu mohou mít povahu pozitivní (Benefits), negativní (Costs) nebo neutrální (subjekt nikterak neovlivní).“
- **Costs** (Náklady) – Sieber (2004) je popisuje jako „Veškeré negativní dopady na zkoumaný subjekt(y) či jejich skupinu. Jedná se o záporné efekty plynoucí z investice.“
- **Benefits** (Přínosy) – Sieber (2004) je popisuje jako „Veškeré pozitivní dopady na zkoumaný subjekt(y) či jejich skupinu. Jedná se o kladné efekty plynoucí z investice.“
- **Beneficient** – dle Siebera (2004) je to „Jakýkoli subjekt či jejich skupina (včetně investora resp. žadatele), na kterého dopadají kladné i záporné efekty plynoucí z investice.“
- **Hotovostní tok** (Cash Flow) – Sieber (2004) hotovostní tok definuje jako „Tok ve finančním vyjádření, který může nabývat podobu příjmu či výdaje.“
- **Čistým hotovostním tokem** (Net Cash Flow) - Sieber (2004) tím myslí „Saldo (rozdíl) záporný a kladných hotovostních toků, tedy rozdíl příjmů a výdajů.“
- **Kritériální ukazatele** – podle Siebera (2004) jsou to „Ukazatele, které mají plnit funkci kritéria pro rozhodnutí, zda je projekt smysluplný či nikoli. Podle jejich hodnot lze projekty mezi sebou porovnávat.“

## **4.3 Specifikace projektu**

V této části popisují základní charakteristiky projektu.

### **4.3.1 Co je předmětem investice**

Předmětem investice je vybudování bioreaktoru ke kultivaci mikrořas. Zařízení by mělo sloužit zejména ke snížení emisí produkovaných provozovnou ZEVO Malešice a k produkci biomasy, kterou lze dále využít pro různé potřeby viz kapitola 2.3. V rámci investice bude zapotřebí pořídit samotnou technologii. Záměr investora směřuje k napodobení moderních zahraničních trendů v této oblasti a pro udržení kroku nejen z vědecko-výzkumného pohledu se zahraničními projekty, ale i pro reálné snížení znečišťujících látek spalovnou odpadu. Tím dojde k podpoření strategických dokumentů ohledně snižování skleníkových plynů, ale i zlepšení kvality ovzduší ve vztahu k ochraně zdraví rezidentů.

### **4.3.2 Kde a jak by byl projekt realizován**

Investice by byla realizována v hl. m. Praze, konkrétně na pozemku ZEVO Malešice, kterou provozují PS. Samotná investice by probíhala v následujících fázích. Jmenovitě jsou to počáteční investice k pořízení či vytvoření všech potřebných dokumentací, stavební a technické práce a závěrečná fáze kontroly investice. Investorem by byl MHMP prostřednictvím PS, které jsou s majetkovým podílem 100 % městkou společností. Výhodou lokality je předpokládaná možnost využití odpadního plynu, tepla a samotná rozloha plochy kolem spalovny.

### **4.3.3 Jaké služby nebo produkty by měly být zajištěny**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách je službou snížení emisí ZEVO Malešice, jmenovitě CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub>. Snížení CO<sub>2</sub> je v souladu s dokumentem Akční plán Smart Prague 2030 a dalšími strategickými dokumenty na národní a evropské/globální úrovni. Snížení zbylých dvou znečišťujících látek je v souladu se zájmy obyvatel pro zlepšení kvality ovzduší a ochrany zdraví. Je velmi obtížné přesně stanovit, jak významného snížení lze docílit, protože je to kromě samotného měřítka ovlivněno celou řadou faktorů viz kapitola 2.

### **4.3.4 Jaké jsou představy investora o následném provozu investice**

Představy investora zahrnují využití technologie, která je v ČR stále v plenkách. Technologie je v souladu s Akčním plánem Smart Prague 2030. Předpokládá se plně kontinuální provoz tedy 365 dní v roce nebo semi-kontinuální provoz zahrnující odstávky z důvodu údržby, jejichž délka prozatím není známa. Předpokládá se zlepšení PR při využití vhodného způsobu marketingu, jelikož mezi beneficienty patří zejména rezidenti. Projekt bude hl. m. Prahu

ukazovat v dobrém světle jak na národní, tak i širší úrovni, protože ho lze vnímat jako další inovativní krok, respektive udržení kroku se zahraničními projekty.

### **4.3.5 Jaké jsou předpokládané fáze projektu**

Fáze projektu se standartně dělí na předinvestiční, investiční, provozní a likvidační fázi. Tyto fáze jsou podrobněji popsány níže.

#### **4.3.5.1 Předinvestiční fáze**

V předinvestiční fázi by mělo dojít k definování veškerých technologických, technických, ekonomických a finančních informací. Ty jsou nezbytné pro podložené rozhodnutí o realizaci či zamítnutí projektu Radou hl. m. Prahy. Je nutné vypracovat projektový záměr a vytvořit ekonomické studie, právní, finanční, organizační plán a případné další dokumenty administrativního charakteru. Náklady spojené s touto fází jsou považovány za tzv. utopené náklady, které by neměly být zahrnovány do rozhodování o realizaci projektu.

Dne 9.12.2020 došlo k jednání Komise RHMP pro rozvoj konceptu Smart Cities, během kterého bylo diskutováno právě o bioreaktorech. Usnesení znělo takto: „*Komise RHMP pro rozvoj konceptu Smart Cities v hl. m. Praze doporučuje Operátorovi ICT, a.s. na základě předloženého nápadu z iniciativy Mám nápad s názvem Bioreaktor ho vypracovat do podoby projektového záměru a předložit této Komisi ke schválení.*“

#### **4.3.5.2 Investiční fáze**

Investiční fáze přirozeně navazuje na předchozí fázi ve smyslu využití dokumentů a podkladů zajištěných během předinvestiční fáze a jejich případné detailnější rozpracování. Spadá sem samotná příprava projektu, vyhlášení veřejné zakázky a uzavření smlouvy ke zhotovení díla. Tato fáze je typická majoritní výší nákladů, přičemž přínosy téměř nevznikají nebo jsou v podstatě zanedbatelné.

#### **4.3.5.3 Provozní fáze**

Provozní fází je myšleno období od zahájení po ukončení provozu předmětu projektu. Délka provozní fáze odpovídá délce životnosti projektu. V této části vzniká většina přínosů, která plynou z projektu. Vzniklé přínosy by měly být větší než náklady z investiční fáze. Délka životnosti projektu závisí na jeho samotné povaze. Existuje však doporučená délka životnosti projektu ze strany Evropské komise dle jednotlivých kategorií viz Tabulka 14. Doporučená délka životnosti projektu (bioreaktoru) je 30 let, protože spadá do kategorie Voda a životní prostředí.

**Tabulka 14 - Referenční časový horizont životnosti projektů [75]**

Sektory projektů	Roky
Energie	25
Voda a životní prostředí	30
Železnice	30
Silnice	25
Přístavy a letiště	25
Telekomunikace	15
Průmysl	10
Jiné služby	15

#### 4.3.5.4 Likvidační fáze

Jedná se o finální fázi životnosti projektu, která začíná ukončením provozní fáze. Během ní mohou vznikat významné náklady spojené s likvidací, ale i přínosy např. z prodeje v případě, že je ekonomická životnost zařízení delší než samotné referenční období.

#### 4.4 Vymezení beneficentů

Sieber (2004) doporučuje obecné rozdělení do skupin: domácnosti, podniky, municipální subjekty, stát a ostatní organizace [72].

- a) **Domácnosti** – myšleno obyvatelé ale i návštěvníci města budou primární beneficenti, u kterých vzniká kladný efekt, protože dojde ke snížení emisí produkovaných spalovnou odpadu, pro které platí imisní limit pro ochranu lidského zdraví. Dle posledních dat dochází k nárůstu počtu odhadovaných předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší viz Tabulka 15. Bioreaktor má potenciál toto číslo snížit na lokální úrovni, konkrétní hodnoty jsou však čistě spekulativní.

**Tabulka 15 - Předčasná úmrtí v důsledku znečištění ovzduší v ČR [zdroj: OICT 2020]**

Rok	2017	2018	2019
Odhadovaný počet úmrtí v důsledku znečištění ovzduší – celorepublikový průměr	4 300	5 700	6 600

- b) **Municipální subjekt** - Hl. m. Praha, respektive MHMP, jakožto investor bude veřejností zejména na lokální i částečně širší úrovni vnímán v dobrém světle při využití vhodné formy marketingu, protože projeví snahu v boji s aktuálními problémy týkající

se kvality ovzduší v hustě osídleném území. Investor zároveň projeví podporu inovativních nápadů, kde se předpokládá kladný efekt ve smyslu zlepšení PR. Produkovaná biomasa je dalším kladným efektem investora, protože ji lze využít k různým účelům. To jsem již naznačil v kapitole 2.3.

- c) **Podnik** – Pražské služby můžou být veřejností vnímány jako podnik, který není lhostejný k následkům své provozovny – spalovny odpadu ve smyslu znečišťujících látek, což může mít vliv na zlepšení PR. Kladné efekty jsou tedy podobné, jako u MHMP, ale zlepšení kvality ovzduší (snížením emisí NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub>) má vliv i na zaměstnance provozovny, což se zase podobá kladnému efektu jako u kategorie domácností.
- d) **Stát** – ČR může být na evropské úrovni vnímána jako země, která se svědomitě snaží plnit klimatické závazky ve smyslu dodržení strategických plánů (jako je např. Pařížská dohoda) reálným snížením produkce CO<sub>2</sub>.

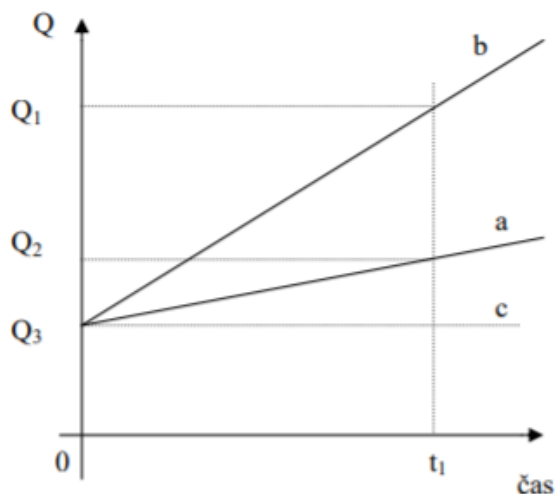
#### 4.5 Popis nulové a investiční varianty

- a) **Nulová varianta** je stav, kdy nedojde k realizování investice. Při této variantě dojde k prohloubení zaostávání Prahy i ČR oproti zahraničním projektům stejného charakteru. Zároveň nedojde k podpoření dosavadních restrikcí, které mají za účel snížení emisí, a to jak skleníkových plynů, tak znečišťujících látek s negativním vlivem na lidské zdraví. Zároveň nebude využit potenciál faktorů provozovny. Nebude docházet k produkci biomasy. Z hlediska oceněných přínosů se tedy doslova jedná o nulovou variantu.
- b) **Investiční varianta** je stav, kdy přirozeně dojde k realizaci investice. Realizace projektu je v souladu s Akčním plánem Smart Prague 2030. Dojde ke zlepšení lokální kvality ovzduší, tedy i kvality života obyvatel, návštěvníků nebo zaměstnanců spalovny. Míra zlepšení kvality ovzduší kromě řady různých okolností samozřejmě závisí na samotném měřítku bioreaktoru. Potenciálně může dojít i ke snížení odhadovaného počtu předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší. Dojde také k podpoření strategických plánů snížením emisí skleníkových plynů.

#### 4.6 Identifikace nákladů a přínosů

V této části je třeba mít na paměti dodržení principu přírůstkové metody neboli za relevantní náklady a přínosy jsou považovány pouze ty, které by nebyly realizovány při aplikaci nulové varianty. Za přínos je považována změna, která vytváří pozitivní hodnotu, čímž se zvyšuje blahobyt společnosti. Za náklad se naopak považuje změna, která vytváří negativní hodnotu a snižuje tak blahobyt společnosti. Obrázek 44 ukazuje rozdíl mezi nulovou (přímka a)

a investiční (přímka  $b$ ) variantou. Výsledná hodnota veličiny  $Q$  je tedy dle přírůstkové metody rozdíl  $Q_1$  a  $Q_2$  v čase  $t_1$  [72].



**Obrázek 44 - Graf rozdílu mezi nulovou a investiční variantou [72]**

## 4.7 Oceňování nákladů a přínosů

Po definování specifikace projektu, investiční a nulové varianty, beneficentů, nákladů a přínosů přichází na řadu oceňování nákladů a přínosů. Některé efekty již bývají vyjádřeny v peněžních jednotkách, nemusí tomu však platit u všech efektů, a proto je zapotřebí provést jejich ocenění [72].

### 4.7.1 Neocenitelné efekty

Existují situace, kdy není vždy možné nebo přínosné snažit se efekty oceňovat v peněžních jednotkách. Chybné či nepřesné ocenění přirozeně vede k nekvalitnímu výsledku CBA. Pro tyto účely je možné využít redukovanou variantu CBA a těžko ocenitelné efekty popsat slovně. Nemělo by se však jednat o majoritní náklady nebo přínosy. Takové efekty pak nemohou být zakomponovány do části s výpočty kritériálních ukazatelů a nezbyvá než je slovně zdůraznit na výstupu CBA [72].

### 4.7.2 Stanovení ceny trhem

Spousta efektů bývá rovnou oceněna v peněžních jednotkách, což není potřeba dále upravovat. Rovnovážná cena je tvořena vztahem nabídky s poptávkou, to je jedno ze základních okruhů kurzu mikroekonomie, kurz však není součástí mého studijního programu, proto tento vztah není dále rozváděn. Podstatná je ale následující poznámka. V případě, že neexistuje trh, který je schopný určit cenu efektu nebo by došlo k jeho neadekvátnímu ocenění, nastává situace ověření dalších metod pro ocenění efektu [72].

### **4.7.3 Stanovení ceny pomocí náhražkových trhů**

Tato metoda přistupuje k efektu tak, že jsou oceňovány dle aktiva, u kterých je známa cena a aktivum lze logicky srovnat s efektem, respektive je podobné oceňovanému efektu. To je zároveň významným nedostatkem této metody, protože nalézt podobné aktivum ke srovnání bývá velmi obtížné [72].

### **4.7.4 Kontingentní ohodnocování**

Učení se pozorováním nebo dotazováním je obvyklé nejen pro děti. Právě tyto přístupy používá metoda kontingentního ohodnocování. Pro potřeby CBA je mírně vhodnější přístup dotazování, ať už osobně, on-line, písemně atp. Účelem dotazování je zjištění parametrů ochoty zaplacení (anglicky Willingness to pay, dále jen WTP) nebo ochotu akceptace (anglicky Willingness to Accept, dále jen WTA). WTP značí kolik je beneficiant ochotný zaplatit za pozitivní přínos realizovaného projektu. WTA značí jakou satisfakci beneficiant požaduje za negativní dopad realizovaného projektu. Z různých důvodů je preferován parametr WTP. Nevýhodou je, že beneficianti nemusí vždy reagovat zcela upřímně a pravdivě, čímž dochází ke zkreslení výstupu. Dalšími nevýhodami je časová i finanční náročnost metody [72].

### **4.7.5 Stínové ceny**

V případě, že efekt veřejného projektu neprochází trhem, naskytuje se další metoda pro ohodnocení efektu a sice využití stínové ceny. Ta je tvořena oportunitními náklady k realizaci daného efektu. Jinak řečeno, pokud by existoval příslušný trh efektu, byl by efekt obchodován právě za stínovou cenu. Kdyby došlo k situaci, že lze porovnat výši stínové i tržní ceny a stínová cena by byla vyšší, pak by měl být projekt realizován a zároveň by mělo docházet k podpoře projektů se stejným efektem [72].

## **4.8 Společenská diskontní sazba**

V této podkapitole je bližší popis společenské diskontní sazby, ale také popis vazby reálné a nominální diskontní sazby.

### **4.8.1 Diskontní sazba**

Jedním z dalších a důležitých kroků pro dokončení CBA je výpočet diskontní sazby. Diskontní sazba je považována za klíčový faktor pro odhad budoucího ekonomického vývoje. Z toho vyplývá, že výpočet diskontní sazby hraje zásadní roli v ovlivňování výsledků CBA a má podstatný vliv na to, zda se bude projekt realizovat. Diskontní sazba je velice citlivá na změny, což znamená, že i malá změna může mít fatální následky pro ekonomický vývoj [72]. Výše společenské diskontní sazby označuje relativní společenské ohodnocení rozdílu současných a budoucích efektů. Diskontní sazba společenská je rozdílná od soukromé svojí velikostí



a bývá obvykle nižší právě u společenské. Je tvořena dvěma složkami, tj. preference uživatelů a preference času [72].

### **Rovnice 2 - společenská diskontní sazba**

$$r = e * g + p$$

*r* společenská diskontní sazba

*g* míra růstu spotřeby

*e* elasticita mezního užítku

*p* preference času

Z rovnice obecně vyplývá vztah, že společenská diskontní sazba je tím vyšší, čím rychleji roste ekonomika. Opačná situace funguje obdobně. Nižší sazba 3-8 % se obvykle vyskytuje u rozvinutých společností. Naopak v rozvojových zemích bývá sazba obvykle i 15 % a vyšší, to je dáno vzácností kapitálu v těchto zemích [72].

#### **4.8.2 Vazba reálné a nominální diskontní sazby**

Rozdíl mezi reálnou a nominální diskontní sazbou spočívá v nezohlednění (v případě reálné diskontní sazby) či zohlednění inflace (v případě nominální diskontní sazby). Je důležité zvolit jeden z přístupů a konzistentně ho používat v celé analýze. Pokud je tato podmínka dodržena, tak nedochází k ovlivnění výsledných kriteriálních ukazatelů. Následující rovnice umožňuje přepočítat nominální na reálnou diskontní sazbu [72].

### **Rovnice 3 - reálná diskontní sazba**

$$REÁLNÁ\ DISKONTNÍ\ SAZBA = \frac{(1 + NOMINÁLNÍ\ DISKONTNÍ\ SAZBA)}{(1 + I_E)} - 1,$$

*I<sub>E</sub>* inflační koeficient

## **4.9 Kriteriální ukazatele CBA**

Výpočet kriteriálních ukazatelů je poslední fáze CBA před finálním vyhodnocením veřejného projektu. V následujících podkapitolách je proto představeno několik ukazatelů, které jsou moderními CBA hojně využívány.

### **4.9.1 Současná hodnota**

Z důvodů existence úroků a obecné preference lidí zvolit okamžitý užitek před shodným užitekem v budoucnosti vyplývá, že jednotka užítku dnes má větší hodnotu než totožná jednotka v budoucnosti. Tzn., že budoucí jednotka užítku má nižší cenu než okamžitá jednotka užítku. Z těchto důvodů je nezbytné budoucí užítky diskontovat, což je v podstatě opak úrokování.

Současnou hodnotu budoucích užitek lze vypočítat vynásobením budoucích užitek diskontním faktorem (anglicky Present Value, dále jen PV) [72].

#### **Rovnice 4 - současná hodnota**

$$DISKONTNÍ\ FAKTOR = \frac{1}{(1+i)},$$

$i$       *diskontní sazba*

Diskontování však není důležité jen pro užitek, ale samozřejmě i pro náklady. Oba efekty by měly být sečteny a následným diskontováním by mělo být docíleno získání současné hodnoty. Pokud je usilováno o znalost diskontního faktoru v daném časovém období ( $n$  roků), pak je použit následující modifikovaný vzorec [72].

#### **Rovnice 5 - současná hodnota v definovaném časovém období**

$$PV_t = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t},$$

$CF_t$     *toky efektů*

$n$       *životnost projektu [roky]*

Rozhodnutí o přijatelnosti projektu spočívá ve stavu, kdy samotná hodnota efektů přinejmenším dorovná samotné náklady. Metodu současné hodnoty lze považovat za dynamickou, protože zohledňuje časovou hodnotu peněz [72].

### **4.9.2 Čistá současná hodnota**

Tento ukazatel vyjadřuje rozdíl diskontní sazby a nákladů. Pro čistou současnou hodnotu (anglicky Net Present Value, dále jen NPV) tedy platí následující vztah [72].

#### **Rovnice 6 - čistá současná hodnota**

$$NPV = PV - I$$

$I$       *náklady (anglicky Investment)*

Pro realizaci veřejného projektu by tento ukazatel měl být větší nebo rovno 0. Touto metodou lze hodnotit i takový projekt, jehož všechny náklady vznikají v předinvestiční fázi, jediný rozdíl je v modifikaci vztahu rovnice. Oba přístupy však také zohledňují časový faktor stejně jako tomu je u běžné metody současné hodnoty [72].

### **Rovnice 7 - modifikovaná rovnice – čistá současná hodnota**

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t},$$

$CF_0$  tok nákladů v předinvestiční fázi realizace projektu

#### **4.9.3 Index rentability**

Tento ukazatel je vypočítán podílem čisté současné hodnoty efektů a investičních nákladů projektu, jak ukazuje následující rovnice.

#### **Rovnice 8 - index rentability**

$$\frac{NPV}{I} = \frac{CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}}{|CF_0|} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}}{|CF_0|}$$

Aby byl veřejný projekt přijatelný, musí být tento ukazatel kladný a obecně platí následující pravidlo. Čím vyšší je ukazatel, tím přijatelnější je projekt. Pokud je ukazatel záporný, pak je záporný samotný ukazatel NPV, tzn. že projekt je nepřijatelný. Index rentability znamená tedy poměr peněžních jednotek efektů vyjádřených NPV a peněžních jednotek investic [72].

#### **4.9.4 Vnitřní výnosové procento**

V rámci CBA se využívá také vnitřní míra výnosu neboli vnitřní výnosové procento (IRR). Tato metoda je využívána pro výpočet efektivnosti investic. Vnitřní výnosové procento vyjadřuje diskontní sazbu, se kterou čistá současná hodnota dosahuje nuly. Tento vztah je vyjádřen pomocí následujícího vzorce [72]:

#### **Rovnice 9 - vnitřní výnosové procento**

$$0 = NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

Jedná se o upravený vzorec pro výpočet čisté současné hodnoty během určitého času, kdy se čistá současná hodnota rovná 0. Vnitřní míra výnosu se zde využívá místo diskontní sazby. Z ekonomického pohledu je projekt pomocí vnitřního výnosového procenta přijatelný, když respektuje časovou hodnotu, finance a umožňuje srovnávání projektů. Vnitřní míra výnosu však není jediným kritériem pro rozhodování, ale pro větší přesnost se doporučuje ji využívat společně s metodou čisté současné hodnoty. Pro rozhodování o realizaci platí následující pravidlo. Projekt je možné realizovat, pokud je přepokládaná diskontní sazba menší nebo rovna vnitřní míře výnosu [72].

#### **4.9.5 Další ukazatele**

Existují také doplňující ukazatele k výše uvedeným, které slouží jako ukazatele podpůrné. Příkladem takového ukazatele je například B/C ratio, jehož významem je poměr přínosu s náklady projektu. Pokud je tento poměr větší než jedna, tak je projekt vhodný pro realizaci, jelikož výnosy převyšují náklady. V opačném případě je projekt zamítnut. Dalším ukazatelem je doba návratnosti jejíž výstupem jsou vyrovnané náklady na investici během počtu let. V tomto případě je stěžejní, zda je doba vyrovnání nákladů delší než doba návratnosti. Ve chvíli, kdy je doba návratnosti delší se investice do projektu nevrátí [72].

#### **4.10 Výstup CBA**

V této části popisují své výsledky z CBA.

##### **4.10.1 Přínosy**

Pro ocenění přínosů jsem zvolil takové měřítko bioreaktoru, které je shodné s vědeckými publikacemi s podobným účelem, tj. 150 m<sup>2</sup>, to odpovídá objemu suspenze 15 m<sup>3</sup> [30]. Dle Sukačové (2021) je plně kontinuální provoz bioreaktoru možný, a proto uvažuji s provozem 365 dní v roce [48]. Přínosy jsou blíže vyčísleny v elektronické Příloze G na listu Přínosy – bioreaktor. Vyčíslené přínosy během jednotlivých let provozní fáze projektu jsou k nalezení v listu Přínosy – náklady výpočet. Součástí této DP jsou i listinné Přílohy B a D, kde je možné tyto informace nalézt.

##### **Snížení emisí CO<sub>2</sub>**

Při výpočtu jsem vycházel z vědeckých publikací, na základě nich jsem stanovil hodnotu fixace CO<sub>2</sub> na 5 g/l/den [60]. Cenu úspory tuny CO<sub>2</sub> jsem zvolil dle DOSED pro období 2020-2029, tj. 807 Kč, což odpovídá 25 % nárůstu oproti předchozí dekádě. Pro období 2010-2019 byla totiž cena stanovena na 645 Kč. S 25 % nárůstem ceny proto počítám na začátku každého dalšího období (dekády) [73]. Roční úspora CO<sub>2</sub> vychází na 27,375 t/rok.

##### **Snížení emisí NO<sub>x</sub>**

Při výpočtu jsem znovu vycházel z vědeckých publikací, ze kterých odhaduji hodnotu fixace NO<sub>x</sub> na 0,05 g/l/den [60]. Cenu úspory tuny NO<sub>x</sub> jsem zvolil dle DOSED, tj. 179 374 Kč. Rovněž předpokládám 25 % nárůst oproti předchozí dekádě [73]. Roční úspora NO<sub>x</sub> vychází na 0,274 t/rok.

## **Snížení emisí SO<sub>2</sub>**

Zdrojem pro stanovení hodnoty fixace SO<sub>2</sub> 0,05 g/l/den byly opět vědecké publikace [60]. Cenu úspory tuny SO<sub>2</sub> jsem také zvolil dle DOSED, tj. 229 822 Kč. I zde předpokládám 25 % nárůst oproti předchozí dekádě [73]. Roční úspora SO<sub>2</sub> vychází na 0,274 t/rok.

## **Produkce biomasy k výrobě elektrické energie**

Produkce biomasy byla stanovena na 1 g/l/den na základě vědecké publikace [71]. Cenu elektřiny 1 kWh jsem stanovil na 4,83 Kč [76]. Přepočítaný energetický výkon biomasy je 6 kWh/kg a ve výpočtu dále uvažuji 60 % účinnost [30]. Produkci biomasy na rozdíl od snížení emisí považuji za příjem z provozu, protože ji lze využít právě k výrobě elektrické energie. Roční produkce biomasy vychází na 5,475 t/rok.

## **Neocenitelné efekty**

Při realizaci projektu lze předpokládat zlepšení PR pro MHMP a PS, protože dojde k projevení snahy o zlepšení kvality ovzduší v hl. m. Praze. V souvislosti se snížením emisí ZEVO Malešice lze také teoreticky předpokládat snížení počtu odhadovaných předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší v ČR viz Tabulka 15. Odhadování tohoto přínosu je velmi obtížné, a proto je popsáno pouze slovně.

### **4.10.2 Náklady**

Náklady spojené s projektem jsou vyčísleny v elektronické Příloze G na listu Náklady – bioreaktor nebo v listinné podobě Přílohy C. Předpokládám dobu trvání pilotní fáze projektu 3 měsíce. Cenu vody stanovuji na 94 Kč/m<sup>3</sup> [77], což při 15 m<sup>3</sup> odpovídá ceně 1410 Kč/rok. Předpokládám nutnost vypuštění vody z bioreaktoru pro účely čištění 1x ročně. Po přepočtu bioreaktoru na stejné měřítko dle vědecké publikace odhaduji spotřebu elektřiny čerpadel na 254 kWh/rok [78]. Spotřebu elektřiny pro osvětlení odhaduji na 50 W/m<sup>2</sup>, tj. 32 850 kWh při svícení 12 hodin denně 365 dní v roce. Obě složky spotřeby energie proto v součtu vychází 33 104 kWh. Cenu elektřiny jsem stejně jako v přechodící kapitole stanovil na 4,83 Kč/kWh. Náklady na nutrienty odhaduji na 50 kg/rok, což se při ceně 70 Kč/kg rovná 3 500 Kč/rok. U osobních nákladů předpokládám zajištění chodu v pilotní fázi expertem, jehož mzda na plný úvazek je 40 000 Kč hrubého. Odhaduji, že expert bude pracovat 40 hodin měsíčně. Po skončení pilotní fáze předpokládám osobní náklady za údržbáře pracujícího 30 hodin měsíčně za hrubou měsíční mzdu plného úvazku 30 000 Kč. V areálu ZEVO Malešice nepředpokládám náklady za pozemek, protože ho vlastní PS jakožto městská společnost a ten by pravděpodobně jinak zůstal nevyužitý. Také neuvažuji s náklady za tepelnou energii, protože předpokládám využití odpadního tepla ze spalovny. Náklady spojené s pilotní fází projektu považuji za investiční výdaje, protože z nabytého know-how lze poskytovat konzultantské

služby zájemcům o podobné zařízení. Tyto služby zároveň zahrnují mezi ostatní zdroje příjmů s ročním růstem 3 %, protože obecně dochází k nárůstu cen za podobné služby a získané know-how se časem prohlubuje.

Náklady v případě nezájmu uživatelů o služby bioreaktoru zobrazuje Tabulka 16. Jsou to však ve své podstatě i investiční výdaje. Cenu bioreaktoru odhaduji na 13 335 Kč/m<sup>2</sup> (tj. 632 USD/m<sup>2</sup> při kurzu 21,1 Kč/USD). Tato cena zahrnuje náklady spojené s integrací tepla, veškerý spojovací materiál, samotnou konstrukci a spotřební vybavení (těsnění). Cena je vyšší než zmiňovaných 4 500 Kč/m<sup>2</sup> v kapitole 2.2, ale předpokládám vyšší složitost systému vinou podnebných podmínek ČR a stanovuji ji na základě vědecké publikace [29]. Pro lepší regulaci teploty počítám s náklady za skleník, ten je použit např. u projektu Ecoduna nedaleko Vídně, kde jsou podobné podnebné podmínky jako v hl. m. Praze [34]. Dále předpokládám jednorázový nákup mikrořasy a osvětlení bioreaktorů o nákladu 500 Kč/m<sup>2</sup>. U osvětlení předpokládám životnost 10 let, tudíž by bylo po každých 10 letech vyměněno. První instalace osvětlení je brána jako investice a následující dvě výměny jsou brány jako režijní služby, ale pro zjednodušení jsou také součástí investičních výdajů v příslušných letech 2032 a 2042. Náklady jsou v listinné Příloze C nebo elektronické podobě Přílohy G.

**Tabulka 16 - Náklad - Riziko nezájmu uživatelů o služby bioreaktoru**

<b>Investiční náklady projektu (30 let)</b>	<b>Náklad [Kč]</b>
bioreaktor	2 000 280
skleník	1 000 000
mikrořasa	10 000
osvětlení (3x → životnost 10 let)	225 000
<b>celkem</b>	<b>3 235 280</b>

#### **4.10.3 Finanční analýza**

V elektronické Příloze G, na listu Finanční analýza nebo v listinné podobě Přílohy E je celková finanční rozvaha po dobu životnosti projektu 30 let od 2022 do 2051. Pro financování projektu odhaduji dotace z EU ve výši 1 000 000 Kč. V případě financování ze strany MHMP odhaduji financování ve výši 2 000 000 Kč. V této příloze je zahrnut peněžní tok neboli Cash flow projektu. V podkapitole 4.9.2 jsem popsal, že projekt je možné realizovat, pokud je jeho NPV alespoň rovna 0. Pravidlo je splněno v případě situace s vlivem financování ze strany MHMP. Pro index rentability platí stejné pravidlo viz podkapitola 4.9.3. Pro realizování projektu musí být diskontní sazba menší nebo rovno IRR. Ve výpočtech předpokládám diskontní sazbu 4 %. Tzn. že bez vlivu financování pravidlo není splněno viz Tabulka 17. Na základě těchto ukazatelů doporučuji projekt realizovat pouze v případě financování ze strany MHMP.

**Tabulka 17 - kritériální ukazatele CBA**

Ukazatele	hodnoty
Čistá současná hodnota (NPV) - bez vlivu financování	-539 723
Čistá současná hodnota (NPV) - s vlivem financování	1 383 354
Index rentability ( NPV/I) - bez vlivu financování	-0,16
Index rentability ( NPV/I) - s vlivem financování	0,42
Vnitřní výnosové procento (IRR) - bez vlivu financování	2,19 %
Vnitřní výnosové procento (IRR) - s vlivem financování	44,47 %
Kumulované investiční náklady	3 317 738

#### **4.11 Shrnutí kapitoly a doporučení**

V této kapitole jsem popsal veškeré náležitosti CBA. Výstup jsem zpracoval v programu MS Excel, který obsahuje funkce pro výpočty kritériálních ukazatelů. To mi podstatně ulehčilo práci s výpočty. Výstup je v elektronické podobě Přílohy G. V listinné podobě se pak jedná o Přílohy B až E. Dle výsledných kritériálních ukazatelů doporučuji realizaci projektu pouze v případě vlivu financování ze strany MHMP při 30 letech životnosti projektu. Zmiňovaných 30 let vychází z doporučení Evropské komise viz podkapitola 4.3.5.3. Tyto ukazatele totiž splnily nezbytná pravidla pro realizaci projektu. Kromě těchto ukazatelů je na místě připomenout neocenitelné přínosy. Prvním je předpoklad zlepšení PR v důsledku projevení snahy o zlepšení kvality ovzduší v hl. m. Praze ve prospěch MHMP a PS. Druhým neocenitelným přínosem je předpoklad snížení počtu předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší. Stanovit konkrétní snížení tohoto přínosu by bylo však velmi spekulativní, a proto jej popisují pouze slovně.

V CBA jsem odhadl nárůst ceny přínosu snižování emisí ve výši 25 % pro období každé další dekády od roku 2029. Odhad vychází z historické ceny za tunu CO<sub>2</sub> při lineárním nárůstu dle DOSED pro období 2010 - 2019. V posledním roce je však trend růstu téměř exponenciální. Je obtížné posuzovat, zdali se jedná o výkyv, u kterého v budoucnosti proběhne korekce či nikoliv. Návrh investice projektu by byla podstatně kratší, pokud by růst emisních povolenek pokračoval rostoucím trendem posledního roku. V souvislosti s prohlubováním výzkumů se dá také přepokládat vyšší účinnost systému a rovněž zkrácení návratnosti investice. Je proto možné, že by se v následující dekádě ukázala varianta bez vlivu financování (ze strany MHMP) také jako realizovatelná. Následující poznámka platí za předpokladu, že se investorovi jeví tato varianta jako atraktivnější. Stejnou analýzu doporučuji znovu vypracovat MHMP a OICT nejpozději za 10 let, raději však za 5 let pro ověření budoucího stavu.



## 5 Závěr

Tato diplomová práce byla zpracována ve spolupráci s MHMP OOP a OICT, kteří projevíli zájem o prozkoumání současných trendů bioreaktorů pro případný projektový záměr v hl. m. Praze. Cílem 1. kapitoly bylo zjištění současného stavu ovzduší na území jak hl. m. Prahy, tak i ČR. Pro tyto účely byly popsány imisní limity nejen pro ochranu lidského zdraví. Ukázalo se, že na území Prahy nedochází k markantnímu překračování imisních limitů, avšak v jistých lokalitách na území ČR jsou některé imisní limity dlouhodobě překračovány. Popsán byl i stav skleníkových plynů. Z kapitoly pak vyplynuly rozdílné požadavky na kvalitu ovzduší z pohledu rezidentů a klimatických závazků.

Následně byla provedena rešeršní část bioreaktorů, kde byly zjištěny a popsány různé druhy kultivačních systémů, jejich výhody a nevýhody, obecný princip fungování a další související záležitosti. Kapitola vychází primárně z odborných a vědeckých článků. Ukázalo se, že bioreaktory se ve světě poměrně běžně vyskytují, avšak na území ČR má toto téma spíše laboratorně experimentální charakter. ÚVGZ AV jako jediný v ČR provozuje 3 typy bioreaktorů pro vědecké účely. Z kapitoly vyplynulo, že bioreaktor má skutečně pozitivní dopad pro zlepšení kvality ovzduší. Jeho prostřednictvím lze totiž za určitých podmínek dosáhnout snížení emisí. Ukázalo se, že nejvyšší potenciál má umístění u provozoven s významným množstvím odpadního plynu a tepla, protože tím dochází ke zvýšení účinnosti zařízení v porovnání s umístěním bez zdroje odpadního plynu. Odpadním teplem lze pak prodloužit dobu kultivace v průběhu roku a snížit náklady spojené s ohřevem suspenze pro zajištění optimálních podmínek pro růst mikrořas. Pro celoroční provoz bioreaktoru při vysoké efektivitě je také nezbytné použití umělého osvětlení.

Z nabytých poznatků doporučuji věnovat pozornost využití bioreaktorů v oblasti dopravy u městských tunelů s větrací šachtou, jako má kupříkladu Strahovský tunel. Účinnost bioreaktorů v tomto případě samozřejmě závisí na konkrétním množství znečišťujících látek. Teoreticky lze podobné šachty považovat za zdroj odpadního plynu, čímž je splněna jedna z výše zmíněných podmínek provozu bioreaktoru. IAD je zdrojem emisí suspendovaných částic PM. Vážnosti PM ve vztahu ke zdraví obyvatel města jsem popsal v kapitole 1.3.1. Dle DOSED je cena za uspoření tuny  $PM_{2,5}$  v soustředěné městské zástavbě téměř 22 mil. Kč [73]. Pokud by se tímto přístupem dařilo emise PM snížit, ekonomická stránka provozu by zřejmě dosahovala úplně jiných výsledků. Cena tuny  $CO_2$  je totiž dle DOSED téměř 30 000wx nižší než u  $PM_{2,5}$  [73]. Tyto úvahy by však bylo nutné ověřit experimentem. Lepší výsledky provozu předpokládám u tunelů v subtropickém a tropickém podnebném pásmu, kam ČR nespadá.

Ve třetí kapitole jsem využil poznatky zjištěné v předchozích částech a navrhnul jsem potenciálně vhodné lokality pro umístění bioreaktoru na území hl. m. Prahy, přičemž jsem

uvažoval pouze s provozovny městských společností. Jedním z důvodů bylo projevení zájmu ze strany MHMP a druhým důvodem byl fakt, že by tato část zásadně narostla na složitosti při uvažování městských i soukromých provozoven na území hl. m. Prahy. Důvodem je jejich počet, který je řádově vyšší než počet provozoven městských společností. To by si vyžadovalo diametrálně odlišné časové kapacity. Z výběru tedy vyplynuly provozovny ÚČOV Praha 6 a ZEVO Malešice. S těmito variantami jsem následně uvažoval při zpracování analýzy rizik metodou SAFMEA. Pro účely metody jsem sestavil tým, který se skládal z členů poměrně širokého spektra různých organizací. Záměrem bylo dosažení co nejkompaktnějšího hodnocení rizik, tedy z různých úhlů pohledu. Pro tyto účely jsem zorganizoval schůzku se všemi členy metodou brainstorming, při které bylo týmem identifikováno celkem 21 rizik. Rizika byla posléze subjektivně ohodnocena a z metody vyplynulo, že riziko je nepatrně nižší u provozovny ZEVO Malešice. Obě varianty však neobsahují žádná nepřijatelná rizika, tedy do budoucna lze z tohoto pohledu uvažovat obě varianty.

Závěrečná kapitola se věnuje metodě CBA, u které bylo uvažováno s variantou umístění v provozovně ZEVO Malešice, protože v přechodí kapitole bylo zjištěno nepatrně nižší riziko oproti variantě ÚČOV Praha 6. Ekonomické přínosy jsem ohodnotil u snižování CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a produkci biomasy. Dva přínosy jsem popsal slovně, protože by jejich ohodnocení bylo velmi komplikované. Prvním je přínos zlepšení PR pro PS a MHMP v důsledku projevení zájmu o zlepšení kvality ovzduší. Druhým přínosem jen pravděpodobné snížení odhadovaných předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší. Po stanovení nákladů a přínosů z CBA vyplynuly kritériální ukazatele. Dle nich je možné projekt realizovat pouze s vlivem financování MHMP a za předpokladu dotace z EU. Vzhledem k téměř exponenciálnímu růstu emisních povolenek za poslední rok lze však předpokládat, že se návratnost investice v budoucnu může podstatně změnit. Při pokračování výzkumů lze také předpokládat zvýšení účinnosti bioreaktoru, což může návratnost investice v budoucnu rovněž zkrátit. Proto v podkapitole 4.11 doporučuji MHMP a OICT vypracovat stejnou analýzu nejdéle za 10 let, raději ale za 5 let.

Z provedených analýz, z diskusí s experty a výsledků této DP je žádoucí, aby docházelo k prohlubování výzkumu a znalostí v této oblasti, protože potenciál uplatnění je enormní. Pozornost by měla být obzvlášť věnována konkrétnímu návrhu bioreaktoru přesně pro potřeby různých provozoven, jeho měřítku, dalšímu testování týkající se snížení emisí a výzkumu samotných mikrořas. Těch se na světě vyskytuje násobně více než se aktuálně komerčně využívá. Přestože samotný bioreaktor nedokáže zamezit emisím, nelze přehlížet, že může jít ruku v ruce ostatními opatřeními. Tím pádem napomocť ke zlepšení současného stavu a zároveň vytvářet produkt (biomasu), který lze uplatnit napříč různými segmenty.

Věřím, že nabyté zkušenosti z rešeršních i praktických částí využiji při tvorbě dalších prací.

## Použité zdroje

- [1] Emise nejsou imise. *ČHMÚ Brno*. [Online] 2020.  
<https://chmibrno.org/blog/2021/02/27/emise-nejsou-imise/>.
- [2] Imisní limity – co znamenají a jak je interpretovat. *ČHMÚ Brno*. [Online]  
<https://chmibrno.org/blog/2018/08/23/imisni-limity-co-znamenaji-a-jak-je-interpretovat/>.
- [3] Neubergerová, Kristýna. Přednáška: Emise. *Doprava a životní prostředí*. 11. 4 2020.
- [4] OICT, a.s. Akční plán Smart Prague 2030. *Smart Prague*. [Online] 2020.  
[https://www.smartprague.eu/files/Akcni%20plan\\_Smart\\_Prague\\_Final.pdf](https://www.smartprague.eu/files/Akcni%20plan_Smart_Prague_Final.pdf).
- [5] Ministerstvo životního prostředí České republiky. Politika ochrany klimatu v ČR. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 2004.  
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika\\_ochrany\\_klimatu\\_2017/\\$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf).
- [6] Pařížská dohoda. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online]  
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/parizska\\_dohoda/\\$FILE/OEOK-Cesky\\_preklad\\_dohody-20160419.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/parizska_dohoda/$FILE/OEOK-Cesky_preklad_dohody-20160419.pdf).
- [7] MŽP, Tiskové oddělení. EU posílí svůj závazek z Pařížské dohody. Do roku 2030 sníží emise skleníkových plynů alespoň o 55 %. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] prosinec 2020. [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20201217-EU-posili-svuj-zavazek-z-Parizske-dohody-Do-roku-2030-snizi-emise-sklenikovy-ch-plynu-alespon-o-55-](https://www.mzp.cz/cz/news_20201217-EU-posili-svuj-zavazek-z-Parizske-dohody-Do-roku-2030-snizi-emise-sklenikovy-ch-plynu-alespon-o-55-)
- [8] Kvalita ovzduší v aglomeracích a ve městech. *ČHMÚ*. [Online] 2020.  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/05\\_1\\_Aglom\\_Prah\\_a\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/05_1_Aglom_Prah_a_v1.pdf).
- [9] Neubergerová, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*. Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03131-4.
- [10] Oxid siřičitý. *ČHMÚ*. [Online] 2020.  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_7\\_SO2\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_7_SO2_v1.pdf).
- [11] Je CO<sub>2</sub> znečišťující látka? *ČHMÚ Brno*. [Online] <https://chmibrno.org/blog/2019/09/04/je-co2-znecistujici-latka/>.
- [12] EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ. *ČHMÚ*. [Online] 2019.  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/10\\_sklenikove\\_plyn\\_v4.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/10_sklenikove_plyn_v4.pdf).

- [13] Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů detailně. *FAKTA O KLIMATU*. [Online]  
<https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>.
- [14] Oxid uhelnatý. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_8\\_CO\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_8_CO_v1.pdf).
- [15] Oxidy dusíku. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_3\\_oxidy\\_dusiku\\_v2.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_3_oxidy_dusiku_v2.pdf).
- [16] Těžké kovy. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_6\\_tezke\\_kovy\\_v3.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_6_tezke_kovy_v3.pdf).
- [17] Benzo[a]pyren. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_2\\_BaP\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_2_BaP_v1.pdf).
- [18] Benzen. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_5\\_benzen\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_5_benzen_v1.pdf).
- [19] Přízemní ozón. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_4\\_O3\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_4_O3_v1.pdf).
- [20] Suspendované částice. *ČHMÚ*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_1\\_PM\\_v1.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_1_PM_v1.pdf).
- [21] prof. RNDr. Ondřej Prášil, CSc. *Řasy – sluneční továrna v jedné buňce*.  
[[https://www.youtube.com/watch?v=dzEjs9VOSIM&t=675s&ab\\_channel=T%C3%BDdenv%C4%9BdyatechnikyAV%C4%8CR](https://www.youtube.com/watch?v=dzEjs9VOSIM&t=675s&ab_channel=T%C3%BDdenv%C4%9BdyatechnikyAV%C4%8CR)] Praha : Mikrobiologický ústav AV ČR, 2017.
- [22] Manager, Mind. software pro modelování myšlenkových map a procesů [studentská licence]. 2019.
- [23] Jiří Masojídek, Richard Lhotský, Jiří Kopecký a Ondřej Prášil. *Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce*. *Věda kolem nás*. [Online] 2016.  
<https://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/9d7ff1eee499c4a2b24a6f5f1cfad82b3ed09802.pdf>. ISSN 2464-6245.
- [24] Spirulina Source. *Algae evolution*. [Online]  
<http://www.spirulinaSource.com/resources/slideshows/algae-evolution/>.
- [25] Výzkum. *Centrum Algatech*. [Online] Mikrobiologický ústav AV ČR.  
<https://www.alga.cz/c-313-vyzkum.html>.

- [26] Byrtusová, Dana. Optimalizace podmínek kultivace řasových kultur ve fotobioreaktorech. *Diplomová práce*. [Online] 2016. <http://hdl.handle.net/11012/58304>.
- [27] Kaufnerová, Veronika. Metody izolace a kultivace sinic a řas pro potřeby výuky na základních a středních školách. [Online] 2014. <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/22086/1/Kaufnerova.pdf>. ISSN 1804-8366.
- [28] Mgr. Richard Lhotský, Ph.D. *Týden vědy a techniky, přednáška: Řasy na vidličce*. [[https://www.youtube.com/watch?v=OowpQKWSDCQ&ab\\_channel=T%C3%BDdenv%C4%9BdyatechnikyAV%C4%8CR](https://www.youtube.com/watch?v=OowpQKWSDCQ&ab_channel=T%C3%BDdenv%C4%9BdyatechnikyAV%C4%8CR)] místo neznámé : Mikrobiologický ústav AV ČR, 2019.
- [29] Daniel T. Mohler, Michael H. Wilson, Zhen Fan, John G. Groppo and Mark Crocker. *Beneficial Reuse of Industrial CO2 Emissions Using a Microalgae Photobioreactor: Waste Heat Utilization Assessment*. místo neznámé : Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 2019.
- [30] Bender, Alper. *Cost and Benefit Analysis of Implementing Photobioreactor System for Self-Sustainable Electricity Production from Algae*. místo neznámé : University of Technology Sydney, 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.11353.36969.
- [31] Alessandro Concas, Massimo Pisu, Giacomo Cao. *Novel simulation model of the solar collector of BIOCOIL photobioreactors for CO2 sequestration with microalgae*. místo neznámé : Elsevier, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.059>.
- [32]. J. Masojídek, G. Torzillo. *Mass Cultivation of Freshwater Microalgae*. místo neznámé : ScienceDirect, 2014.
- [33] Chapman, R.L. Springer Link. *Algae: the world's most important "plants"—an introduction. Mitig Adapt Strateg Glob Change*. [Online] 2013. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9255-9>.
- [34] Ecoduna. [Online] [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea\\_pdf/events/20110331\\_bioenergieforschung\\_5\\_4\\_mohr.pdf?m=1469660555&](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/events/20110331_bioenergieforschung_5_4_mohr.pdf?m=1469660555&).
- [35] Research Gate. *Factors influencing the growth of Spirulina platensis in closed photobioreactors under CO2 – O2 conversion*. [Online] [https://www.researchgate.net/publication/338290065\\_Factors\\_influencing\\_the\\_growth\\_of\\_Spirulina\\_platensis\\_in\\_closed\\_photobioreactors\\_under\\_CO2\\_-\\_O2\\_conversion/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/338290065_Factors_influencing_the_growth_of_Spirulina_platensis_in_closed_photobioreactors_under_CO2_-_O2_conversion/figures?lo=1).

- [36] Friedrich Jung, Conrad G.H. Jung, Anne Krüger-Genge, Jan-Heiner Küpper. Research Gate. *Factors influencing the growth of Spirulina platensis in closed photobioreactors under CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> conversion*. [Online]  
[https://www.researchgate.net/publication/338290065\\_Factors\\_influencing\\_the\\_growth\\_of\\_Spirulina\\_platensis\\_in\\_closed\\_photobioreactors\\_under\\_CO2\\_-\\_O2\\_conversion/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/338290065_Factors_influencing_the_growth_of_Spirulina_platensis_in_closed_photobioreactors_under_CO2_-_O2_conversion/figures?lo=1).
- [37] OCEANA. Giant Kelp. [Online] <https://oceana.org/marine-life/corals-and-other-invertebrates/giant-kelp>.
- [38] M. Koller, A. Salerno, P. Tuffner, M. Koinigg, H. Böchzelt, S. Schober, et al., *Characteristics and potential of micro algal cultivation strategies: a review*. *Prod.* 37 (2012) 377-388.
- [39] B. Wang, C.Q. Lan, M. Horsman. *Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses*. místo neznámé : *Biotechnol. Adv.* 30 (2012) 904#912.
- [40] S. Wahidin, A. Idris, S.R.M. Shaleh. *The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae Nannochloropsis sp.,*. místo neznámé : *Bioresour. Technol.* 129 (2013) 7-11.
- [41] E. Sevigné Itoiz, C. Fuentes-Grünwald, C.M. Gasol, E. Garcés, E. Alacid, S. Rossi, et al. *Energy balance and environmental impact analysis of marine microalgal biomass production for biodiesel generation in a photobioreactor pilot plant* . místo neznámé : *Biomass Bioenergy.* 39 (2012) 324-225.
- [42] N.S. Hosseini, H. Shang, J.A. Scott. *Increasing microalgal lipid productivity for conversion into biodiesel by using a non-energy consuming light guide*. místo neznámé : *Biochem. Eng. J.* 134 (2018) 60-68.
- [43] N. Seyed Hosseini, H. Shang, G.M. Ross, J.A. Scott. *Microalgae cultivation in a novel top-lit gas-lift open bioreactor*. místo neznámé : *Bioresour. Technol.* 192 (2015) 432-440.
- [44] Y. Sun, Y. Huang, Q. Liao, Q. Fu, X. Zhu. *Enhancement of microalgae production by embedding hollow light guides to a flat-plate photobioreactor*. místo neznámé : *Bioresour. Technol.* 207 (2016) 31-38.
- [45] Wijffels, Jan-Willem F. Zijffers & Marcel Janssen & Johannes Tramper & René H. *Design Process of an Area-Efficient Photobioreactor*. místo neznámé : *Biotechnol.* 10 (2008) 404-415.

- [46] N. Seyed Hosseini, H. Shang, J.A. Scott. *Optimization of microalgae-sourced lipids production for biodiesel in top-lit gas-lift bioreactor using response surface methodology*. místo neznámé : Energy, 2018. 146 47-56.
- [47] R.P. Rastogi, A. Pandey, C. Larroche, D. Madamwar. *Algal green energy # R&D and technological perspectives for biodiesel production*. místo neznámé : Renew. Sustain. Energy. Rev. 82 (2018) 2946-2969.
- [48] RNDr. Kateřina Sukačová, Ph.D. Diskuse s expertkou na bioreaktory z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR. 2021.
- [49] William B. Zimmerman, Mohammad Zandib, H.C. Hemaka Bandulasena, Václav Tesař, D. James Gilmour, Kezhen Ying. *Design of an airlift loop bioreactor and pilot scales studies with fluidic oscillator induced microbubbles for growth of a microalgae Dunaliella salina*. místo neznámé : Applied Energy. 88 (2011) 3357 - 3369.
- [50] Benemann, Joseph C. Weissman Raymond P. Goebel John R. *Photobioreactor design: Mixing, carbon utilization, and oxygen accumulation*. místo neznámé : Biotechnol. Bioeng. 31 (1988) 336-344.
- [51] Gislerød, Leiv M. Mortensen & Hans R. *The growth of Chlorella sorokiniana as influenced by CO<sub>2</sub>, light, and flue gases*. místo neznámé : J. Appl. Phycol. 28 (2016) 813-820.
- [52] Chien-Ya Kao, Tsai-Yu Chen, Yu-Bin Chang, Tzai-Wen Chiu, Hsiun-Yu Lin, Chun-Da Chen, Jo-Shu Chang, Chih-Sheng Lin. *Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga Chlorella sp.* místo neznámé : Elsevier, 2014.
- [53] R. Bounaceur, N. Lape, D. Roizard, C. Vallieres, E. Favre. *Membrane processes for post-combustion carbon dioxide capture: a parametric study*. místo neznámé : Energy 21, 2006. 2556-2570.
- [54] B. Wang, Y. Li, N. Wu, C.Q. Lan. *CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae*. místo neznámé : Appl. Microbiol. Biotechnol., 2008. 79 707-718.
- [55] C.G. Borkenstein, J. Knoblechner, H. Frühwirth, M. Schagerl. *Cultivation of Chlorella emersonii with flue gas derived from cement plant*. místo neznámé : J. Appl. Phycol., 2011. 131 - 135.
- [56] C.A. Laamanen, H. Shang, G.M. Ross, J.A. Scott. *A model for utilizing industrial off-gas to support microalgae cultivation for biodiesel in cold climates*. místo neznámé : Energy Convers. Manag., 2014. 88 476-483.

- [57] L.M. Mortensen, H.R. Gislerød. *The growth of Chlorella sorokiniana as influenced by CO<sub>2</sub>, light, and flue gases*. místo neznámé : J. Appl. Phycol., 2016. 28 813-820.
- [58] Měsíční přehledy pozorování. *Český hydrometeorologický ústav*. [Online] 2020.  
<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani#>.
- [59] C.A. Laamanen, H. Shang, G.M. Ross, J.A. Scott. *Smelter off-gas heat and carbon dioxide sequestration to promote production of biodiesel*. CIM J. 8 (2017).
- [60] Zhang, Xing. *Microalgae removal of CO<sub>2</sub> from flue gas*. místo neznámé : IEA Clean Coal Centre, 2015.  
[https://usea.org/sites/default/files/042015\\_Microalgae%20removal%20of%20CO2%20from%20flue%20gas\\_ccc250.pdf](https://usea.org/sites/default/files/042015_Microalgae%20removal%20of%20CO2%20from%20flue%20gas_ccc250.pdf).
- [61] Scott, Corey A. Laamanen and John A. *Microalgae biofuel bioreactors for mitigation of industrial CO<sub>2</sub> emissions*. místo neznámé : Bharti School of Engineering, Laurentian University, Sudbury, ON, Canada, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00001-2>.
- [62] Corey A. Laamanen, John A. Scott. *Chapter 1 - Microalgae biofuel bioreactors for mitigation of industrial CO<sub>2</sub> emissions*. místo neznámé : Elsevier, 2020. ISBN 9780128212646.
- [63] Małgorzata Płaczek, Agnieszka Patyna, Stanisław Witczak. *Technical evaluation of photobioreactors for microalgae cultivation*. Opole : Opole University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Process Engineering, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20171902032.
- [64] Městské společnosti. *Praha.eu*. [Online] 2021.  
[https://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/mestskespolecnosti/index.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/mestskespolecnosti/index.html).
- [65] SPOLEČNOST PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, A.S. *Praha.eu*. [Online]  
[https://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/mestskespolecnosti/pvk/index.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/mestskespolecnosti/pvk/index.html).
- [66] Pražská teplárenská je součástí skupiny Veolia. *Veolie*. [Online]  
<https://www.veolia.cz/cs/media/tiskove-zpravy/prazska-teplarenska-je-soucasti-skupiny-veolia>.
- [67] Městské společnosti. *Praha.eu*. [Online]  
[https://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/mestskespolecnosti/index.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/mestskespolecnosti/index.html).
- [68] Zdroje znečištění za rok 2019. *Český hydrometeorologický ústav*. [Online]  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/plants/praha\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/praha_CZ.html).



- [69] Čížek, Petr. *NÁVRH SOFTWAREVÉHO NÁSTROJE PRO APLIKACI SAFMEA METODY VYUŽITÉ K ŘÍZENÍ RIZIKA*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2018. [https://doi.org/10.24132/jbt.2018.8.4.96\\_102](https://doi.org/10.24132/jbt.2018.8.4.96_102).
- [70] Tichý, Milík. *Ovládání rizika - analýza a management*. místo neznámé : C.H. Beck, 2006. 80-7179-415-5.
- [71] Kateřina Sukačová, Pavel Lošák, Vladimír Brummer, Vítězslav Máša, Daniel Vícha and Tomáš Zavřel. *Perspective Design of Algae Photobioreactor for Greenhouses - A Comparative study*. místo neznámé : Global Change Research Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14051338>.
- [72] Sieber, Ing. Patrik. *Analýza nákladů a přínosů metodická příručka*. místo neznámé : Ministerstvo pro místní rozvoj, 2004. verze 1.4.
- [73] Ekonomické hodnocení. *API*. [Online] <https://www.agentura-api.org/cs/metodika/ekonomicke-hodnoceni/>.
- [74] Daily EU ETS carbon market price (Euros). *EMBER*. [Online] 2021. <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>.
- [75] kolektiv, Florio M. a. *Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects*. místo neznámé : European Commission, 2008.
- [76] Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny:.. *energie123*. [Online] 2021. <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/#:~:text=srovn%C3%A1n%C3%ADm%20cen%20elekt%C5%99iny%20kalkula%C4%8Dkou.,4%2C71%20K%C4%8D%20%2F%20kWh..>
- [77] Vodné a stočné 2020. *elektrina*. [Online] <https://www.elektrina.cz/kubik-vody-vodne-stocne-2020-v-ceskych-mestech#:~:text=Jeden%20kub%C3%ADk%20vody%20neboli%20metr,na%2094%20K%C4%8D%20za%20kub%C3%ADk..>
- [78] Esveidi Montserrat Valdovinos-García, Juan Barajas-Fernández, María de los Ángeles Olán-Acosta, Moisés Abraham Petriz-Prieto, Adriana Guzmán-López and Micael Gerardo Bravo-Sánchez. *Techno-Economic Study of CO2 Capture of a Thermoelectric Plant Using Microalgae (Chlorella vulgaris) for Production of Feedstock for Bioenergy*. místo neznámé : Energies, 2020. doi:10.3390/en13020413.
- [79] ANDERSEN, R. A. *Algal culturing*. San Diego : Academic Press.

- [80] Třinecká ocel pomáhá snižovat uhlíkovou stopu. *ehutník*. [Online] <https://ehutnik.cz/tz-ms/trinecka-ocel-pomaha-snizovat-uhlikovou-stopu>.
- [81] Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů detailně. *fakta o klimatu*. [Online] 2021. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>.
- [82] ecoduna to Improve Algae Production with SCHOTT Glass Components. *SCHOTT*. [Online] 2015. <https://www.schott.com/german/news/press.html?NID=com4854>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - emise ≠ imise [1] .....	12
Obrázek 2 - Počet dní s koncentracemi $PM_{10} > 50 \mu g.m^{-3}$ , aglomerace Praha (2019) [8] ....	15
Obrázek 3 - Historický vývoj koncentrací na jednotlivých typech stanic $PM_{10}$ (vpravo) a $PM_{2,5}$ (vlevo) [8].....	15
Obrázek 4 - Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu v letech 2009–2019, aglomerace Praha [8].....	16
Obrázek 5 - Průměrné roční koncentrace $NO_2$ v roce 2019 a vývoj koncentrací na jednotlivých typech stanic v letech [8] .....	16
Obrázek 6 - Počty překročení hodnoty imisního limitu $O_3$ v průměru za tři roky v letech 2010–2019, aglomerace Praha [8].....	17
Obrázek 7 - Vývoj celkových emisí hlavních znečišťujících látek, 1990-2019 .....	17
Obrázek 8 - Vývoj celkových emisí částic, 1990-2018.....	18
Obrázek 9 - roční průměrné koncentrace $SO_2$ (2019) [10] .....	18
Obrázek 10 - Podíl jednotlivých sektorů na celkových emisích skleníkových plynů v letech 1990–2018 [12].....	19
Obrázek 11 - emise skleníkových plynů v ČR (2018) [13] .....	20
Obrázek 12 - emisní hodnoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5 x 5 km (2018) [14].....	21
Obrázek 13 - pole roční průměrné koncentrace $NO_x$ (2019) [15].....	22
Obrázek 14 - pětiletý průměr ročních koncentrací arsenu (2015–2019) [16] .....	22
Obrázek 15 - pětiletý průměr ročních koncentrací kadmia (2015-2019) [16] .....	23
Obrázek 16 - emisní hustoty niklu ze čtverců 5 x 5 km (2018) [16].....	23
Obrázek 17 - emisní hustoty olova ze čtverců 5 x 5 km (2018) [16] .....	24
Obrázek 18 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu (2015 – 2019) [17].....	25
Obrázek 19 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzenu (2015–2019) [18] .	25
Obrázek 20 - Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky (2017–2019) [19].....	26
Obrázek 21 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $PM_{10}$ (2015–2019) [20] .....	27

Obrázek 22 - Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM <sub>2,5</sub> (2015–2019) [20].....	27
Obrázek 23 - dělení kultivačních systémů [vlastní zpracování] [22].....	29
Obrázek 24 - podrobný a zjednodušený proces fotosyntézy (dole) [21] .....	29
Obrázek 25 - Příklady otevřených kultivačních systémů ze světa (vlevo) [24] a z Třeboně (vpravo) [25].....	31
Obrázek 26 - Farmy kultivující Arthrospiru ve Francii [24] .....	32
Obrázek 27 - Druhy bioreaktorů: a) plošný bioreaktor, b) vertikální tubulární bioreaktor, c) horizontální tubulární reaktor, d) umělohmotný vak [26].....	33
Obrázek 28 - Příklady bioreaktorů ze světa [24].....	34
Obrázek 29 - schématický model vertikálního tubulárního systému [30] .....	35
Obrázek 30 - obecná schémata spirálovitého bioreaktoru [31] [32].....	35
Obrázek 31 - orientační cena biomasy napříč různými segmenty využití [34] .....	36
Obrázek 32 - zelená řasa <i>Chlorella vulgaris</i> (vlevo) [35] a sinice <i>Arthrospira</i> (vpravo) [36] ..	37
Obrázek 33 - hnědá řasa [37] .....	38
Obrázek 34 - (a) schématický diagram plochého bioreaktoru s dutými trubicemi, (b) přenos světla v trubicích [44] .....	39
Obrázek 35 - Green solar collector – použití čoček (vlevo) [45] a top-lit gas–lift bioreactor equipped with a light guide (vpravo) [42].....	40
Obrázek 36 - účinnost odebrání plynů NO <sub>x</sub> a SO <sub>2</sub> [52].....	41
Obrázek 37 - průměrná měsíční teplota, Praha – Karlov (2020) [58].....	43
Obrázek 38 - schéma využití tepelného výměníku u bioreaktoru elektrárny East Bend Station, stát Indiana, USA [29] .....	43
Obrázek 39 - způsoby proudění plynu vertikálních tubulárních bioreaktorů [62].....	46
Obrázek 40 - přehled společností hl. m. Prahy s úplným nebo částečným majetkovým podílem [67].....	52
Obrázek 41 - SAFMEA ZEVO Malešice .....	60
Obrázek 42 - SAFMEA ÚČOV Praha 6 .....	60
Obrázek 43 - návratnost investice plošného a vertikálního bioreaktoru [30] .....	63
Obrázek 44 - Graf rozdílu mezi nulovou a investiční variantou [72].....	68

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení [2] .....	13
Tabulka 2 - imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace [2].....	13
Tabulka 3 - imisní limity pro ochranu zdraví – celkový obsah v částicích PM10 [2] .....	13
Tabulka 4 - imisní limit pro troposférický ozón [2].....	13
Tabulka 5 - Výsledky zachycování CO <sub>2</sub> tubulárních bioreaktorů [62].....	46
Tabulka 6 - výhody a nevýhody bioreaktorů [63] .....	47
Tabulka 7 - průzkum trhu .....	48
Tabulka 8 – zdroje znečišťování – městské společnosti evidované ČHMÚ (2019) [68] .....	53
Tabulka 9 - Přehled rizikových událostí k umístění bioreaktoru .....	56
Tabulka 10 - seznam expertů.....	58
Tabulka 11 - Stupnice pravděpodobnosti vzniku rizika a následku.....	58
Tabulka 12 - Stupnice přijatelnosti rizika .....	59
Tabulka 13 - Intervaly přijatelnosti rizika .....	59
Tabulka 14 - Referenční časový horizont životnosti projektů [75].....	66
Tabulka 15 - Předčasná úmrtí v důsledku znečištění ovzduší v ČR [zdroj: OICT 2020] .....	66
Tabulka 16 - Náklad - Riziko nezájmu uživatelů o služby bioreaktoru .....	75
Tabulka 17 - kritériální ukazatele CBA .....	76

## Seznam rovnic

Rovnice 1 - kultivace řas [28] .....	36
Rovnice 2 - společenská diskontní sazba .....	70
Rovnice 3 - reálná diskontní sazba .....	70
Rovnice 4 - současná hodnota.....	71
Rovnice 5 - současná hodnota v definovaném časovém období.....	71
Rovnice 6 - čistá současná hodnota .....	71
Rovnice 7 - modifikovaná rovnice – čistá současná hodnota .....	72
Rovnice 8 - index rentability .....	72
Rovnice 9 - vnitřní výnosové procento .....	72

## Seznam příloh

Příloha A - Detailní hodnocení expertů metodou SAFMEA .....	92
Příloha B - Přínosy.....	93
Příloha C - Náklady.....	94
Příloha D - Přínosy a náklady výpočet .....	95
Příloha E - Finanční cash flow projektu.....	96
Příloha F - soubor MS Excel – Hochman Tomáš SAFMEA příloha F.xlsx	
Příloha G - soubor MS Excel – Hochman Tomáš CBA příloha G.xlsx	

## Příloha A - Detailní hodnocení expertů metodou SAFMEA

Varianta 1 - ZEVO Malešice		Neubergová		Peterka		Rákosníčková		Sukačová		Zadrážilová					
Kategorie	R	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika				
Technická rizika	R1	Riziková událost	4	3	2	9	18	5	9	3	1	3	4	3	12
	R2	vysoká náročnost technologie	4	3	5	1	5	4	4	4	3	1	3	4	3
	R3	nízká náročnost technologie	3	9	1	9	9	9	4	9	3	1	3	3	27
	R4	nedostupnost technologie	2	9	2	3	6	3	3	3	2	2	6	2	18
	R5	nestabilita vstupního odpadního plynu	2	9	2	9	18	2	2	3	2	3	6	3	9
	R6	nedostupnost inženýrských sítí	2	3	5	5	15	4	1	4	2	2	1	2	3
Rizika týkající se umístění	R7	Pozastavení provozu v důsledku odstávek	3	9	5	1	5	2	1	2	3	1	3	3	9
	R8	zábor pozemku	2	2	1	3	3	2	1	2	2	3	3	3	9
	R9	nedostatek prostoru	2	3	1	3	3	2	1	2	2	3	3	3	9
	R10	vandálistmus	2	9	1	9	9	1	1	1	3	3	9	1	9
	R11	zřízení silným větrem	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	9
	R12	záplavy, přívalový déšť	2	3	1	2	2	1	1	1	3	3	6	2	9
Bezpečnostní rizika	R13	vznik odpadní vody při čištění	2	3	5	1	5	5	9	3	1	3	2	3	6
	R14	vysoké náklady na experiment	3	9	4	9	36	5	9	4	2	6	4	9	36
	R15	nevhodná finanční strategie	3	9	2	9	18	3	3	3	3	3	3	3	9
	R16	zřízení silným větrem	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	9
	R17	záplavy, přívalový déšť	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	9
	R18	nevhodná finanční strategie	3	9	2	3	9	3	3	3	3	3	3	3	9
Obecná rizika projektu	R19	zamítnutí z nefinančních důvodů	3	9	2	9	18	3	9	2	3	3	3	3	9
	R20	zpochybnění v důsledku nevhodné zadávací dokumentace	2	3	1	2	2	1	2	3	3	3	3	3	9
	R21	nesouhlas vlastníka pozemku s výstavbou bioreaktoru	2	9	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	9
	R22	negativní ohlas veřejnosti	2	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3

Varianta 2 - ÚČOV Praha 6		Neubergová		Peterka		Rákosníčková		Sukačová		Zadrážilová				
Kategorie	R	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika	Pravděpodobnost rizika	Následky SVE rizika			
Technická rizika	R1	Riziková událost	4	3	2	9	18	3	9	3	1	3	4	3
	R2	vysoká náročnost technologie	2	3	5	1	5	1	3	3	3	1	3	2
	R3	nízká náročnost technologie	3	9	1	9	9	2	3	6	3	1	3	3
	R4	nedostupnost technologie	2	9	2	3	6	3	3	9	2	3	6	2
	R5	nestabilita vstupního odpadního plynu	2	9	2	9	18	2	3	6	2	3	6	2
	R6	nedostupnost inženýrských sítí	2	3	5	3	15	1	3	3	1	1	1	1
Rizika týkající se umístění	R7	Pozastavení provozu v důsledku odstávek	3	9	5	1	5	1	1	1	3	3	3	3
	R8	zábor pozemku	2	2	3	3	3	1	1	2	2	3	3	3
	R9	nedostatek prostoru	2	3	1	3	3	1	1	1	2	2	2	2
	R10	vandálistmus	2	9	1	9	9	3	3	9	2	3	6	6
	R11	zřízení silným větrem	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2
	R12	záplavy, přívalový déšť	2	3	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2
Bezpečnostní rizika	R13	vznik odpadní vody při čištění	3	6	4	5	1	5	3	3	2	2	3	6
	R14	vysoké náklady na experiment	3	9	2	9	36	4	3	1	3	3	3	3
	R15	nevhodná finanční strategie	3	9	2	9	18	4	4	3	3	3	3	3
	R16	zřízení silným větrem	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2
	R17	záplavy, přívalový déšť	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2
	R18	nevhodná finanční strategie	3	9	2	3	9	3	3	3	3	3	3	3
Obecná rizika projektu	R19	zamítnutí z nefinančních důvodů	3	9	2	9	18	4	9	3	3	3	3	3
	R20	zpochybnění v důsledku nevhodné zadávací dokumentace	2	3	1	2	2	1	2	3	3	3	3	3
	R21	nesouhlas vlastníka pozemku s výstavbou bioreaktoru	2	9	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
	R22	negativní ohlas veřejnosti	2	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1



## Příloha B - Přínosy

Přínosy	Přínos - Snížení emisí CO2	Přínos - Snížení emisí NOx	Přínos - Snížení emisí SO2	Přínos - Produkce biomasy k výrobě elektrické energie
<p><b>Popis přínosů</b></p>	<p><b>Přínos - Snížení emisí CO2</b></p> <p>Vypočet je založen na výsledcích vědeckých pokusů hodnoty fixace CO2. Ta se u různých projektů pohybuje od 0,5 do 6,24 g//den v závislosti na řadě různých vlivů. Pro výpočet se dále předpokládá 5 g//den a tj. 0,000005 t//den. Die "Data báze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok CO2 vyčištěna na pozitivní dopad v hodnotě 807 -Kč. Předpokládá se objem nádoxy 15 000 l a provoz 365 dní v roce.</p> <p><b>Úspora nákladů takto vychází: 15 000 l * 0,000 005 t//den * 365 dní * 807,- Kč = 22 092,- Kč/rok</b></p>	<p><b>Přínos - Snížení emisí NOx</b></p> <p>Vypočet je založen na výsledcích vědeckých pokusů. Některé studie popisují částečně jiné zase úplně využít NOx mikrořasou. Hodnota fixace NOx se dále předpokládá 0,05g//den. Die "Data báze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok NOx vyčištěna na pozitivní dopad v hodnotě 179 374,-Kč. Předpokládá se objem nádoxy 15 000 l a provoz 365 dní v roce.</p> <p><b>Úspora nákladů takto vychází: 15 000 l * 0,000 000 05 t//den * 365 dní * 179 374,- Kč = 49 100,- Kč/rok</b></p>	<p><b>Přínos - Snížení emisí SO2</b></p> <p>Vypočet je založen na výsledcích vědeckých pokusů. Některé studie popisují částečně jiné zase úplně využít SO2 mikrořasou. Hodnota fixace SO2 se dále předpokládá 0,03g//den. Die "Data báze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok SO2 vyčištěna na pozitivní dopad v hodnotě 229 822,-Kč. Předpokládá se objem nádoxy 15 000 l a provoz 365 dní v roce.</p> <p><b>Úspora nákladů takto vychází: 15 000 l * 0,000 000 05 t//den * 365 dní * 229 822,-Kč = 62 910,- Kč/rok</b></p>	<p><b>Přínos - Produkce biomasy k výrobě elektrické energie</b></p> <p>Vypočet je založen na výsledcích vědeckých pokusů. Rozpří produkce biomasy je napříč různými pokusy znatky a závisí na konkrétním designu systému, jeho okolních podmínkách a dalších faktorech. Ve zdražších pokusech se u tubulárních bioreaktorů objevují hodnoty produkce od 0,3 do 1,47 g//den. Předpokládá se proto, že dosažení produkce 1 g//den tj. 0,001 kg//den je reálné a dále je uvažováno s touto hodnotou. 1 Kg biomasy odpovídá 21,6 MJ a to je 6 kWh. Průměrná cena elektriny za 1 kWh se k roku 2021 uvádí 4,83,- Kč. Ve výpočtu se předpokládá konstantní výkon generátoru bioplynu při 60 % přeměně energie.</p> <p><b>Úspora nákladů takto vychází: 15 000 l * 0,001 kg//den * 365 dní * 6 kWh/kg * 4,83 Kč/kWh * 0,6 [%] = 951,99,- Kč/rok</b></p>

### Příloha C - Náklady

<b>Náklady</b>	<b>Prostředky pro zajištění chodu bioreaktoru</b>
Náklady - rutinní provoz	<p>Nutnost vynaložení finančních prostředků pro zajištění chodu bioreaktoru se týká zajištění vody, elektřiny, nutrientů a obsluhy/údržby. Předpokládá se, že k zajištění tepelné energie bude využito odpadní teplo provozovny, proto ve ztrátách není uvedeno viz:</p> <p style="text-align: center;"><b>voda pravidelně ročně</b> = 15 m<sup>3</sup> * 94 Kč/m<sup>3</sup> = 1 410,-</p> <p><b>elektřina pravidelně ročně</b> = (254 kWh_čerp. + 150 m<sup>2</sup> * 0,05kWh/m<sup>2</sup>_osvětl. * 12 hod * 365 dní) 4,83 Kč/kWh = 159 892,-</p> <p style="text-align: center;"><b>nutrienty pravidelně ročně</b> = 70 Kč/kg * 50 kg = 3 500,-</p> <p style="text-align: center;"><b>údržbář bioreaktoru</b> = 30 000 Kč * 1,34%_soc. a zdra. * 12 měsíců * 30 /160 p.hod.měsíčně = 86 480,-</p> <p style="text-align: center;"><b>Celkem ztráta 251 282,- Kč/rok</b></p>

**Příloha D - Přínosy a náklady výpočet**

1. Přínos - Snížení Co2																																	
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051		
predikce nárůstu ceny za tunu CO2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	175%	175%		
Celkové CO2: (v tunách, 15 m3 nádoby)		27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375	27,375			
přínos kumul. CO2		27,375	54,750	82,125	109,500	136,875	164,250	191,625	219,000	246,375	273,750	301,125	328,500	355,875	383,250	410,625	438,000	465,375	492,750	520,125	547,500	574,875	602,250	629,625	657,000	684,375	711,750	739,125	766,500	793,875	821,250		
Dle "Databáze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok CO2 vyčíslena na pozitivní dopad <b>807 Kč</b>																																	
Maximálně dosažitelný dopad v Kč	objem nádoby [l]	15 000	22 092	44 183	66 275	88 367	110 458	132 550	154 641	176 733	248 531	276 145	303 760	331 374	358 989	386 603	414 218	441 833	469 447	497 062	629 611	662 749	695 886	729 024	762 161	795 299	828 436	861 573	894 711	927 848	1 121 150	1 159 810	
<b>Celkem</b>																																	
dosažitelný:	objem [m3]	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051		
dopad ročně Kč	plný provoz	15	22 092	22 092	22 092	22 092	22 092	22 092	22 092	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	27 615	33 137	33 137	33 137	33 137	33 137	33 137	33 137	33 137	33 137	38 660	38 660			
dopad kumulativně	plný provoz	15	22 092	44 183	66 275	88 367	110 458	132 550	154 641	176 733	204 348	231 962	259 577	287 191	314 806	342 420	370 035	397 649	425 264	452 878	480 493	508 107	535 722	563 336	590 951	618 565	646 180	673 794	701 409	729 024	756 639	784 253	811 868
2. Přínos - Snížení NOx																																	
predikce nárůstu ceny za tunu NOx		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	175%	175%		
Celkové NOx: (v tunách, 15 m3 nádoby)		0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274		
přínos kumul. NOx		0,274	0,548	0,821	1,095	1,369	1,643	1,916	2,190	2,464	2,738	3,011	3,285	3,559	3,833	4,106	4,380	4,654	4,928	5,201	5,475	5,749	6,023	6,296	6,570	6,844	7,118	7,391	7,665	7,939	8,213		
Dle "Databáze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok NOx vyčíslena na pozitivní dopad <b>179 374 Kč</b>																																	
Maximálně dosažitelný dopad v Kč	objem nádoby [l]	15 000	22 092	44 183	66 275	88 367	110 458	132 550	154 641	176 733	248 531	276 145	303 760	331 374	358 989	386 603	414 218	441 833	469 447	497 062	629 611	662 749	695 886	729 024	762 161	795 299	828 436	861 573	894 711	927 848	1 121 150	1 159 810	
<b>Celkem</b>																																	
dosažitelný:	objem [m3]	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051		
dopad ročně Kč	plný provoz	15	49 104	49 104	49 104	49 104	49 104	49 104	49 104	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	61 380	73 655	73 655	73 655	73 655	73 655	73 655	73 655	73 655	73 655	85 931	85 931			
dopad kumulativně	plný provoz	15	49 104	98 207	147 311	196 415	245 518	294 622	343 725	392 829	454 209	515 588	576 968	638 347	699 727	761 106	822 486	883 865	945 245	1 006 624	1 080 280	1 153 935	1 227 591	1 301 246	1 374 902	1 448 557	1 522 213	1 595 868	1 669 524	1 743 179	1 829 110	1 915 042	
3. Přínos - Snížení SO2																																	
predikce nárůstu ceny za tunu SO2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	125%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	150%	175%	175%		
Celkové SO2: (v tunách, 15 m3 nádoby)		0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274	0,274		
přínos kumul. SO2		0,274	0,548	0,821	1,095	1,369	1,643	1,916	2,190	2,464	2,738	3,011	3,285	3,559	3,833	4,106	4,380	4,654	4,928	5,201	5,475	5,749	6,023	6,296	6,570	6,844	7,118	7,391	7,665	7,939	8,213		
Dle "Databáze oceněných socio-ekonomických dopadů pro období 2020-2029" je úspora 1 tuny/rok SO2 vyčíslena na pozitivní dopad <b>229 822 Kč</b>																																	
Maximálně dosažitelný dopad v Kč	objem nádoby [l]	15 000	22 092	44 183	66 275	88 367	110 458	132 550	154 641	176 733	248 531	276 145	303 760	331 374	358 989	386 603	414 218	441 833	469 447	497 062	629 611	662 749	695 886	729 024	762 161	795 299	828 436	861 573	894 711	927 848	1 121 150	1 159 810	
<b>Celkem</b>																																	
dosažitelný:	objem [m3]	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051		
dopad ročně Kč	plný provoz	15	62 914	62 914	62 914	62 914	62 914	62 914	62 914	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	78 642	94 371	94 371	94 371	94 371	94 371	94 371	94 371	94 371	94 371	110 099	110 099			
dopad kumulativně	plný provoz	15	62 914	125 828	188 741	251 655	314 569	377 483	440 396	503 310	581 952	660 595	739 237	817 879	896 521	975 163	1 053 806	1 132 448	1 211 090	1 289 732	1 384 103	1 478 474	1 572 844	1 667 215	1 761 586	1 855 956	1 950 327	2 044 698	2 139 068	2 233 439	2 343 538	2 453 637	
4. Přínos - produkce biomasy k výrobě el. energie																																	
3,00% roční růst cen energií		100%	103%	106%	109%	112%	115%	118%	121%	124%	127%	130%	133%	136%	139%	142%	145%	148%	151%	154%	157%	160%	163%	166%	169%	172%	175%	178%	181%	184%	187%		
Celková biomasa: (v kilogramech, 15 m3 nádoby)		5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475	5475		
přínos kumul. Biomasa		5475	10950	16425	21900	27375	32850	38325	43800	49275	54750	60225	65700	71175	76650	82125	87600	93075	98550	104025	109500	114975	120450	125925	131400	136875	142350	147825	153300	158775	164250		
Cena 1 kg biomasy pro výrobu el. energie je vyčíslena jako pozitivní dopad v hodnotě: <b>17 Kč</b>																																	
Maximálně dosažitelný dopad v Kč	objem nádoby [l]	15 000	22 092	44 183	66 275	88 367	110 458	132 550	154 641	176 733	248 531	276 145	303 760	331 374	358 989	386 603	414 218	441 833	469 447	497 062	629 611	662 749	695 886	729 024	762 161	795 299	828 436	861 573	894 711	927 848	1 121 150	1 159 810	
<b>Celkem</b>																																	
dosažitelný:	objem [m3]	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051		
dopad ročně Kč	plný provoz	15	95 199	98 055	100 911	103 767	106 623	109 479	112 335	115 191	118 047	120 903	123 759	126 615	129 471	132 327	135 183	138 039	140 895	143 751	146 607	149 463	152 319	155 175	158 031	160 887	163 743	166 599	169 455	172 311	175 167	178 023	
dopad kumulativně	plný provoz	15	95 199	193 255	291 166	389 077	487 033	584 944	682 855	780 766	878 677	976 588	1 074 499	1 172 409	1 270 320	1 368 231	1 466 142	1 564 053	1 661 964	1 759 875	1 857 786	1 955 697	2 053 608	2 151 519	2 249 430	2 347 341	2 445 252	2 543 163	2 641 074	2 738 985	2 836 896	2 934 807	
<b>1. Náklad - Prostředky pro zajištění chodu bioreaktoru</b>																																	
Paušální platby Kč	jednotky	ročně [Kč]	množství	poměr užití	Dopad - Ztráta Kč																												
Voda	m3	1 410	pilot (3 měsíce)	15	100%	1 410																											
			plný provoz	15	100%	1 410																											
Elektřina	kWh	159 892	pilot	8276	100%	39 973																											
			plný provoz	33104	100%	159 892																											
Osobní náklady	hodiny	86 480	pilot (expert)	120	100%	40 200																											
			plný provoz (údržbář)	360	100%	86 480																											
Nutrienty	kg	3 500	pilot	3,33	100%	875																											
			plný provoz	50	100%	3 500																											
Počítá se s vnitropodnikovou spotřebou, předpokládá se 254 kwh ročně, ale náklady spojené s elektřinou mohou klesat při využití vyrobené biomasy																																	
<b>2. Náklad - Riziko nezájmu uživatelů o služby bioreaktoru - neúčelně vynaložené prostředky</b>																																	
V případě nezájmu o služby bioreaktoru budou neúčelně vynaložené investiční náklady projektu ve výši 100 %																																	
Investiční náklady projektu (30 let)	Dopad - Ztráta Kč																																
bioreaktor		2 000 280																															
skleník		1 000 000																															
mikrořasa		10 000																															
osvětlení životnost 3x10 let		225 000																															
<b>celkem</b>		<b>3 235 280</b>																															

Příloha E - Finanční cash flow projektu

Finanční cash flow projektu	Finanční analýza																														
	Rok 2022	Rok 2023	Rok 2024	Rok 2025	Rok 2026	Rok 2027	Rok 2028	Rok 2029	Rok 2030	Rok 2031	Rok 2032	Rok 2033	Rok 2034	Rok 2035	Rok 2036	Rok 2037	Rok 2038	Rok 2039	Rok 2040	Rok 2041	Rok 2042	Rok 2043	Rok 2044	Rok 2045	Rok 2046	Rok 2047	Rok 2048	Rok 2049	Rok 2050	Rok 2051	
Příjmy z provozu - biomasa	95 199	98 055	100 911	103 767	106 623	109 479	112 335	115 191	118 047	120 903	123 759	126 615	129 471	132 327	135 183	138 039	140 895	143 751	146 607	149 463	152 319	155 175	158 031	160 887	163 743	166 599	169 455	172 311	175 167	178 023	
Dotace z EU fondů na investiční nákup	1 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Příjmy z ekonomických přínosů (navazuje na kalkulační v CBA)</b>	134 109	134 109	134 109	134 109	134 109	134 109	134 109	134 109	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	167 636	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	201 164	234 691	234 691
Ostatní příjmy (konzultantské služby z nabytého know-how, publikace)	30 000	30 900	31 827	32 782	33 765	34 778	35 822	36 896	38 003	39 143	40 317	41 527	42 773	44 056	45 378	46 739	48 141	49 585	51 073	52 605	54 183	55 809	57 483	59 208	60 984	62 813	64 698	66 639	68 638	70 697	
Financování z rozpočtu MHMP	2 000 000	0																													
<b>CELKEM PŘÍJMY bez vlivu financování</b>	<b>1 259 308</b>	<b>263 064</b>	<b>266 847</b>	<b>270 658</b>	<b>274 498</b>	<b>278 366</b>	<b>282 266</b>	<b>286 196</b>	<b>323 687</b>	<b>327 683</b>	<b>331 713</b>	<b>335 778</b>	<b>339 880</b>	<b>344 019</b>	<b>348 197</b>	<b>352 414</b>	<b>356 672</b>	<b>360 973</b>	<b>398 843</b>	<b>403 232</b>	<b>407 666</b>	<b>412 147</b>	<b>416 677</b>	<b>421 258</b>	<b>425 890</b>	<b>430 576</b>	<b>435 316</b>	<b>440 113</b>	<b>478 495</b>	<b>483 410</b>	
<b>CELKEM PŘÍJMY s vlivem financování</b>	<b>3 259 308</b>	<b>263 064</b>	<b>266 847</b>	<b>270 658</b>	<b>274 498</b>	<b>278 366</b>	<b>282 266</b>	<b>286 196</b>	<b>323 687</b>	<b>327 683</b>	<b>331 713</b>	<b>335 778</b>	<b>339 880</b>	<b>344 019</b>	<b>348 197</b>	<b>352 414</b>	<b>356 672</b>	<b>360 973</b>	<b>398 843</b>	<b>403 232</b>	<b>407 666</b>	<b>412 147</b>	<b>416 677</b>	<b>421 258</b>	<b>425 890</b>	<b>430 576</b>	<b>435 316</b>	<b>440 113</b>	<b>478 495</b>	<b>483 410</b>	
<b>CAPEX výdaje celkem</b>	<b>3 167 738</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>75 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>75 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
investiční výdaje	3 167 738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
pilot 3 měsíce 2022 (ziskávání know-how je vnímáno jako investice)	82 458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mikrořasa	10 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
skleník	1 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
osvětlení	75 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
bioreaktor včetně technického vybavení (tepelný výměník, pumpa, spojovací materiál, osvětlení...)	2 000 280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>neinvestiční výdaje</b>	<b>251 282</b>	<b>92 617</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	
<b>OPEX výdaje celkem</b>	<b>251 282</b>	<b>92 617</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	
Energie	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	159 892	
Voda	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	1 410	
Nutrienty	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	
Osobní náklady - údržbář bioreaktoru	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	86 480	
<b>Náklady/výdaje z ekonomických přínosů (navazuje na kalkulační v CBA)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>CELKEM VÝDAJE</b>	<b>3 419 020</b>	<b>92 617</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>326 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>326 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	<b>251 282</b>	
<b>Roční cash flow - bez vlivu financování</b>	<b>-2 159 712</b>	<b>170 447</b>	<b>15 565</b>	<b>19 376</b>	<b>23 215</b>	<b>27 084</b>	<b>30 983</b>	<b>34 914</b>	<b>72 404</b>	<b>76 400</b>	<b>5 431</b>	<b>84 496</b>	<b>88 598</b>	<b>92 737</b>	<b>96 915</b>	<b>101 132</b>	<b>105 390</b>	<b>109 690</b>	<b>147 561</b>	<b>151 949</b>	<b>81 383</b>	<b>160 865</b>	<b>165 395</b>	<b>169 976</b>	<b>174 608</b>	<b>179 293</b>	<b>184 034</b>	<b>188 831</b>	<b>227 213</b>	<b>232 128</b>	
<b>Roční cash flow - s vlivem financování</b>	<b>-159 712</b>	<b>170 447</b>	<b>15 565</b>	<b>19 376</b>	<b>23 215</b>	<b>27 084</b>	<b>30 983</b>	<b>34 914</b>	<b>72 404</b>	<b>76 400</b>	<b>5 431</b>	<b>84 496</b>	<b>88 598</b>	<b>92 737</b>	<b>96 915</b>	<b>101 132</b>	<b>105 390</b>	<b>109 690</b>	<b>147 561</b>	<b>151 949</b>	<b>81 383</b>	<b>160 865</b>	<b>165 395</b>	<b>169 976</b>	<b>174 608</b>	<b>179 293</b>	<b>184 034</b>	<b>188 831</b>	<b>227 213</b>	<b>232 128</b>	
<b>Kumulované cash flow - bez vlivu financování</b>	<b>-2 159 712</b>	<b>-1 989 265</b>	<b>-1 973 700</b>	<b>-1 954 324</b>	<b>-1 931 109</b>	<b>-1 904 025</b>	<b>-1 873 041</b>	<b>-1 838 127</b>	<b>-1 765 723</b>	<b>-1 689 323</b>	<b>-1 683 892</b>	<b>-1 599 396</b>	<b>-1 510 798</b>	<b>-1 418 061</b>	<b>-1 321 147</b>	<b>-1 220 015</b>	<b>-1 114 624</b>	<b>-1 004 934</b>	<b>-857 373</b>	<b>-705 424</b>	<b>-624 040</b>	<b>-463 175</b>	<b>-297 780</b>	<b>-127 805</b>	<b>46 803</b>	<b>226 097</b>	<b>410 130</b>	<b>598 961</b>	<b>826 174</b>	<b>1 058 302</b>	
<b>Kumulované cash flow - s vlivem financování</b>	<b>-159 712</b>	<b>10 735</b>	<b>26 300</b>	<b>45 676</b>	<b>68 891</b>	<b>95 975</b>	<b>126 959</b>	<b>161 873</b>	<b>234 277</b>	<b>310 677</b>	<b>316 108</b>	<b>400 604</b>	<b>489 202</b>	<b>581 939</b>	<b>678 853</b>	<b>779 985</b>	<b>885 376</b>	<b>995 066</b>	<b>1 142 627</b>	<b>1 294 576</b>	<b>1 375 960</b>	<b>1 536 825</b>	<b>1 702 220</b>	<b>1 872 195</b>	<b>2 046 803</b>	<b>2 226 097</b>	<b>2 410 130</b>	<b>2 598 961</b>	<b>2 826 174</b>	<b>3 058 302</b>	
Diskontní sazba	1	1,04	1,0816	1,124864	1,1698586	1,2166529	1,265319	1,3159318	1,3685691	1,4233118	1,4802443	1,5394541	1,6010322	1,6650735	1,7316764	1,8009435	1,8729812	1,9479005	2,0258165	2,1068492	2,1911231	2,2787681	2,3699188	2,4647155	2,5633042	2,6658363	2,7724698	2,8833686	2,9987033	3,1186515	
CASH FLOW pro výpočet IRR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DISKONTNÍ FAKTOR	1	0,9615395	0,9245562	0,8880964	0,8548042	0,8219271	0,7903145	0,7599178	0,7306902	0,7025867	0,6755642	0,6495809	0,624597	0,6005741	0,5774751	0,5552645	0,5339082	0,5133732	0,4936281	0,4746424	0,4563869	0,4388336	0,4219554	0,4057263	0,3901215	0,3751168	0,3606892	0,3468166	0,3334775	0,3206514	
<b>Operační cash flow měsíční (diskontováno) bez vlivu financování</b>	<b>-2 159 712</b>	<b>163 892</b>	<b>14 391</b>	<b>17 225</b>	<b>19 844</b>	<b>22 261</b>	<b>24 487</b>	<b>26 532</b>	<b>52 905</b>	<b>53 678</b>	<b>3 669</b>	<b>54 887</b>	<b>55 338</b>	<b>55 695</b>	<b>55 966</b>	<b>56 155</b>	<b>56 269</b>	<b>56 312</b>	<b>72 840</b>	<b>72 122</b>	<b>37 142</b>	<b>70 593</b>	<b>69 789</b>	<b>68 964</b>	<b>68 118</b>	<b>67 256</b>	<b>66 379</b>	<b>65 490</b>	<b>75 770</b>	<b>74 432</b>	
<b>Operační cash flow měsíční (diskontováno) s vlivem financování</b>	<b>-159 712</b>	<b>163 892</b>	<b>14 391</b>	<b>17 225</b>	<b>19 844</b>	<b>22 261</b>	<b>24 487</b>	<b>26 532</b>	<b>52 905</b>	<b>53 678</b>	<b>3 669</b>	<b>54 887</b>	<b>55 338</b>	<b>55 695</b>	<b>55 966</b>	<b>56 155</b>	<b>56 269</b>	<b>56 312</b>	<b>72 840</b>	<b>72 122</b>	<b>37 142</b>	<b>70 593</b>	<b>69 789</b>	<b>68 964</b>	<b>68 118</b>	<b>67 256</b>	<b>66 379</b>	<b>65 490</b>	<b>75 770</b>	<b>74 432</b>	
<b>Operační cash flow kumulované (diskontováno) bez vlivu financování</b>	<b>-2 159 712</b>	<b>-1 995 820</b>	<b>-1 981 430</b>	<b>-1 964 205</b>	<b>-1 944 360</b>	<b>-1 922 099</b>	<b>-1 897 612</b>	<b>-1 871 081</b>	<b>-1 818 176</b>	<b>-1 764 498</b>	<b>-1 760 829</b>	<b>-1 705 942</b>	<b>-1 650 604</b>	<b>-1 594 909</b>	<b>-1 538 943</b>	<b>-1 482 788</b>	<b>-1 426 519</b>	<b>-1 370 207</b>	<b>-1 297 367</b>	<b>-1 225 245</b>	<b>-1 188 103</b>	<b>-1 117 510</b>	<b>-1 047 721&lt;/</b>								