PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svým školitelům prof. Ing. Jiřímu Dunovskému, CSc.,IWE a Ing. Lukáši Frantovi za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce. Zvláště děkuji kolektivu divize EDX společnosti Robert Bosch České Budějovice za cenné rady, konzultace a ochotu, které významně pomohly ve zpracování této práce. V neposlední řádě chci poděkovat své ruské a španělské rodině a osobně Ing. Benjaminu Lafargovi za morální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

Překládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě Dopravní.

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

Nemám závažný důvod proti užití 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).

V Praze dne XX. srpna 2015 ……

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

MECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ SYSTÉMU DNOX PŘI ZAMRZÁNÍ ZA REÁLNÝCH TEPELNÝCH PODMÍNEK

Bakalářská práce

Srpen 2015

Elena Alexeeva

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce “Mechanické namáhání částí systému DNOx při zamrzání za reálných tepelných podmínek“ je analyzovat chování katalytického roztoku AdBlue za působení nízkých teplot okolí charakteristických pro mírný a subarktický klimatické pásy dle Alisovovy klasifikace podnebí na zjednodušeném příkladu a na základě této analýzy navrhnout rozsáhlejší experiment maximálně přiblížený k reálním podmínkám exploatace systému.

Klíčová slova

DNOx, AdBlue, tvorba pevné fáze, mírný klimatický pás, subarktický klimatický pás, ledový den, arktický den, fáze zamrzání.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

MECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ SYSTÉMU DNOX PŘI ZAMRZÁNÍ ZA REÁLNÝCH TEPELNÝCH PODMÍNEK

Bakalářská práce

Srpen 2015

Elena Alexeeva

ABSTRAKT

The goal of my bachelor thesis “Mechanical stress of specific parts of DNOx system under the real thermal conditions” is to analyse the behaviour of the catalyst solute AdBlue under the effect of the low temperatures, which are characteristical for the temperate and subarctic climate zones according to the Alisov’s climate classification, on the simplified example and to make a suggestion of the new complex maximum approached to the real exploitation conditions experiment based on this analysis.

Klíčová slova

DNOx, AdBlue, solid phase creation, temperate climate zone, subarctic climate zone, ice day, arctic day, phases of freezing.

OBSAH

Seznam použitých zkratek..... 7

Úvod.....9

OBSAH 5

1. Historie a aktivita firmy Robert Bosch České Budějovice. 9

1.1 Historie společnosti Robert Bosch České Budějovice. 9

1.2 Aktivita firmy v oblasti plastů. 10

1.2.1 Polyoxymetylen. 11

1.2.2 Polyetylen 11

1.2.3 Polypropylen 12

1.2.4 Polyamid 13

1.2.5 Epoxidové pryskyřice 14

2. Konstrukce systému DNOx, použité plasty v jednotlivých součástech. 14

2.1 Dieselové motory. Historie a vlastnosti. 14

2.2 Emisní normy ve světě 16

2.3 Skladba exhalací od naftových motorů. 17

2.4 Systém DNOx a jeho konstrukce. 18

2.4.1 Řídící jednotka. 19

2.4.2 Nádrž na AdBlue 19

2.4.3 Vstřikovací jednotka 21

2.4.4 Dodávací modul. 21

2.4.5 NOx Senzor. 22

2.4.6 AdBlue 22

3. Teoretický popis funkce systému DNOx, fyzikální popis tvorby pevné fáze. Stanovení teplotních změn během ledových a arktických dní. 24

3.1 Teoretický popis funkce systému DNOx 24

3.2 Fyzikální popis tvorby pevné fáze. 25

3.2.1 První fáze zamrzání 26

3.2.2 Druhá fáze zamrzání. 26
3.2.3 Třetí fáze zamrzání. 27
3.3 Stanovení teplotních změn během ledových a arktických dní. 28
3.3.1 Alisovova klasifikace podnebí. 28
3.3.2 Ledové a arktické dny dle meteorologické terminologie 29
3.3.3 Toronto (Ontario) 30
3.3.3.1 Průměrný ledový den v Torontu v období 2013-2015. 30
3.3.3.2 Průměrný arktický den v Torontu v období 2013-2015. 32
3.3.4 Calgary (Alberta). 33
3.3.4.1 Průměrný ledový den v Calgary v období 2013-2015. 33
3.3.4.2 Průměrný arktický den v Calgary v období 2013-2015. 34
3.3.5 Montréal (Quebek). 36
3.3.5.1 Průměrný ledový den v Montréalu v období 2013-2015. 37
3.3.5.2 Průměrný arktický den v Montréalu v období 2013-2015. 38
4. Namáhání nádrže a extrémně namáhaných částí systému při zamrzání AdBlue a tvorby pevné fáze při nízkých teplotách 39
5. Zkouška zamrazování s využitím reálné nádrže na AdBlue a její výsledky. 41
6. Závěr. 45

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRÁTEK

RBCB	Společnost Robert Bosch České Budějovice, s.r.o.
GmbH	něm. *Gesellschaft mit beschränkter Haftung* –společnost s ručením omezeným
POM	Polyoxymetylen
POM C/H	Polyoxymetylen kopolymer/homopolymer PE
PE	Polyetylen
LD-PE	*angl.*Low density PE – polyetyleny nízké hustoty
HD-PE	*angl.*High density PE – polyetyleny vysoké hustoty
PP	Polypropylen
PA	Polyetylen
EP	Epoxidové pryskyřice
CARB	angl.*California Air Resources Board* – Americká emisní norma platná v Kalifornii
EPA	angl.*Environmental Protection Agency* – Úřad pro ochranu životního prostředí, USA
CO	Oxid uhelnatý
HC	Uhlovodík
NOx	Oxidy dusíku
NMHCs	Nemetanické uhlovodíky
PM	angl.*particular matters* – pevné částice.
DPF	angl. *Diesel Particulate Filter – filtr pevných částic.*
ppm	angl. *parts per million* - jednotka koncentrace, jedna miliontina.
SCR	angl. *Selective Catalytic Reduction* - Selektivní katalytická reakce.

ÚVOD

V průběhu času nové technologie dovolují lidem osídlovat nová do té doby nedostupná území. Na rozdíl od minulých století životní úroveň na pobřeží Středozemního moře se v současné době podstatně neliší od životní úrovně v Norsku nebo Švédsku. Stojí za zmínku i to, že podle geologických výzkumů severní teritoria Zeměkoule stále uchovává velké zásoby nerostných surovin, takových, jako ropa a zemní plyn. Ekonomický zájem vyvolává nabídku a skupiny lidí začínají pochybovat směrem na sever. Tak začíná urbanistický proces, který s časem přináší potřebu konstantního dopravního spojení těchto nově osídlených regionů. Nejčastěji dané komplikace se řeší pomocí výstavby silniční infrastruktury.

V poslední době trendem v silniční dopravě je její ekologičnost. Celkový objem exhalací a jejích skladby se neustále sledují a omezují se ekologickými normami. Navíc je patrný, že objem exhalačních produktů je závislý na množství spotřebovaného paliva, což v závěru znamená, že nejméně ekologickou složkou silniční dopravy je nákladní kamionová. V 90. letech 20. století společnost Bosch předložila řešení zmíněného problému - systém DNOx, založený na katalytické reakci škodlivých oxidů dusíku, obsažených ve výfukových plynech vznětových motorů, s médiem AdBlue. Systém měl špičkový výkon při jeho exploataci na velkých nákladních vozidlech, takže s časem byla vyvinutá i generace DNOx pro nízkotonážní osobní automobily. V průběhu času DNOx se stál výborným prostředkem dosažení ekologické úrovni motorů požadované ekonormami.

Avšak dynamika využití osobních vozidel se celkem výrazně liší od dynamiky využití nákladních, což zejména v severních regionech odhalilo technologické nedostatky systému DNOx. Za nízkých teplot okolí působících delší dobu médium AdBlue postupně přichází do pevného skupenství a systém přestává plnit svou funkci. V současné době systém DNOx je dimenzován na -11 °C, ale vzhledem k zalidnění severních teritorií existuje požadavek na jeho bezproblémové spouštění i za teplot -25 až -30 °C.

Táto práce je věnovaná teoretickému popisu systému DNOx, jeho technologii a vlastnostem. Hlavním cílem je popsat jeho problematiku a určit, v jakých částech světa a za jakých okolností může docházet k případným komplikacím s jeho provozem. Navíc táto práce by měla posloužit základem pro rozsáhlejší výzkum v této oblasti a návrh většího experimentu, který by měl být maximálně přiblížen reálním podmínkám exploatace systému.

1. Historie a aktivita firmy Robert Bosch České Budějovice v oblasti plastu.

1.1 Historie společnosti Robert Bosch České Budějovice.

Obrázek 1. Letecký pohled na areál RBCB. Zdroj:[1]

Společnost Robert Bosch České Budějovice byla založena 1. května roku 1992 stuttgartským koncernem Bosch GmbH společně s Motor Jikov a.s.. Po třech letech společného hospodaření Bosch se stává jediným vlastníkem společnosti. V současnosti je jednou z čtyř reprezentantů koncernu v České republice. Ostatní závody se nacházejí v Brně, Jihlavě, Krnově (město Albrechtice).

Pro potřebu firmy byl vybudován nový závod s infrastrukturou a výbavou odpovídající úrovní koncernu v Německu. Jeho součástí jsou vlastní oddělení pro vývoj včetně zkušebny pro dlouhodobé zkoušky.

Pobočka se od začátku specializovala na výrobě komponentů do osobních automobilů. Současnou produkci tvoří komponenty vstřikování (se od roku 1993 dodává Škodě Mladá Boleslav), nádržový čerpadlový modul (od roku 1996), elektronické palivové pedály (1998), sací modul (2002), víka hlav válců (1995), multifunkční pohony, škrticí klapky a moduly DNOx pro snížení emisí oxidů dusíku NOx. Mezi odběratele patří skoro všechny významné evropské, asijské a jihoamerické automobilky.

V současné době RBCB zaměstnává více než 3000 pracovníků, je jedním z nejžádanějších zaměstnavatelů v regionu. Jíž od roku 2005 v soutěží Zaměstnavatel roku pravidelně obsazuje čelní pozice. V roce 2014 dostala titul Zaměstnavatele regionu.[1]

1.2 Aktivita firmy v oblasti plastů.

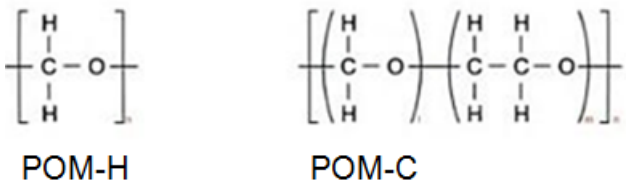
Jíž od začátku provozu společnosti RBCB plasty hrály velkou roli ve výrobě. Vzhledem k soudobým tendencím, zejména celkového odlehčení osobních automobilů a nižší výsledné ceně dílů a to při zachování životnosti anebo dokonce - zvýšení životnosti jejich jednotlivých součástí a systémů, plast zaujal dominantní pozici mezi používanými materiály v oblasti automotive. Na závodě RBCB probíhá jak výroba jednotlivých dílů, tak i montáž.

Výroba plastových dílů se provádí převážně vstřikováním na strojích rakouské firmy ENGEL (Obr.2).

Obrázek 2. Plně elektrický vstřikovací stroj Victory společnosti ENGEL. Zdroj: [2].

Vstřik média, kterým je roztavený plast, se provádí pod tlakem do ocelové formy. Díky regulovatelnosti parametrů vstupu (teplota média a jeho množství) a výstupu (teplota formy) jeden stroj se dá použit na zpracování skoro libovolného typu plastu až na jednotlivé výjimky. Už od založení RBCB je v provozu oddělení vývoje postupů a procesů vstřikování plastu, jehož úkolem je nalézání nových způsobů zpracování plastu vstřikováním. Jednou z nejnovějších technologii, která se v současné době zavádí je technologie dvojitého vstupu – tzv. 2K (2 komponenty). Nový způsob zpracování spočívá ve vstřiku dvou plastů, ať postupně nebo najednou. Využitím fyzikálních vlastnosti jednotlivých materiálů dá se v případě kompatibility plastu zajistit pevnější a spolehlivější spoj jednotlivých součástí detailu nebo naopak zabezpečit potřebnou vůlí a vzájemnou pohyblivost prvků, vyrobených z nekompatibilních materiálů.

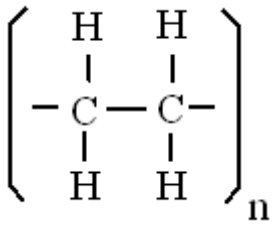
1.2.1 Polyoxymetylen.



Obrázek 3. Chemická struktura polyoxymetylenů. Zdroj: [3].

Prvním a stále nejpoužívanějším v rámci RBCB druhem plastu je polyoxymetylen (**POM**) – jeho chemickou strukturu vidíme na obrázku 3. Je to částečně krystalický neprůhledný polymer, jehož teplota tání krystalického podílu T_m= 175°C[4]. Nejdůležitější vlastnosti tohoto materiálu je jeho odolnost palivu, což umožnilo jeho použití ve všech palivového systémech. Rozlišují se dva druhy polyoxymetylenu: **POM C** (kopolymer) a **POM H** (homopolymer). **POM C** je charakterizován vysokou pevností, tvarovou stálostí a nízkými adhezními silami, proto se velmi často využívá v kluzných součástech. Má nízkou nasákavost a vysoké protažení při přitržení. **POM H** je velice shodný s POM C, ale má lepší mechanické vlastnosti, zejména v tahu a tlaku. Má o něco vyšší hodnotu modulu pružnosti a je charakterizován menší nasákavostí. Stejně jako i POM C primárně se používá pro výrobu tvarově stálých a kluzných součástí.

1.2.2 Polyetylen



Obrázek 4. Chemická struktura polyetylenu. Zdroj: [5].

Dalším významným a velice rozšířeným druhem plastu je polyetylen (**PE**) - jeho chemickou strukturu vidíme na obrázku 4. Polyetyleny patří do skupiny termoplastů, tj. plastů tavitelných teplem. Hlavní surovinou pro výrobu polyetylenu je velmi čistý etylen (99,9%). Vyrábí se polymerizací. Způsob polymerizace do značné míry určuje vlastností vyrobeného polyetylenu.[6]

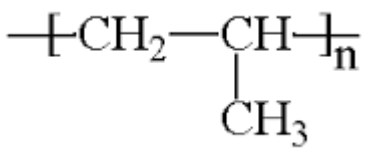
PE patří k nejjednodušším plastům, je pevný, houževnatý, částečně krystalický a pružný. Díky pravidelné molekulární struktuře lineárního řetězce je to velice pevná látka s chemickou odolností – polyetyleny jsou skoro úplně nerozpustné v organických rozpouštědlech.

Rozlišují se dvě základní skupiny polyetylenů – vysokotlaké (polymerizace až při 150-200 MPa) a nízkotlaké.

Vysokotlaké **PE** jsou nejčastěji označované **LDPE** nebo **LD-PE** (Low density **PE**) – polyetyleny nízké hustoty. Teplota měknutí tohoto typu **PE** kolísá vedle teploty t_m=105°C, teplota tání leží v rozmezí (105;115) °C. Střední molekulová hmotnost činí 15.000 až 40.000.

Nízkotlaké **PE** jsou také označované jako **HDPE**, resp. **HD-PE** (High density **PE**) – polyetyleny vysoké hustoty. Jelikož jejich krystalinita je výrazně vyšší na rozdíl od **LDPE** (je v rozmezí 65 až 85%), táto skupiny **PE** je vyznačená vyšší teplotou tání T_t = (120;135)°C. Střední molekulová hmotnost pohybuje mezi 20.000 až 500.000, měrná hmotnost činí v průměru 940 kg m^{-3}. Všechny **PE** jsou nenasákavými materiály, nasákavost pohybuji v mezích 0,1 až 0,5%. Taky **PE** jsou recyklovatelné, snáší několik recyklačních cyklů bez výrazného snížení mechanických vlastností [4].

1.2.3 Polypropylen

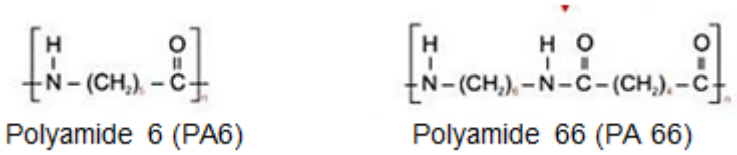


Obrázek 5. Chemická struktura polypropylenu. Zdroj: [7].

Dalším velice používaným v rámci výroby na RBCB termoplastem je polypropylen (**PP**), chemická struktura kterého je znázorněna na obrázku 5. Tento materiál patří k nejmladším plastům. Je velmi podobný polyetylenu v oblastech použití a způsobu výroby [8]. Vyrábí se polymerizací z nenasyceného uhlovodíku propenu, získaného z propanu, který se vyskytuje v zemním plynu a taky v rafinačním plynu při zpracování ropy. K nejvýznamnějším vlastnostem **PP** patří lehkost (měrná hmotnost je jenom 900kg m^{-3}), tvrdost, chemická a tepelná odolnost, mechanická pevnost. Ve všech zmíněných vlastnostech vykazuje lepší charakteristiky než **PE**. **PP** je tepelně stabilní až do teploty T = 130°C, teplota tání je v rozmezí T_m = (160,170)°C. Jen za dlouhodobého ohřívání nad teplotu 250°C nastává teplotní rozpad.

Obdobně s **PE**, rozlišujeme dvě skupiny polypropylenů – nízkotlaký a vysokotlaký v závislosti na stupni krystalinity. Rozdíly v krystalinitě jsou dány reakčními podmínkami. **PP** jsou nenasákavými materiály, obsah vody je pod 0,1% [4]. Jsou recyklovatelné a nemění své mechanické vlastnosti i po několika kruzích recyklace.

1.2.4 Polyamid



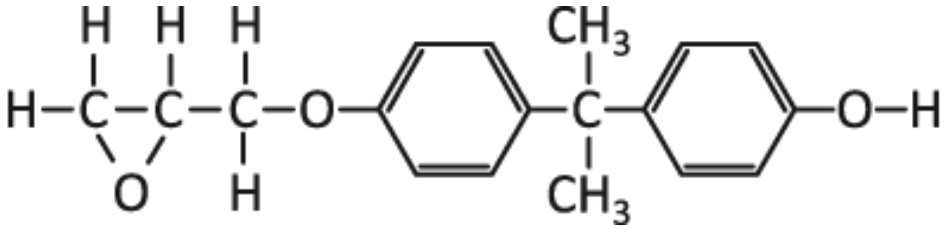
Obrázek 6. Chemické struktury nejpoužívanějších polyamidů. Zdroj: [3].

Ještě jedním často se vyskytujícím při výrobě plastem je polyamid (**PA**). Chemické struktury nejpoužívanějších reprezentantů této skupiny plastů vidíme na obrázku 6. Polyamidy jsou syntetickými polymerními materiály s tzv. peptidickou skupinou. Napodobují přírodním materiálům, které se obecně nazývají polypeptidy. K polypeptidům patří například bílkoviny. **PA** se vyrábí z uhlí metodou polykondenzací. Podle struktury makromolekul rozlišujeme následující druhy **PA**:

- Alifatické – uhlovodíkové úseky makromolekul mají lineární alifatický charakter[6]. Dále se dělí na jednoduché a složené.
- Aromatické – uhlovodíkové segmenty hlavního řetězce jsou tvořeny benzenovými jádry. Často se označují jako aramidy.

Nejtypičtějším druhem plastu patřícího do skupiny polyamidů je **PA66**. Patří do skupiny složených alifatických **PA**, vyrábí se z hexamethylendiaminu a kyseliny adipové. Řetězec alifatických **PA** se skládá z krátkých uhlovodíkových segmentů propojených mezi sebou silně polárními amidovými (peptidickými) skupinami – CONH. Této skupiny zajišťují vznik vodíkových můstků mezi sousedními řetězce, což výrazně ovlivňuje vlastnosti těchto plastů – teplotu tání, nasákavost, rozpustnost aj. Teplota tání **PA66** činí 264°C,nasákavost za teploty t=25°C je 3,0%, nasákavost ve vodě stoupá až do 9%. Proto se před zpracováním materiál se musí sušit. Doba sušení závisí na vstupní vlhkosti granulátu, ale standardně doba sušení vzduchem by neměla jít pod 4 hodiny. Navlhavost výrobku pokračuje i po výstřiku a může ovlivnit některé vlastnosti hotové součástky, jako například měrná elektrická vodivost. Obecně se dá říci, že složené alifatické **PA** nejsou příliš stálé vůči atmosférickým vlivům, světlu, tepelným změnám a ultrafialovému záření, což vyvolává potřebu v stabilizaci, což se dělá nejčastěji solemi mědi, manganu apod. Ve výrobě **PA66** se často doplňuje plněnými skelnými vlákny, v takovém případě výstupním materiálem je kompozit. Tato modifikace původního plastu má výrazně větší mechanickou pevnost, nižší nasákavost, menší tepelnou roztažnost, lepší tepelnou odolnost. V RBCB nejčastějším složením kompozitu je **PA66+GF30**.

1.2.5 Epoxidové pryskyřice



Obrázek 7. Chemická struktura epoxidové pryskyřice. Zdroj: [9].

Epoxidové pryskyřice (**EP**) je skupinou sloučenin obsahujících v své molekule více než jednu epoxidovou skupinu. Její chemickou strukturu reprezentuje obrázek 7. Patří do skupiny reaktoplastů - plastu teplotou tvrditelných. Epoxidová skupina je uspořádaná skoro do rovnostranného trojúhelníku, tato vlastnost vyvolává určité kruhové napětí, proto PE jsou velmi reaktivní, což určuje nejdůležitější vlastnosti EP. Vzniká polyadicí z acetylenu a fenolu, které se vyrábějí z uhlí, vápna a vzduchu. V kapalném stavu EP je jedovatá a škodlivě působí na pokožku. Vytvrzená pryskyřice už jedovatá není, je bez chutí a zápachu. Při vytvrzování se neuvolňuje žádné vedlejší produkty. Díky své vysoké přilnavosti pryskyřice jsou nejčastěji používané jako lepidla, zaléhající a lisovací hmoty atd. Velmi se osvědčilo jejich použití jako lepidla na kovy, po vytvrzení spoje ve své pevnosti jsou rovnocenné pájeným. **EP** jsou velice odolné proti vodě, většině chemikálii a rozpouštědlům [8], snáší teplotní zatížení až do 160°C.

EP se dá rozdělit do dvou skupin:

- **EP** s glycidylovými skupinami
- **EP** s epoxydovými skupinami

Ovšem drtivá většina epoxidových pryskyřic patří do první skupiny.

2. Konstrukce systému DNOx, použité plasty v jednotlivých součástech.

2.1 Dieselové motory. Historie a vlastnosti.

První dieselový motor (taky běžně nazývaný vznětovým nebo naftovým motorem) byl zkonstruován Rudolfem Dieselem v roce 1897 a následně zdokonalen Charlesem Katteringem. Tento motor je druhem spalovacího motoru, ve kterém prostřednictvím otáčivého pohybu hnacího hřídele chemická energie v palivu se přeměňuje v mechanickou energii. Jako

palivo se používaly rostlinná másla a výrobky na bází ropy s nižším oktanovým číslem. V současné době pro motory na bází konstrukce R. Diesele se používají paliva nižší jakosti a menším obsahem ropy, co za současných ekonomických podmínek je velkou výhodou. Účinnost soudobých dieselu činí 40 až 45% (ve výjimečných případech i nad 50% - MAN S80ME-C7 při spotřebě 155 g/KWh má výkon 54,4%). Na rozdíl od benzinových motorů dieselové modely jsou charakterizované nižším počtem otáček, protože palivo se nestíhá dohořet ve válcích. Ale na výstupu mají celkově větší točivý moment. Tato vlastnost umožňuje rychlejší reakce motoru [10].

Další vlastnosti je teplota vzplanutí. Nafta není tak hořlavá, jako klasický benzín. V minulosti tato vlastnost byla rozhodující pro využití tohoto typu pohonu ve vojenské technice, ale jen za výjimkou letadel. Kvůli neschopnosti dosáhnout vyššího počtu otáček a poměrně velké hmotnosti nutné k přenosu požadovaného mechanického namáhání diesely se využily jen na několika sériových typech. Dnes se dieselové motory v mnohém velmi podobají benzinovým. V minulých letech diesely značně prohrávali s benzinovými motory. Hlavní jejich nevýhodou byl množství produkovaných emisních plynů a jejich vzájemný poměr. V současnosti dochází ke snižování emisí škodlivin díky důmyslným technickým systémům, které postupně dělají dieselové motory pro osobní automobily atraktivnějšími.

Motory systému R. Diesele se stále primárně používají u nákladních vozidel, těžké stavební techniky a železničních lokomotiv a zaujímá skoro 100% tohoto trhu, ale značně se podílejí i na trhu osobních automobilu. Díky nižší spotřebě paliva (využívají chudou směs paliva a vzduchu) motory, které se od začátku používaly k pohonu těžké stavební techniky, lodí, traktorů atd. zasáhli i do výroby osobních vozidel. V současnosti skoro každá velká automobilka má v své řádě výrobků několik modelů s dieselovým pohonem[10].

Chod motoru, spotřeba paliva, skladba emisních plynů, hlukové a další charakteristiky dieselových motorů přímo závisí na skladbě palivové směsi a poměru paliva a vzduchu v ní. Stejně jako i nejdůležitější parametry dodání směsi, jako jeho zahájení vstřikování, počet cyklů a jejich doba a vstřikovací tlak. Do 1980. let poměr vzduchů a paliva byl řízen jen samotným motorem, ale zavedení norem regulujících skladbu a celkový objem emisních plynů přivedli k nasazení elektronických systému regulací skladby palivové směsi. K popisu charakteristik směsi se začaly používat nové veličiny. Jednou z nich je koeficient λ (lambda), uváděcí procentuální poměr vzduchu vstřikované směsi:

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{množství\ vzduchu}}{\boldsymbol{množství\ paliva\ \times Stechiometrický\ koeficient}}$$

Stechiometrický koeficient uvádí množství vzduchu v kilogramech, které je potřebné pro úplné spálení 1 kilogramu paliva. Pro dieselové motory ten koeficient obvykle činí 14,5.

K standardním hodnotám koeficientu λ patří:

λ=1 : ideální směs na spálení celkového množství paliva

λ<1 : bohatá směs, množství vzduchu je menší než množství paliva

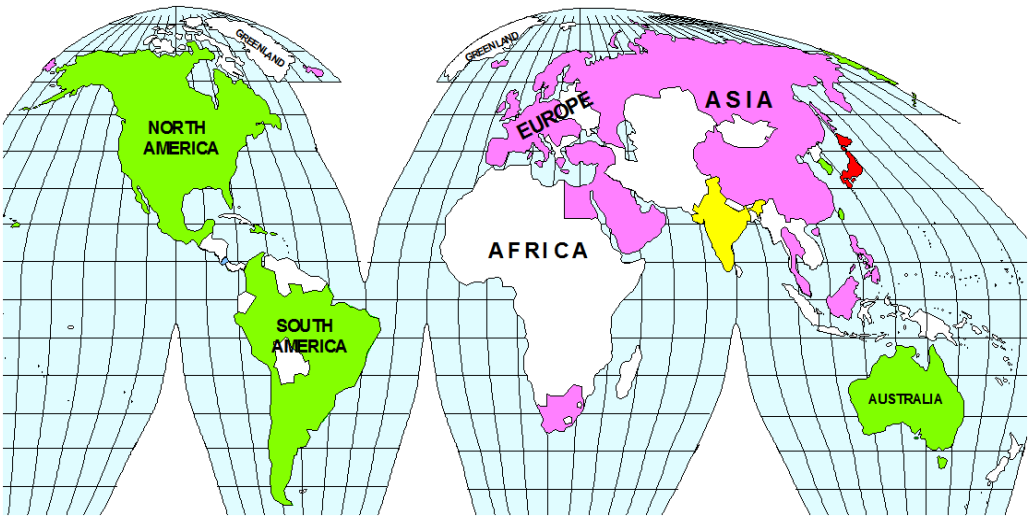
λ>1 : chudá směs, množství paliva je menší než množství vzduchu.

Dieselové motory na rozdíl od benzinových využívá výrazně chudší směsi, hodnoty koeficientu λ se obvykle kolísají v rozmezích 1,5 až 2,0 pro turbo diesel, ale v extrémních případech (např. spouštění motoru) mohou taky dosahovat hodnot vyšších než 10. Teoreticky hodnoty λ by mohli pochybovat v rozmezí od nuly (čisté palivo) až do nekonečna (čistý vzduch), ale akceptovatelný pro motor proces hoření může probíhat jen za hodnot λ z intervalu (0,3;1,5). V případě, že hodnota koeficientu je větší, produkuje se výrazně větší množství emisí a stoupá koncentrace NOx sloučenin[10].

2.2 Emisní normy ve světě.

V současné době se neustále zvyšuje požadavek na snížení množství výfukových plynu a jejich jednotlivých složek. V různých částech světa složení emisí a objem škodlivých sloučenin se řídí odlišnými normami a určuje se různými testovacími metodami.

Soudobě se rozlišují Evropské normy (na obrázku 3 - růžově), normy Spojených Států – CARB, EPA (zeleně), Japonské (červeně) a Indické (žlutě). Každá s těch norem a testovacích metod se s časem modernizuje a upravuje a zároveň snižuje dovolený obsah jednotlivých škodlivin. Nejstarší normou je Americká CARB – California Air Resources Board – byla poprvé vydána v 60. letech 20. století. Na území České Republiky od roku vstoupení do Evropské unie platí Evropské emisní normy [10]. Od 1 září 2015 začne platit norma Euro 6.



Obrázek 8. Emisní normy ve světě. Zdroj:[11]

První Evropská norma byla vydaná v roce 1970 a definovala dovolené množství emisních plynů, povolené množství jednotlivých součástí výfuku bylo dodáno později. Euro normy definují dovolený obsah CO, HC, NO_x a pevných částic ve výfukových plynech osobních vozidel a obsah hydrokarbonátů (HC a $NMHC_s$), CO, NO_x, pevných částic a kouřivost u velkých nákladních vozidel.

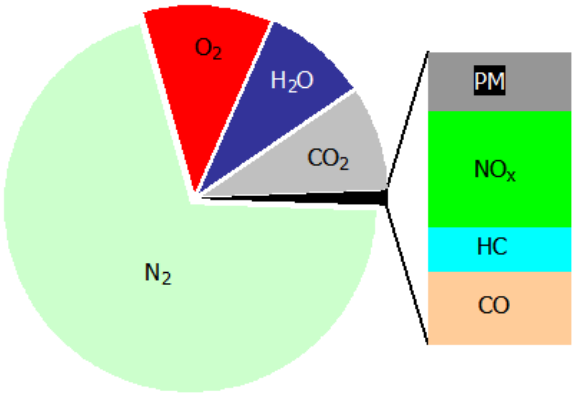
Tabulka 2-1. Obsah exhalačních produktů dovolených Evropskými normami. Zelenou barvou jsou znázorněné údaje pro naftové motory. Zdroj:[12].

Rok/Norma		CO [g/km]		NOx [g/km]		HC + NOx [g/km]		HC [g/km]	PM [g/km]
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70	-	0,08
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

Údaje z tabulky 2-1 znázorňují dynamický vývoj legislativních omezení množství emisních produktu pro benzinové a naftové motory. Je patrné, že s každou další normou množství dovolených exhalaci oxidů dusíku klesalo skoro o 50% na rozdíl od předchozí normy a od roku 1992 celkově pokleslo o 98%. Vzhledem k tomu, že nová norma se vydává jednou za 4-5 let, časové hranice modernizací redukujících emise systému a přizpůsobení je k nové úrovní požadované kvality jsou pevně definované.

2.3 Skladba exhalací od naftových motorů.

Díky tomu, že dieselové motory využívají chudší směs paliva a vzduchu ve srovnání s benzinovými, 99,9 % výfukových plynů od nich jsou tvořené směsi dusíku, kyslíku, vody a oxidu uhličitého (Obr. 9). Všechny zmíněné plyny jsou součástí vzduchu, a proto jejích velký podíl není závažným problémem. Zbývající 0,01% jsou škodlivými z ekologického hlediska látkami, které je třeba redukovat. Tato část emisí zahrnuje pevné částice (v grafu na obrázku



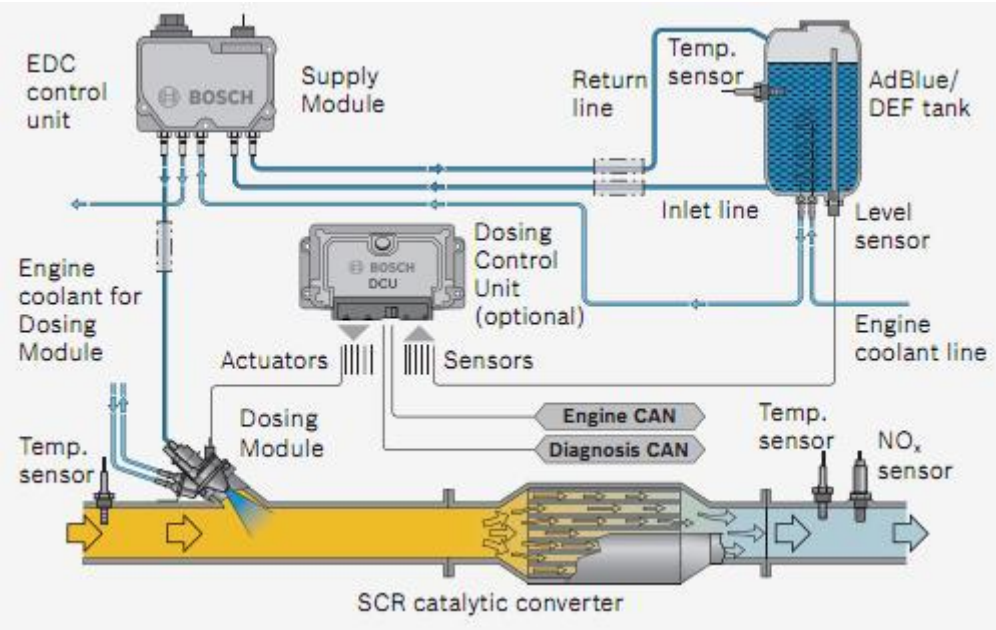
Obrázek 9. Skladba exhalací od naftového motoru. Zdroj:[11].

9 jsou označené jako PM, jejích obsah činí 0,009%), oxidy dusíku (NO_x, koncentrace 0,034%), CO (0,043%), HC (0,005%)[11]. Pevné částice jsou redukované pomocí filtru pevných částic (DPF – Diesel Particulate Filter), tvořeného membránou s velkým počtem podélných uzavřených z jedné strany kanálků s póry, umístěných v keramickém válci. Výfukové plyny prochází filtrem bez zdržení, pevné částice zůstávají v uzavřených koncích kanálků.

Výfukové plyny nejčastěji obsahují 3 typy oxidů dusíku – NO, NO_2,N_2O. Oxid dusíku NO je bezbarvý plyn bez zápachu, rychle se váže na hemoglobin, ale rychle se odbourává. V atmosféře reaguje s kyslíkem a tvoří dioxid dusíku NO_2. Čistý NO_2 je jedovatý oranžový silně oxidační plyn, který napadá plíce a sliznice a váže se na hemoglobin[13]. Oxidy dusíku způsobují kyselé deště, smog a podílejí se na tvorbě ozonu. Všechny té sloučeniny jsou redukované pomocí systému DNOX.

2.4 Systém DNOx a jeho konstrukce.

DNOX je systém redukující množství NOx sloučenin v emisních plynech dieselových motorů. Redukce je zajištěna prostřednictvím chemických reakcí emisních plynů a určitého katalyzátoru ve výfukovém potrubí za filtrem pevných částic.



Obrázek 10. Konstrukce systému DNOx. Zdroj:[11].

Součástí systému DNOx jsou řídící jednotka (na obrázku 10 je vyznačená jako EDS control unit), nádrž na médium AdBlue (AdBlue Tank), vstřikovací jednotka (Dosing module), dodávací modul (Supply modul), NOx senzor, komora pro katalytické reakce a hadice, spojující

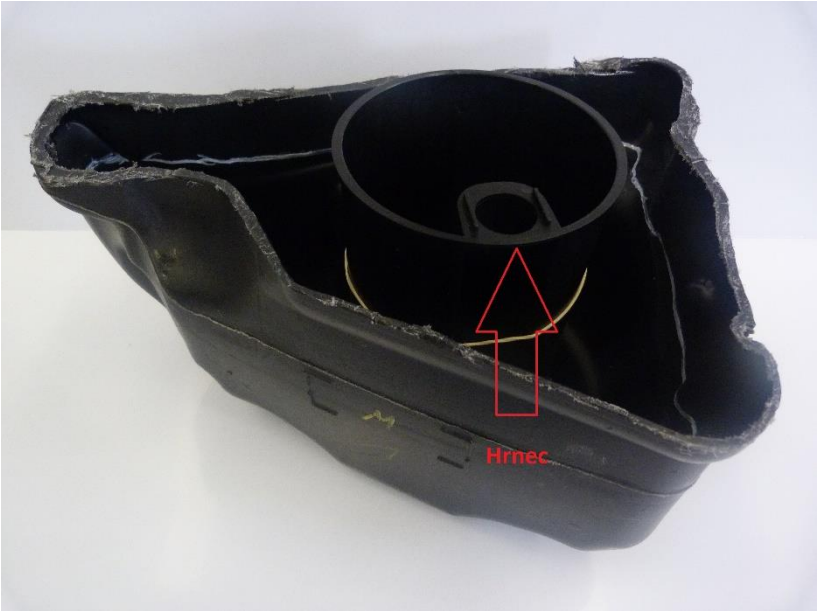
jednotlivé prvky mezi sebou. Další popis součástek systému DNOx se vztahuje k generaci 3.1 pro osobní automobily.

2.4.1 Řídící jednotka.

Řídící jednotka má za úkol celkové řízení všech podsystému automobilu a seznámení řidiče s výsledky těchto řídicích procesů. Každý podsystém je v řídící jednotce napojen na jednotlivý pin. V případě systému DNOx řízení podléhá celý vstřikovací cyklus včetně posouzení jeho výsledků, které se vyhodnocují na základě dat z NOx senzoru umístěného za filtrem pevných částic (Obrázek 10). V případě celkové nefunkčnosti systému DNOx řídicí jednotka nedá nastartovat motor auta, v případě nedostatečného množství média rozsvítí symbol „Doplnit AdBlue“ na přístrojovém panelu.

2.4.2 Nádrž na AdBlue.

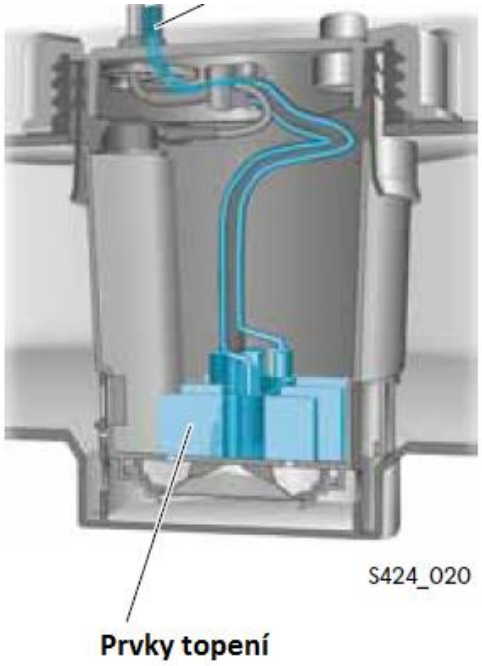
Nádrž slouží jako zásobník poměrně velkého objemu média (u osobních automobilů cca 40 l) a standardně se skládá z hrnce - vnitřní částí nádrže menšího objemu, médium z hrnce se bezprostředně používá k zajištění katalytických reakcí, a nádoby, která má podstatně větší objem a v případě poklesu hladiny média v hrnci z ní se doplňuje potřebné množství. Samotná nádrž a hrnec jsou znázorněny na obrázku 11.



Obrázek 11. Nádrž na AdBlue v řezu. Zdroj: vlastní.

V hrnci jsou umístěny senzor hladiny, teplotní senzor a prvky topení, které napomáhají rozmrazení média za podmínek nízkých teplot vnějšího prostředí. Prvky topení jsou tvořeny odporovými články, které se skládají z těla vyplněného z aluminia s umístěnými na něm izolačními deskami. Standardně topení se umisťují v dolní části hrnce, možné umístění je na obrázku 12. Mechanizmus ohřevu se spouští řídící jednotkou po nastartování motoru

v případě, že teplotní senzor v hrnci vyhodnotí příliš nízkou teplotu média. Pak od motoru elektrické impulzy po kontaktech dostanou do topících prvků a rozehřejí je. Proces ohřevu se zastaví v momentě, kdy teplotní senzor naměří teplotu, dostatečnou pro bezporuchový chod systému.

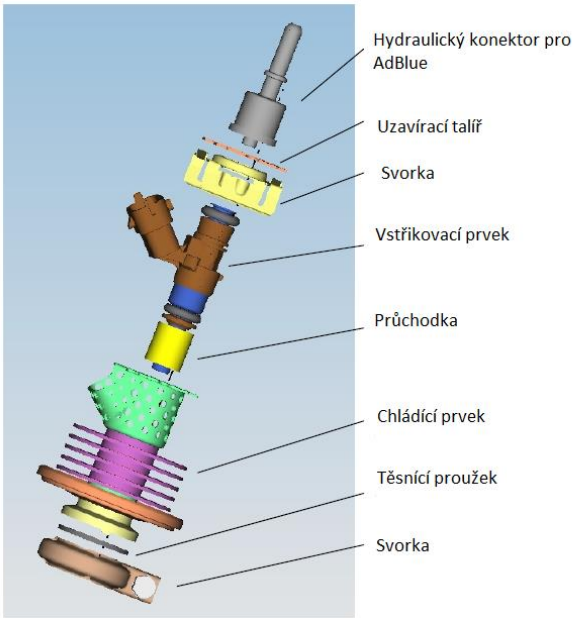


Obrázek 12. Prvky topení v hrnci. Zdroj: [11].

Nádrž a hrnec jsou vyplněné z plastů. Materiálem pro nádrž slouží vysokotlaký polyetylen **HD PE**. Povrch kabelů vedoucích elektrický náboj do prvků topení, povrch samotných ohřívacího elementů a hrnec se vyrábějí z plastu **PA66**.

Vzhledem k svým poměrně velkým rozměrům, nádrže jsou různě situované v jednotlivých modelech automobilu. Avšak nejčastěji se nacházejí pod nárazníkem nebo v zádní části auta s ohledem na jeho vyvážení. Taky existuje snaha umisťovat je v bezprostřední blízkosti součástí konstrukce produkujících teplo, například vedle motoru nebo výfukového potrubí. To přispívá na zachování média v kapalném stavu.

2.4.3 Vstřikovací jednotka.



Obrázek 13. Konstrukce vstřikovací jednotky. Zdroj:[11].

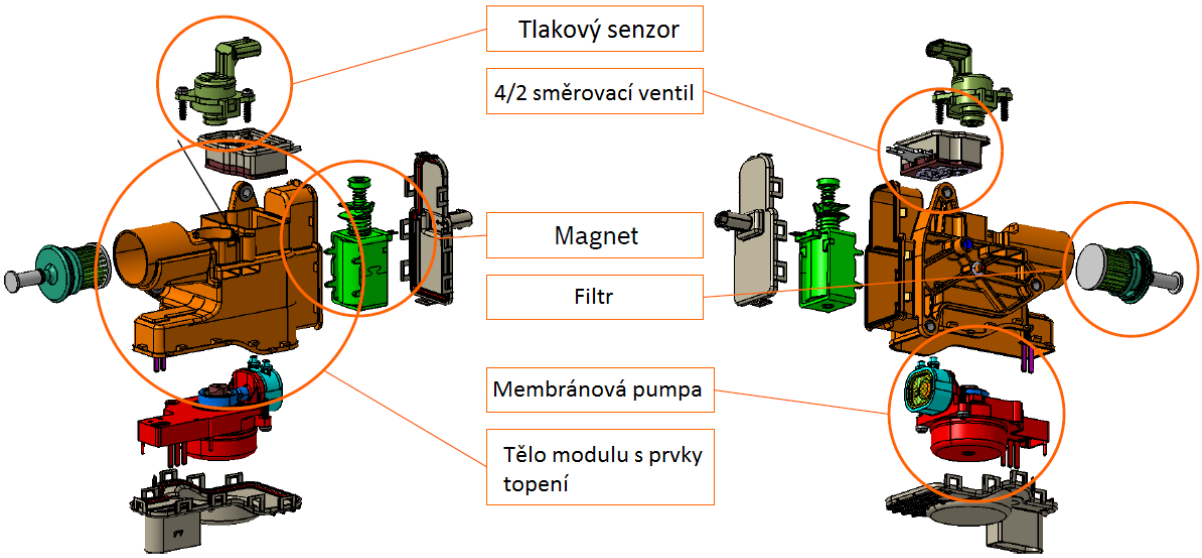
Vstřikovací jednotka slouží k dodání média do výfukového potrubí automobilu před komorou katalytické reakce. Vstřik probíhá v určitých cyklech řízených řídicí jednotkou na základě údajů o parametrech pracovní směsi paliva a vzduchu. Aby se zabránilo odpařování média v procesů vstřiku způsobeného vysokými teplotami výfukových plynů, vstřikovací jednotka je doplněna prvky chlazení. Jak je patrné z obrázku 13, jeden z těchto prvků je přímo její součásti. Další možnost ochlazování AdBlue před vstřikem využitá v konstrukce systému DNOx je tzv. chladící okruh (znázorněn na obrázku 10 – Engine coolant for Dosing module). Je to uzavřený okruh tvořený hadicemi vedoucími médium nižší teploty z nádrže do místa upevnění vstřikovací jednotky na výfukovém potrubí. Hadice chladicího okruhu jsou situované tak blízko od hadic obsahujících médium připravené ke vstřiku, aby byla umožněna vzájemná výměna tepla.

Povrch vstřikovací jednotky a samotné hadice se taky vyrábějí z plastu, pro této účely se používá plast **PA 66**. Těsnění je vyplněno z pryže.

2.4.4 Dodávací modul.

Dodávací modul neboli Supply modul se skládá z tlakového senzoru, membránové pumpy, filtru média, 4/2 směrovacího ventilu, magnetu a samotného těla modulu s umístěnými v něm prvky topení (Obrázek. 14). Dodávací modul v systému DNOx zodpovídá za tok média v systému, jeho filtrace a po vypnutí motoru i za odsátí zpátky do tanku nadbytečného množství média ponechaného v hadicích po celém systému.

Tlakový senzor dodává řídící jednotce údaje o tlaku média vstupujícího do dávkovacího modulu. Dále médium vstupuje do směrovacího ventilu, který směruje tok ať do filtru, nebo zpět do nádrže při odsávání nevyužitého média. Této pracovní režimy se přepínají pomoci magnetu. Číslice 4/2 v názvu ventilu udávají počet otvorů – 4, a počet možných směrů toku - 2.



Obrázek 14. Dodávací modul. Zdroj: [11].

Prvky topení v dodávacím modulu fungují na stejném principu jako i v hrnci. Jsou umístěný v plastovém těle modulu, kam se vkládají přímo při výrobě této součástky. Ohřívací prvky jsou situované vedle nejdůležitějších z pohledu bezproblémového toku média otvorech a taky v dolní části otvoru pro filtr. Membránová pumpa se nachází v dolní části module a působí jako motor celého systému DNOx zajišťující pohyb média.

Nejvíce využitým plastem v součástkách dodávacího modulu je plast **PA 66**.

2.4.5 NOx Senzor.

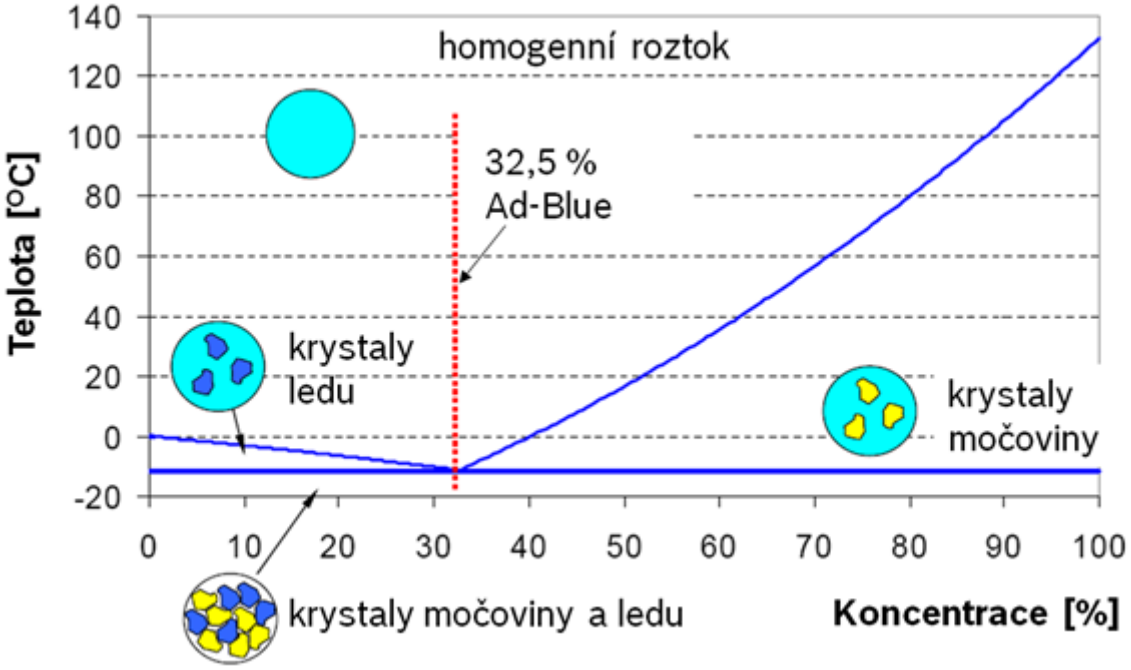
NOx senzor se montuje přímo na výfukové potrubí automobilu obvykle před a za komorou pro katalytické reakce, co dává možnost vyhodnotit účinnost celého systému DNOx a regulovat dávkování AdBlue pro dosažení optimální skladby výfukových plynů. Keramický měřící prvek NOx senzoru funguje na principu dvou komůrkové akcelometrie. Rozsah měření NOx sondou pohybuje v rozmezí 0 až 1,600 ppm s toleranci ±10 ppm [14].

2.4.6 AdBlue

Jako katalyzátor v systému DNOx se používá tekutina AdBlue (AdBlue je obchodním názvem pro Evropu, v USA je známá pod názvem DEF – Diesel Exhaust Fluid [10]) – nehořlavá,

bezbarevná, netoxická tekutina, korozivní (pH 9-11) za velkých teplot. Její objemová rozpínavost při zamrzání činí 7%, což je hodnota nižší, než u vody.

AdBlue je 32,5% roztokem močoviny ve vodě. Takové složení je zdůvodněno fyzikálními vlastnostmi media (Obrázek 15). Roztok použité koncentrace má nejnižší teplotu zamrzání, která pohybuje kolem -11°C, což je nižší než mají jednotlivé komponenty směsi sami o sobě. Táto vlastnost AdBlue se stává jedním z nejdůležitějších parametrů vzhledem k různým povětrnostním podmínkám provozu automobilů s naftovými motory.



Obrázek 15. Vliv koncentrace močoviny ve výsledném roztoku na jeho fyzikální vlastnosti. Zdroj:[11].

Chemická formule AdBlue je **NH_2 - CO - NH_2 + H_2O**. Další velice důležitou vlastnosti roztoku AdBlue je rychlá chemická reakce s kyslíkem obsaženým ve vzduchu, což vede k velmi rychlé krystalizaci močoviny a tím klade velké požadavky na těsnost všech součástek systému DNOx, u kterých dochází k bezprostřednímu kontaktu s médiem.

3. Teoretický popis funkce systému DNOx, fyzikální popis tvorby pevné fáze. Stanovení teplotních změn během ledových a arktických dní.

3.1 Teoretický popis funkce systému DNOx.

Funkčnost systému DNOx je založená na chemické neutralizaci oxidů dusíku v emisních plynech dieselových motorů na všech etapách jejich provozu. Cílem je přeměnit toxické NOxy v neškodlivé chemické sloučeniny.

Aby bylo dosaženo zmíněného cíle, ve výfukovém potrubí postupně probíhá 2 druhy chemických katalytických reakcí: hydrolytická a SCR (Selective Catalytic Reduction) reakce. Selektivní katalytická reakce je výběrová reakce NH_3 a NO_x, nikoliv s molekulárním kyslíkem, velké množství kterého je taky součástí emisních plynů.

Za filtrem pevných částic (DPF filter) do výfukových plynu se vstřikuje pod určitým úhlem našikmo AdBlue a rozpadá se pod vlivem teploty (termolytická složka hydrolytické reakce) na močovinu a kyselinu isokyanatou:

$$(NH_2)_2CO = NH_3 + HNCO$$

Pak vlivem hydrolytické reakce se odděluje amoniak: $HNCO+H_2O = NH_3 + CO_2$

Sjednocená hydrolytická reakce: $NH_2\text{-}CO\text{-}NH_3 = 2NH_3 + CO_2$.

Pak v závislosti na teplotě probíhá jedna nebo několik SCR reakcí:

Standardní reakce: $4\ NO + 4\ NH_3 + O_2 = 4\ N_2 + 6\ H_2O$

Nebo pomalá reakce: $4\ NH_3 + 6\ NO = N_2 + 6\ H_2O$

Obě teto reakce vyžadují teplotu vyšší než zážehovou, což je možný zabezpečit jen za normálního chodu motoru.

Nejvíce požadovanou reakci na první etapě chodu (těsně po spouštění motoru) je

$$NO + NO_2 + 2\ NH_3 = 2\ N_2 + 3\ H_2O.$$

Reakce probíhá za teplot v rozmezí od 150 do 200 °C a využívá stejného poměru NO a NO_2.

Taky za teplot větších než 200 °C může probíhat reakce 4:3, která spotřebovává velké množství NH_3

$$6\ NO_2 + 8\ NH_3 = 7\ N_3 + 12\ H_2O$$

V závislosti na technologii mohou probíhat taky i nežádoucí reakce

$$2\ NH_3 + 2\ NO_2 + H_2O = NH_4NO_3 + NH_4NO_2 \quad (1) \text{ nebo } NH_4NO_3 = N_2O + H_2O \quad (2)$$ [11].

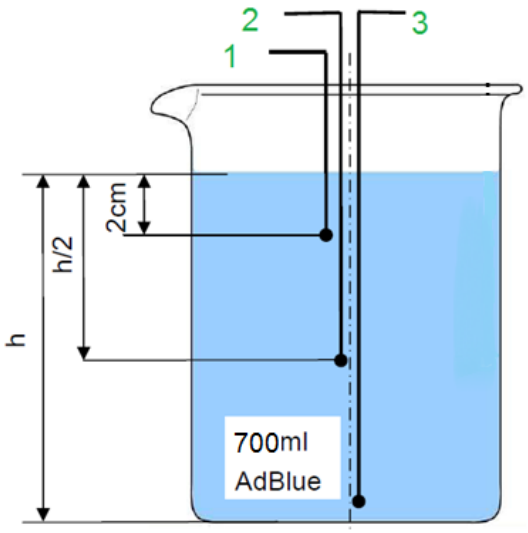
Reakce (1) a (2) vznikají nejčastěji za použití starších technologií za působení nižších teplot pod 200 °C. Nitráty amonia se nesměňují na NH_3, ale konvertují se do N_2O.

Další nežádoucí reakce vznikají za výrazně vyšších teplot nad 300 a občas i nad 400 °C, výsledkem je zpětná tvorba všech druhů NO_x. Soudobý trend spočívá ve snížení teploty emisích plynů a zamezení zpětné tvorby oxidů dusíku.

3.2 Fyzikální popis tvorby pevné fáze.

Jelikož AdBlue není homogenní tekutinou, při poklesu teploty pod teplotu zamrzání vykazuji jinou dynamiku a způsob zamrzání, než samostatné močovina a voda. Proces tuhnutí roztoku se dá rozdělit do 3. fází.

V průběhu letního praktika v roce 2014 na závodě RBCB jsem provedla kontrolní měření náhledně ilustrující proces tvorby pevné fáze v AdBlue. Pro názornost jako nádobu jsem použila skleněnou baňku, do které jsem dala 700 ml roztoku AdBlue pokojové teploty t = 20,1°C. Následně v různých hloubkách pod hladinou tekutiny jsem umístila teplotní čidla – termočlánky NiCr–Ni (typ K), jak je to znázorněno na obrázku 16. Sonda číslo 3 byla situovaná ve vzdálenosti cca 3,5 cm ode dna nádoby.



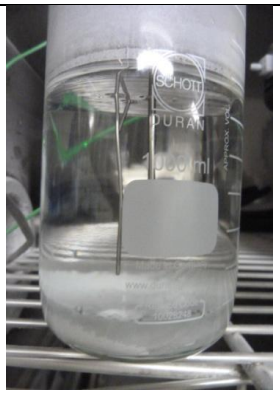
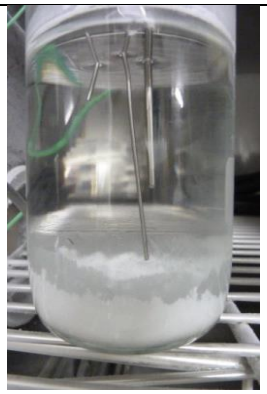
Obrázek 16. Umístění teplotních čidel v nádobě s AdBlue v průběhu experimentu. Zdroj: vlastní.

K simulaci zimních povětrnostních podmínek mnou byla použitá teplotní komora VTM 4004 společnosti Votsch Industrietechnik. Z důvodu rychlosti provedení experimentu a názornosti jeho výsledků teplota v komoře byla nastavena na t = - 40 °C. V průběhu experimentu po 10 – 15 minutách se pořizovaly fotografie nádoby.

3.2.1 První fáze zamrzání

Po 30 minutách chodu experimentu bylo možné pozorovat začátek tvorby krystalů u dna nádoby a teplota třetího (nejdelšího) teploměru klesla na t_3= - 9,5°C. První krystaly měli velice malé rozměry a připomínaly sníh. Pák v průběhu dalších 20 minut se rapidně tvořily větší krystaly směrem nahoru. Po 50 minutách v komoře teploty t_3 a t_2 se ustálili na hodnotě zamrzání. Průběh první fáze je znázorněn v tabulce 3-1.

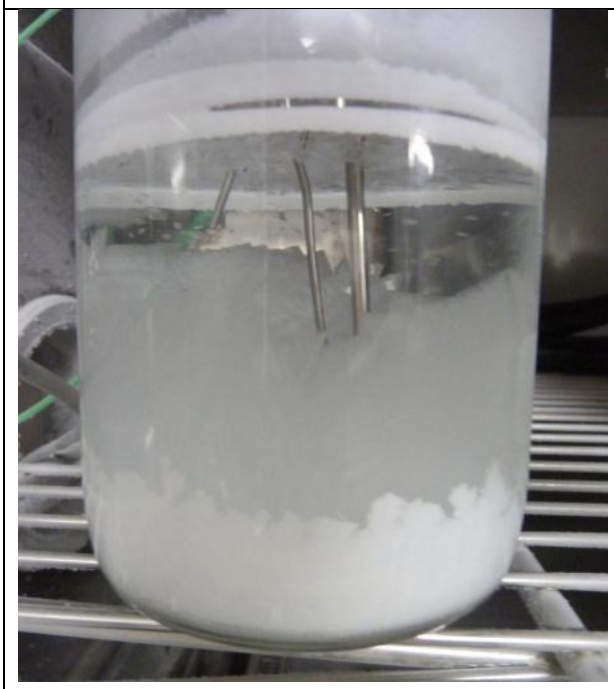
Tabulka 3-1.První fáze zamrzání. Zdroj: vlastní.

0h 00min	0h 30 min	0h 40min
		
Začátečný stav měření	1. fáze Začátek tvorby krystalů u dna nádoby	1. fáze Tvorba krystalů

3.2.2 Druhá fáze zamrzání.

Po 50 minutách ochlazování krystaly větších rozměrů vytvořené u dna nádoby se začaly pohybovat nahoru a tvořit ledovou vrstvu uzavírající objem média seshora. Tato vrstva se v průběhu II. fáze zvětšovala. Tím ke konci této fáze část média, která stále zůstávala v kapalinném stavu, se uzavřela s dolní a horní strany ledovými vrstvami – viz.tabulka 3-2.

Tabulka 3-2.Druhá fáze zamrzání. Zdroj: vlastní.

0h 52min

2. fáze Začátek tvorby horní vrstvy ledu prostřednictvím pohybu krystalu od dna nádoby nahoru.

3.2.3 Třetí fáze zamrzání.

V této fázi led se začal vytvářet i na stěnách nádoby v její centrální části a tím konečně uzavřel objem média tak, aby AdBlue v tekutém stavu zůstalo jen uprostřed nádoby.

Tabulka 3-3. Třetí fáze zamrzání. Zdroj: vlastní.

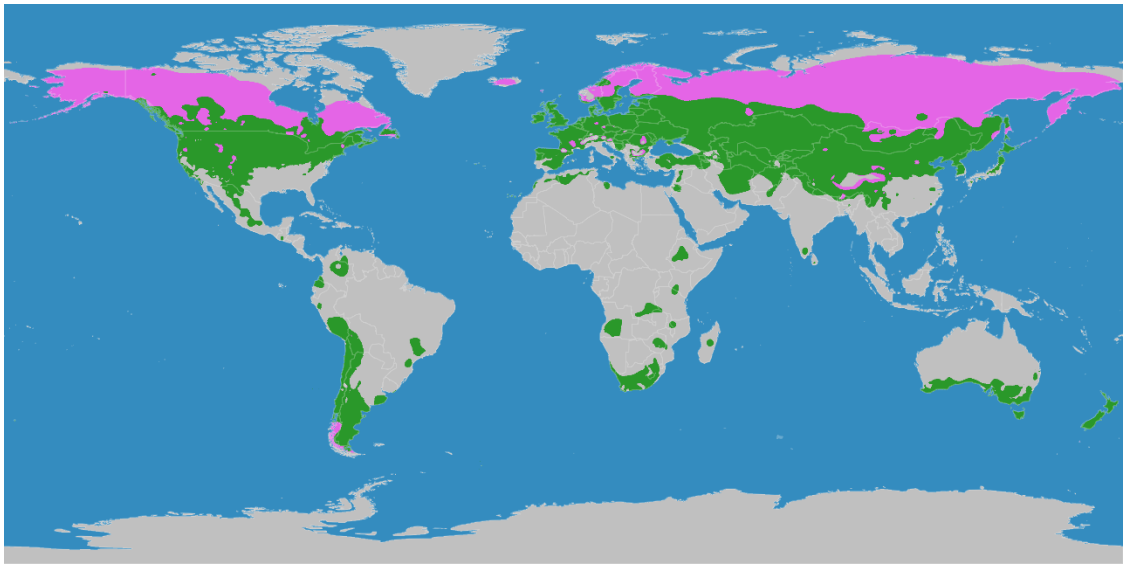
1h 02min	1h 14min	1h 25min	1h 35min
1. fáze Tekuté médium se zachovalo jen ve středu nádoby, začíná se tvořit led na stěnách.	3. fáze Pokračování zamrzání směrem ke středu nádoby.	3. fáze Promrzání jádra média. Led se začíná tlačit nahoru a tvoří se ledová čepice.	Konec 3. fáze. Úplné promrznutí média. Nahoře je vidět kopeček vytlačeného ledu.

Jakmile se tento poslední objem AdBlue začal taky přicházet do pevné fáze, pod vlivem vnitřního tlaku již zmrzlé médium začalo být vytlačováno nahoru a tím se vytvořila tzv. ledová čepice, která je pro přehlednost znázorněná červeným obloukem na posledním snímku série v tabulce 3-3, pořízeném po 1 hodině 35 minutách experimentu.

3.3 Stanovení teplotních změn během ledových a arktických dní.

3.3.1 Alisovova klasifikace podnebí.

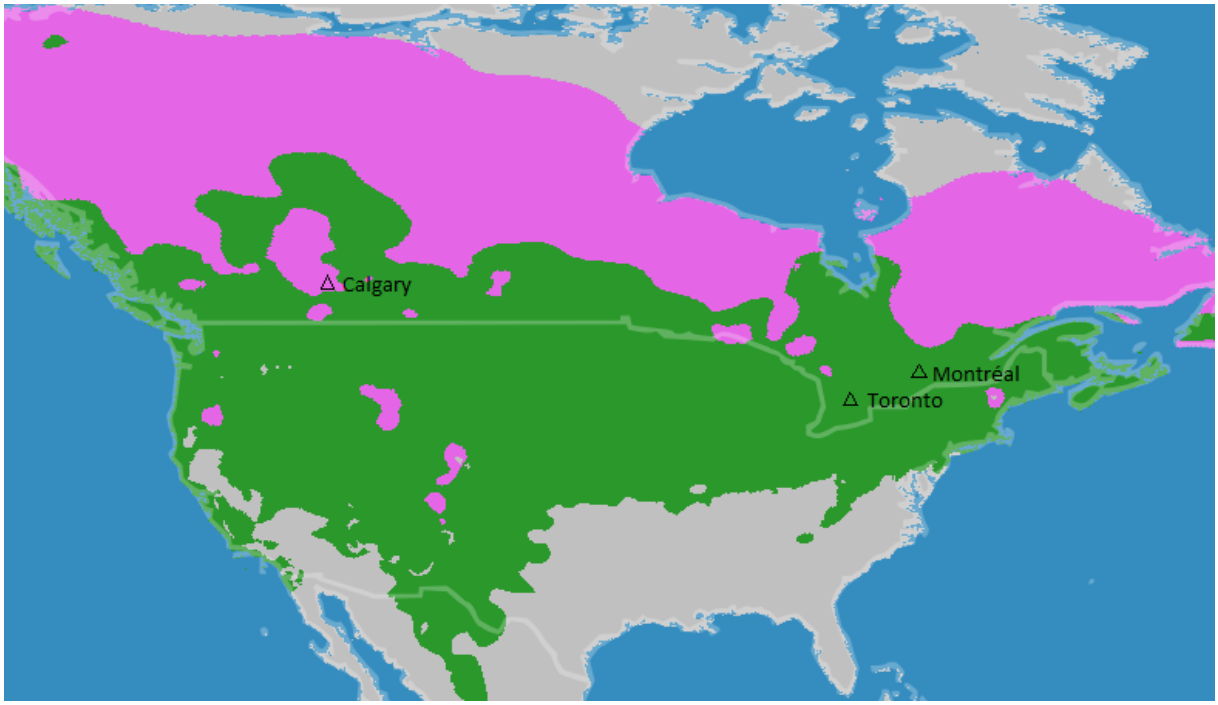
Alisovova klasifikace podnebí patří mezi genetické klasifikace – tj. klasifikace, které člení podnebí podle základních podmínek jeho vzniku. Autorem zájmové klasifikace je ruský klimatolog Boris Pavlovič Alisov. Podle něj podnebí se rozděluje dle převládajícího výskytu základních vzduchových hmot do celkem7 různých pásů. Jde o ekvatoriální, subekvatoriální, tropický, subtropický, mírný, subarktický a polární pásy. Pro výzkum problematiky zamrzání média v systému DNOx nejzajímavějšími pásy jsou subarktický a mírný [15]. Jejich poloha je znázorněná na obrázku 17.



Obrázek 17. Subarktický (růžově) a mírný (zeleně) klimatické pásy podle Alisovove klasifikace podnebí. Zdroj:[15]

Vzhledem k dostupnosti a kvalitě dat meteorologických měření, pro určení teplotního profilu typického ledového a arktického dne jsem zvolila 3 města: Toronto (Ontario), Calgary (Alberta) a Montréal (Quebek) v Kanadě. Jejich poloha ve vztahu ke klimatickým pásům je znázorněná na obrázku 18. Z obrázku je patrné, že Toronto a Montréal leží v mírném pásu a město Calgary – v subarktickém.

Tato města jsou vyznačená největšími v Kanadě počty obyvatel: v souladu s údaje posledního sčítání obyvatelstva v roce 2011 Toronto je na prvním místě v seznamů, Montréal na druhém a Calgary je na třetím.



Obrázek 18. Poloha Calgary, Toronta a Montréalu vzhledem ke klimatickým pásům. Zdroj: vlastní.

Při vyhodnocení klimatické situace ve vybraných městech byla využita data za období 1. 1. 2013 – 31. 7. 2015 z oficiálních meteorologických webových stránek Kanady Climat Canada.

3.3.2 Ledové a arktické dny dle meteorologické terminologie

V souladu s meteorologickou terminologií, za ledový den označujeme den, kdy maximální teplota nevystoupí nad bod mrazu, a v celém průměru dne se drží pod 0°C. Průměrný roční počet ledových dnů se v České republice pohybuje od 30 v nížinách až po 80 v horách. Nejméně, kolem 10 ročně se jich vyskytuje v centru Prahy, nejvíce, až 113 v nejvyšších polohách Krkonoš, Jeseníku a Beskyd.

Za arktický den se považuje den, kdy maximální denní teplota nepřesáhne -10 °C. V České republice se jejich roční počet pohybuje od 0,3 v centru Prahy až po 7,8 na horách [16].

Následující tabulky č. 3-4, 3-8 a 3-12 obsahují základní údaje o velikosti a poloze měst Toronto, Montréal a Calgary, počtu ledových a arktických dnů a jejích poměrech vůči celkovému rozsahu teplotních měření v souvisejících rocích.

3.3.3 Toronto (Ontario)

Tabulka 3-4. Počet ledových a arktických dnů v Torontu (Ontario). Zdroj: vlastní.

Populace 6 292 200 lidí		Rozloha 630,21 km^2		Poloha 43°38′ s. š., 79°23′ z. d.	
Meteostanice	Toronto Pearson International Airport Meteostation				
Rok	Počet změřených dnů	**Ledové dny**		**Arktické dny**	
2013	155	20	12,9%	1	0,65%
2014	365	56	15,34%	12	3,29%
2015	212	47	22,17%	11	5,2%

Na základě údajů z tabulky 3-4 a hodnot maximálních, minimálních a středních teplot v průběhu každého dne v zájmovém intervalu jsem určila průměrné hodnoty teplot v arktických a ledových dnech v Torontu.

Tabulka 3-5. Průměrné teploty ledových a arktických dnů v Toronto. Zdroj: vlastní.

Ledový den [°C]			**Arktický den [°C]**		
Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}	Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}
-4,3456	-12,4137	-8,32705	-12,1295	-18,0955	-15,1298

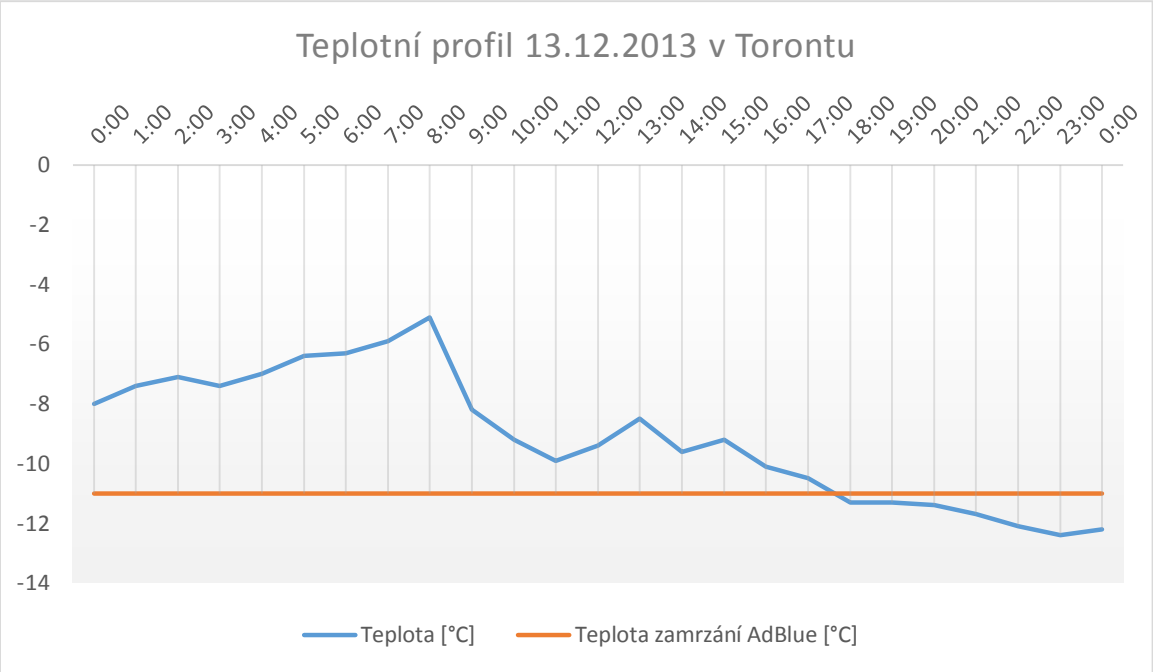
3.3.3.1 Průměrný ledový den v Torontu v období 2013-2015.

Následně v souladu s tabulkou 3-5 byly vybrány 2 ledové dny - 13. 12. 2013 a 6. 2. 2015. Tabulka 3-6 popisuje teplotní změny během těchto dnů.

Tabulka 3-6. Teplotní údaje ve vybraných ledových dnech v Toronto. Zdroj:[17].

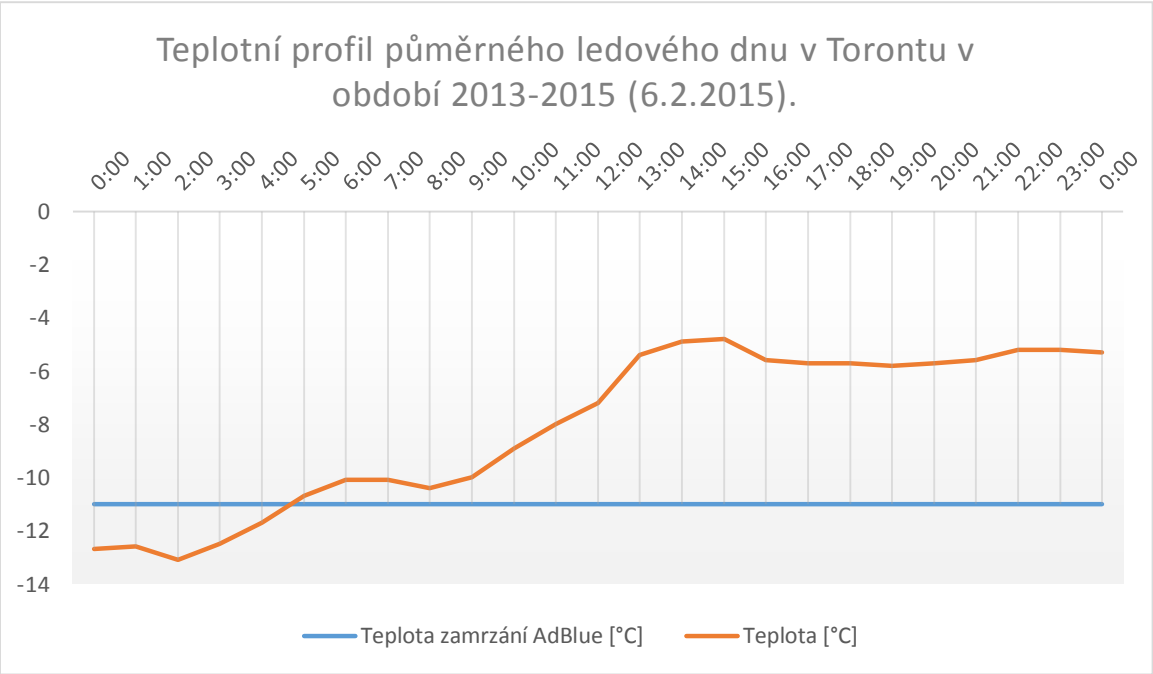
	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
13. 12. 2013	-4,9	-12,8	-8,9
6. 2. 2015	-4,6	-13,3	-9

Na následujících obrázcích 19 a 20 jsou znázorněny teplotní profily vybraných dnů. Podle vyhodnocení teplotních měření nejbližším k průměrnému dnu je 13. prosince 2013, zatímco na profilu je vidět náhlý pokles teploty na 3,1 °C mezi 8. a 9. hodinou ráno. V tomto období se standardně dá předpokládat pomalý ohřev vzduchu a tak specifické chování může být způsobeno například příchodem bouřky. O tom svědčí i další pokles teploty v odpolední části dne.



Obrázek 19. Teplotní profil 13. 12. 2013 v Torontu (Ontario). Zdroj: vlastní.

Jako průměrný ledový den v Torontu jsem zvolila 6. února 2015. Průběh teplot tohoto dne je reprezentovaná výrazně hladší křivkou, než v předchozím případě. Dynamika ohřevu vzduchu taky odpovídá předpokladům: teplota začíná výrazně růst v ranních hodinách (od 8 do 12), nejstrmější růst je od 12 do 13 hodin. Nejvyšší teploty jsou naměřeny v období od 13 do 15 hodin, pak vzduch se mírně ochlazuje.



Obrázek 20. Teplotní profil průměrného ledového dnu v Torontu v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

Na základě teplotního profilu průměrného ledového dne můžu předpokládat, že teplota okolí se nachází pod teplotu zamrzání AdBlue v průměru 4 až 5 hodin denně, a ve většině případu pochybuje kolem -12 až -13 °C. V takových dnech pravděpodobnost výskytu komplikací zapříčiněných zamrznutím média v systému DNOx je minimální a týká se jen případů, kdy množství média v tanku je příliš malé.

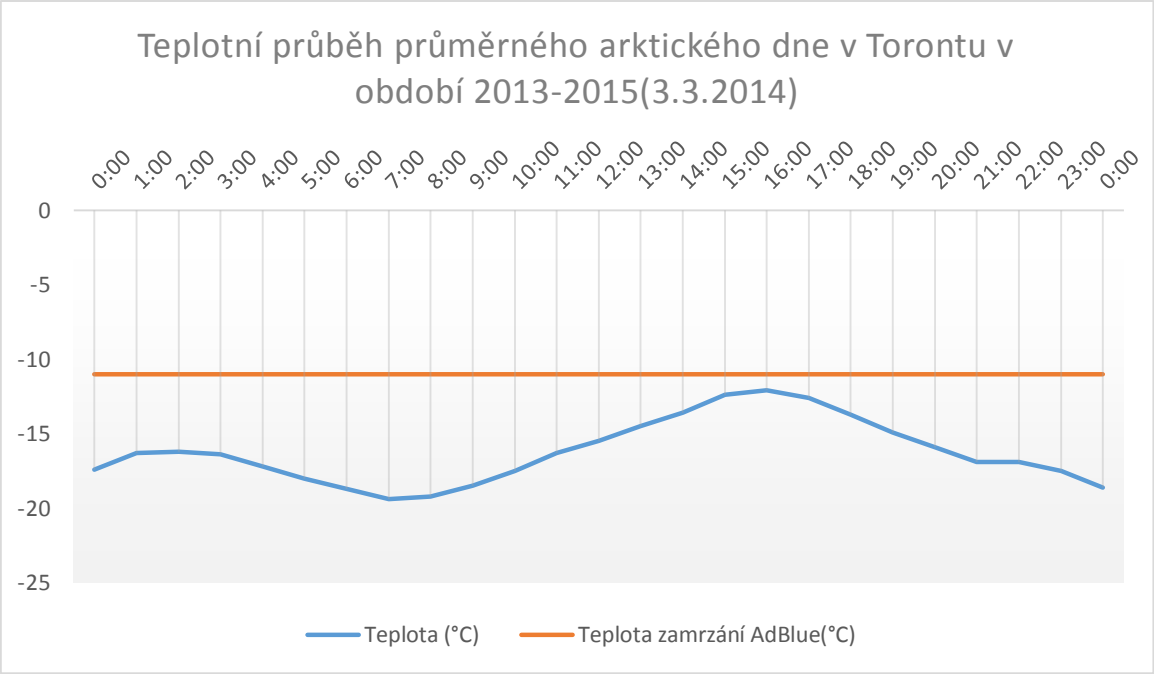
3.3.3.2 Průměrný arktický den v Torontu v období 2013-2015.

Podle průměrných teplot v tabulce 3-5 jsem následně vybrala 2 arktické dny s hodnotami teplot nejbližšími vypočteným: 28. 1. 2014 a 3. 3. 2014. Výsledky meteorologických měření v těchto dnech jsou uvedeny v tabulce 3-7.

Tabulka 3-7. Teplotní údaje ve vybraných arktických dnech. Zdroj: [17].

	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
28. 1. 2014	-12,5	-20,3	-16,4
3. 3. 2014	-12,1	-19,6	-15,9

Z nich kritériím průměrného dne nejlépe odpovídá 3. března 2014. Na obrázku 21 je představen jeho teplotní průběh, který je reprezentován skoro hladkou křivkou. Nejnižší teploty jsou ráno cca od 7 do 8 hodin, vzduch se prohřívá nejvíce v době od 15 do 17 hodin. Avšak teplota pořád v průběhu celého dne zůstává pod teplotou zamrzání AdBlue, což může způsobit celkové zamrznutí velkého množství média a následně bude vyžadovat poměrně velký čas na spouštění systému DNOx.



Obrázek 21. Teplotní profil průměrného arktického dne v Torontu (Ontario) v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

3.3.4 Calgary (Alberta)

Tabulka 3-8. Počet ledových a arktických dnů v Calgary (Alberta). Zdroj: vlastní.

Populace 1 096 833		Rozloha 825,29 km^2		Poloha 51°02′42″ s. š. 114°03′26″ z. d.	
Meteostanice Calgary International Airport Meteostation					
Rok	Počet změřených dnů	**Ledové dny**		**Arktické dny**	
2013	299	37	12,4%	14	4,7%
2014	365	45	12,3%	27	7,4%
2015	212	16	7,5%	8	3,8%

Použitím stejné metody jsem určila průměrné teploty v průběhu arktického a ledového dne v Calgary – data jsou znázorněná v tabulce 3-8.

Tabulka 3-9. Průměrné teploty ledových a arktických dnů v Calgary (Alberta). Zdroj: vlastní.

Ledový den [°C]			**Arktický den [°C]**		
Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}	Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}
-4,70207	-14,0797	-9,25045	-14,182	-19,6555	-16,6152

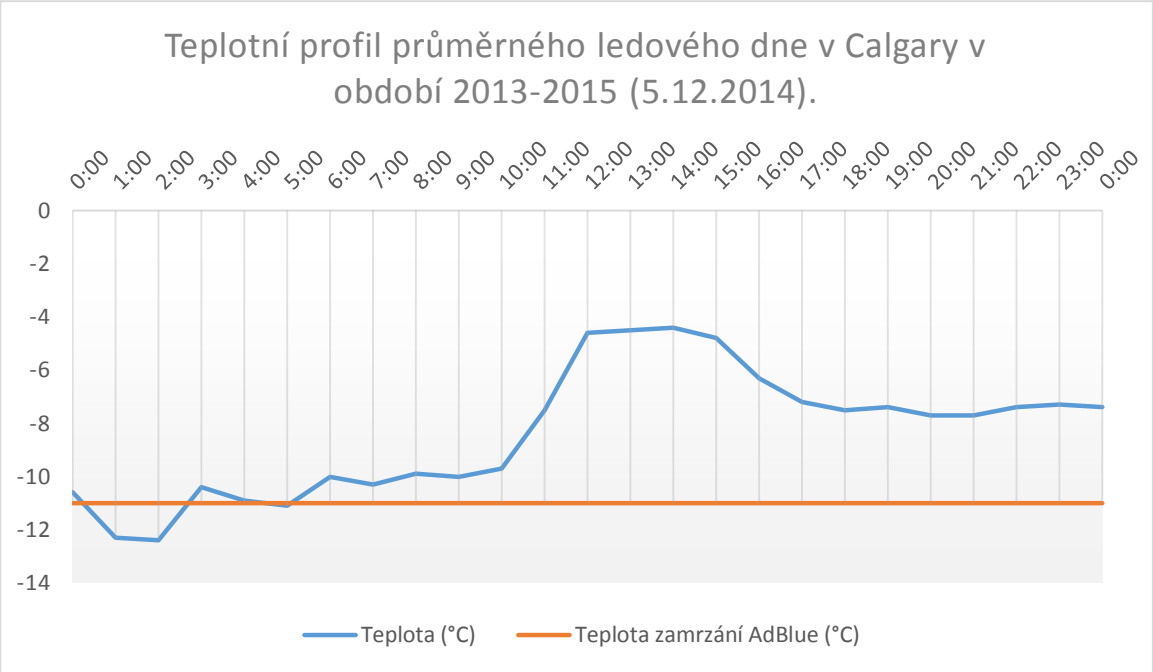
3.3.4.1 Průměrný ledový den v Calgary v období 2013-2015.

Jako možné průměrné ledové dny byly vybrány 21. 2. 2015, 5. 12. 2014 a 29. 3. 2014. Teplotní údaje těchto dnů, podle kterých probíhalo porovnání, jsou znázorněny v tabulce 3-9.

Tabulka 3-10. Teploty ve vybraných ledových dnech. Zdroj:[17].

	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
21. 2. 2015	-4,3	-12,4	-8,4
5. 12. 2014	-4,2	-13,3	-8,8
29. 3. 2014	-4,8	-12,6	-8,7

Na základě těchto dat průměrným ledovým dnem v Calgary v zájmovém období bylo vybráno 5. prosince 2014. Průběh změny teplot odpovídá očekáváním, intenzivní ohřev vzduchu se začíná v 10 hodin ráno, maximum teplot se nastává v poledne, pak v době od 15 do 17 hodin teplota mírně klesá. Specifickou vlastnosti města Calgary je to, že velmi často ve večerních hodinách ledových dnů teploty májí tendenci k ustálení a po dlouhou dobu kolísají jen o desetiny stupně. Příčinou tohoto jevu je vysokohorské položení města – výška centru činí 1048 metrů nad mořem.



Obrázek 22. Teplotní profil průměrného ledového dne v Calgary (Alberta) v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

Jak je patrné z teplotního profilu na obrázku 22, ledové dny v Calgary, stejně jako i v Torontu, netvoří komplikace pro použití systému DNOx. Teplota okolí v průměru setrvává pod teplotou zamrzání AdBlue jen po dobu 2 až 3 hodin denně.

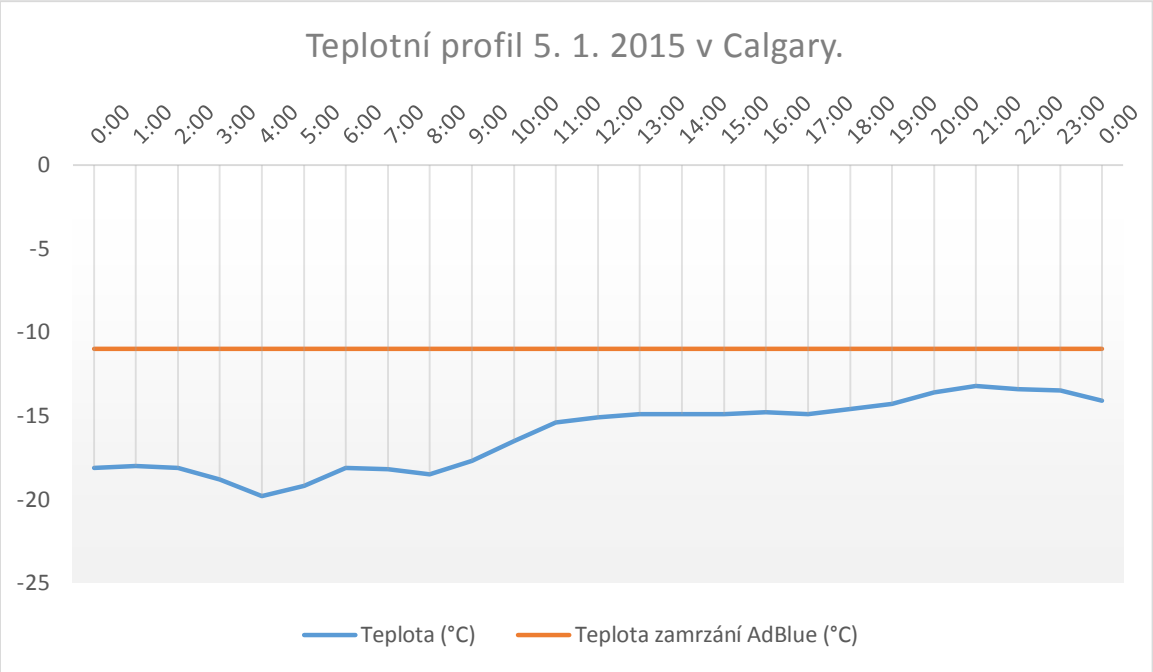
3.3.4.2 Průměrný arktický den v Calgary v období 2013-2015.

V souladu s hodnotami teplot, uvedenými v tabulce 3-9, z arktických dnů byly vybrány 4 nejbližších k průměrnému: 5. 1. 2015, 29. 12. 2014, 6. 3. 2014 a 19. 11. 2013. Výsledky meteorologických měření ve vybraných dnech jsou uvedený v tabulce 3-11.

Tabulka 3-11. Teploty vybraných arktických dnů v Calgary. Zdroj: [17].

	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
5. 1. 2015	-13,2	-20,1	-16,7
29. 12. 2014	-14,2	-20,1	-17,2
6. 3. 2014	-13,6	-18,5	-16,1
19. 11. 2013	-14,4	-18,5	-16,5

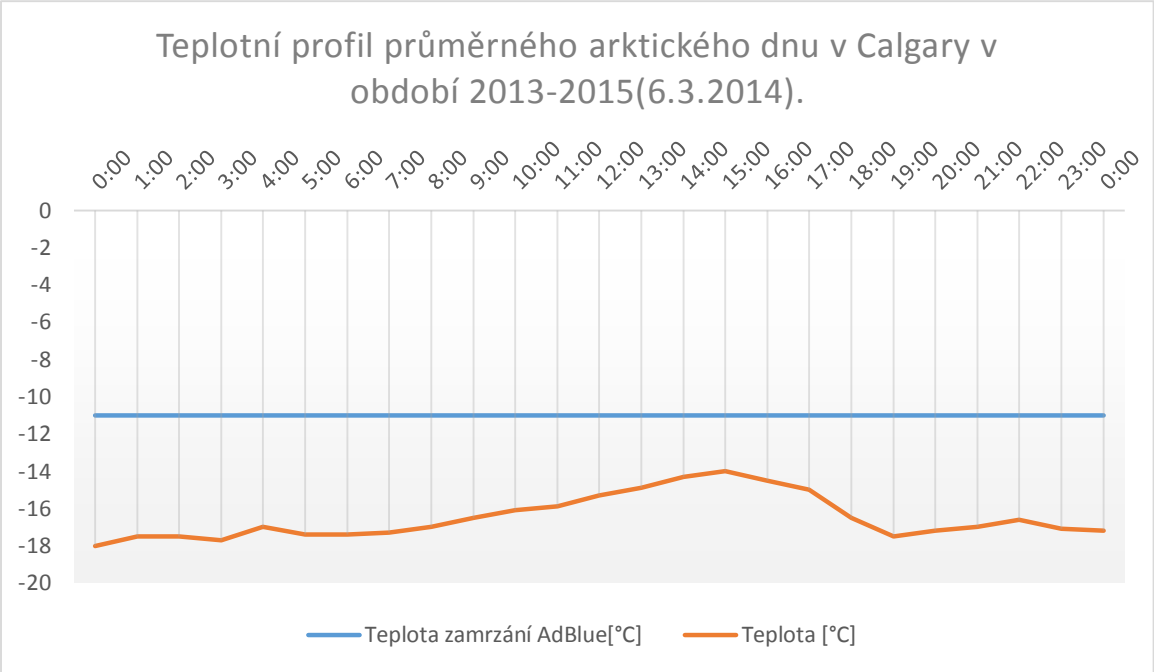
Původně podle hodnot z tabulky 3-11 za průměrný den jsem zvolila 5. ledna 2015. Teplotní profil tohoto dne je znázorněn na obrázku 23.



Obrázek 23. Teplotní profil 5. 1. 2015 v Calgary (Alberta). Zdroj: vlastní.

Jak je vidět z profilu, dynamika změny teploty 5. ledna 2015 odpovídá představám pro průměrný den: ohřevy a ochlazení vzduchu probíhaly plynule, bez rapidních skoků. Ale profil taky ukazuje, že avšak v ranních hodinách teplota byla nejnižší (v 4 hodiny činila -19,8 °C), dále atmosféra se postupně ohřívala až do 21 hodin, kdy teplota dosáhla svého maxima T= -13,2 °C. Takový průběh rozhodně nemůžeme považovat za průměrný.

Po porovnání ostatních vybraných dnů za průměrný den jsem zvolila 6. března 2014. Jeho teplotní profil je uveden na obrázku 24. Tento profil odpovídá předpokládanému průběhu změn teplot za dne. Pomalý ohřev atmosféry začíná v 4-5 hodin ráno a probíhá plynule. Maximum je dosaženo v 15 hodin a činí -14 °C. Pák teplota celkem rychle sklesává zpět a na konci dne zase vidíme skoro horizontální průběh teplotní křivky – teplota od 20 hodin se mění drobně v intervalu desetin stupňů.



Obrázek 24. Teplotní profil průměrného arktického dnu v Calgary (Alberta) v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

V Calgary ve srovnání s Torontem poměr arktických dnů je výrazně vyšší, navíc v průběhu roku této dny se nevyskytují ojediněle. Tak v průběhu celého týdne 28. 2. 2014 - 6. 3. 2014 teplota okolí nestoupla nad -10 °C. Obdobná situace byla zaznamenána i v období 3. 12. 2013 - 8. 12. 2013. Kvůli tak nízkým teplotám okolí při nastartování auta k spouštění systému DNOx je potřeba výrazně více času a více energie na ohřev tanku a rozmražení nutného množství AdBlue. Taky několik arktických dnů za sebou způsobují neúplné rozmrazení média v zásobníku v době provozu automobilu a po ukončení provozu rychlejší vytvoření nových krystalů ledu. Přechod média do pevné fáze taky výrazně zvyšuje namáhaní plastového tanku a následně ho může poškodit. Na základě těchto informací můžu usoudit, že v skoumané oblasti exploatace systému AdBlue bude velice problematická.

3.3.5 Montréal (Quebek)

Tabulka 3-12. Počet ledových a arktických dnů v Montréalu (Quebek). Zdroj: vlastní.

Populace 1 886 481 lidí		Rozloha 431,50 km^2		Poloha 45°31′ s. š., 73°38′ z. d.	
Meteostanice Pierre Elliott Trudeau International Airport meteostation					
Rok	Počet změřených dnů	**Ledové dny**		**Arktické dny**	
2013	360	41	11,4%	19	5,3%
2014	344	74	20,5%	13	3,6%
2015	210	53	25,2%	20	9,5%

Průměrné teploty v ledových a arktických dnech v zájmovém období jsou uvedeny v tabulce 3-13.

Tabulka 3-13. Průměrné teploty ledových a arktických dnu v Montréalu v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

Ledový den [°C]			Arktický den [°C]		
Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}	Prům. T_{Max}	Prům. T_{Min}	Prům. T_{Mean}
-4,66351	-13,0201	-8,87694	-14,1639	-20,9717	-16,9522

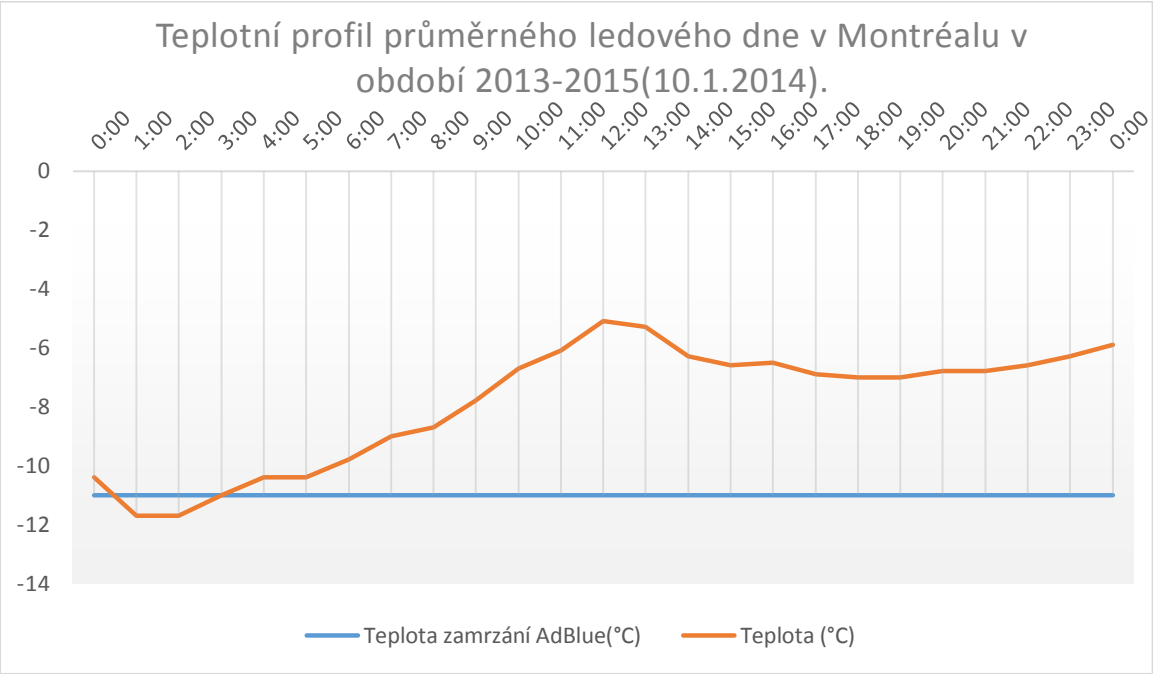
3.3.5.1 Průměrný ledový den v Montréalu v období 2013-2015.

Na základě vypočtených hodnot průměrných teplot byly vybrány 2 nejlépe vyhovující dny – 10. 1. 2014 a 29. 12. 2014. Údaje z teplotních měření ve vybraných dnech jsou znázorněny v tabulce 3-14.

Tabulka 3-14. Teploty vybraných ledových dnů v Montréalu v období 2013-2015. Zdroj: [17].

	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
10. 1. 2014	-4	-13,3	-8,7
30. 1. 2014	-4,1	-12,3	-8,2

Za průměrný ledový den bylo zvoleno 10. ledna 2014. Jeho teplotní průběh je znázorněn na obrázku 23. V nočních hodinách teplota se drží pod -11 °C, ale to jen po dobu 2 až 3 hodin, což objektivně není pro systém DNOx ohrožující. V ranních hodinách teplota okolí postupně roste, v poledne dosahuje svého maxima T= - 6,3 °C a pak zase přichází do klesání. Na základě těchto údajů se dá předpokládat bezproblémový provoz systému DNOx.



Obrázek 25. Teplotní profil průměrného ledového dne v Montréalu (Quebek) v období 2013-2015. Zdroj:vlastní.

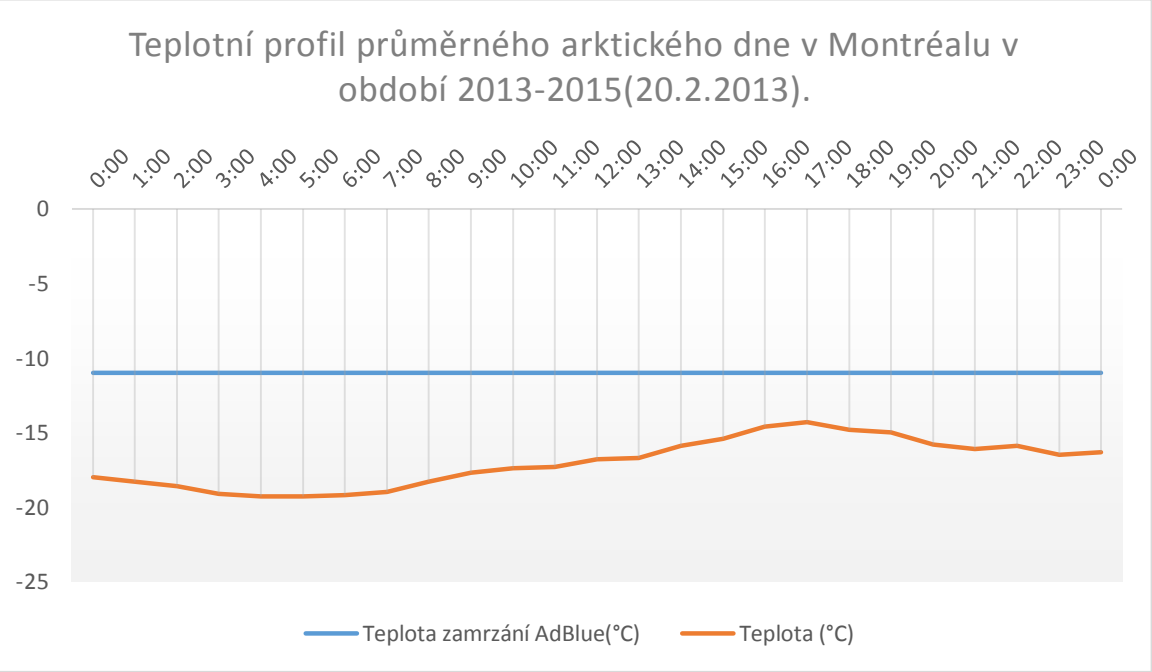
3.3.5.2 Průměrný arktický den v Montréalu v období 2013-2015.

V souladu s tabulkou 3-13 byly vybrány 2 arktické dny – 25. 1. 2013 a 20. 2. 2015. Údaje z teplotních měření ve vybraných dnech jsou znázorněny v tabulce 3-15.

Tabulka 3-15. Teploty ve vybraných arktických dnech v Montréalu v období 2013-2015. Zdroj: [17].

	T_{Max} [°C]	T_{Min} [°C]	T_{Mean} [°C]
25. 1. 2013	- 14,6	-20,6	-17,6
20. 2. 2015	- 14,2	-19,5	-16,9

Průměrným arktickým dnem v Montréalu bylo přiznáno 20. února 2013. Související teplotní profil je uveden na obrázku 26. Je vidět, že teplota stejně jako v Torontu i Calgary po dobu celého dne setrvává pod teplotou zamrznutí AdBlue, v ranních hodinách dosahuje svého minima t = - 19,3 °C, v 17 hodin přechází na denní maximum T= - 14,3 °C.



Obrázek 26. Teplotní profil průměrného arktického dne v Montréalu (Quebek) v období 2013-2015. Zdroj: vlastní.

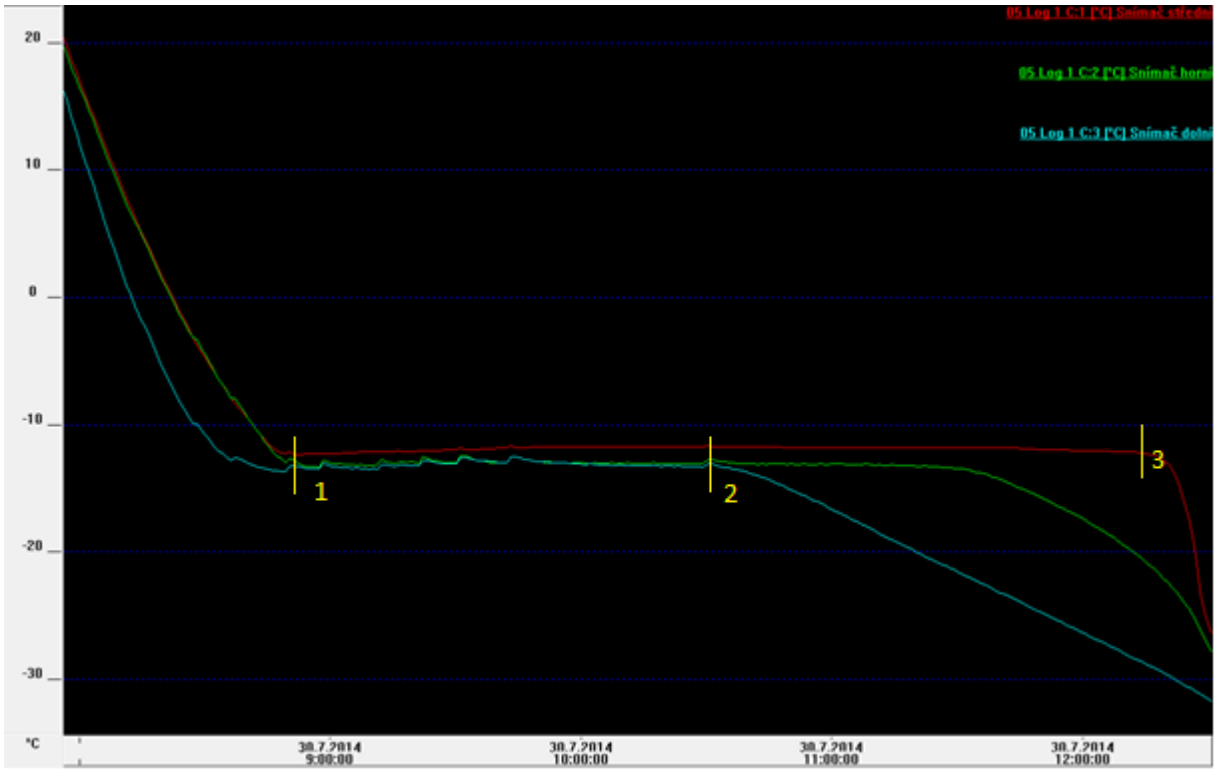
Rovněž stojí za zmínku, že dynamika výskytu arktických dnu v Montréalu napodobuje situaci v Calgary. Arktické dny se velmi často jdou za sebou – v zkoumaném období maximálně 7 dnů (21. 1. 2013 – 27. 1. 2013). Provoz systému DNOx za takových povětrnostních podmínek je velice komplikovaný.

Na základě uvedených informací se dá tvrdit, že i v nejobytnějších městech Kanady, které navíc patří i k jižním městům na tomto území, v průměru od 3 do 10% dnů v roce teplota okolí

je tak nízká, že může zapříčinit komplikace a dokonce v některých případech i poruchy systému DNOx. K minimálním následkům patří časové prodlevy začátku exploatace automobilu a následné komplikace pro jejich majitelé a uživatelé. Maximálně to může znamenat, že v době natolik nepříjemného počasí vážnější poruchy systému DNOx nedovolí nastartovat motor a automobil se stane nepoužitelným.

Tento problém, jeho charakter, nepřekonatelné příčiny vzniku a jeho poměrně velké měřítko přivádí k nutnosti podrobnějšího studia dynamiky a způsobu tvorby pevné fáze v roztoku AdBlue, jeho změny vzhledem ke konfiguraci tanku a určení nejvíce namáhaných částí nádrže.

4. Namáhání nádrže a extrémně namáhaných částí systému při zamrzání AdBlue a tvorby pevné fáze při nízkých teplotách



Obrázek 27. Výsledek měření. Zdroj: vlastní.

V podkapitole 3.2 jsem popsala kontrolní měření, pomocí kterého jsem ověřovala fyzikální vlastnosti roztoku AdBlue. V době tohoto experimentu pomoci teplotních čidel proběhlo měření teploty média v jeho různých hladinách. Na následujícím obrázku 27 jsou graficky reprezentovaná data získaná v procesu tohoto měření.

Každá jednotlivá čára reprezentuje jedno teplotní čidlo. Červená čára ukazuje průběh teplot uprostřed média (sonda č. 2 na obr. 16), modrá čára – v dolní části u dna nádoby (sonda č. 3 na obr. 16), zelená – v její horní části (sonda č. 1 na obr. 16). Taky je třeba zmínit, že střední a dolní čidla měli poloměr r =1 mm a měřily s přesností +/- 1 °C. Horní čidlo mělo poloměr

r = 3 mm a přesnost +/- 0,5 °C. Nejistota určení teploty v chladicí komoře taky pochybuje v intervalu +/- 1 °C.

Jelikož nádoba s AdBlue byla umístěna do jíž ochlazené komory, dolní snímač zaznamenal první teplotu výrazně nižší, než ostatní sondy. Je taky patrné, že teplota horní sondy na začátku měření se nachází pod teplotou uvnitř média.

První fáze zamrzání je reprezentovaná části grafu od začátku měření až po bod 1, ve kterém médium u dna nádoby a v její horní části má stejnou teplotu. Šikmé průběhy všech čár na grafu svědčí o tom, že AdBlue se stále ve celém objemu zůstává v kapalném stavu. Teplota u dna sklesává mnohém rychleji, než v ostatních případech a dokonce dosahuje i hodnoty kolem -13 °C. Teploty uprostřed média a v horní části nádoby se v průběhu první fázi od sebe celkem neliší.

V druhé fázi, která v grafu leží mezi body 1 a 2, probíhá změna skupenství média. O tom říká skoro horizontální průběh křivek. Na začátku a taky v průběhu úseku jsou patrné několik náhlých skoku teplot cca o jeden stupeň. Tento průběh vidíme ve větší nebo menší míře u všech křivek. Je to způsobeno specifikem tvorby pevné fáze v roztoku AdBlue. V průběhu druhé fáze od dolní vrstvy ledu se postupně oddělují jednotlivé krystaly, které pohybují směrem nahoru a slouží zde základem ledové vrstvy. Místo krystalu se zaplňuje kapalný médium s vyšší teplotou a pak taky rychle tuhne a vytváří nový krystal. V bodě 2 máme tekuté AdBlue uprostřed nádoby uzavřené z horní a dolní strany ledem.

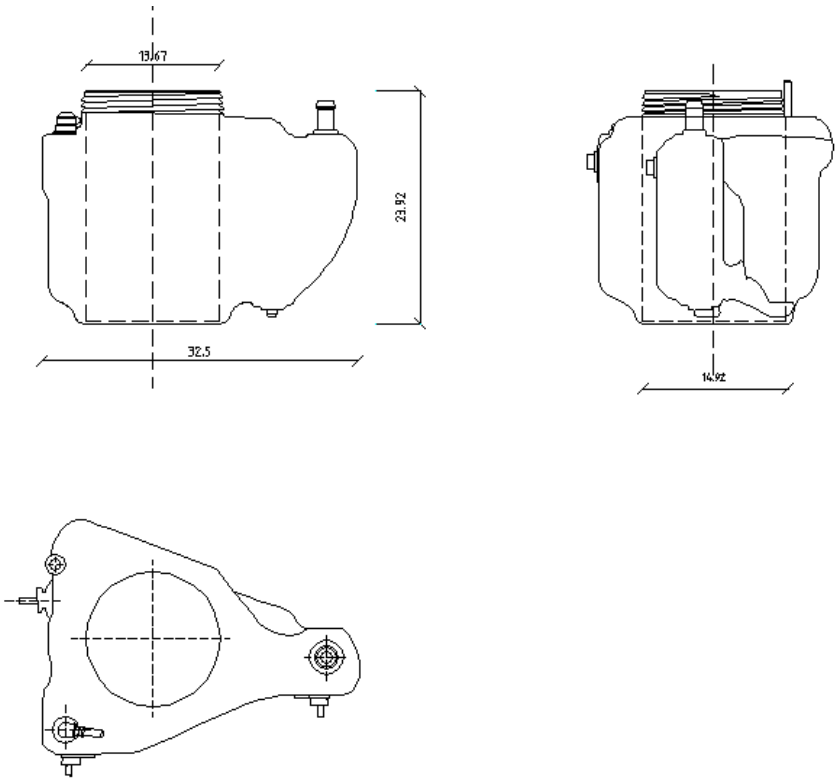
Fáze 3 se na grafu nachází v intervalu od bodu 2 do bodu 3. Na tomto úseku je vidět, že modrá a zelená křivky zase přišli do klesání, což znamená, že skupenství už se dál nemění a médium zůstává v pevné fázi. Naopak červená křivka má stále horizontální průběh a do konce této fáze kapalina uprostřed nádoby přeměňuje v led. Tato přeměna a následné zvětšení objemu média v střední části baňky je příčinou tvorby ledové čepice v horní části ledové vrstvy. V bodě 3 médium jako celek je v pevné fázi a jeho teplota se postupně vyrovnává s teplotou okolí, která je v tomto případe T= - 40 °C.

Co se týče namáhání, v průběhu experimentu největší tlak ledu pochopitelně vznikl v 3. fázi a působil směrem od centru do všech stran. Díky jednoduché válcové formě baňky a jen její částečnému naplnění médiem, největší tlaky by měli působit na stěny ve střední části nádoby. V případě změny tvaru tanku nebo jeho naplnění rozložení a hodnoty tlakových sil se zásadně změní a proto studium procesu tvorby pevné fáze vyžaduje provedení experimentu zamrzání s využitím nádrží na AdBlue reálně použitými v systému DNOx.

5. Zkouška zamrazování s využitím reálné nádrže na AdBlue a její výsledky.

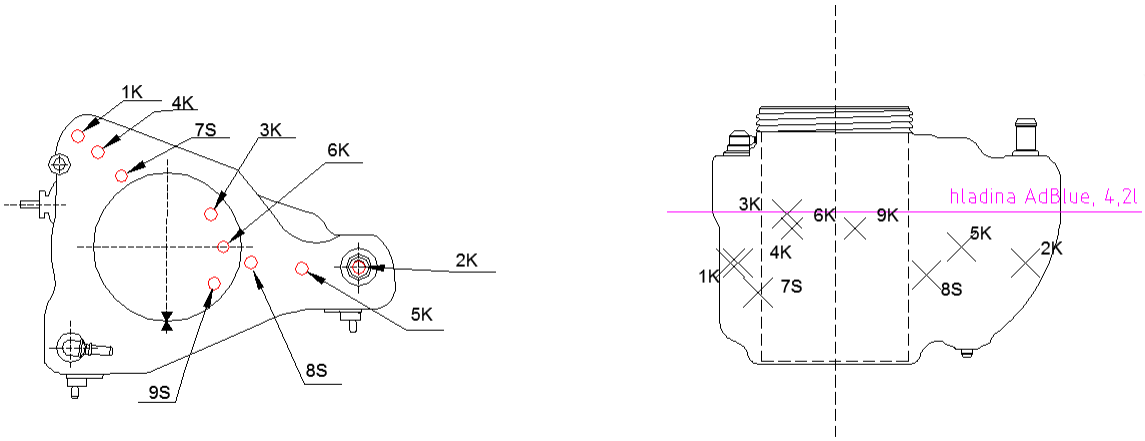
V průběhu letního praktika v létě 2014 ve spolupráci s kolegou Markem Blaščíkem bylo provedeno několik větších zkušebních experimentů s použitím tanku systému DNOx generace 3.1 zpracovaného pro sedany automobilky BMW. Této zkoušky byly zaměřeny na studium chování velkého množství média za extrémně nízkých teplot a odhalení specifik tvorby pevné fáze v roztoku AdBlue v závislosti na geometrické formě nádrže. Ve výsledku měření by měly být určeny jednotlivé části nádrže, ve kterých se očekávají největší mechanická namáhaní, způsobené přechodem roztoku do pevného skupenství.

Vybavení experimentu zahrnovalo teplotní komoru VTM 4004 společnosti Votsch Industrietechnik, 9 termočlánků NiCr–Ni (typ K) různých délek: krátké K 10 až 11 cm a střední S 13 až 14 cm s přesností měření +/-1 °C. Nádrž, použita v procesu měření, je uvedená na obrázku 28.

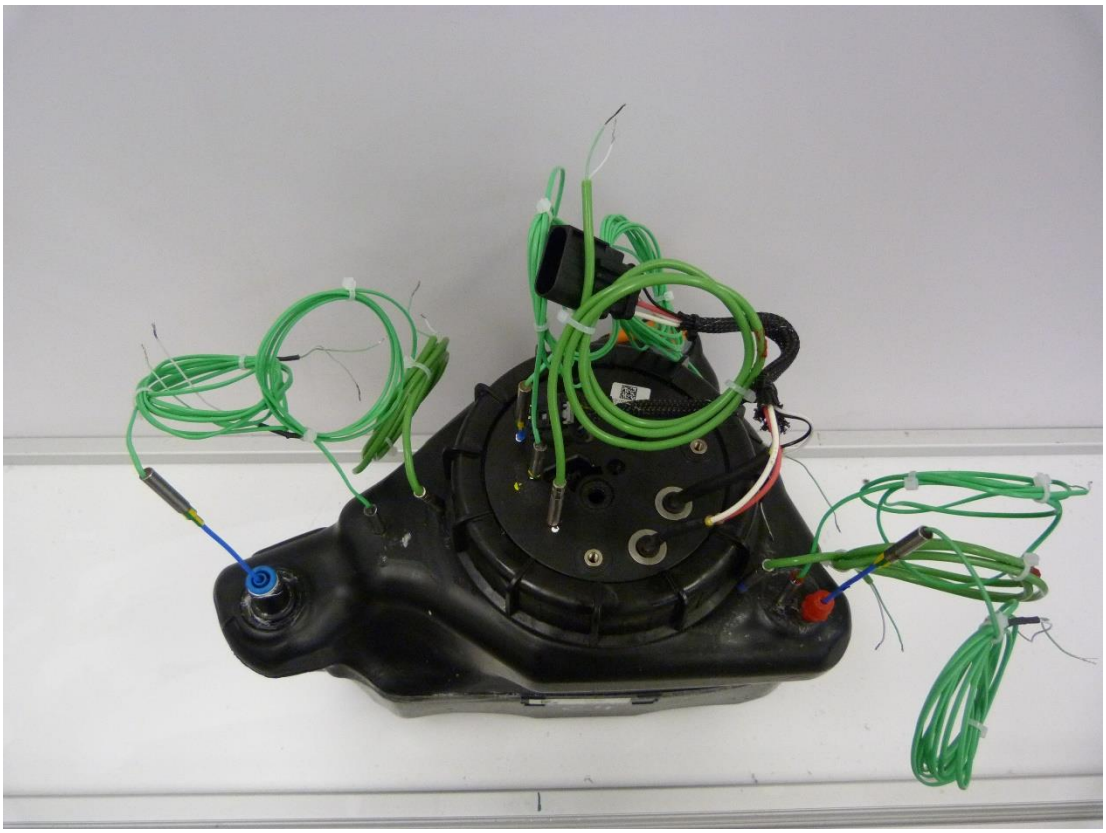


Obrázek 28. Nádrž systému DNOx generace 3.1. Zdroj: vlastní.

Do nádrže bylo nalito 4,2 l média AdBlue pokojové teploty. Následující obrázek 29 znázorňuje rozmístění teplotních čidel v tanku. Na bočním pohledu křížky jsou vyznačeny měřící konce sond. Na dalším obrázku č. 30 je uveden reálný pohled na nádrž před zkouškou.



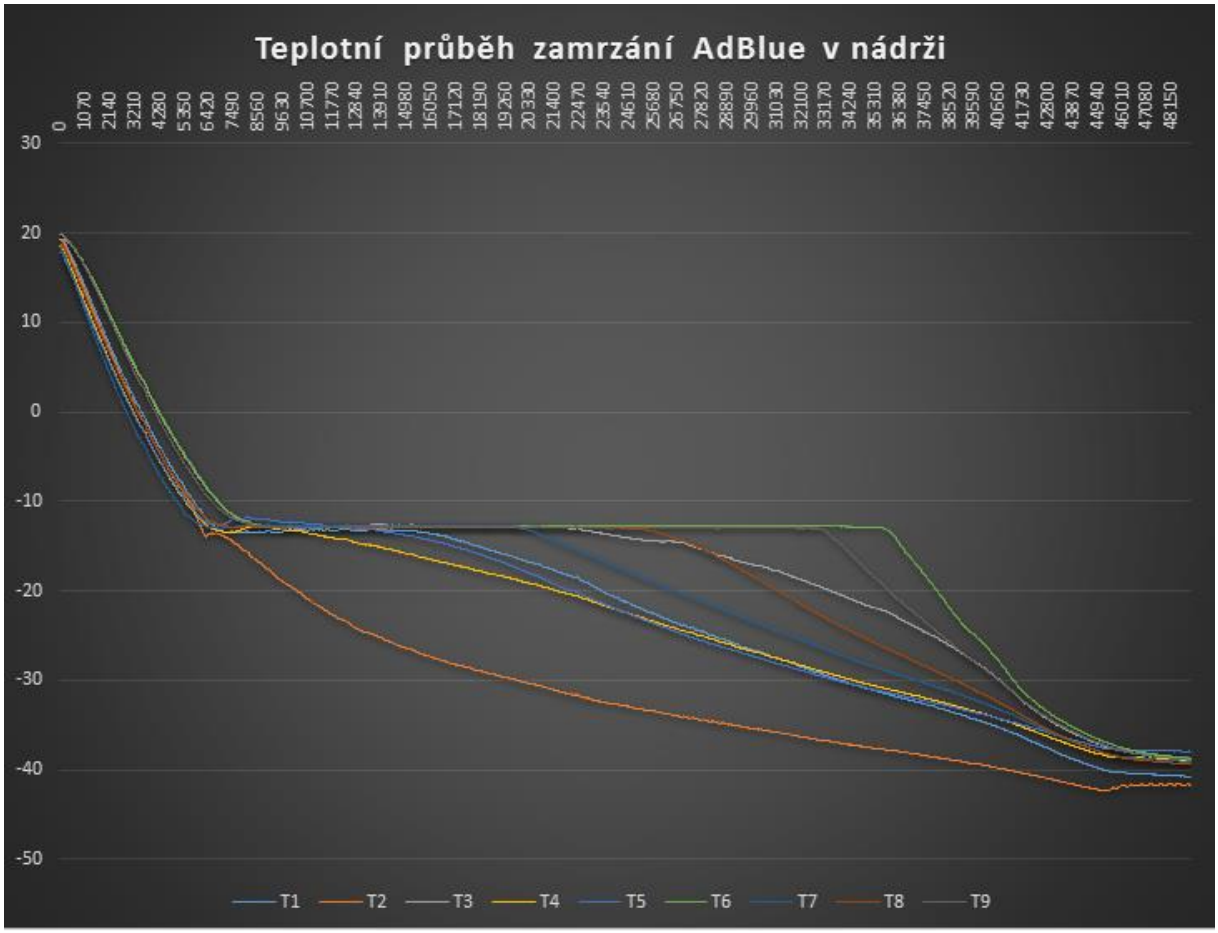
Obrázek 29. Rozmístění teplotních čidel. Zdroj: vlastní.



Obrázek 30. Příprava nádrže ke zkoušce. Zdroj: vlastní.

Hodnoty teplot byly snímané s frekvenci f = 10 Hz. Teplota v komoře do celou dobu zkoušky byla nastavená na T = - 40 °C.

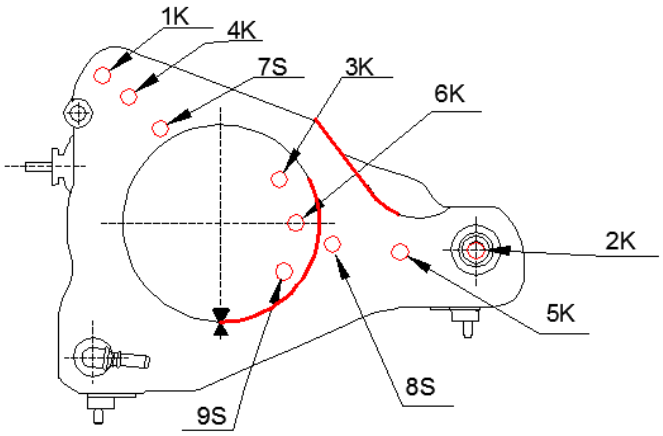
Teplotní průběh v závislosti na čase je znázorněn na obrázku 30.



Obrázek 31. Průběh teplot v nádrži za chodu zkoušky. Zdroj: vlastní.

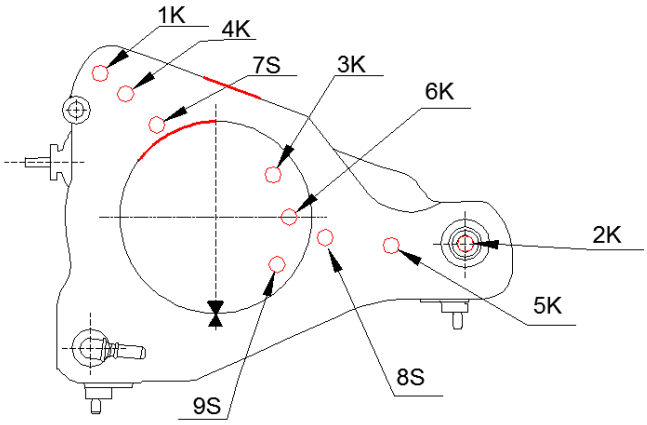
Vzhledem k určení nejvíce namáhaných oblastí tanku je pro nás nejzajímavější druhá a třetí fáze zamrzání a proto v tomto měření úmyslně nebyly sledované teploty u dna nádrže.

Jak je patrné z obrázku 30, celkový proces zamrzání se skončil v okolí teplotního čidla č. 6 (zelený průběh). Těsně před tím médium se zkrystalizovalo v okolí čidla č. 8 a pák č. 9, což znamená, že na konci měření tlakové síly na přední část hrnce (Obrázek 31) působily najednou i zevnitř i z vnější strany. Zmíněnou oblast můžeme považovat za maximálně namáhanou část nádrže.



Obrázek 32. Nejvíce namáhané oblasti nádrže. Zdroj: vlastní.

Z opačné strany hrnce médium přišel do pevné fáze ještě dříve, sonda č. 7 ukazovala teplotu pod hranici přeměny ještě před sondou č. 8. Je to nejspíše dáno tím, že vzhledem k nepravidelné geometrické formě nádrže v této její části se nacházel menší objem AdBlue. V této části tanku jako první změna skupenství proběhla vedle čidla č. 4, pák u čidla 7 a nakonec i vedle stěny nádrže v čidla 1. Proto je možný uvažovat, že na tuto stranu hrnce taky působily tlakové sily, ale jen z vnější strany. Zájmové hrány nádrže jsou vyznačeny na obrázku 33 červeně. Tím celou střední oblast hrnce můžeme považovat za nejvíce namáhanou. Významné hodnoty sil by měly být taky zaznamenány v jeho horní části v úrovni hladiny AdBlue v procesu vytvoření ledové čepice.



Obrázek 33. Namáhané oblasti v průběhu procesu tvorby pevné fáze. Zdroj: vlastní.

Krystalizace média v ostatních částech tanku proběhla již na začátku měření a není schopna výrazně ovlivnit hodnoty tlakových sil uvnitř nádrže.

Ve výsledku experimentu můžeme říct, že značné tlakové sily začínají působit v třetí fázi zamrzání, kdy se postupně uzavírají jednotlivé objemy média v tanku. Maximální tlaky by měly byt detekovány na stěnách hrnce v jeho střední a horní částech ze stran, kde je soustředěno

větší množství média, přičemž snímaní tlaků na stěnách hrnce by mělo probíhat jak z vnější strany, tak i zevnitř. Určité hodnoty tlaků by se taky měly objevit na stěnách nádrže naproti hrnci.

6. Závěr.

Problematika systému DNOx za působení nízkých teplot okolí je celkem nová, neprozkoumaná a velice zajímavá oblast. Díky svému složení médium AdBlue má řadu specifických vlastností takových, jako nehomogenita procesu tvorby pevné fáze nebo jeho závislost na tvaru tanku, které ve významné míře komplikují výzkum v této sféře. Avšak navazujícím krokem v tomto studiu by se mohlo stát modelování experimentů založených na reálných teplotních údajích. Takové metody by mohly pomoct určit hranice problematiky a navrhnout technická nebo provozní opatření pro exploataci systému.

V této bakalářské práce jsem provedla základní popis systému, jeho součástí, jich skladbu a vedlejší funkce na příkladu systému DNOx generace 3.1. Jsem teoreticky vysvětlila principy jeho fungování, na zjednodušených příkladech jsem ověřila fázový postup zamrzání použitého v systému katalyzátoru AdBlue a na konci práce jsem popsala pokus rozsáhlejšího teplotního měření a určení nejvíce tlakově namáhaných ploch nádrže. Jsem taky provedla studium teplotních změn v mírném a subarktickém pásech podle Alisovovy klasifikace podnebí na příkladu Kanadských měst Toronto, Montréal a Calgary a stanovila jsem teplotní průběhy průměrných ledových a arktických dnů v těchto městech v období 2013-2015 a určila jsem, jaké z těchto dnů a v jaké míře mohou negativně ovlivnit provoz systému. Veškeré této informace poslouží základem většího měření a jádrem mé budoucí diplomové práce.

Tento plánovaný experiment by měl být komplexním a zahrnovat vyhodnocení teplotních změn v určitých bodech uvnitř nádrže spolu se snímáním hodnot tlakových sil. Teplotní měření by mělo být provedeno obdobně, jako i měření popsána v této práci, pomocí teplotních snímačů typu chromel-alumel (typu K). U tlakového měření by mohly být použité tlakově citlivé filmy, například Fuji Prescale Film společnosti FujiFilm. Oni se umístí na stěny nádrže a při vzniku tlakových sil změní v místě dotyku svou barvu, přičemž intenzita barvy slouží měřítkem hodnot tlakových sil. Této filmy jsou vyznačené velkou citlivosti, jsou odolné vodě a pomocí určitého softwaru poskytují i 3D model tlakového pole. Na základě zkoušky popsané v kapitole 5, tlakové filmy musí být přednostně umístěny ve střední části hrnce a na stěnách nádrže naproti ním. Pro porovnání výsledků tlakových měření šíření sil v ledu by se taky vyplatilo umístit film v místech tanku, kde médium se zkrystalizuje již v průběhu první fáze zamrzání: to buď na dně nádrže nebo v rohu v blízkosti čidla č. 2.

K modelování exploataci systému v průběhu zmíněného experimentu bych plánovala využit stejné teplotní komory, jaké jsem využila k provedení měření obsažených v této práci – komory VTM 4004 společnosti Votsch Industrietechnik. Ale na rozdíl od již uskutečněných zkoušek, teplota uvnitř by se neměla zůstávat konstantní, ale měnit se podle stanovených teplotních profilu průměrných ledových a arktických dnů v prozkoumaných Kanadských městech. Toto modelování by pomohlo určit přesné měřítko problémů zapříčiněných zamrzáním média.

Věřím, že takové komplexní studium dané problematiky bude mít praktické přínosy v oblasti exploatace systému DNOx, jeho modernizace a výsledně pomůže i v budoucnu pečovat se o ekologickou situaci kdekoliv na Zeměkouli bez ohledu na technické komplikace způsobené špatnými povětrnostními podmínkami.

POUŽITÉ ZDROJE

[1] O společnosti Bosch v České Republice. *Robert Bosch spol. s.r.o. – České Budějovice* [online]. 2015 [cit. 11.3.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/menu_robert_bosch_spol_sro_ceske_budejovice/budejovice_menu_uvod.html>

[2] Engel. *Vstřikovací stroje* [online]. 2015 [cit. 10.03.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.engelglobal.com/cs/cz/reseni/vstrikovaci-stroje.html>

[3] Plastics Europe. Association of Plastics Manufacturers. *Engineering plastics* [online].2015 [cit. 1.7.2015] Dostupné z WWW: <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics.aspx>

[4] Zeman, Lubomír. *Vstřikování plastů.* Praha: BEN – Technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3, 247 s.

[5] Студопедия. *Состав и классификация пластмасс* [online]. 2015 [cit. 5.7.2015]. Dostupné z WWW: <http://studopedia.org/5-28828.html>

[6] Filipi, Bohdan. *Plasty.* Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 80-86634-13-2, 48 s.

[7] Polymer science learning centre. *Polypropylene* [online]. Copyright 2005 [cit. 5.7.2015]. Dostupné z WWW: <http://pslc.ws/macrog/pp.htm>

[8] Pecina, Pavel; Pecina, Jozef. *Materiály a technologie – plasty.* Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5, 54 s.

[9] Fibrolux. *Pryskyřice* [online]. 2015 [cit. 6.7.2015]. Dostupné z WWW: <http://fibrolux.com/cs/main/dobre-vedet/raw-materials/pryskyrice/>

[10] Bosch. *Emissions-control technology for diesel engines*. Germany, Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2005. ISBN 3-86522-081-9,133 s.

[11] Bosch. Prezentace DNOx. Interní zdroj Bosch.

[12] Emission standards – European Union. *Cars and light trucks* [online]. 2014 [cit. 19.8.2014]. Dostupné z WWW: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

[13] Honda-Club.cz. *Emise škodlivin ve výfukových plynech – podrobní popis* [online]. 15.9.2004. [cit. 3.8.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.honda-club.cz/old/view.php?id=102>

[14] Bosch. Diesel systems. *Sensors for exhaust-gas treatment systems* [online]. Robert Bosch GmbH, 2012 [cit. 8.7.2015]. Dostupné z WWW: <http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS_Sheet_0VX_Sensors_for_exhaust-gas_treatment_systems_low.pdf>

[15] Farský, Ivan; Matějček, Tomáš. *Vybrané kapitoly z fyzické geografie.* Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2008. ISBN 978-80-7044-996-7, 119 s. Amatérská meteostanice v Děčíně. *Slovníček několika základních pojmů v meteorologii* [online]. © 2011-2015 Vratislav [16] Přibil. 01. 08. 2015 [cit. 4.8.2015]. Dostupné z WWW: < http://pocasi-decin.cz/slovnicek_pojmu.php>

[17] Climate Canada. *Hourly Data Report* [online]. 2015 [cit. 6.8.2015]. Dostupné z WWW: < http://climate.weather.gc.ca/climateData/hourlydata_e.html?timeframe=1&Prov=ON&StationID=5097&hlyRange=1953-01-01|2013-06-13&Year=2013&Month=6&Day=13>

[18]Farský, Ivan; Matějček, Tomáš. *Vybrané kapitoly z fyzické geografie.* Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2008. ISBN 978-80-7044-996-7, 119 s.

[19] Wikipedie. Otevřená encyklopedie. *Mírný podnební pás* [online]. Klimatické pásy na Zemi.

17. 2. 2015 [cit. 16.8.2015]. Dostupné z WWW:

< https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADrn%C3%BD_podnebn%C3%BD_p%C3%A1s>

[20] prof. Ing. Dunovský, CSc.,IWE, Jiří. Přednášky z předmětu *„Provoz, údržba a výrova motorových vozidel“.*

[21] Rady, Daniel. *Untersuchung des Gefrierens von AdBlue und Bestimmung der Parameter.* Diplomarbeit. Stuttgart, 2009, 96 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Letecký pohled na areál RBCB.

Obrázek 2. Plně elektrický vstřikovací stroj Victory společnosti ENGEL.

Obrázek 3. Chemická struktura polyoxymetylenů.

Obrázek 4. Chemická struktura polyetylenu.

Obrázek 5. Chemická struktura polypropylenu.

Obrázek 6. Chemické struktury nejpoužívanějších polyamidů.

Obrázek 7. Chemická struktura epoxidové pryskyřice.

Obrázek 8. Emisní normy ve světě.

Obrázek 9. Skladba exhalací od naftového motoru.

Obrázek 10. Konstrukce systému DNOx.

Obrázek 11. Nádrž na AdBlue v řezu.

Obrázek 12. Prvky topení v hrnci.

Obrázek 13. Konstrukce vstřikovací jednotky.

Obrázek 14. Dodávací modul.

Obrázek 15. Vliv koncentrace močoviny ve výsledném roztoku na jeho fyzikální vlastnosti.

Obrázek 16. Umístění teplotních čidel v nádobě s AdBlue v průběhu experimentu.

Obrázek 17. Subarktický (růžově) a mírný (zeleně) klimatické pásy podle Alisovove klasifikace podnebí.

Obrázek 18. Poloha Calgary, Toronta a Montréalu vzhledem ke klimatickým pásům.

Obrázek 19. Teplotní profil 13. 12. 2013 v Torontu (Ontario) v období 2013 - 2015.

Obrázek 20. Teplotní profil průměrného ledového dnu v Torontu v období 2013-2015.

Obrázek 21. Teplotní profil průměrného arktického dne v Torontu (Ontario) v období 2013-

2015

Obrázek 22. Teplotní profil průměrného ledového dne v Calgary (Alberta) v období 2013-2015.

Obrázek 23. Teplotní profil 5. 1. 2015 v Calgary (Alberta).

Obrázek 24. Teplotní profil průměrného arktického dnu v Calgary (Alberta) v období 2013-2015.

Obrázek 25. Teplotní profil průměrného ledového dne v Montréalu (Quebek) v období 2013-2015.

Obrázek 26. Teplotní profil průměrného arktického dne v Montréalu (Quebek) v období 2013-2015.

Obrázek 27. Výsledek měření.

Obrázek 28. Nádrž systému DNOx generace 3.1.

Obrázek 29. Rozmístění teplotních čidel.

Obrázek 30. Příprava nádrže ke zkoušce.

Obrázek 31. Průběh teplot v nádrži za chodu zkoušky.

Obrázek 32. Nejvíce namáhané oblasti nádrže

Obrázek 33. Namáhané oblasti v průběhu procesu tvorby pevné fáze.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1. Obsah exhalačních produktů dovolených Evropskými normami.

Tabulka 3-1. První fáze zamrzání.

Tabulka 3-2. Druhá fáze zamrzání.

Tabulka 3-3. Třetí fáze zamrzání.

Tabulka 3-4. Počet ledových a arktických dnů v Torontu (Ontario).

Tabulka 3-5. Průměrné teploty ledových a arktických dnů v Toronto.

Tabulka 3-6. Teplotní údaje ve vybraných ledových dnech v Toronto.

Tabulka 3-7. Teplotní údaje ve vybraných arktických dnech v Toronto.

Tabulka 3-8. Počet ledových a arktických dnů v Calgary (Alberta).

Tabulka 3-9. Průměrné teploty ledových a arktických dnů v Calgary (Alberta).

Tabulka 3-10. Teploty ve vybraných ledových dnech v Calgary.

Tabulka 3-11. Teploty vybraných arktických dnů v Calgary.

Tabulka 3-12. Počet ledových a arktických dnů v Montréalu (Quebek).

Tabulka 3-13. Průměrné teploty ledových a arktických dnu v Montréalu v období 2013-2015.

Tabulka 3-14. Teploty vybraných ledových dnů v Montréalu v období 2013-2015.

Tabulka 3-15. Teploty ve vybraných arktických dnech v Montréalu v období 2013-2015.