



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Stanovení teplot vznícení hořlavých kapalin v různých  
podmínkách

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

**Autor:** Bc. Marek Sabela, DiS.

**Vedoucí práce:** Ing. Ondřej Suchý, Ph. D.

České Budějovice 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Stanovení teplot vznícení hořlavých kapalin v různých podmínkách*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 8. června 2020

.....

*podpis*

### **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Suchému Ph.D. za odborné vedení a možnost naměření všech výsledků v Technickém ústavu požární ochrany. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Karlovi a Ing. Liborovi Ševčíkovi za pomoc při měření a pomoc při zpracování této práce. Ing. Ladislavu Kardovi za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování této práce.

# **Stanovení teplot vznícení hořlavých kapalin v různých podmínkách**

## **Abstrakt**

V této diplomové práci s názvem Stanovení teplot vznícení u hořlavých kapalin v různých podmínkách jsou různými podmínkami myšleny podmínky atmosférické i specifické technologické neboli podmínky neatmosférické. Měření prokázalo, že teplota vznícení hořlavých kapalin klesá s rostoucím tlakem v měřicí nádobě. Komparace se zahraničními zdroji odhalila, že i velikost nádoby ovlivňuje hodnotu teploty vznícení. S rostoucím objemem měřicí nádoby klesá teplota vznícení.

Měření se provádí v uzavřené nádobě za izochorických podmínek. Tím je zaručeno, že nedochází k výměně vzduchu s okolím. Pro tyto účely postavil Technický ústav požární ochrany atypické zařízení, které je schopné tyto podmínky simultánně vytvořit.

Hlavním smyslem experimentů je stanovit teploty vznícení u vybraných hořlavých kapalin za proměnného počátečního tlaku a za různé koncentrace kyslíku a jejich teploty porovnat s hodnotami v dostupné literatuře. Pro porovnání byl vybrán heptan a pentan. Experimenty probíhaly za různých počátečních tlaků 100 kPa, 200 kPa, 500 kPa ve zkušební nádobě.

Kromě porovnání naměřených hodnot Technickým ústavem požární ochrany se spolupracující organizací – PTB Braunschweig, je cílem práce stanovení nejnižší koncentrace kyslíku za různých počátečních tlaků, při které již nedojde ke vznícení námi zkoušených hořlavých látek heptanu a pentanu. Z našich experimentů vyplývá, že za atmosférického tlaku v uzavřené nádobě se zkoušená hořlavá kapalina při objemovém procentu kyslíku 10 % nevznítí. Při měření za vyšších počátečních tlaků v měřicí nádobě jsme zjistili, že objemové procento kyslíku v měřicí nádobě je podstatně nižší.

## **Klíčová slova**

vysoký tlak; hořlavá kapalina; teplota vznícení; izochorické podmínky; měřicí nádoba

# **Determination of ignition temperature at flammable liquids under various conditions**

## **Abstract**

This master thesis named Determination of ignition temperature at flammable liquids under various conditions deals with atmospheric as well as specific technological, non-atmospheric, conditions. The measurements proved that the ignition temperature at liquids decreases with increasing pressure in a vessel. Based on comparison with foreign sources, it was possible to prove that even size of a vessel influences the ignition temperature. The bigger the vessel the lower the ignition temperature.

The measurements are carried out in a closed vessel under isochoric conditions. This method guarantees there is no air exchange between vessel and the surroundings. To equip such measurements the Technical Institute of Fire Protection built specific facility capable of providing necessary conditions.

The main goal of the experiments is to determine ignition temperature at selected flammable liquids under variable initial pressures and under various oxygen concentration and to compare the results with available sources in literature. Heptan and Pentan were chosen for this comparison and the experiments were carried out at various initial pressures of 100 kPa, 200 kPa, 500 kPa in a vessel.

Apart from comparison of measured values by Technical Institute of Fire Protection along with cooperating institute PTB Braunschweig, this thesis focuses on determination of the lowest oxygen concentration at various initial pressures under which no ignition of tested flammable chemicals happens. Our experiments proved that when the atmospheric pressure in a closed vessel reaches 10%, the tested flammable liquid is not ignitable. When the measures are carried out under higher initial pressures in the vessel the oxygen percentage in the vessel is significantly lower.

## **Key words**

High pressure; flammable liquid; ignition temperature; isochoric conditions; vessel

## Obsah

Úvod.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	10
1.1 Historie technického ústavu požární ochrany .....	10
1.2 Oheň .....	11
1.3 Hoření.....	11
1.4 Požár.....	12
1.5 Požárně technické charakteristiky.....	13
1.5.1 Využití PTCH v chemickém průmyslu.....	14
1.5.2 Bezpečnostní listy .....	15
1.5.3 Požárně technické charakteristiky v dopravě .....	15
1.5.4 Kemlerův kód a UN kód.....	15
1.5.5 Zjišťování příčin vzniku požárů.....	16
1.6 Hořlavé kapaliny .....	16
1.6.1 Klasifikace a označení .....	17
1.6.2 Rozdělení hořlavých kapalin .....	17
1.6.3 Heptan.....	20
1.6.4 Pentan.....	20
1.7 Stanovení požárně technických charakteristik látek .....	21
1.7.1 Chemické a fyzikální metody používané v TÚPO .....	21
1.7.2 Metody pro stanovení vznětlivosti hořlavých kapalin.....	22
1.8 Děje v ideálním a reálném plynu .....	24
1.9 Stavové a ostatní veličiny.....	24
1.9.1 Hmotnost.....	25
1.9.2 Hustota .....	26
1.9.3 Teplota .....	26

1.9.4	Tlak .....	26
1.9.5	Objem.....	26
1.9.6	Látkové množství.....	27
1.9.7	Molární hmotnost.....	27
1.10	Ideální plyn .....	27
1.11	Reálný plyn.....	28
1.12	Děje pro ideální chování plynu.....	28
1.12.1	Izochorický děj s ideálním plynem.....	30
1.12.2	Izotermický děj s ideálním plynem.....	30
1.12.3	Izobarický děj s ideálním plynem.....	31
1.12.4	Adiabatický děj s ideálním plynem .....	32
1.13	Izokratické čerpadlo IOTA S50.....	33
1.14	Zkušební zařízení TÚPO ke stanovení teploty vznícení hořlavých pevných látek a hořlavých kapalin za neatmosférických podmínek .....	33
1.14.1	Zkušební nádoba o objemu 1 dm <sup>3</sup> .....	33
1.14.2	Snímače tlaku.....	36
1.14.3	Snímače teploty.....	37
1.14.4	Plnicí panel .....	37
1.14.5	Zdroj vstupních plynů.....	38
1.15	Zkoušky hořlavých kapalin v zahraničních laboratořích.....	39
1.16	Teplota vznícení směsí hořlavých kapalin se vzduchem za zvýšených tlaků .....	40
1.17	Model pro předpovídání Teploty vznícení za použití metody modelování kvantitativních vztahů mezi strukturou a aktivitou chemických látek .....	42
2	Cíl práce, výzkumná otázka.....	43
2.1	Cíle práce .....	43
2.2	Výzkumná otázka.....	43

3	Operacionalizace pojmů použitých v cíli práce .....	44
4	Metodika .....	45
4.1	Princip stanovení teploty vznícení v autoklávu .....	45
4.1.1	Podmínky pro hodnocení zkoušky .....	50
4.2	Odzkoušení Izokratického čerpadla pro měření v přetlaku.....	55
5	Výsledky .....	57
5.1	Stanovené $T_{VZ}$ při tlaku 100 kPa.....	57
5.2	Stanovené $T_{Vz}$ při tlaku 200 kPa.....	59
5.3	Stanovené $T_{Vz}$ při tlaku 500 kPa. ....	61
5.4	Dílčí shrnutí měření heptanu .....	63
5.5	Dílčí shrnutí měření pentanu .....	64
5.6	Závislost $T_{Vz}$ na objemu zkušební nádoby .....	65
6	Diskuze .....	67
6.1	Zhodnocení měření při tlaku 100 kPa .....	68
6.2	Zhodnocení měření při tlaku 200 kPa .....	68
6.3	Zhodnocení měření při tlaku 500 kPa .....	69
6.4	Dílčí zhodnocení měření .....	69
6.5	Porovnání měření v TÚPO se zahraničními výsledky .....	70
7	Závěr .....	72
8	Seznam použitých zdrojů.....	74
9	Seznam zkratk .....	78
10	Seznam tabulek a obrázků .....	79
11	Seznam příloh .....	81



## Úvod

Rozvoj vědy a výzkumu ovlivňuje nepřetržitě všechny oblasti lidské činnosti a nevyhýbá se ani oblasti požární ochrany. Nové technologie výrobních procesů a směsi hořlavých kapalin využívaných v těžkém průmyslu mohou být potencionálním zdrojem nebezpečí, jelikož se jejich vlastnosti ve výrobním procesu mohou lišit. Pro tyto účely postavil Technický ústav požární ochrany (dále jen TÚPO) atypické zařízení, ve kterém se mohou simulovat podmínky, jakým jsou hořlavé kapaliny v technologických procesech vystavovány.

Cílem diplomové práce je stanovit teploty vznícení u vybraných hořlavých kapalin za proměnného počátečního tlaku v různém objemovém procentu kyslíku, tzn. zkoušet chování hořlavé kapaliny v technologických – neatmosférických podmínkách.

V práci jsou popsány podmínky, které se mohou v technologických procesech vyskytovat, jaké veličiny je nejvíce ovlivňují. Také se zaměřujeme na popis atypického zařízení, které umí simulovat tyto podmínky a správnou manipulaci s tímto zařízením k dosažení relevantních výsledků. Měření podléhají dvě hořlavé kapaliny, pentan a heptan, které jsou v práci popsány z dostupných literárních zdrojů a následně porovnány s výsledky naměřenými v TÚPO. Dále jsou naměřené výsledky porovnány s výsledky se spolupracující organizací – PTB Braunschweig, který se zabývá stejnou problematikou a pro tyto účely si využívá srovnatelné zařízení. Obě zařízení jsou v práci porovnávána ve všech ohledech, především v rozdílech konstrukčního řešení s jeho vlivem na výsledné teploty vznícení.

Komparací se zahraniční literaturou je dosaženo nových poznatků, odhalují se vlastnosti hořlavých kapalin v neatmosférických podmínkách. V práci jsou prezentovány zcela nové postupy a výsledky, které jsou originální svým obsahem, o čemž svědčí i výsledky této práce. Hlavní zkoumanou veličinou je závislost teploty vznícení na tlaku a současně s klesajícím objemovým procentem kyslíku. Výsledky jsou v mnoha ohledech překvapivé a mohou pomoci provozovatelům, kteří s hořlavými kapalinami pracují nejen v technologických podmínkách.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Historie technického ústavu požární ochrany

V roce 1987 byla požárně technická laboratoř (dále PTL) městské inspekce PO delimitována na hlavní správu požární ochrany (dále HSPO) MV ČR, kde byla organizačně začleněna do odboru technického rozvoje (dále OTR), a to jako nové oddělení požárně technických expertíz (dále PTE) a posuzování výrobků. PTL měla mnohaletou praktickou zkušenost zejména se zkušebními stanovováními a katalogizací PTCH (dále požárně technické charakteristiky) hořlavých látek/materiálů podle řady domácích i zahraničních zkušebních norem, dále se zkoumáním vzorků z požářišť z hlediska jejich možné příčinné souvislosti se vznikem požárů pro potřebu PTE a v neposlední řadě s aplikovaným výzkumem a vývojem v oblasti požární ochrany (MV - GŘ HZS ČR, 2018).

Předmět činnosti OTR spočíval zejména v posuzování požární techniky, věcných prostředků PO a osobních ochranných prostředků pro potřebu jejich zavedení do výzbroje/výstroje jednotek PO, laboratorním zkoušení hasiv a vybraných věcných prostředků PO, zabezpečování výzkumu a vývoje v této oblasti, posuzování příslušných zkušebních a hodnotových technických norem a technických předpisů, zajišťování vědecko-technických informací (MV - GŘ HZS ČR, 2018).

Pod názvem technický ústav hlavní správy byl převeden do řízení HSPO v r. 1989. V roce 1992 nastaly změny v organizačním řádu ústavu, a to zřízením oddělení požárně technické laboratoře s úkoly:

- stanovení PTCH a hodnocení požárního nebezpečí hořlavých látek a materiálových výrobků,
- v metodickém a odborném řízení zjišťování příčin vzniku požárů pro potřeby sboru PO.

PTL získala 30. 4. 1992 osvědčení o akreditaci zkušební laboratoře č. 1001.1. Měla akreditovány desítky zkušebních norem pro stanovení PTCH hořlavých kapalin, tuhých látek/materiálů, stavebních hmot, plošných textilních materiálů a hraček (MV - GŘ HZS ČR, 2018).

Technický ústav požární ochrany (dále TÚPO) byl zřízen rozkazem náčelníka HSPO dne 1. 1. 1993 jako zálohový útvar HSPO. TÚPO byl rozhodnutím Ministerstva spravedlnosti ze dne 30. 3. 1993 zapsán do seznamu ústavů, kvalifikovaných pro

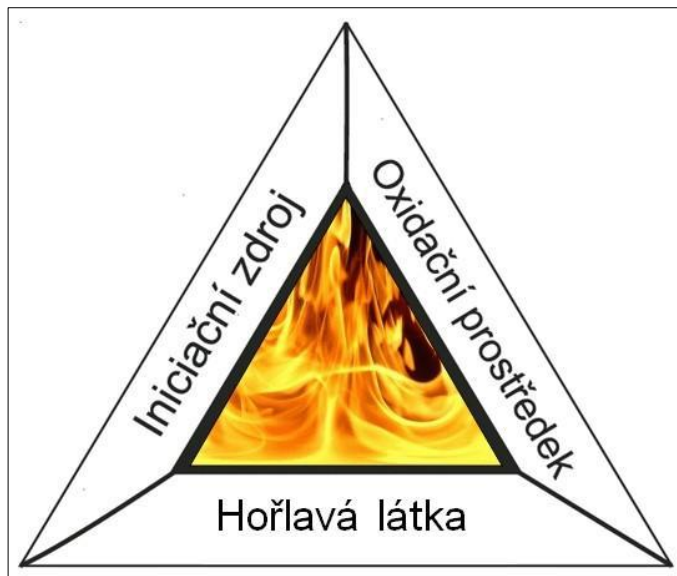
znaleckou činnost, a to konkrétně v oboru PO s rozsahem znaleckého oprávnění pro příčiny požárů, hořlavost materiálů a výrobků a technické prostředky PO. V současné době je TÚPO technickým zařízením MV – generálního ředitelství HZS ČR (MV - GŘ HZS ČR, 2018).

## **1.2 Oheň**

Oheň je časově i prostorově ohraničené hoření, které je člověkem řízeno a regulováno. Jev ohraničený a řízený se však za určitých podmínek může vymknout kontrole člověka a dále se šířit nekontrolovaně, jak v čase, tak i prostoru (Kvarčák, 2005). Kdykoliv se mluví o vynálezu, který nejvíce změnil dějiny lidstva, dříve či později někdo zmíní oheň. Schopnost rozdělat, udržovat a využívat oheň umožnila lidem pohodlnější život, dala jim světlo, aby zahnal temnou tmou noci, později jim přinesla možnost zpracovávat kovy. První ověřený důkaz toho, že lidé disponovali ohněm je datován 200 – 700 tisíc let před Kristem (Kasík, 2008).

## **1.3 Hoření**

Hořením můžeme nazývat samovolně probíhající oxidačně redukční reakci, při které hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidovadlem, a přitom uvolňuje značné množství energie ve formě světla a tepla. K tomu, aby došlo k hoření je třeba přítomnosti hořlavé látky, oxidačního činidla a zdroje zapálení, viz obr. 1. Přitom podmínkou nutnou je pouze přítomnost hořlavé látky. Existují látky, u nichž probíhá oxidace za vzniku hoření již při pokojové teplotě, čili není třeba vnějšího zdroje zapálení. Ve většině případů však bez těchto tří podmínek k hoření vůbec nedojde. Spojení prvních dvou podmínek (hořlavé látky a oxidačního činidla) se také říká hořlavý soubor (Šenovský, 2004).



Obrázek 1, Trojúhelník hoření, (Zdroj: Uhrová, 2013)

Způsoby vzniku (iniciace) hoření se rozdělují na:

- vzplanutí – vlivem přímého působení vnějšího zdroje zapálení (plamen, jiskra),
- vznícení – vlivem přímého působení vnějšího zdroje tepla,
- samovznícení – bez přímého působení vnějšího zdroje zapálení nebo zdroje tepla (Kvarčák, 2005).

V této práci je však nejdůležitější PTCH teplota vznícení, která je v ČSN 64 0149 definována jako nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde k samostatnému zapálení vzorku nebo produktů rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje projevujícího se plamenem nebo výbuchem.

#### 1.4 Požár

Požár je dle vyhlášky č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů definován jako: *“Každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy“.*

Požár je jevem nežádoucím, který ohrožuje životy, zdraví, materiální hodnoty a životní prostředí, tudíž je důležité stanovit PTCH, které pomáhají určit např. třídy

nebezpečnosti u hořlavých kapalin, zvolení správného taktického postupu při zásahu, kde se vyskytují nebezpečné látky, nebo slouží vyšetřovatelům k zjišťování příčin vzniku požáru. Neméně důležitým tématem opomíjeným v naší legislativě i u výrobců hořlavých kapalin, je stanovit PTCH v různých atmosférických podmínkách (například za sníženého obsahu kyslíku, v přetlaku), jejichž hodnoty se výrazným způsobem liší od hodnot v běžných atmosférických podmínkách a mohou negativně ovlivnit průběh požáru.

### **1.5 Požárně technické charakteristiky**

Pod pojmem PTCH, případně technicko bezpečnostní parametr, si lze obecně představit údaj nebo soubor údajů, které jsou potřebné pro stanovení preventivních opatření k ochraně života, zdraví osob a majetku. Tento pojem můžeme nalézt v českých právních předpisech, v zákonu č. 133/85 Sb., o požární ochraně a ve vyhlášce č. 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). Ovšem ani v jednom z těchto dokumentů se konkrétně nehovoří, co se za tímto pojmem skrývá (Mokroš, 2007).

Při praktickém posuzování požárního nebezpečí hořlavých látek přihlížíme k vlastnostem, které látky vykazují při některých chemicko-fyzikálních zkouškách. Kromě bodu varu, měrné hmotnosti, rozpustnosti ve vodě, které často pomáhají určit vhodný hasební prostředek, je třeba mít na zřeteli teplotu vzplanutí, teplotu hoření, teplotu vznícení, oblast výbušnosti, teplotu samovznícení, teplotu žhnutí a výhřevnost. Současně je třeba přihlídnout k tomu, zda se nejedná o látku, která je oxidačním prostředkem nebo má sklon k samovznícení. Znalost PTCH hořlavých látek je důležitá zejména pro volbu správného taktického postupu nasazení sil a prostředků. Důležitý význam přikládáme znalosti požárně technických charakteristik látek, s nimiž je nezbytné při zásahu manipulovat. Zejména se jedná o přečerpávání hořlavých kapalin. Nevhodně zvolený technický prostředek může při špatném vyhodnocení vlastností látky iniciovat požár nebo výbuch (Volf, 1999).

Možná si to ani neuvědomujeme, ale PTCH jsme obkloповáni a využíváme je víc, než si myslíme, ať už doma, v práci nebo v obchodě při nákupu obyčejné žárovky. Jejich využití má širokou škálu, např. v chemickém průmyslu při přepravě, skladování a nakládání s těmito látkami (Sabela, 2018).

Pro správnou klasifikaci nebezpečnosti vyráběných, používaných, zpracovaných nebo skladovaných látek, jejichž PTCH jsou potřebné ke stanovení preventivních

opatření k ochraně života a zdraví osob a majetku při provozovaných činnostech je rozhodující:

- jejich množství,
- způsob uložení a manipulace,
- fyzikální stav a jeho případné změny,
- tepelný režim,
- reaktivita
- způsob balení,
- objemy obalu a podobně (vyhláška č. 246/2001 Sb.)

### 1.5.1 Využití PTCH v chemickém průmyslu

Podle zákona č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon) se určují minimální koncentrace nebezpečných látek obsažených ve směsi. Při klasifikaci nebezpečnosti těchto směsí se určí kategorie nebezpečnosti látky, jako např. (vysoce toxická, toxická, žíravá atd.). Látky, které byly vyrobeny a dodávají se na trh, musí být patřičně označeny podle jejich nebezpečných vlastností. V zákoně je to definováno jako: *“Zkoušení nebezpečných vlastností látky nebo směsi se pro účely tohoto zákona provádí u látky a směsi ve stavu, v jakém se vyrábějí nebo uvádějí na trh. Osoba, která provádí zkoušení nebezpečných vlastností látky nebo směsi, je povinna při předkládání výsledků takového zkoušení písemně potvrdit, že zkoušky byly provedeny v souladu se zásadami“*.

Vlastnosti jako poškození zdraví, toxicita, výbušnost nebo látky oxidující ovlivňují nároky na budovu, v jaké budou látky s těmito vlastnostmi skladovány. Podle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů (zákon o prevenci závažných havárií) se dělí látky do skupin A a B. Tyto skupiny se liší množstvím (v tunách) skladovaných látek. Nikde se v tomto zákoně, ale ani v jiném právním dokumentu neuvádí PTCH hořlavých kapalin v neatmosférických podmínkách, jako jsou přetlak nebo snížený obsah kyslíku, které se běžně v chemickém průmyslu vyskytují. V těchto podmínkách se hořlavé kapaliny chovají zcela jinak. Teplota vznícení a koncentrace kyslíku je podstatně nižší než v podmínkách atmosférických.

### 1.5.2 Bezpečnostní listy

Bezpečnostní listy jsou zavedeným a účinným mechanismem k předávání náležitých bezpečnostních informací v dodavatelském řetězci o látkách a směsích, které splňují konkrétní kritéria klasifikace. Bezpečnostní list by měl podávat komplexní informace o látce nebo směsi, která se používá v profesionálním nebo průmyslovém prostředí. Je zdrojem informací o nebezpečnosti pro životní prostředí a zdraví a o bezpečnostních opatřeních (Fildán, 2015).

Podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, ve znění pozdějších předpisů, je definováno vlastnit bezpečnostní list pro danou látku takto: *“Bezpečnostní list se musí poskytnout pro látku nebo směs, která splňuje kritéria klasifikace jako nebezpečná na základě kritérií stanovených nařízením Classification, Labelling and Packaging - CLP“*

### 1.5.3 Požárně technické charakteristiky v přepravě

PTCH ovlivňují významným způsobem nároky na přepravu nebezpečných látek. Podle druhu přepravy se rozdělují na železniční (RID), námořní (IMDG CODE), leteckou (ICAO TI), říční (ADN) a nejrozšířenější silniční (ADR).

Přeprava nebezpečných věcí se řídí vyhláškou č. 64/1987 Sb., o Evropské dohodě o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí (ADR). Dohoda ADR vznikla v roce 1957 v Ženevě a ČSSR k ní přistoupila v roce 1987. Norma upravuje, bezpečnou přepravu nebezpečných věcí. ADR zařazuje zboží do tříd nebezpečnosti.

Podle dohody ADR jsou určovány jednotlivým nebezpečným chemickým látkám následující specifické kódy:

### 1.5.4 Kemlerův kód a UN kód

Kemlerův kód bývá nejčastěji aplikován na výstražných tabulích ve tvaru obdélníku o rozměrech 40 x 30 cm oranžové barvy, viz obr. 2., který je černě orámován a podélně rozdělen. V dolní polovině tabule je UN KÓD, který látku jednoznačně identifikuje, a v horní polovině vlastní Kemlerův kód, který je vyjadřován dvou až třímístnou kombinací čísel, která může být doplněná znakem X (Šenovský, 2004).

V případě větší intenzity nebezpečí (vysoká hořlavost) se číslice zdvojí nebo ztrojí (vysoká hořlavost – 33). Kemlerův kód musí mít alespoň dvě číslice, proto se používá 0 na doplnění do dvouciferného čísla (Kozák, 2012).

Příklady:

X336 – prudce hořlavá jedovatá látka, která nesmí přijít do styku s vodou

238 – hořlavý žíravý plyn

52 – plyn podporující hoření

30 – hořlavá kapalina



Obrázek 2, Kemlerův kód, (Zdroj: Adámek, 2010)

### 1.5.5 Zjišťování příčin vzniku požárů

Pro potřeby příslušníků, kteří se vyšetřováním příčin vzniku požáru zabývají, byla napsána terénní příručka, která slouží k rychlé orientaci na místě požáru a pomoci příslušníkovi zaujmout pevný postoj při předběžném stanovení příčiny vzniku požáru. Příručka obsahuje pouze technické informace, případně doplňující praktické poznatky, které byly v průběhu několika desetiletí získány při práci na požářištích, při PTE nebo při různých laboratorních pokusech (Kislinger, 2015).

### 1.6 Hořlavé kapaliny

Hořlavé kapaliny jsou chemické látky, nebo jejich směsi v kapalném stavu, které jsou za předvídatelných podmínek schopné hořet nebo vytvářet produkty schopné hoření. Za hořlavé kapaliny se považují chemické látky nebo jejich směsi s definovaným bodem vzplanutí, které jsou při teplotách výskytu kapalné, a lze u nich stanovit bod hoření. (ČSN 65 0201, 2006).

Nařízení CLP se vztahuje na všechny látky a směsi dodávané v EU s výjimkou například veterinárních a humánních léčiv, kosmetických prostředků, zdravotnických



prostředků, potravin nebo krmiv, včetně použití jako přídatné látky, látky určené pro aromatizaci potravin nebo jako doplňková látka do krmiv, radioaktivních látek a dalších (Trávničková, 2020).

### 1.6.1 Klasifikace a označení

Podle nařízení CLP je klasifikace přiřazení jedné nebo více kategorií nebezpečnosti pro každou příslušnou třídu nebezpečnosti a jednu nebo více standardních vět o nebezpečnosti. Pro vyjádření klasifikace doporučujeme používat kódy tříd a kategorií nebezpečnosti jak jsou uvedeny v nařízení CLP a současně příslušné standardní věty o nebezpečnosti tzv. „H“ věty, jak jsou přiřazovány pro jednotlivé kategorie a třídy nebezpečnosti. Pro přehlednost doporučujeme uvádět kódy „H“ vět hned za příslušný kód tříd a kategorii nebezpečnosti. Například: Acute Tox. 4, H302 nebo Eye Irrit. 2, H319 (Trávničková, 2020).

Označení zahrnuje to, co musí být na obale látky a přípravku nebo směsi. Podle nařízení CLP se jedná o výstražný symbol nebezpečnosti červeně orámovaný čtverec postavený na roh, signální slova, standardní věty o nebezpečnosti tzv. věty „H“, pokyny pro bezpečné zacházení tzv. věty „P“, popřípadě doplňující označení tzv. „EUH“ věty (Trávničková, 2020).

### 1.6.2 Rozdělení hořlavých kapalin

Za hořlavou kapalinu se považuje kapalina, suspenze nebo emulze, splňující při atmosférickém tlaku 101 kPa. Současně tyto podmínky:

- má při teplotě 50 °C tlak par nejvýše 300 kPa ,
- není při teplotě 20 °C a standardním tlaku 101,3 kPa zcela plynná,
- má při standardním tlaku 101,3 kPa bod tání nebo počáteční bod tání nejvýše 20 °C (CLP, 2008).

Hlavním právním předpisem v této oblasti je Nařízení CLP, ze kterého vyplývají všechny typy hořlavých látek. Podle Nařízení CLP se třídou nebezpečnosti rozumí povaha fyzikální nebezpečnosti nebo nebezpečnosti pro zdraví či životní prostředí (Trávničková, 2020).

Přehled jednotlivých tříd nebezpečnosti fyzikálně-chemických vlastností:

- Výbušniny.

- Hořlavé plyny.
- Aerosoly.
- Oxidující plyny.
- Plyny pod tlakem.
- Hořlavé kapaliny.
- Hořlavé tuhé látky.
- Samovolně se rozkládající látky a směsi.
- Samozápalné kapaliny.
- Samozápalné tuhé látky.
- Samozahřívající se látky a směsi.
- Látky a směsi, které při kontaktu s vodou uvolňují hořlavé plyny.
- Oxidující kapaliny.
- Oxidující tuhé látky.
- Organické peroxidy.
- Látky a směsi korozivní pro kovy (Nařízení CLP, 2008).

Přehled jednotlivých tříd nebezpečnosti pro zdraví a životní prostředí:

- Akutní toxicita.
- Žíravost / dráždivost pro kůži.
- Vážné poškození očí / podráždění očí.
- Senzibilizace kůže nebo dýchacích cest.
- Mutagenita v zárodečných buňkách.
- Karcinogenita.
- Toxicita pro reprodukci.
- Specifická toxicita pro cílové orgány - jednorázová expozice.
- Specifická toxicita pro cílové orgány - opakovaná expozice.
- Nebezpečnost při vdechnutí.
- Nebezpečnost pro vodní prostředí.
- Nebezpečnost pro ozónovou vrstvu (Nařízení CLP, 2008).

Podle Nařízení Evropského parlamentu CLP se kapaliny rozdělují do tří kategorií, které vyjadřující míru nebezpečí podle velikosti teploty vzplanutí a teploty varu:

- Kategorie 1 - teplota vzplanutí  $< 23\text{ °C}$  a počáteční teplota varu  $\leq 35\text{ °C}$ .

- Kategorie 2 – teplota vzplanutí < 23 °C a počáteční teplota varu > 35 °C.
- Kategorie 3 – teplota vzplanutí ≥ 23 °C a počáteční teplota varu ≤ 60 °C.

Pro stavební účely se hořlavé kapaliny podle ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci rozdělují dle teploty vzplanutí do čtyř tříd nebezpečnosti:

- I. třída nebezpečnosti teplota vzplanutí do 21 °C,
- II. třída nebezpečnosti nad 21 °C do 55 °C,
- III. třída nebezpečnosti nad 55 °C do 100 °C,
- IV. třída nebezpečnosti nad 100 °C (ČSN 65 0201, 2003).

Stanovení teploty vzplanutí a zařazení hořlavé kapaliny do příslušné třídy nebezpečnosti zajišťuje obvykle výrobce. U dovážených hořlavých kapalin zajišťuje zařazení do příslušné třídy nebezpečnosti obvykle dovozce (Šenovský, 2004).

Třídy nebezpečnosti se stanovují hlavně z důvodu těkavosti hořlavých kapalin, při nichž se nad kapalinou tvoří velmi hořlavé a se vzduchem výbušné páry. Nutno dodat, že ke vzplanutí těchto par je potřeba přiblížení otevřeného plamene. Pokud u hořlavé kapaliny nebyla stanovená teplota vzplanutí, hořlavá kapalina se automaticky zařadí do I. třídy nebezpečnosti (Sabela, 2018).

Většina klasifikačních norem a doporučených postupů nezahrnuje seznam požárně technických charakteristik hořlavých materiálů a musí uvádět odkazy na publikace, kde je možné potřebné údaje získat. Jednou výjimkou je kanadská norma NFPA 497, která je určena pro klasifikaci hořlavých kapalin, plynů nebo par a nebezpečných míst pro elektrická zařízení v oblastech chemických procesů (Suchý a kol, 2015).

Norma NFPA 497 poskytuje úplný seznam chemických vlastností včetně NFPA klasifikace hořlavých materiálů, bodu vzplanutí, teploty samovznícení, tlaku par, hustoty, maximální experimentální bezpečnostní spára a poměru minimálního zapalovacího proudu běžně vyskytujících se hořlavých materiálů používaných v zařízeních chemických procesů. Seznam, i když ne vyčerpávající, zahrnuje většinu hořlavých materiálů běžně se vyskytujících ve výrobních, dopravních a rafinérských zařízeních (Suchý a kol, 2015).

### 1.6.3 Heptan

Heptan je těkavá organická sloučenina, která patří do skupiny alkanů s jednoduchým řetězcem se sedmi atomy uhlíku. Byl objeven v borovici Jeffrey. Jeho sumárním vzorec je  $C_7H_{16}$ . Je zástupce nepolárních rozpouštědel a rostlinného metabolitu (Pubchem, 2020).

Je lehce zápalná bezbarvá kapalina, skoro bez zápachu. Kapalina se velmi rychle odpařuje. Páry se velmi snadno zapalují na horkých plochách, jiskrou nebo otevřeným plamenem, jsou těžší než vzduch a se vzduchem tvoří výbušné směsi. Kapalina se nemísí s vodou, plave na hladině. (Anon, 1980).

Používá se jako čisticí prostředek v průmyslu a rozpouštědlo silikonu. Pro tuto práci a její účely jsou důležité dvě základní PTCH, když pomineme samotnou teplotu vznícení. První je molární hmotnost značená ( $n$ ), kterou potřebujeme, k výpočtům viz kapitola 4. metodika. Druhá PTCH je rozmezí bodu varu, která je  $96,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $98,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tento údaj je důležitý ze dvou důvodů. Pro měření v autoklávu, abychom si představili, že po nástřiku do měřicí nádoby, která má teplotu okolo  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  se kapalina okamžitě přemění na plyn a navyšuje tlak v měřicí nádobě. Druhým důvodem je znalost, jak s hořlavou kapalinou zacházet v horkých dnech a uvědomovat si při měření rizika, která jsou s ní spojená obzvláště v nevětrané neklimatizované místnosti.

### 1.6.4 Pentan

Pentan je těkavá organická sloučenina, která patří do skupiny alkanů s jednoduchým řetězcem s pěti atomy uhlíku. Je to nepolární rozpouštědlo a chladivo (Pubchem, 2020).

Jeho sumární vzorec je  $C_5H_{12}$ . Tento alkan je součástí některých paliv a je používán jako speciální rozpouštědlo v laboratořích. Jeho vlastnosti jsou velmi podobné butanu a hexanu. Existuje ve třech strukturních izomerech, rozvětvené izomery se nazývají isopentan a neopentan. Tyto rozvětvené izomery jsou stabilnější (dbpedia, 2020).

Stejně jako u heptanu i pro pentan platí, že pro účely této práce jsou důležité dvě základní PTCH mimo teploty vznícení. První je molární hmotnost, kterou potřebujeme k výpočtům, viz kapitola 4. metodika. Druhá PTCH je rozmezí bodu varu, která je  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . S touto PTCH je nutno obzvláště počítat především v létě. Jelikož se ve velké míře odpařuje i při pokojové teplotě, můžou páry této kapaliny negativním způsobem ovlivnit zdraví uživatelů, kteří s ním pracují ve velkém horku a neberou v potaz tyto PTCH.

## **1.7 Stanovení požárně technických charakteristik látek**

PTCH nejsou až na výjimky fyzikální konstanty, nýbrž konvenční veličiny. Rozsah zkoušek je nutné stanovit v úzké spolupráci mezi zkušební laboratoří a uživatelem, aby mohly být co nejpřesněji stanoveny tyto parametry. A v návaznosti na tyto výsledky byl co nejlépe vyřešen cíl zkoušek – návrh vhodných ochranných opatření proti vzniku požáru a výbuchu, respektive proti jejich účinkům.

Hodnoty z různých literárních pramenů pro určitou látku a určitou charakteristickou hodnotu často téměř souhlasí. Rozdíly mohou být podmíněny stupněm čistoty zkoušených látek, rozdílností zkušebních metod a přesností zkušebních metod. Nečistoty v látkách mají velký vliv na řadu PTCH, například mohou nízkovroucí nečistoty ve směsi látek snížit bod vzplanutí a také dolní mez výbušnosti par nad kapalinou. Stanovování PTCH není globálně dosud sjednoceno. V jednotlivých zemích platí většinou různé normové metody. Rozdíly těchto metod mohou být nevýznamné a mohou mít jen malý účinek na zjištěné hodnoty (Steinleitner, 1990).

### **1.7.1 Chemické a fyzikální metody používané v TÚPO**

PTE v oboru zjišťování příčin vzniku požáru je vlastně velmi sofistikovaná analýza veškerých dostupných informací souvisejících s daným požárem. Vyhodnocením veškerých informací a poznatků lze potvrdit jednu z možných verzí příčin vzniku požáru a často i vysvětlit jeho průběh a šíření. Kromě informací z místa požáru, fotodokumentace, technické dokumentace, informací získaných ve spolupráci s Policií ČR a ostatními subjekty, je třeba znát fakta o látkách a materiálech nacházejících se v ohnisku a jeho blízkosti z hlediska chemického složení, přítomnosti hořlavých látek a PTCH jako je hořlavost, možnost vznícení, vzplanutí, samovznícení aj. K získání těchto údajů slouží řada chemických a fyzikálních metod, které je možné aplikovat u odebraných vzorků z požářiště (Charvátová a kol., 2015).

Chemicko-fyzikální metody nejčastěji využívané k provádění PTE v TÚPO můžeme rozdělit na čtyři skupiny:

1. Metody zjištění látkové podstaty
2. Chemické metody plynové chromatografie
3. Metody přímého stanovení PTCH vzorků
4. Metody zjištění sklonu látek k samovznícení (Charvátová a kol., 2015).

### 1.7.2 Metody pro stanovení vznětlivosti hořlavých kapalin

Slouží především k zařazení hořlavých kapalin do tříd nebezpečnosti. U neznámých vzorků kapalin z požárů nám umožňují zjistit vlastnosti a tedy i pravděpodobné chování vzorku hořlavé kapaliny v souvislosti s požárem (Charvátová a kol., 2015).

Metody se dají rozdělit do dvou skupin a to v uzavřeném a otevřeném kelímku.

#### *Metoda v otevřeném kelímku*

Norma ČSN EN ISO 2592 slouží ke stanovení teploty vzplanutí a hoření v otevřeném kelímku podle Clevelanda. Vzorek, kterému je stanovována teplota vzplanutí, je zahříván konstantní rychlostí. Vzniklé páry se zapalují zkušebním plamenem. Metoda je vhodná pro hořlavé kapaliny s bodem vzplanutí v otevřeném kelímku nad 79 °C

Německá norma DIN 51794 zkoušení minerálních olejových uhlovodíků pro stanovení teploty zapalování popisuje stanovení teploty vznícení v 200 ml Erlenmayerově baňce s úzkým hrdlem z borokřemičitého skla. Baňka je umístěna v elektrické horkovzdušné píci. Teplota je snímána jedním vnějším termočlánkem o průměru 0,5 mm. Teplotní intervaly jsou 5 K, resp. 2 K. Dávkování je prováděno pomocí injekční stříkačky. Vznícení je pozorováno při vzniku viditelného plamene. Doba čekání na vznícení je 5 minut. Teplota vznícení je nejnižší teplota, způsobující vznícení změnou velikosti zkušební dávky po zaokrouhlení na 5 K dolů.

#### *Metody v uzavřeném kelímku se dělí podle*

Norma ČSN EN ISO 3679, se bod vzplanutí stanovuje v uzavřeném kelímku rychlou rovnovážnou metodou. Při této zkušební metodě je zkoušená hořlavina dávkována v malém množství již do předem zahřátého nebo ochlazeného kelímku. Po dosažení rovnováhy je aplikován zdroj zapálení. Tato metoda je vhodná pro hořlavé kapaliny s předpokládaným bodem vzplanutí od -30 °C do +300 °C

ČSN EN ISO 2719, rovněž slouží ke stanovení teploty vzplanutí v uzavřeném kelímku. Zkušebním zařízením je přístroj podle Penskyho-Martense. Při této zkušební metodě se zkoušený vzorek zahřívá konstantní rychlostí za rovnoměrného míchání a pomocí zapalovacího zařízení se zkouší jeho vzplanutí. Metoda je vhodná pro hořlavé kapaliny s předpokládaným bodem vzplanutí nad 40 °C.

ČSN EN 57 stanovujeme teplotu vzplanutí v uzavřeném kelímku. Zkušebním zařízením je přístroj podle Abela-Penskyho. Kelímek naplněný zkušebním vzorkem je ohříván konstantní rychlostí ve vodní nebo glycerinové lázni se vzduchovou mezerou

mezi vodní lázní a kelímkem. Uvolněné páry se zapalují hořáčkem, který je umístěný na víčku kelímku. Metoda je vhodná pro hořlavé kapaliny s předpokládaným bodem vzplanutí od +5 °C do +65 °C.

ČSN EN ISO 1523, slouží ke stanovení teploty vzplanutí v uzavřeném kelímku rovnovážnou metodou. Princip toho měření spočívá v dávkování malého množství zkoušené hořlavé kapaliny do předem zahřátého nebo ochlazeného kelímku. Po dosažení rovnováhy je aplikován zdroj zapálení. Je vhodná pro hořlavé kapaliny s bodem vzplanutí od - 30 °C do +110 °C.

ČSN EN ISO 13736, slouží ke stanovení teploty vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Abela. Zkušební vzorek se zahřívá konstantní rychlostí za stálého míchání. V pravidelných intervalech se provádí sklápění zdroje zapálení přes víčko zkušební nádoby. Tato metoda je vhodná pro hořlavé kapaliny s bodem vzplanutí od -30 °C do +75 °C.

Pro stanovení teploty vznícení hořlavých plynů a par se používá přístroj dle normy ČSN EN 14522. Přístroj je používán pro dva postupy, a to jednak pro metodu S, kdy teplota vznícení je experimentálně přímo stanovena a pro metodu P, kdy se teplota vznícení stanoví z experimentálních dat proložením paraboly. Tato teplota se posléze ověřuje experimentálně. Jedná se o přístroj s automatickou regulací ohřevu, resp. chlazením. Z přístroje jsou vyvedeny 3 termočlánky typu K, které slouží ke snímání teplot ve třech bodech 200 ml zkušební Erlenmayerovy baňky. Tyto termočlánky jsou dále spojeny s přenosným PC. Teplotu vznícení lze stanovovat až do 600 °C. Přístroj je dále vybaven automatickým dávkovačem hořlavých látek a detektorem, který zaznamenává vznícení.

Americká norma ASTM E659-14 Standardní zkušební metoda pro samovznícení kapalných chemikálií, popisuje stanovení teploty vznícení v 500 ml kulové baňce z borokřemičitého skla, která je umístěná v elektrické pídce. Teplota je snímána pomocí 3 vnějších termočlánků a 1 vnitřního termočlánku. Dávkování se provádí pomocí injekční stříkačky. Vznícení je pozorováno vizuálně. Studený plamen je indikován pomocí termočlánku uvnitř baňky. Doba čekání na vznícení je 10 minut. Teplota vznícení je nejnižší teplota, která způsobí vznícení změnou velikostí zkušebních dávek.

Mezinárodní elektrotechnický výbor vydal normu IEC 60079-4 pro elektrické vybavení pro atmosféru výbušného plynu metodu zkoušky pro teplotu zapalování, kterou popisuje stanovení teploty vznícení v 200 ml Erlenmayerově baňce s úzkým hrdlem

z borokřemičitého skla, která je umístěná v horkovzdušné peci. Baňka se zahřívá na požadovanou teplotu, při které se kapalný nebo plynný vzorek vstříkne do baňky. Teplota je snímána 1 vnějším termočlánkem o průměru 0,8 mm. Není-li plamen zpozorován v průběhu 5 minut, zkouška se opakuje, až do doby dokud se nevznítí.

### **1.8 Děje v ideálním a reálném plynu**

Na průběhu mnoha reakcí v těžkém průmyslu se podílejí plyny. Fyzikální stav plynu je jednoznačně určen stavovými veličinami, teplotou, tlakem, objemem a látkovým množstvím. Studium plynného stavu vedlo k zavedení pojmu ideální plyn (Myslivec, 1971).

V reálných systémech, což jsou všechny, které nás obklopují včetně nás samých, na sebe vzájemně působí částice těchto systémů mezimolekulárními silami. Částicemi jsou myšleny atomy a molekuly. Tyto síly lze rozdělit na síly přitažlivé, které způsobují např. kondenzaci par a síly odpuzivé, které nedovolují snížit objem systému pod určitou hodnotu. Soustava částic, mezi kterými nepůsobí žádné mezimolekulární síly, je hypotetický systém, který budeme nazývat ideální plyn (Novák a kol, 2008).

Uplatnění modelu ideálního plynu lze například v metalurgii, protože řada procesů probíhá za relativně nízkých tlaků a za vysokých teplot. Při nízkém tlaku lze zanedbat vlastní objem molekul proti jejich vzdálenostem, při vysoké teplotě lze zanedbat mezimolekulární síly, protože kinetická energie pohybujících se molekul výrazně převyšuje energii mezimolekulárního působení. Metalurgie pracuje s roztoky roztavených kovů. Koncentrace jednotlivých látek v roztoku se projevuje parciálním tlakem par uvažované látky (Myslivec, 1971).

Parciální tlak je tlak určitého plynu nad roztokem. V případě jednosložkové dvoufázové soustavy tvořené čistou látkou a její parou je parciální tlak složky nad roztokem současně roven celkovému tlaku. V případě, že nad roztokem bude směs plynů, lze celkový tlak vyjádřit součtem parciálních, nebo také vlastních tlaků jednotlivých plynů směsi (Myslivec, 1971).

### **1.9 Stavové a ostatní veličiny**

Libovolný systém lze v každém okamžiku charakterizovat určitým počtem intenzivních veličin. Tyto veličiny definují stav daného systému. Přitom je nutno brát do úvahy stupeň obecnosti, na němž systém pozorujeme. Z mikroskopického pohledu je stav



systemu definován polohami a rychlostmi všech jeho částic, kdežto z makroskopického hlediska stačí znát jen několik veličin, například teplotu, tlak a složení. Jejich počet musí být ovšem tak velký, abychom takový systém dokázali vždy reprodukovat realizovat. Velikost systému není prostřednictvím intenzivních proměnných určena. Pro specifikaci velikosti systému musíme zadat extenzivní proměnné. V případě homogenního systému postačí znalost jediné extenzivní proměnné, např. celkového látkového množství, objemu či energie systému, nebo i látkového množství jedné ze složek v případě, že známe molární zlomky složek (Novák a kol, 2008).

Stav termodynamické rovnováhy je stav, při kterém v systému neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny veličiny mají časově stálé hodnoty. Stav termodynamické rovnováhy zahrnuje tyto dílčí rovnováhy:

- a) Mechanická rovnováha – označována také jako tlaková rovnováha. To znamená, že ve všech částech systému je stejný tlak,
- b) Tepelná rovnováha – označována také jako teplotní rovnováha. To znamená, že všechny části systému mají stejnou teplotu,
- c) Koncentrační rovnováha – rovnováha, kde jsou ve všech částech každé fáze systému stejné koncentrace složek, složení různých fází se však zpravidla liší,
- d) Fázová rovnováha – pokud je systém heterogenní, jsou jeho fáze v rovnováze,
- e) Chemická rovnováha – nedochází ke změnám složení vlivem chemických reakcí (Novák a kol, 2008).

Mezi veličiny využívané pro dosažení výsledku v této práci jsou zařazeny: hmotnost, hustota, teplota, tlak, objem, molární hmotnost a látkové množství částic v soustavě. Naproti tomu stavové veličiny, které jsou jen teplota, tlak, objem a látkové množství, mají takovou zvláštní a pro nás důležitou vlastnost, a to, že jsou závislé pouze na počátečním a konečném stavu soustavy, nikoli však na cestě, kterou soustava prošla. Stavovou změnou pak může být prakticky jakýkoliv děj, při němž se změní stavová veličina (Bojkovský, 2009).

### 1.9.1 Hmotnost

Hmotnost ( $m$ ) je definována jako veličina vyjadřující míru setrvačných a gravitačních účinků dvou vzájemně na sebe působících těles (Šupík, 2010).

Základní jednotkou hmotnosti je 1 kg. Kilogram je hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu v Ústavu pro míry a váhy v Sévres u Paříže. Dále se používají tyto jednotky:  $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g} = 10^6 \text{ mg} = 10^9 \mu\text{g}$  (Novák a kol, 2008).

### 1.9.2 Hustota

Převrácená hodnota měrného objemu se nazývá měrná neboli specifická hustota a označuje se ( $\rho$ ). Podobně převrácená hodnota molárního objemu je hustota látkového množství ( $\rho_m$ ). Někdy je také nazývána molární hustotou, tento název je však chybný, neboť molární veličiny jsou vztaženy na 1 mol, zatímco hustota látkového množství je látkové množství v objemové jednotce. Pro měrnou hustotu je nejčastěji používána jednotka  $1 \text{ kg m}^{-3}$ , pro hustotu látkového množství se používá jednotka  $1 \text{ mol m}^{-3}$  (Novák a kol., 2008).

### 1.9.3 Teplota

Teplota je základní fyzikální veličina, která charakterizuje stav termodynamické soustavy. Nejčastěji jsou používány dvě teploty, a to termodynamická neboli absolutní teplota, která je označována ( $T$ ) a jednotkou je Kelvin [K], a Celsiova teplota označována ( $t$ ), která se udává ve stupních Celsia [ $^{\circ}\text{C}$ ] (Prušák, 2012).

Kelvin je definován jako 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu vody  $0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Celsiův stupeň je definován jako jedna setina rozdílu teploty varu vody  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a teploty tuhnutí vody  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , při tlaku  $101325 \text{ Pa}$ . Svou velikostí je Kelvinův stupeň roven Celsiovu (Prušák, 2012).

### 1.9.4 Tlak

Jeden pascal je tlak ( $p$ ), který vznikne při působení síly  $1 \text{ N}$  na plochu  $1 \text{ m}^2$ . Hlavní jednotkou je Pascal [Pa]. Tato hlavní jednotka je však velmi malá, a proto se používají větší jednotky jako kPa, MPa či GPa ( $1 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ kPa} = 10^{-6} \text{ MPa} = 10^{-9} \text{ GPa}$ ). Ve starší literatuře se můžeme setkat ještě s následujícími jednotkami: bar ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ), fyzikální atmosféra ( $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ ), technická atmosféra ( $1 \text{ at} = 1 \text{ kp cm}^{-2} = 98066,5 \text{ Pa}$ ), Torr ( $1 \text{ Torr} = 133,322 \text{ Pa}$ ,  $760 \text{ Torr} = 101325 \text{ Pa}$ ) (Novák a kol, 2008).

### 1.9.5 Objem

Hlavní jednotkou objemu ( $V$ ) je  $1 \text{ m}^3$ . Vedle této jednotky se v chemii používají menší jednotky a to  $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ liter}$ ,  $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml}$  apod. Molární objem značený ( $V_m$ ) - je objem 1 molu látky. Objem 1 molu ideálního plynu při  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $101,325 \text{ kPa}$  za normálních

podmínek je  $22,414 \text{ dm}^3$ , tj.  $V_m = 22,414 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ . Měrný nebo také specifický objem  $V$  je objem vztažený na určitou hmotnost 1 kg, 1 g apod. (Novák a kol., 2008).

### 1.9.6 Látkové množství

Základní jednotkou je 1 mol. Mol je látkové množství ( $n$ ), které obsahuje tolik elementárních jednotek atomů, molekul, nebo jiných částic, kolik je uhlíkových atomů v 12 g uhlíku  $^{12}\text{C}$ . Podle současných znalostí je v tomto množství uhlíku  $N_A = (6,022 1415 \pm 0,000 0010) \cdot 10^{23}$  atomů. Tuto hodnotu nazýváme Avogadrovou konstantou. Dále se používá jednotka 1000 krát větší, tj. kmol, a jednotky 1000 krát a  $10^6$  krát menší, tj. mmol a  $\mu\text{mol}$ ,  $1 \text{ mol} = 10^{-3} \text{ kmol} = 10^3 \text{ mmol} = 10^6 \mu\text{mol}$ . Při udávání látkového množství nestačí pouhá číselná hodnota, ale je nutno specifikovat částice, k nimž se uvedené látkové množství vztahuje. (Novák a kol., 2008).

### 1.9.7 Molární hmotnost

Hlavní jednotka je  $1 \text{ kg mol}^{-1}$ . Molární hmotnost ( $M$ ) je odvozená veličina, která udává hmotnost látky nebo směsi obsahující 1 mol molekul, tj. tolik molekul, kolik udává Avogadrova konstanta. Vzhledem k nesymetrické volbě základních jednotek pro hmotnost kg a látkové množství (12 g izotopu  $^{12}\text{C}$ ), je molární hmotnost v základních jednotkách SI soustavy 1000 krát menší než ta, kterou obvykle v příručkách najdeme.

V plynárenství se hmotnost, resp. látkové množství udává často pomocí objemu plynu. Pod označením  $1 \text{ Nm}^3$  - normální kubický metr, se rozumí takové látkové množství plynu, které by při určité teplotě  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  nebo  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a obvykle tlaku  $101,325 \text{ kPa}$  tzv. normální podmínky, za předpokladu ideálního chování podle stavové rovnice ideálního plynu (7) zaujímalo objem  $1 \text{ m}^3$ . Za těchto okolností při teplotě  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , platí pro hmotnost  $1 \text{ Nm}^3$  ideálního plynu, kde  $n_1 = 44,61590 \text{ mol}$  je látkové množství obsažené v  $1 \text{ Nm}^3$  (Novák a kol., 2008).

### 1.10 Ideální plyn

Ideální plyn lze definovat jako soustavu částic se zanedbatelným vlastním objemem, které na sebe silově nepůsobí. Ideální plyn je tedy modelem plynu, který se v přírodě nevyskytuje. Chování reálných plynů se však může za jistých podmínek ideálnímu plynu přiblížit. Abychom mohli zanedbat vzájemné působení částic reálného plynu, musí být tyto od sebe značně vzdáleny. Tomuto stavu odpovídá řídký plyn, tzn. plyn s malým počtem částic v objemové jednotce. Poněvadž tlak je dán počtem nárazů částic na

jednotkovou plochu stěny ohraničující systém, bude za tohoto stavu tlak systému malý. Čím menší bude tlak, tím lépe budou splněny podmínky definice ideálního plynu. Experimentální pozorování skutečně ukazují, že stavové chování reálných plynů se při nízkých tlacích blíží chování plynu ideálního (Novák a kol, 2008).

### **1.11 Reálný plyn**

Jak již bylo výše uvedeno, reálné plyny se liší od plynu ideálního tím, že jejich molekuly na sebe působí mezimolekulárními silami, a to silami přitažlivými, působícími na větší vzdálenosti, a silami odpudivými, které působí na kratší vzdálenosti. Molekuly se odpuzují, pokud se vzájemně přiblíží na tak malou vzdálenost, kdy se již „dotýkají“ jejich elektronové obaly. Prvním, komu se podařilo vliv těchto sil na stavové chování vystihnout kvalitativně a do značné míry i kvantitativně, byl ve druhé polovině 19. století van der Waals. Vyšel ze stavové rovnice ideálního plynu (7), do které zavedl dvě korekce. První z nich je vystižení vlivu odpudivých sil pomocí vlastního objemu molekul. Prostor příslušející jednomu molu plynu je zmenšen o tzv. vyloučený objem, který je úměrný vlastnímu objemu. Dostupný objem v prostoru, který zaujímá jeden mol plynu (Novák a kol, 2008).

Druhou korekcí je vystižení vlivu přitažlivých sil a týká se tlaku. Tlak je vyvolán nárazy molekul na stěny systému. V důsledku přitažlivých sil je tlak, který naměříme na stěně systému, nižší než v případě ideálního plynu, neboť molekuly u stěny jsou vtahovány molekulami uvnitř systému prostřednictvím přitažlivých sil směrem od stěny do systému a hybnost předaná stěně systému, tj. tlakovému měřidlu je menší (Novák a kol, 2008).

### **1.12 Děje pro ideální chování plynu**

Jestliže se systém ve stavu termodynamické rovnováhy nachází ve vnějším silovém poli, například gravitačním, není tlak ve všech částech systému stejný, ale mění se. Tento stav znají dobře potápěči, kde s rostoucí hloubkou ponoru spojitě narůstá tlak. Totéž platí pro koncentrace složek. Existují otevřené systémy, například průtočný chemický reaktor, u nichž vlastnosti v daném místě nezávisí na čase, i když systém není v rovnováze. V takovém případě mluvíme o stacionárním procesu nebo o systému s ustáleným tokem. Jestliže se vlastnosti systému v závislosti na čase mění, tj. dochází-li ke změně alespoň jedné veličiny, říkáme, že v systému probíhá určitý děj.

Přítom pod pojmem děj rozumíme velmi širokou škálu nejrůznějších procesů od jednoduchých fyzikálních změn, jako je například zahřívání, přes chemické reakce až po složité mnohastupňové procesy. Jednotlivé děje můžeme rozdělovat opět podle různých kritérií (Novák a kol, 2008).

Průběh libovolného děje závisí na podmínkách, při kterých sledovaný děj probíhá. Děj, který může probíhat v obou směrech mezi dvěma různými stavy soustavy, přičemž soustava přejde při obráceném ději postupně všemi stavy jako při přímém ději, ale v obráceném pořadí, a okolí soustavy se přitom vrátí do původního stavu, se nazývá vratný nebo také rovnovážný děj (Kopečný, 2005).

Děje v reálném světě však zpravidla probíhají tak, že alespoň na počátku je systém výrazně mimo rovnováhu, tyto děje pak nazýváme nevratnými nebo též nerovnovážnými. Děj probíhá samovolně a jeho směr nelze obrátit malou změnou vnějších podmínek, děj je sledem nerovnovážných stavů. Rovnovážný děj je pak vlastně limitní případ nerovnovážného děje pro nekonečně malou hnací sílu děje (např. rozdíl tlaků). Typickými nevratnými ději jsou směšování plynů, expanze plynu do vakua nebo průběh chemických reakcí (Novák a kol, 2008).

Naopak téměř vratně můžeme vypařit vodu za normálního tlaku při 100 °C. Většinu experimentů se snažíme uspořádat tak, aby během celého děje jedna nebo více termodynamických veličin zůstávala konstantní.

Kruhovým nebo také cyklickým dějem, nazýváme takový děj, při kterém je konečný stav systému totožný s výchozím, tj. systém se po proběhnutí děje nebo sledu dějů vrátí zpět do výchozího stavu. Změny termodynamických veličin jsou při kruhovém ději nulové. Vyměněné teplo a práce však nemusí po proběhnutí kruhového děje být nulové. Tím se teplo a práce liší od stavových funkcí (Novák a kol, 2008).

Při tepelných dějích se mění hodnoty stavových veličin. Teplotu lze určit z hodnot tlaku a objemu (ITnetwork, 2020).

Termodynamický stav soustavy je určen souborem hodnot stavových veličin. Termodynamický děj nebo také stavová změna, je fyzikální děj, při kterém soustava přejde z daného počátečního stavu určeného jistým souborem hodnot stavových veličin, časovou posloupností stavů do stavu výsledného (Kopečný, 2005).

Závislost tlaku ideálního plynu na jeho termodynamické teplotě a objemu vidíme na rovnici (1).

### Stavová rovnice

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005** (1)

*Vysvětlivky: p - tlak [Pa],*

*V - objem [m<sup>3</sup>],*

*T – termodynamická teplota [K].*

#### 1.12.1 Izochorický děj s ideálním plynem

Děj, který probíhá při stálém objemu plynu  $V = \text{konstanta}$ , se nazývá izochorický děj. Lze jej realizovat například tak, že plyn uzavřeme do nádoby s pevnými stěnami. Závislost tlaku ideálního plynu na jeho termodynamické teplotě odvodíme ze stavové rovnice (1) (Kopečný, 2005).

Ze stavové rovnice (1) vyplývá definiční rovnice (2) pro izochorický děj, který udává, že podíl tlaku a termodynamické teploty ideálního plynu určité hmotnosti je při stálém objemu stálý. Tlak ideálního plynu určité hmotnosti je přímo úměrný jeho termodynamické teplotě – Charlesův zákon (Bojkovský, 2009).

#### Definiční rovnice izochorického děje

$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005** (2)

*Vysvětlivky: p - tlak [Pa],*

*T – termodynamická teplota [K],*

*konst. – objem [m<sup>3</sup>].*

#### 1.12.2 Izotermický děj s ideálním plynem

Děj, při kterém je teplota plynu stálá  $T = \text{konst.}$ , se nazývá izotermický děj. Lze jej realizovat tak, že nádoba s plynem je v tepelném kontaktu s termostatem a děj probíhá dostatečně pomalu na to, aby se teplota plynu stačila neustále vyrovnávat s teplotou termostatu. Při izotermickém ději s plynem stálé hmotnosti se mění jeho objem i tlak (Kopečný, 2005).

Ze stavové rovnice (1) vyplývá definiční rovnice (3) pro izotermický děj, který udává, že součin tlaku a objemu ideálního plynu určité hmotnosti je při stále

termodynamické teplotě stálý. Tlak ideálního plynu určité hmotnosti je nepřímo úměrný jeho objemu – Boyle-Mariotův zákon (Bojkovský, 2009).

#### **Definiční rovnice izotermického děje**

$$p \cdot V = \text{konst.}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005** (3)

*Výsvětlivky: p - tlak [Pa],*

*V - objem [m<sup>3</sup>],*

*konst. - termodynamická teplota [K].*

#### **1.12.3 Izobarický děj s ideálním plynem**

Děj v plynu, při kterém je tlak plynu stálý  $p = \text{konst.}$ , se nazývá izobarický děj. Lze jej realizovat například tak, že plyn uzavřeme v nádobě s pístem, který je volně pohyblivý ve svislém směru, ale přitom dobře těsní. Hodnotu požadovaného tlaku můžeme regulovat zatížením pístu (Kopečný, 2005).

Ze stavové rovnice (1) vyplývá definiční rovnice (4) pro izobarický děj, který udává, že podíl objemu a termodynamické teploty ideálního plynu určité hmotnosti je při stálém tlaku stálý. Objem ideálního plynu určité hmotnosti je přímo úměrný jeho termodynamické teplotě – Gay-Lussacův zákon (Bojkovský, 2009).

#### **Definiční rovnice izobarického děje**

$$\frac{V}{T} = \text{konst.}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005** (4)

*Výsvětlivky: V - objem [m<sup>3</sup>],*

*T - termodynamická teplota [K],*

*konst. - tlak [Pa].*

Gay-Lussac proměřoval závislost objemu určitého množství plynu na teplotě za konstantního tlaku. Pod teplotou  $-195,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , která odpovídá normální teplotě varu dusíku, již tento objem za tlaku 101,325 kPa nelze určit, protože plynný dusík existuje jen za nižších tlaků, než je atmosférický tlak. Z pokusů Gay-Lussaca vyplynulo, že objem je za konstantního tlaku lineární funkcí teploty (Novák a kol., 2008).

Zatím jsou popsány tři významné termodynamické děje a jsou to vlastně všechny možnosti, kdy může být jedna ze tří stavových veličin význačná – konstantní. Ve dvou případech při izotermickém ději je nulový přírůstek vnitřní energie a při izochorickém ději je nulová vykonaná práce. Může nás tedy napadnout, že by mohla existovat možnost - nulového dodaného tepla a takový termodynamický děj se ukázal být velmi důležitým (Novák a kol., 2008).

#### 1.12.4 Adiabatický děj s ideálním plynem

Tímto pojmem označujeme termodynamický děj, při kterém není plynu dodávána žádná tepelná energie a samozřejmě žádné teplo ani není odebíráno. Obecně říkáme, že je nulová výměna tepla termodynamické soustavy s okolím. Toho lze dosáhnout dokonalou tepelnou izolací stěn, které obklopují plyn, jejichž tepelná vodivost musí být nulová. Je to opačná podmínka, než je u izotermického děje, kdy je požadována dokonalá tepelná prostupnost stěn. Při adiabatickém ději není z konstantní žádná ze stavových veličin, mění se obecně tlak, teplota i objem plynu a při jejich výpočtech tedy musíme používat obecný tvar stavové rovnice (1) (Bojkovský, 2009).

Řada chemických procesů v průmyslu probíhá za adiabatických podmínek, protože jsou ekonomicky výhodné, není třeba teplo ani odebírat, ani dodávat. Za adiabatické můžeme považovat také velmi rychlé děje např. exploze (Novák a kol, 2008).

Při adiabatickém stlačení plynu v nádobě konají práci vnější síly, plyn práci spotřebovává a jeho vnitřní energie a teplota se zvětšuje. Při adiabatickém rozpínání koná práci plyn a jeho vnitřní energie a teplota se zmenšuje. I přes to, že při adiabatickém ději s ideálním plynem se mění veličiny všechny tři veličiny ze stavové rovnice (1) platí vztah mezi tlakem a objemem, který se nazývá Poissonův zákon, viz rovnice (5).

#### **Rovnice popisující Adiabatický děj**

$$p \cdot V^k = \text{konst.}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005**

(5)

*Vysvětlivky: p - tlak [Pa],*

*V - objem [m<sup>3</sup>],*

*k – Poissonova konstanta, která vyjadřuje poměr měrných nebo molárních tepelných kapacit plynu.*



### **1.13 Izokratické čerpadlo IOTA S50**

Izokratické čerpadlo je určeno pro kapalinovou chromatografii pro flash, preparativní a analytické účely, právě teď kompletních systémů pro analytickou a preparativní HPLC (Ecom, 2019).

S nastavitelným průtokem 0,05 - 50 ml / min a mezním tlakem 30 MPa je vhodné pro semipreparativní aplikace v kapalinové chromatografii. Díky velmi stabilnímu chodu při nízkých průtocích je možné čerpadlo použít pro analytické aplikace. Je žádoucí, aby byly dvě hlavy čerpadla připojeny paralelně s průměrem pístu 3/8 “.

Existují nová vylepšení v pístovém odpružení, které má nové plastové kluzné ložisko a jeho výměna je nyní snazší. Pro lepší a snadnější manipulaci byl také vylepšen obtokový ventil (Ecom, 2019).

Intuitivní ovládání pomocí jednoduché klávesnice umožňuje snadné volitelné funkce:

- nastavení průtoku
- maximální průtok - PURGE (pro plnění do měřicí nádoby a proplach)
- vysoký tlak
- tlaková jednotka (PSI, MPa nebo bar)
- řídicí režim (RS 232 nebo napětí)

Toto čerpadlo je možné použít i v režimu vysokotlakého gradientu, kde jsou dvě, tři nebo čtyři jednotky ovládány z PC pomocí RS232 nebo napětí (Ecom, 2019).

### **1.14 Zkušební zařízení TÚPO ke stanovení teploty vznícení hořlavých pevných látek a hořlavých kapalin za neatmosférických podmínek**

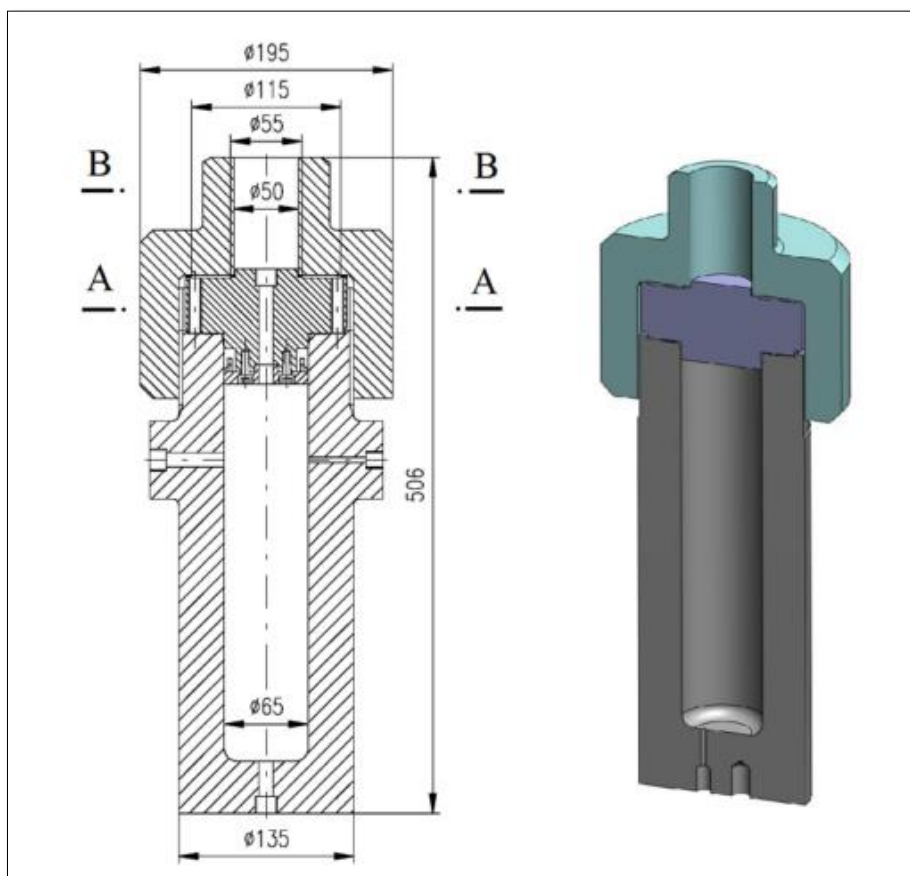
V rámci řešení výzkumného projektu „Výzkum a vývoj progresivních metod stanovení PTCH a materiálů za specifických technologických podmínek” byla TÚPO vyvinuta zkušební komora s říditelnou atmosférou ke stanovení teploty vznícení hořlavých pevných látek a hořlavých kapalin za specifických technologických podmínek. (Suchý a Ševčík, 2018).

#### **1.14.1 Zkušební nádoba o objemu 1 dm<sup>3</sup>**

Jedná se o tlustostěnnou tlakovou nádobu o vnějším průměru válcové části 135 mm a celkové délce ve smontovaném stavu 506 mm, viz obr. č. 3. Nádoba je opatřena tlustým

kruhovým víkem uchyceným k válcové části pomocí speciální převlečné matice. Mezi víko a válcovou část nádoby je vloženo ploché grafitové těsnění, dále pak mezi maticí a víko ocelový kroužek k zamezení zadírání matice a víka při utahování takto vzniklého přírubového spoje. Aby nedocházelo k vzájemnému pootáčení válcové části a víka, a nedošlo tak k poškození těsnění, je jejich vzájemná poloha zajištěna kolíky (Suchý a kol., 2015).

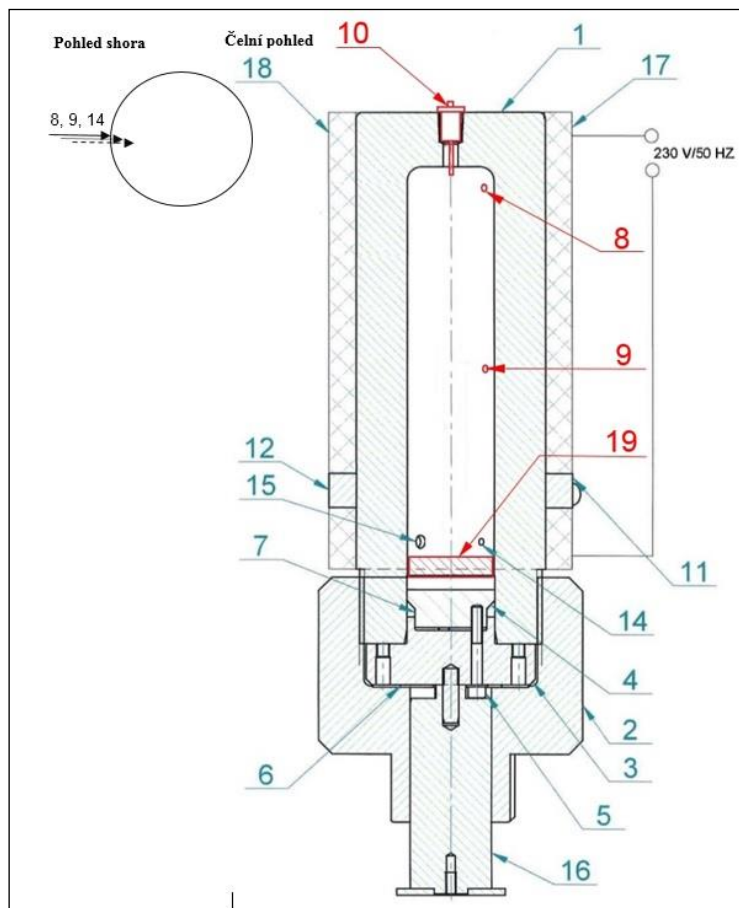
Zkušební nádoba je ohřívána elektrickým topným tělesem, těleso je nasunuto na válcovou část nádoby. Chlazení autoklávu je zajištěno proudícím vzduchem. Zdrojem proudícího vzduchu je vzduch z rozvodu. Jako pojistné zařízení proti nárůstu tlaku nad maximální dovolené provozní parametry je průtržná membrána, která je dimenzována na maximální provozní tlak 44500 kPa. Průtržná membrána je umístěna ve speciálním držáku, který je přímo našroubován do hrdla autoklávu (Suchý a kol., 2015).



**Obrázek 3, Schéma 1 l zkušební nádoby (Suchý a kol., 2015)**

V roce 2017 byly provedeny konstrukční úpravy zkušební nádoby a také byl upraven způsob vyhřívání. Konstrukční úpravy spočívaly v úpravě hrdla v horní části zkušební nádoby pro vstup HPLC čerpadla a ve vytvoření dvou nových hrdel pro vstup

termočlánků, viz obr. č. 4. Poslední úprava, tj. výroba nástavce vnitřního víčka nakonec nebyla realizována (Suchý a Ševčík, 2018).



**Obrázek 4, Navržené konstrukční úpravy 1 l zkušební nádoby (Suchý a kol., 2015)**

*Vysvětlivky: 1 - válcovitá tlustostěnná nádoba, 2 - převlečná matice na závit, 3 - víko, 4 - vnitřní víčko, 5 - šroub, 6 - měděná podložka, 7 - grafitové lichoběžníkové těsnění, 8 - termočlánek měřící teplotu v horní části nádoby, 9 - termočlánek měřící teplotu ve středu nádoby, 10 - vstup pro HPLC čerpadlo, 11 - jistící průtržná membrána, 12 - kulový ventil, 13 - termojímka k utěsnění termočlánku, 14 - termočlánek měřící teplotu v dolní části nádoby, 15 - snímač výbuchového tlaku, 16 - píst, 17 - elektrické návlekové pouzdro, 18 - tepelně izolační plášť zkušební nádoby, 19 - nástavec vnitřního víčka*

Způsob vyhřívání byl upraven tak, že celá zkušební nádoba je umístěna v peci. Tato pec je vodorovně dělená a skládá se z pevné horní části a odklopné spodní části, která umožňuje montáž převlečné matice. Tento způsob byl navržen proto, aby bylo dosaženo

lepší teplotní homogenizace ve zkušební nádobě. Regulace teploty je zajištěna pomocí dvou programovatelných regulátorů, viz obr. č. 5. (Suchý a Ševčík, 2018).



**Obrázek 5, Modernizovaná 1 l zkušební nádoba s regulátorem teploty (Suchý a kol., 2015)**

#### **1.14.2 Snímače tlaku**

Pro měření tlaku byly zvoleny snímače tlaku s rozsahem 0 až 25000 kPa je umístěn přímo na nádobě, je zašroubován přímo do hrdla na autoklávu. Toto umístění bylo zvoleno z toho důvodu, aby nedocházelo ke zkreslení měření z důvodu tlakových ztrát na případném potrubním vedení. Tento snímač tlaku je určen k měření nárůstu tlaku v závislosti na čase v případě zahoření zkoušené látky.

Snímače tlaku pro měření počátečního tlaku s rozsahem 100 kPa až 1000 kPa ve zkušební nádobě jsou umístěny na potrubní větvi z hrdla autoklávu. Mezi autoklávem a snímači tlaku jsou umístěny kulové vysokotlaké ventily, které zajistí odstavení snímačů

tlaku po počátečním natlakování autoklávu. Tyto snímače nejsou tlakově odolné maximálnímu konstrukčnímu tlaku v autoklávu, proto musí být umístěny za tlakově odolnou armaturou (Suchý a kol., 2015).

### 1.14.3 Snímače teploty

Snímače teploty FLEXITEMP 60, jsou určeny pro aplikace, kde vyniknou jejich hlavní přednosti jako např. rychlá reakce na změny teploty, ohebnost stonku, malé rozměry a odolnost pláště proti korozi. Odporové snímače se dále vyznačují vysokou přesností a stabilitou výstupního signálu. Termoelektrické snímače mají odolnost proti vysokému tlaku i použitelnost ve vakuu a vyšší stabilitu výstupního signálu proti drátovým termočlávkům. Standardní termoelektrické snímače s izolovaným měřicím koncem jsou vzhledem k odstínění rušivých elektromagnetických polí určeny pro spolupráci s měřicími ústředními a řídicími systémy (JSP, 2020).

Pro měření teploty jsou termočlánky o průměru 1 mm, jmenovitá délka sondy 300 mm s minikonektory. Teplota je snímána třemi termočlávkami typu K, přičemž jeden termočlánek snímá teplotu vzorku v horní části nádoby, druhý termočlánek snímá teplotu uprostřed nádoby a třetí v dolní části nádoby, viz obr. č. 6 (JSP, 2020).



Obrázek 6, Snímače teploty v autoklávu (vlastní výzkum, 2020, JSP, 2020)

### 1.14.4 Plnicí panel

Plnicí panel je spojen s kontrolním panelem viz obr. č. 7 a je používán pro plnění nádoby. Má 6 vstupů do panelu a 1 společný výstup. Kontrolní panel je využíván např. pro:

- a) sběr a ukládání dat, což je jeho hlavní funkce,

- b) dálkové ovládání hlavního plnicího ventilu při dosažení parciálních tlaků složek,
- c) blokáce plnění v případě poklesu tlaku technologického dusíku,
- d) uzavření hlavního plnicího ventilu, např. když:
  - vzroste koncentrace hořlavých plynů ve vzduchu,
  - přestane fungovat systém ventilace,
  - oba vstupy do nádob jsou uzavřeny,
  - ve stejný moment jsou oba vstupy do nádob otevřeny,
  - systém detekce plynů přestane fungovat (Suchý a kol., 2015).



**Obrázek 7, Kontrolní a plnicí panel (Suchý a kol., 2015)**

#### **1.14.5 Zdroj vstupních plynů**

Tlakové nádoby vstupních plynů, viz obr. č. 8, jsou umístěny ve stojanech, kde je rozvod potrubí pro ovládání armatur a plnění média v autoklávu. Jedná se konkrétně o plynné oxidanty (kyslík, vzduch) a inertní plyny (dusík, argon). Z bezpečnostních důvodů je v blízkosti umístěn detektor kyslíku, který signalizuje případný únik kyslíku či inertního plynu. Dále je zde lahev s tlakovým dusíkem, která slouží k ovládání

pneumatických armatur. Pro kontrolu dostatečného tlaku dusíku k ovládnání armatur je zde též kontaktní manometr (Suchý a kol.,2015).



**Obrázek 8, Tlakové láhve s manometry, pro ovládnání a plnění (vlastní výzkum)**

### **1.15 Zkoušky hořlavých kapalin v zahraničních laboratořích**

Závislostí teploty vznícení kapalin na chemickém složení a jejich rychlosti proudění se zabývá studie Národního poradního výboru pro letectví ve Spojených státech amerických.

Pro n-alkany platí, že teplota vznícení klesá se vzrůstajícím atomovým číslem. Hodnota teploty vznícení se pohybuje v rozmezí 200 °C až 220 °C. Toto platí pro sloučeniny C<sub>5</sub> až C<sub>16</sub>. Pro sloučeniny C<sub>1</sub> až C<sub>4</sub> je teplota vznícení o hodně vyšší, konkrétně u metanu je to 600 °C. Dále lze konstatovat, že molekuly s rozvětveným řetězcem mají vyšší hodnotu teploty vznícení než molekuly s nerozvětveným řetězcem (Wiezevich a kol.,1935).

Teplota vznícení může být dále ovlivněna rychlostí proudění (vzrůstá se vzrůstající rychlostí proudění). Naopak nebyla prokázána závislost mezi teplotou vznícení a teplotou varu, což prokázal ve svých měřeních (Wiezevich a kol.,1935).

### 1.16 Teplota vznícení směsí hořlavých kapalin se vzduchem za zvýšených tlaků

V současnosti mnoho průmyslových postupů pracuje za zvýšených tlaků. Teplota vznícení kapek směsí paliva se vzduchem se vzrůstajícím tlakem, byla ve skutečnosti vysvětlena teoreticky p. Semenoffem v roce 1928. Podle Semenoffovy teorie o tepelném výbuchu nebo lépe vznícení, je vztah mezi tlakem, palivem, vzdušné směsi a teplotou vznícení, viz rovnice (6). Od toho roku bylo provedeno hodně studií k určení teplot vznícení za zvýšeného tlaku. Nicméně bezpečnostní charakteristiky v mnoha technicky důležitých látkách jsou za těchto podmínek stále neznámé. Teplota vznícení z čistých sloučenin byla měřena při tlacích mezi 100 kPa až 1000 kPa v měřicí nádobě o velikosti 0,5 l. Zjistilo se, že teploty vznícení podstatně klesají, se vzrůstajícím tlakem viz tabulka č. 1 (Brandes a kol., 2005).

#### Semenoffova rovnice

$$p_z = k.T_z^{(2/n+1)} \cdot \exp\left(\frac{E_A^{Sem}}{RT_z}\right)$$

**Zdroj: Brandes a kol., 2005**

(6)

*Vysvětlivky:  $P_z$  – Tlak směsi [Pa],*

*$T_z$  – Termodynamická teplota [K],*

*$E_A^{Sem}$  - zdánlivá aktivační energie reakce,*

*$n$  - celkový reakční řád,*

*$R$  – molární plynová konstanta 8,314 [Kg m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>s<sup>-2</sup>].*



**Tabulka 1, Teploty vznícení čistých sloučenin při zvýšených tlacích**

Látka	Teploty vznícení [°C]			
	100 [kPa]	200 [kPa]	500 [kPa]	1000 [kPa]
<b>n-Hexan</b>	230	235	210	197
<b>n-Heptan</b>	220	201	197	190
<b>n-Octan</b>	215	---	210	---
<b>Cyklohexan</b>	246	245	225	215
<b>Toluen</b>	535	---	457	261
<b>Dioxan</b>	375	212	197	189
<b>Metanol</b>	440	---	300	260
<b>Etanol</b>	400	---	283	250
<b>Propanol-1</b>	385	300	265	240
<b>Butanl-1</b>	325	292	255	240
<b>Pentanol-1</b>	320	---	250	240

**Zdroj: Brandes a kol., 2015**

*Postup měření ve fyzikálně technickém ústavu Braunschweig*

Za běžných atmosférických podmínek se stanovení teploty vznícení pro kapaliny obvykle určuje nakapáním kapaliny do přehřáté Erlenmeyerovy baňky a vznícení zaznamenáváme výskytem viditelného plamene. Měření za zvýšeného tlaku vyžaduje uzavřenou reakční nádobu. Použitá je 0,5 l nádoba. Vznícení se zaznamená navýšením teploty snímáno dvěma termočlánky uvnitř nádoby, nebo při navýšeném tlaku pozorovaným převodníkem tlaku. Pro experiment, je jako první zaveden vzduch do autoklávu z jeho zásobníku regulovaný na žádoucí tlak, pneumatickými ventily. Poté se kapalina přidá do nádoby z vlastního zásobníku HPLC čerpadlem. Výsledný tlak, je určen jako počáteční tlak. Stejně jako u standardního vybavení, palivo je vpuštěno jako kapalina a odpařuje se v reakční nádobě. Avšak v reakci nedochází při izobarickém ději jako v IEC 6079-4, ale při ději izochorickém. Současný experiment pokrývá rozsah od 100 kPa až

1000 kPa celkového tlaku. V některých případech byly také teploty vznícení získané pro tlak 150 kPa až 1500 kPa (Brandes a kol., 2005).

### **1.17 Model pro předpovídání Teploty vznícení za použití metody modelování kvantitativních vztahů mezi strukturou a aktivitou chemických látek**

S technologickým pokrokem se v průmyslu zpracovává čím dále více hořlavých materiálů. Tím pádem je nevybušných elektrických součástek v tomto odvětví potřeba k obsluze a práci s hořlavými materiály. Přípustné maximum povrchové teploty těchto elektrických součástek je jedno z důležitých hledisek, pro hodnocení těchto součástek a potřebných, s kterými jsou v kontaktu (Yi TSAI a kol., 2012).

V této studii k určení součástek na základě teploty vznícení pro hořlavé materiály, je použit model k určení teploty vznícení, pro organické sloučeniny postavený na metodě kvantitativních vztahů mezi strukturou a aktivitou chemických látek. Tento model je postaven ze sady až 820 organických sloučenin, které jsou shromážděny z databáze podporované Americkým institutem pro chemické inženýrství (databáze tepelně fyzikálních vlastností – DIPPR databáze). Tento model je ze čtyř molekulárních popisů – elektro topologický stav, aromatický poměr, rotační pojivové frakce a atomově soustředěnými fragmenty (Yi TSAI a kol.,2012).

Kromě různorodosti, je určování teploty vznícení chemickými experimenty záležitostí laboratorní a ne vždy dost dobře realizovatelnou. V tomto případě může být schopnost odhadnout teplotu vznícení hořlavé látky matematickým modelem nákladně efektivní a kriticky pomocná v této disciplíně. Jeden z důležitých postupů k určování je QSPR metoda. V této kategorii je mnoho molekulově založených parametrů, které často nazýváme, jako „molekulové deskriptory“, jsou přímo vypočítány z molekulových struktur sloučenin (Yi TSAI a kol.,2012).

## **2 Cíl práce, výzkumná otázka**

### **2.1 Cíle práce**

Cílem této práce je stanovit teploty vznícení u vybraných hořlavých kapalin za proměnného počátečního tlaku a za různé koncentrace kyslíku.

Provést komparaci naměřených teplot vznícení za atmosférických i neatmosférických podmínek s hodnotami uvedenými v literatuře a numericky odhadnutými hodnotami.

### **2.2 Výzkumná otázka**

Jaká je závislost teplot vznícení u vybraných čistých látek na počátečním tlaku a změně koncentrace kyslíku?

### 3 Operacionalizace pojmů použitých v cíli práce

K vypracování této práce byla využita řada metod a pojmů jako;

1. Kvalitativní výzkum – jeho zásadou je, že použité výzkumné metody musí být vhodné pro zodpovězení výzkumné otázky. Popisuje metody sběru dat, jejich kódování, vyhodnocování a interpretaci.
2. Odborná expertíza – znalecký posudek.
3. Znalecký posudek – jeho účelem je získat informace, které jsou pro dané téma podstatné a závisí na odborných znalostech.
4. Požárně technická expertíza – je to soubor mnoha metod ke stanovení vzniku požáru.
5. Teplota vzplanutí – je nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde působením vnějšího zápalného zdroje k zapálení směsi plyných produktů rozkladu (ČSN 64 0149, 1978).
6. Vznětlivost – je schopnost materiálů vznítit se při zahřívání za zvýšených teplot. Vyjadřuje se teplotou vzplanutí a teplotou vznícení (ČSN 64 0149, 1978).
7. Požárně technická charakteristika – je údaj nebo soubor údajů potřebný pro stanovení preventivních opatření k ochraně života a zdraví osob.
8. Hořlavá kapalina – Je chemická látka, nebo její směs v kapalném stavu, které je za předvídatelných podmínek schopna hořet nebo vytvářet produkty schopné hoření.
9. Autokláv - je uzavíratelná tlaková nádoba pro reakce probíhající za vysokého tlaku a teploty
10. Atmosférické podmínky – Jsou ty, ve kterých je velikost tlaku 100325 Pa (Novák a kol, 2008)
11. Neatmosférické podmínky – Jsou všechny ostatní ve, kterých není velikost tlaku 100325 Pa, mohou být buď menší - podtlak, nebo větší – přetlak.

## 4 Metodika

Práce je zpracována formou kvalitativního výzkumu. Informace pro teoretickou část diplomové práce jsou čerpány hlavně z právních předpisů, technických předpisů a z odborných publikací a článků zabývajících se problematikou stanovování teploty vznícení v různých podmínkách různými metodami a jejich využití. Je provedena rešerše z použitých zahraničních zdrojů informací, zejména hodnot naměřených PTB Braunschweig v oblasti teplot vznícení hořlavých kapalin. Získané poznatky jsou analyzovány v kapitole diskuze. Syntézou poznatků z expertíz vzešly naměřené hodnoty, které jsou uvedeny v kapitole výsledky.

V práci je popsáno využití požárně technických charakteristik a je kladen důraz na jejich nutnou znalost v různých oborech. Dále je zde popsáno atypické zařízení vyrobené Technickým ústavem požární ochrany speciálně pro měření za neatmosférických podmínek.

Dále jsou popsány metody, kterými se stanovují požárně technické charakteristiky v Technickém ústavu požární ochrany. Jsou rozděleny do čtyř základních skupin, a to na metody zjištění látkové podstaty, chemické metody plynové chromatografie, metody přímého stanovení požárně technické charakteristiky vzorků a metody zjištění sklonu látek k samovznícení. Základní použitou výzkumnou metodou je metoda experimentálního zjištění teplot vznícení pentanu a heptanu v různých podmínkách. Naměřené hodnoty byly zjištěny již zmíněným zařízením pro stanovení  $T_{vz}$  za neatmosférických podmínek.

### 4.1 Princip stanovení teploty vznícení v autoklávu

Podstatou měření je nalezení teploty zkušební nádoby, při které dojde ke vznícení hořlavé kapaliny ve zkušebním zařízení. Při nastavení počáteční teploty v měřicí nádobě vycházíme z odborné literatury, ve které již v minulosti byla  $T_{vz}$  námi měřené hořlavé kapaliny stanovena jiným institutem, popřípadě TÚPO jinou metodou. Poté je nutno otevřít tlakové láhve, které jsou umístěny ve stojanech za kontrolním a plnicím panelem, viz obr. 7. Pro ovládání panelu se používá dusík, autokláv je plněn vzduchem a dusíkem, v závislosti na druhu měření. Před každým měřením se pro vyčištění měřicí nádoby provede výplach formou desetiminutové výměny vzduchu. Výměna se provádí, za pomoci vývěvy, viz obr. č. 9, která vytvoří v měřicí nádobě podtlak 3 kPa.



**Obrázek 9, Vývěva (vlastní výzkum)**

Po vytvoření podtlaku se do nádoby znovu pustí vzduch z vypouštěcího potrubí a tento úkon provedeme dvakrát. Následně provedeme třetí výplach, po kterém se do měřicí nádoby napustí vzduch nebo směs vzduchu s dusíkem z tlakové láhve pro zajištění přesného měření. Aby byla přesnost měření zachována, provádí se po dvaceti cyklech mechanické vyčištění měřicí nádoby pomocí ocelového kartáče. Před napouštěním vzduchu do nádoby provede obsluha zařízení výpočet objemového procenta, které v měřicí nádobě tvoří hořlavá kapalina. Množství hořlavé kapaliny se vypočítá pomocí stavové rovnice ideálního plynu, viz rovnice (7).

#### **Stavová rovnice pro ideální plyn**

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot m \cdot T$$

**Zdroj: Kopečný, 2005**

(7)

*Vysvětlivky:  $p$  – celkový tlak plynu v autoklávu [Pa],*

*$V$  – objem plynu v nádobě v našem případě konstanta  $1 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$ ,*

*$n$  – látkové množství hořlavé kapaliny [mol],*

*$R$  – molární plynová konstanta  $8,314 \text{ [Kg m}^2 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-2}\text{]}$ ,*

*$m$  – hmotnost hořlavé kapaliny [Kg].*

$T$  – termodynamická teplota [K].

V případě, že měříme za sníženého obsahu kyslíku je nutno ještě provést výpočet parciálních tlaků vzduchu a dusíku za pomoci molárního zlomku, viz rovnice (8) a výpočet celkového parciálního tlaku v měřicí nádobě, viz rovnice (9).

#### **Rovnice pro výpočet parciálních tlaku**

$$p_i = x_i \cdot p_{celk.}$$

**Zdroj: Novák a kol., 2016** (8)

*Vysvětlivky:  $p_i$  - parciální tlak vzduchu nebo dusíku [Pa],*

*$x_i$  - molární zlomek [%],*

*$p_{celk.}$  - celkový tlak v měřicí nádobě tvořený kyslíkem a dusíkem [Pa].*

#### **Rovnice pro výpočet celkového počátečního tlaku v měřicí nádobě**

$$p = \sum p_i$$

**Zdroj: Novák a kol., 2016** (9)

*Vysvětlivky:  $p$  – počáteční tlak v měřicí nádobě [Pa],*

*$\sum p_i$  - suma tlaku tvořená hořlavou kapalinou, vzduchem, dusíkem [Pa].*

Výsledná objemová procenta parciálních tlaku vzduchu a dusíku nadávkuje do měřicí nádoby z tlakových láhví pomocí ventilu na ovládacím a plnicím panelu, na počáteční tlak a objemové množství kyslíku, ve kterém chceme provádět měření.

Po naplnění měřicí nádoby vzduchem, nebo dusíkem ve stanovených objemových procentech na patřičný tlak, obsluha spouští vyhodnocovací software, viz obrázky č. 12, č 13 a č. 14, ze kterého opisuje do předem připravené tabulky počáteční hodnoty teplot a celkový tlak uvnitř měřicí nádoby. Poté dochází k aplikaci hořlavé kapaliny do měřicí nádoby.

Hořlavou kapalinu do měřicí nádoby dávkuje dvěma způsoby:

1. Pokud měření probíhá za atmosférického tlaku, množství hořlavé kapaliny známé z výpočtu, viz rovnice (7). Poté se výsledné množství hořlavé kapaliny naváže na analytických vahách a injekční stříkačkou aplikuje, přes třicestný ventil do měřicí nádoby, viz obr č. 10.



**Obrázek 10, Třícestný ventil (vlastní výzkum)**

2. Pokud je v měřicí nádobě vytvořen přetlak, probíhá aplikace hořlavé kapaliny do měřicí nádoby zcela odlišným způsobem. Stejně jako v prvním případě vycházíme z výpočtu z rovnice (7), ale je nutno provést přepočítání z gramů na mililitry, viz rovnice (10) výsledného množství hořlavé kapaliny.

#### **Rovnice pro výpočet objemu hořlavé kapaliny**

$$V = \frac{m}{\rho}$$

**Zdroj: Kopečný, 2005**

(10)

*Vysvětlivky: V – objem hořlavé kapaliny [m<sup>3</sup>],*

*m – hmotnost hořlavé kapaliny [Kg],*

*ρ – hustota hořlavé kapaliny [Kg/m<sup>3</sup>].*

Výpočet je nutno provést, protože hořlavá kapalina se do měřicí nádoby dávkuje pomocí izokratického čerpadla, tudíž množství kapaliny dávkujeme v mililitrech, nikoli v gramech, jak tomu je v prvním případě. Stejně jako v prvním případě, dávkování probíhá přes třícestný ventil. Na čerpadle se nastaví průtok, aby nástřik do měřicí nádoby nepřesáhl 3 sekundy. Pokud se do měřicí nádoby dávkuje větší objemové procento hořlavé kapaliny, musí obsluha zařízení dbát, aby nadávkování nebylo delší než 10 sekund. Rozsah nastavení na čerpadle je od 0,05 ml až 50 ml/min. Tento námi zvolený



časový interval je nastaven z toho důvodu, aby nedošlo k iniciaci hořlavé kapaliny dříve, než se zavře třícestný ventil, který spojuje čerpadlo a měřicí nádobu. Tím může dojít k poškození čerpadla i k iniciaci hořlavé kapaliny, kterou čerpadlo nasává přímo ze svého obalu, viz obrázek č. 11.



**Obrázek 11, Dávkování pomocí izokratického čerpadla (vlastní výzkum)**

Po nastříknutí hořlavé kapaliny se čeká, zda dojde ke vznícení či nikoliv. Vznícení je charakterizováno prudkým nárůstem teploty a tlaku, viz obr. č. 13. Pokud nárůst teploty v měřicí nádobě není větší než 50 °C a současně nárůst tlaku o 10 % není kapalina při měřené teplotě a objemovém procentu kyslíku vznětlivá, viz obr. č. 12. Indukční perioda, tj. doba, kdy dojde ke vznícení, se běžně pohybuje do 180 sekund, proto je dostatečný 300 sekund interval na určení, zda došlo či nedošlo ke vznícení. Mění se množství hořlavé kapaliny a jako teplota vznícení je určena nejnižší teplota, při které nedošlo ke vznícení ani při jedné koncentraci hořlavé kapaliny během výše uvedené indukční periody. Na konci dne po ukončení měření pomocí izokratického čerpadla, provede obsluha zařízení desetiminutové propláchnutí čerpadla vodou.

#### 4.1.1 Podmínky pro hodnocení zkoušky

Pro určení teploty vznícení je potřeba provést série měření v minimálně pěti různých objemových procentech hořlavé kapaliny. Pokud nedojde při první sérii měření ke vznícení ani v jednom z objemových procent hořlavé kapaliny, viz tabulka č. 2, navýší se teplota v měřicí nádobě maximálně o 5 °C, viz tabulka č. 3. Série měření a navýšování teploty v měřicí nádobě opakujeme, dokud nedojde ke vznícení. Teplota, při které se hořlavá kapalina vznítí, je výsledná teplota vznícení.

Opačně postupujeme v případě, že v první sérii měření dojde ke vznícení hořlavé kapaliny. Pokud se hořlavá kapalina v jedné z pěti koncentrací vznítí, teplotu v měřicí nádobě snížíme maximálně o 5 °C. Série měření a snižování teploty v měřicí nádobě opakujeme, dokud se hořlavá kapalina nevznítí.

Pokud měříme hořlavou kapalinu v přetlaku 200 kPa a 500 kPa postupujeme stejným způsobem.

Velkou pozornost musíme věnovat při měření v přetlaku 200 kPa a 500 kPa, kde se stanovuje objemové procento kyslíku, ve kterém se hořlavá kapalina jeví jako nevznětlivá. Pokud po nadávkování hořlavé kapaliny dohází k nárůstu teploty téměř okamžitě, viz obrázek č. 14 a teplotní ani tlakový nárůst není dostatečný, aby hořlavá kapalina splňovala podmínky vznícení ( $t + 50$  °C a  $p + 10$  %), viz tabulka č. 4, teplotu v měřicí nádobě už nenavýšujeme. Objemové procento kyslíku, ve kterém tyto podmínky pozorujeme, je určeno jako nejnižší objemové procento kyslíku, ve kterém už není hořlavá kapalina vznětlivá. Navýšení se neprovádí z bezpečnostních důvodů, aby nedošlo k poškození čerpadla nebo k iniciaci hořlavé kapaliny ve svém obalu. Průběh zkoušky pozorujeme ve vyhodnocovacím softwaru, viz obr. č. 12, č. 13 a č. 14.

**Tabulka 2, Zkouška heptanu, při které nedošlo ke vznícení**

Název	Počáteční tlak [kPa]	Kyslík [%]	Hořlavá kapalina [%]	Počáteční teplota [°C]	Vznícení ANO/NE	$\Delta t$ [°C]	$\Delta p$ [kPa]
Heptan	100	21	10	215	NE	9	6
Heptan	100	21	20	215	NE	7	4
Heptan	100	21	30	215	NE	19	9
Heptan	100	21	40	215	NE	9	9
Heptan	100	21	50	215	NE	5	7

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 2 vidíme sérii měření heptanu při, které je počáteční tlak v měřicí nádobě 100 kPa, objemové procento kyslíku 21 %, objemová procenta hořlavé kapaliny jsou v rozmezí 10 % až 50 %, počáteční teplota v měřicí nádobě je 215 °C. V tomto případě nedošlo ke vznícení ani v jednom z objemových procent hořlavé kapaliny, jelikož nárůst teploty ( $\Delta t$ ) a nárůst tlaku ( $\Delta p$ ) nesplňují podmínky pro vznícení. Největší nárůst teploty ( $\Delta t$ ) 19 °C v měřicí nádobě můžeme pozorovat u měření, při objemovém procentu hořlavé kapaliny 30 %.



**Obrázek 12, Průběh zkoušky s negativním výsledkem (vlastní výzkum)**

Na tomto obrázku můžeme pozorovat průběh zkoušky s negativním výsledkem. V dolní části grafu vidíme, že od nástřiku hořlavé kapaliny do měřicí nádoby znázorněno poklesem teploty ve všech třech rovinách autoklávu, se teplota ani tlak, vyjádřen zelenou linií, nijak výrazně nenavýšili. Pouze na počátku měření je mírný nárůst tlaku v měřicí nádobě. Tento nárůst je způsoben nadávkováním hořlavé kapaliny do měřicí nádoby.

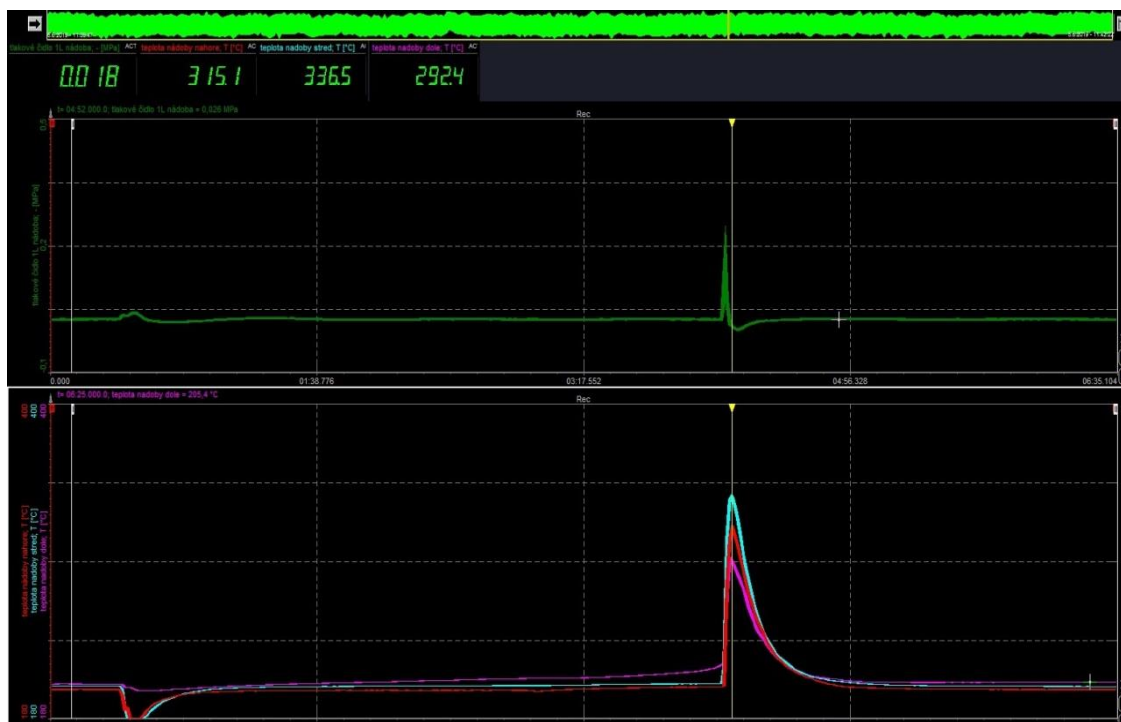
**Tabulka 3, Zkouška heptanu, při které došlo ke vznícení**

Název	Počáteční tlak [kPa]	Kyslík [%]	Hořlavá kapalina [%]	Počáteční teplota [°C]	Vznícení ANO/NE	$\Delta t$ [°C]	$\Delta p$ [kPa]
Heptan	100	21	10	218	NE	6	9
Heptan	100	21	20	218	ANO	67	67
Heptan	100	21	30	220	NE	3	22
Heptan	100	21	40	218	ANO	58	34
Heptan	100	21	50	218	ANO	62	40

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 3 vidíme sérii měření heptanu, při kterých je počáteční tlak v měřicí nádobě 100 kPa, objemové procento kyslíku 21 %, objemová procenta hořlavé kapaliny jsou v rozmezí 10 % až 50 %, počáteční teplota v měřicí nádobě je 218 °C. Při měření u objemového procenta hořlavé kapaliny 30 % můžeme pozorovat mírnou anomálii v počáteční teplotě v měřicí nádobě. Anomálie je způsobena tím, že se před měřením upravovala teplota v měřicí nádobě. V tomto případě došlo ke vznícení v objemových procentech hořlavé kapaliny 20 %, 40 % a 50 %, jelikož nárůst teploty ( $\Delta t$ ) a nárůst tlaku ( $\Delta p$ ) splňují podmínky pro vznícení. Největší nárůst teploty ( $\Delta t$ ) 67 °C v měřicí nádobě můžeme pozorovat u měření při objemovém procentu hořlavé kapaliny 30 %. Ve stejném objemovém procentu pozorujeme také největší nárůst tlaku.

Tabulky č. 2 a č. 3 ukazují, jak jsme u heptanu stanovili výslednou teplotu vznícení 218 °C, při tlaku 100 kPa v objemovém procentu kyslíku 21 %, viz tabulka č. 7.



**Obrázek 13, Průběh zkoušky s pozitivním výsledkem (vlastní výzkum)**

V horní části obrázku vidíme nárůst tlaku zobrazený ve vyhodnocovacím softwaru zelenou barvou. Mnohem menší nárůst tlaku vidíme na počátku měření. Tento mírný nárůst tlaku znamená, že do měřicí nádoby je nadávkována hořlavá kapalina.

Teploty ve všech rovinách autoklávu v části dolní zobrazeno třemi píky různé barvy. Červenou barvou je znázorněná teplota v dolní části autoklávu, bílou barvou je teplota uprostřed autoklávu a fialovou teplota v horní části autoklávu. Pokles teploty na počátku měření znamená, že do měřicí nádoby je nadávkována hořlavá kapalina.

**Tabulka 4, Zkouška heptanu, stanovení nejnižšího objemového procenta kyslíku**

Název	Počáteční tlak [kPa]	Kyslík [%]	Hořlavá kapalina [%]	Počáteční teplota [°C]	Vznícení ANO/NE	$\Delta t$ [°C]	$\Delta p$ [kPa]
Heptan	500	3	10	270	NE	20	76
Heptan	500	3	15	270	NE	27	45
Heptan	500	3	20	270	NE	19	51
Heptan	500	3	30	270	NE	24	39
Heptan	500	3	40	270	NE	26	42

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 4 vidíme sérii měření heptanu, při které je počáteční tlak v měřicí nádobě 500 kPa, objemové procento kyslíku 3 %, objemová procenta hořlavé kapaliny jsou

v rozmezí 10 % až 40 %, počáteční teplota v měřicí nádobě je 270 °C. Počáteční teplota v měřicí nádobě je o 43 °C vyšší, než v objemovém procentu kyslíku 4 %, při kterém je heptan vznětlivý při teplotě 227 °C. Protože téměř okamžitě po nadávkování heptanu do měřicí nádoby dochází k navýšení teploty, viz obrázek č. 14, která naznačuje, že by kapalina mohla být vznětlivá, objemové procento kyslíku 3 % je stanovené jako hranice, ve které už heptan není vznětlivý, jelikož nárůst teploty ( $\Delta t$ ) a nárůst tlaku ( $\Delta p$ ) nesplňují podmínky pro vznícení.



**Obrázek 14, Průběh zkoušky určení konečného objemového procenta kyslíku (vlastní výzkum)**

V horní části obrázku č. 14 vidíme pozvolný nárůst tlaku představující nadávkování heptanu do měřicí nádoby. Hned vzápětí další o trochu větší a prudký nárůst, který představuje tendenci heptanu ke vznícení, zobrazený ve vyhodnocovacím softwaru zelenou barvou.

Pokles teploty na počátku měření znamená, že do měřicí nádoby je nadávkována hořlavá kapalina. Červená křivka ve vyhodnocovacím softwaru znázorňuje teplotu v dolní části měřicí nádoby, kde se dávákuje hořlavá kapalina, z čehož vyplývá, že došlo k okamžitému nárůstu teploty. Jelikož není v měřicí nádobě dostatek kyslíku, teplota, o kterou se navýší, nepřesáhne 50 °C, tudíž je heptan v objemovém procentu kyslíku 3 % nevznětlivý.

#### 4.2 Odzkoušení izokratického čerpadla pro měření v přetlaku

Před začátkem měření hořlavé kapaliny v atmosféře, kde byl vytvořen přetlak 200 kPa a 500 kPa, se odzkoušela funkčnost izokratického čerpadla. Zkouška byla provedena z důvodu ověření funkčnosti čerpadla. Tabulky pro nastavení průtoku čerpadla v závislosti na čase a skutečné kapaliny v měřené nádobě jsou uvedeny v tabulkách č. 5 a č. 6.

**Tabulka 5, Nastavení průtoku izokratického čerpadla**

Průtoku [ml/min]	Čas [s]	Množství [ml]
5	3	0,25
5	10	0,9
10	3	0,55
10	4	0,7
10	8	1,5
10	10	1,85
20	3	1,05
20	4	1,4
20	5	1,7
20	6	2,1
20	7	2,4
20	8	2,72
20	10	3,4
30	3	1,6
30	4	1,95
30	5	2,4
30	6	2,9
30	7	3,4
30	8	3,85
30	9	4,6
30	10	4,9

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 5 jsou zobrazeny průtoky izokratického čerpadla v rozsahu od 5 ml/min do 30 ml/min. Průtoky jsou stanoveny za pomoci stopek, kdy po spuštění čerpadla se po měřený čas dávkuje hořlavá kapalina do odměřovací kádinky. Ověřování probíhá proto, aby byla brána v potaz reakční doba obsluhy čerpadla při dávkování do měřicí nádoby.

**Tabulka 6, Nastavení průtoku izokratického čerpadla**

Průtoku [ml/min]	Čas [s]	Množství [ml]
40	3	1,9
40	4	2,8
40	5	3,3
40	6	4,2
40	7	4,9
40	8	5,4
40	10	6,8
50	3	2,3
50	4	3,4
50	5	4,2
50	6	4,55
50	7	5,6
50	8	6,3
50	9	7,2
50	10	7,9

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 6 jsou zobrazeny průtoky izokratického čerpadla v rozsahu od 40 ml/min do 50 ml/min. Průtoky jsou stanoveny za pomoci stopek, kdy po spuštění čerpadla se po měřený čas dávkuje hořlavá kapalina do odměřovací kádinky. Ověřování probíhá proto, aby byla brána v potaz reakční doba obsluhy čerpadla při dávkování do měřicí nádoby.



## 5 Výsledky

V této kapitole jsou výsledky vlastního výzkumu. Vlastní teploty vznícení se měřily za různých hodnot počátečních tlaků v autoklávu, při odlišných atmosférických i neatmosférických podmínkách. Výsledné teploty vznícení jsou stanoveny pro heptan a pentan.

### 5.1 Stanovené $T_{vz}$ při tlaku 100 kPa

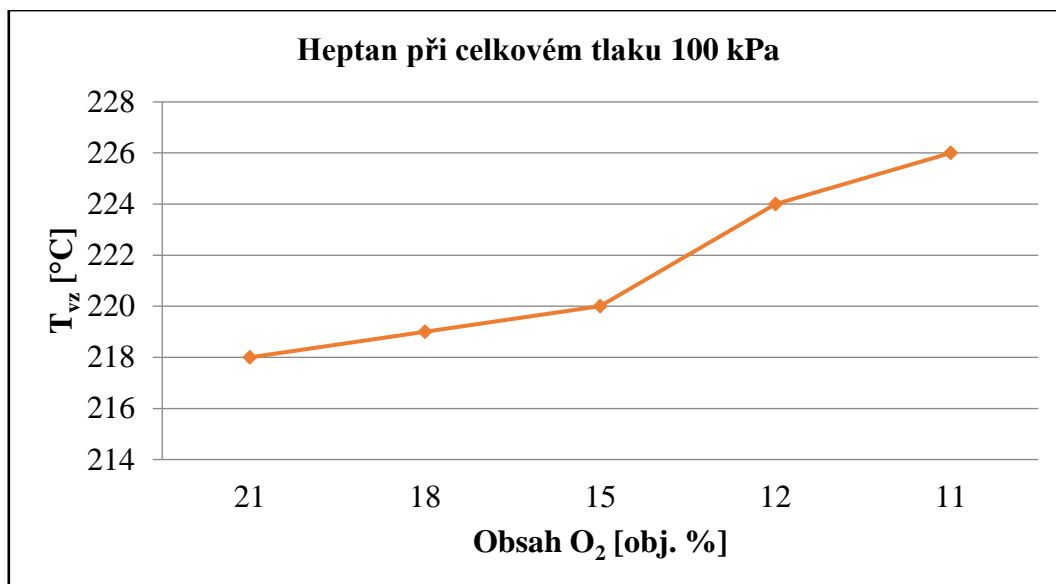
Měřením se ověřuje funkčnost přístroje při atmosférickém tlaku. Objemové procento kyslíku u heptanu i pentanu je 21 %. V tabulkách č. 7 a č. 8. se výsledné hodnoty zapsány v prvním řádku se porovnávají s hodnotami v odborné literatuře. Naměřené hodnoty s hodnot z odborné literatury se téměř shodují.

**Tabulka 7, Stanovené  $T_{vz}$  heptanu při tlaku 100 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	218
18	219
15	220
12	224
11	226
10	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 7 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení heptanu, při tlaku 100 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 15, Závislost  $T_{vz}$  na objemovém procentu kyslíku, (vlastní výzkum)**

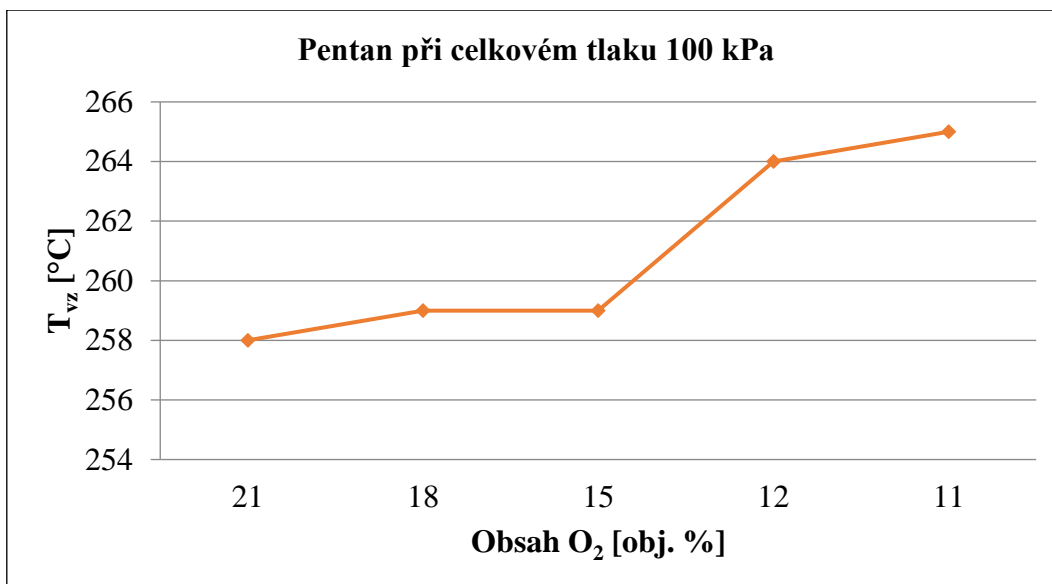
V grafu na obrázku č. 15 vidíme závislost narůstající teploty vznícení heptanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 100 kPa.

**Tabulka 8, Stanovené  $T_{vz}$  pentanu při tlaku 100 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	258
18	259
15	259
12	264
11	265
10	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 8 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení pentanu, při tlaku 100 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 16, Závislost  $T_{vz}$  na objemovém procentu kyslíku, (vlastní výzkum)**

V grafu na obrázku č. 16 vidíme závislost narůstající teploty vznícení pentanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 100 kPa.

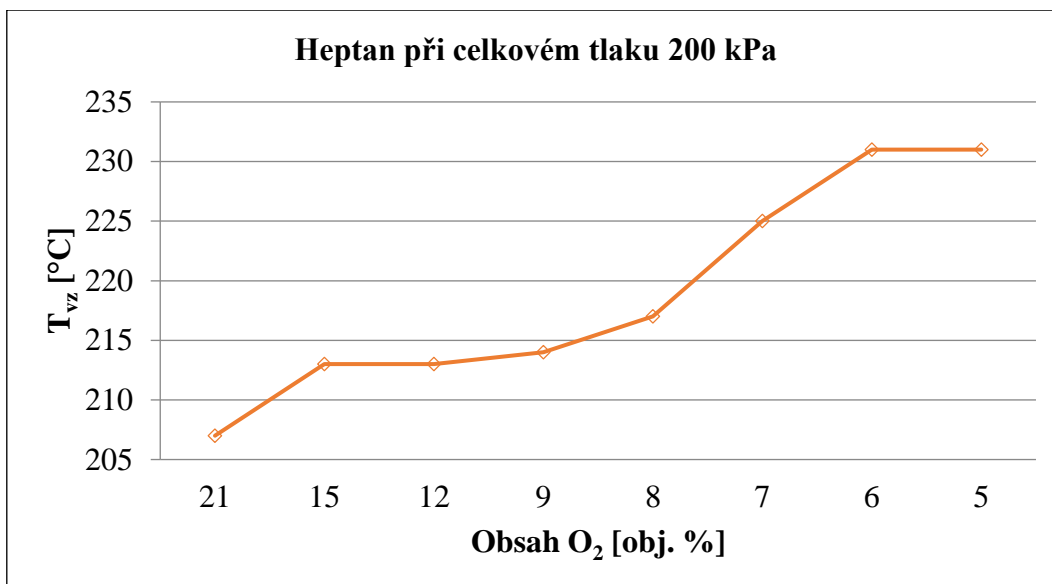
## 5.2 Stanovené $T_{vz}$ při tlaku 200 kPa

**Tabulka 9, Stanovené  $T_{vz}$  heptanu při tlaku 200 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	207
15	213
12	213
9	214
8	217
7	225
6	231
5	231
4	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 9 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení heptanu, při tlaku 200 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 17, Závislost T<sub>vz</sub> na objemovém procentu kyslíku (vlastní výzkum)**

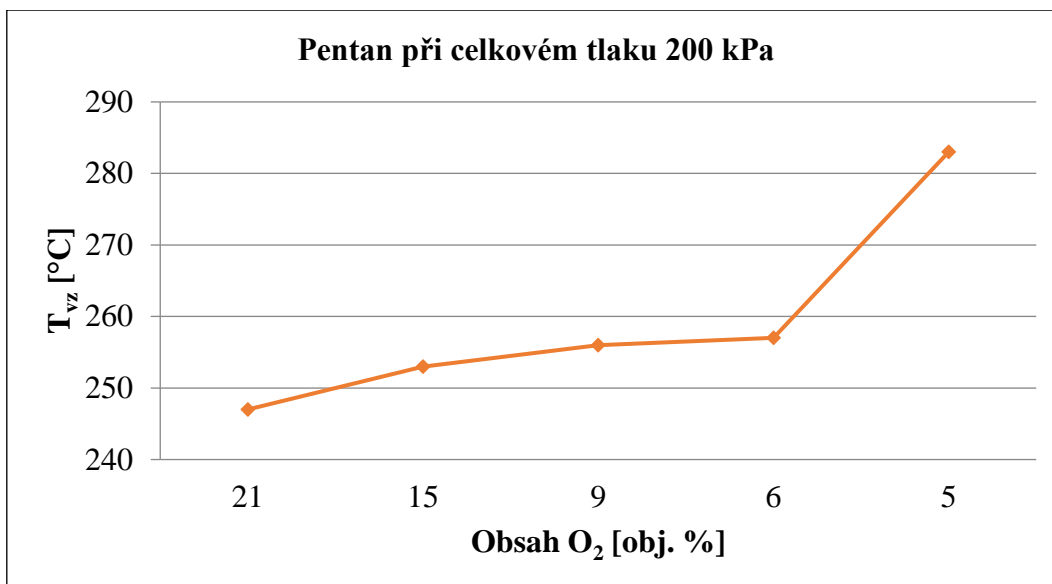
V grafu na obrázku č. 17 vidíme závislost narůstající teploty vznícení heptanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 200 kPa.

**Tabulka 10, Stanovené T<sub>vz</sub> pentanu při tlaku 200 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	247
15	253
9	256
6	257
5	283
4	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 10 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení pentanu, při tlaku 200 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 18, Závislost  $T_{vz}$  na objemovém procentu kyslíku (vlastní výzkum)**

V grafu na obrázku č. 18 vidíme závislost narůstající teploty vznícení pentanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 200 kPa.

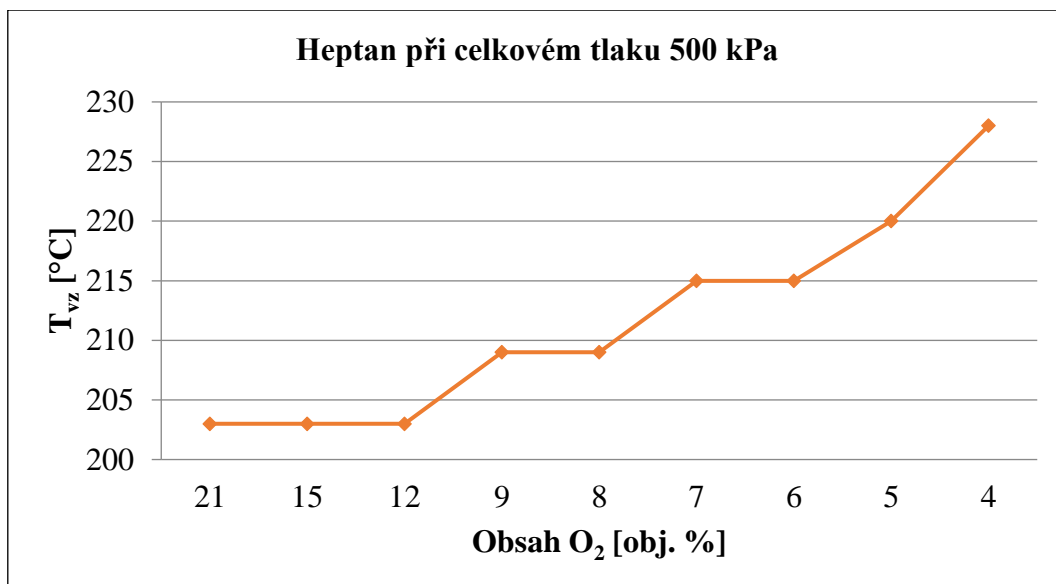
### 5.3 Stanovené $T_{vz}$ při tlaku 500 kPa.

**Tabulka 11, Stanovené  $T_{vz}$  heptanu při tlaku 500 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	203
15	203
12	203
9	209
8	209
7	215
6	215
5	220
4	227
3	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 11 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení heptanu, při tlaku 500 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 19, Závislost  $T_{vz}$  na objemovém procentu kyslíku (vlastní výzkum)**

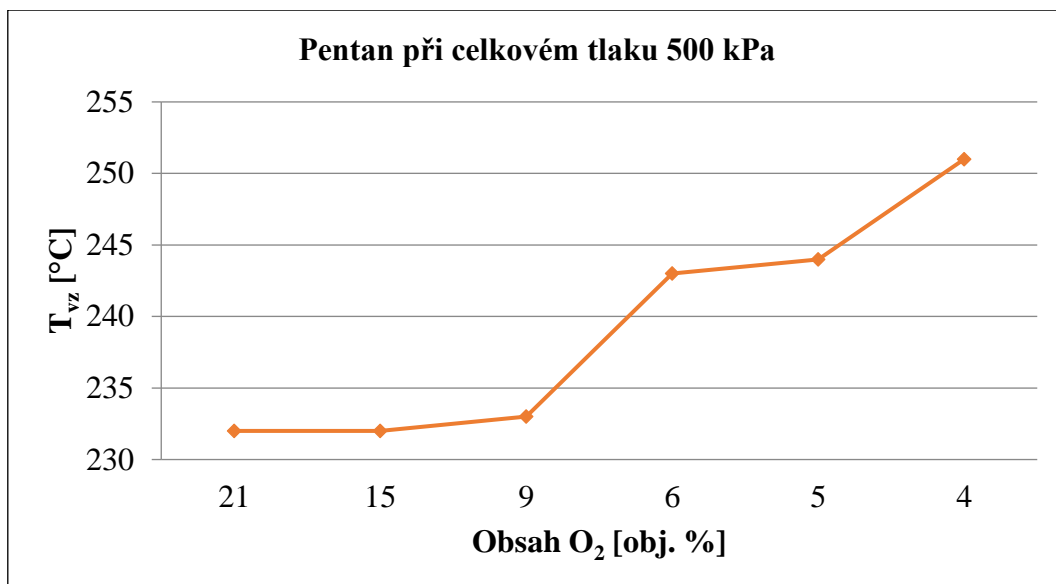
V grafu na obrázku č. 19 vidíme závislost narůstající teploty vznícení heptanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 500 kPa.

**Tabulka 12, Stanovené  $T_{vz}$  pentanu při tlaku 500 kPa**

Objem kyslíku v měřicí nádobě [obj. %]	Teplota vznícení [°C]
21	232
15	232
9	233
6	243
5	244
4	251
3	NEVZNĚTLIVÉ

**Zdroj: vlastní výzkum**

V tabulce č. 12 jsou zobrazeny výsledné teploty vznícení pentanu, při tlaku 500 kPa, v měřeném objemovém procentu kyslíku.



**Obrázek 20, Závislost  $T_{vz}$  na objemovém procentu kyslíku (vlastní výzkum)**

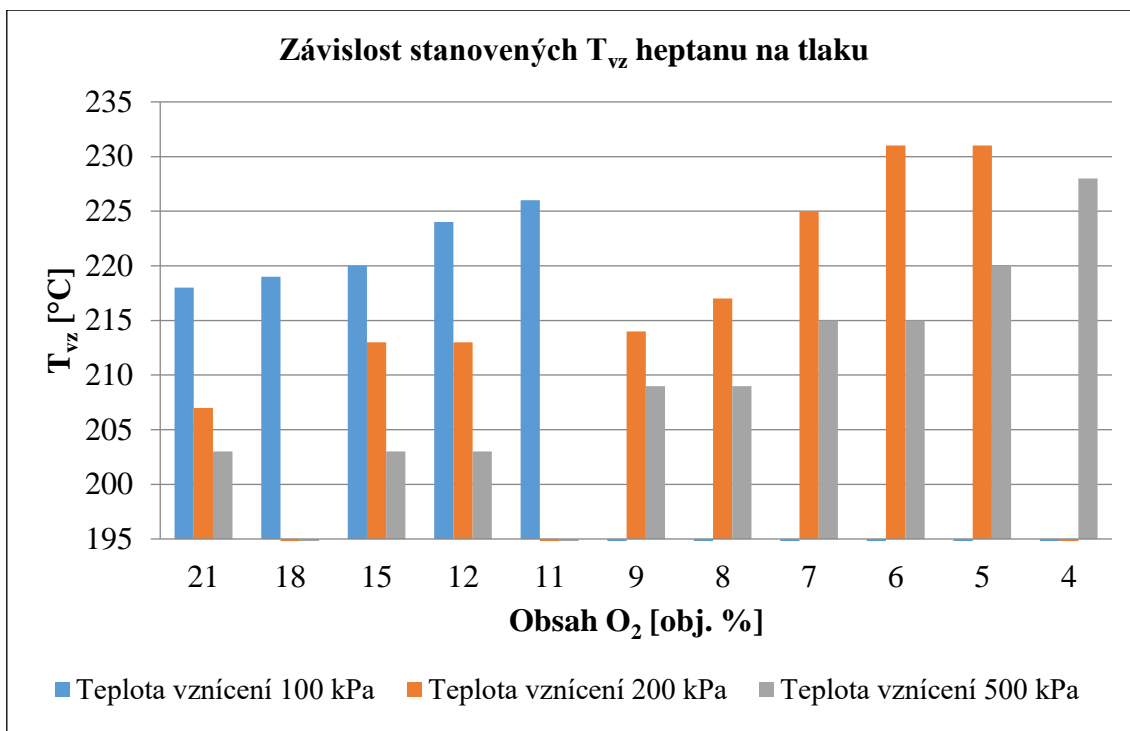
V grafu na obrázku č. 20 vidíme závislost narůstající teploty vznícení pentanu při klesajícím objemovém procentu kyslíku v měřicí nádobě při tlaku 500 kPa.

#### **5.4 Dílčí shrnutí měření heptanu**

U měření heptanu při tlaku 100 kPa při objemovém procentu kyslíku 10 % na obrázku č. 21 vidíme, že nedošlo k hoření.

S narůstajícím tlakem můžeme pozorovat, že i objemové procento kyslíku, ve kterém je hořlavá kapalina schopná hořet klesá. V přetlaku 200 kPa je heptan nehořlavý v objemovém procentu kyslíku 4 % u přetlaku 500 kPa je to ještě o jedno procento méně. Je to zapříčiněno tím, že teploty v autoklávu se nenavýšily o požadovaných 50 °C.

Jak vidíme na obrázku č. 21, heptan nebyl měřen ve všech objemových procentech kyslíku. Měření neproběhla proto, že by se  $T_{vz}$  nijak významně nelišila od  $T_{vz}$ , které jsou stanoveny v rozmezí objemového procenta kyslíku 15 % až 9 %.

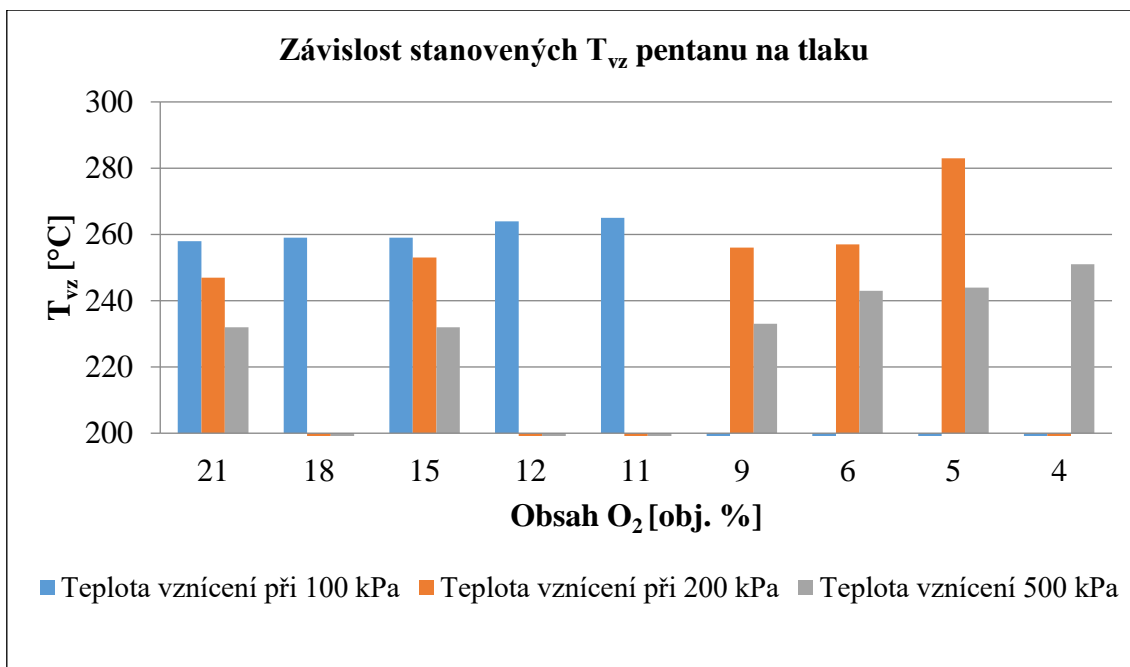


**Obrázek 21, Srovnání  $T_{vz}$  při všech měřených tlacích a různém objemovém procentu kyslíku u heptanu (vlastní výzkum)**

### **5.5 Dílčí shrnutí měření pentanu**

Jak můžeme vidět, pentan je měřený v méně objemových procentech kyslíku než heptan. Vychází to na základě předchozích měření hořlavých kapalin v přetlaku. Jelikož je v autoklávu při tlaku 200 kPa a 500 kPa stále dostatečné množství kyslíku i při nízkém procentuálním zastoupení a  $T_{vz}$  se snižující koncentrací kyslíku klesá jen pozvolna, tudíž i námi zvolená škála měření se zmenšila, jak vidíme na obrázku č. 22.





**Obrázek 22, Srovnání  $T_{vz}$  při všech měřených tlacích a různém objemovém procentu kyslíku u pentanu (vlastní výzkum)**

Stejně jako heptan i pentan není vznětlivý při tlaku 200 kPa, až když je objemové procento kyslíku 4 %. Při tlaku 500 kPa, rovněž shodně nehoří, když je v měřicí nádobě objemové procento kyslíku 3 %. Protože přetlak 500 kPa, ve kterém je hořlavá kapalina zkoušena je ze všech měření největší logicky jsou i  $T_{vz}$  ve všech koncentracích kyslíku jsou nižší než při měření za nižšího tlaku. V obou případech vidíme na obrázcích č. 21 a č. 22, že s rostoucím tlakem v měřicí nádobě klesají teploty vznícení. Stejně jako je tomu s objemovým zastoupením kyslíku v měřicí nádobě. S narůstajícím tlakem je objemové procento kyslíku v měřicí nádobě nižší a schopnost hořlavé kapaliny se vznítit i při velmi nízkém objemovém zastoupení kyslíku.

### **5.6 Závislost $T_{vz}$ na objemu zkušební nádoby**

V časopise *Prevence ztrát a podpora bezpečnosti* byla zveřejněna studie T. J. Snee, který měřil  $T_{vz}$  v měřicích nádobách s objemem od 0,2 do 20 dm<sup>3</sup>. Nejmenší zkušební nádoba byla kuželová z Pyrex skla. Teploty vznícení stanovoval nakapáním měřené dávky hořlavé kapaliny do měřicí nádoby. Výsledné teploty byly stanoveny ve středu nádoby. Výsledky jsou zaznamenány v následující tabulce č. 13. (Snee, 1988).

**Tabulka 13, Stanovené  $T_{vz}$  v závislosti na měřicí nádobě**

Látka	Velikost měřicí nádoby [dm <sup>3</sup> ]				
	0,2	1	5	10	20
	$T_{vz}$ [°C]	$T_{vz}$ [°C]	$T_{vz}$ [°C]	$T_{vz}$ [°C]	$T_{vz}$ [°C]
<b>Pentan</b>	261	250	252	-	242
<b>Oktan</b>	209	205	203	198	192
<b>Dekan</b>	204	200	199	191	185
<b>Cyklohexan</b>	247	239	236	230	227

**Zdroj: Snee, 1988**

Téměř všechny výsledky v tabulce č. 13 ukazují, že hodnota  $T_{vz}$  rapidně klesala s rostoucím objemem zkušební nádoby. Tento trend je přisuzován rychlosti ztrát tepla na jednotku objemu zkušební nádoby.

V tabulce č. 14 jsou porovnány námi naměřené hodnoty  $T_{vz}$  při různých tlacích v měřicí nádobě s výsledky naměřené ve PTB Braunschweig v Německu. Porovnávanou hořlavou kapalinou je heptan.

**Tabulka 14, Teploty vznícení heptanu naměřené v TÚPO a PTB v Německu**

Tlak [kPa]	TÚPO 1 dm <sup>3</sup>	PTB 0,5 dm <sup>3</sup>
	$T_{vz}$ [°C]	
<b>100</b>	218	220
<b>200</b>	207	201
<b>500</b>	203	197

**Zdroj: Brandes a kol., 2005, vlastní výzkum**

Teploty naměřené PTB jsou z tabulky č. 1. Tento výzkumný ústav měřil heptan při stejných tlacích, ale měřicí zařízení se v několika ohledech liší oproti zařízení v TÚPO. Základní rozdíl mezi zařízeními v TÚPO a PTB je velikost měřicí nádoby. V TÚPO je objem měřicí nádoby 1 dm<sup>3</sup> a v Německém PTB 0,5 dm<sup>3</sup>.

## 6 Diskuze

Práce na zařízení pro stanovení  $T_{vz}$  v neatmosférických podmínkách se může jevit jako složitá, ale když dodržíme správný postup a uvědomíme si základní povinnosti, není třeba se obávat nedosažení potřebných výsledků. Základní podmínkou je postupovat pečlivě při výpočtech, které jsou stěžejním bodem celého měření. Pro tyto účely jsou zpracovány tabulky v Microsoft Excel s předem nastavenými vzorci, abychom se před každým měřením nezdržovali jednotlivými výpočty pro měřenou hořlavou kapalinu. Důležité při vytváření těchto tabulek je počítat se správnými jednotkami. Musíme si uvědomit, že dosazované hodnoty jsou v základních jednotkách soustavy SI a výsledné množství hořlavé kapaliny je mnohonásobně větší, než které potřebujeme nadávkovat do měřicí nádoby. Proto je důležité tuto základní potřebu nebrat jako samozřejmost a při vytváření těchto tabulek, se kterými počítáme po celou dobu měření dobře vytvořit.

Druhou důležitou možná opomíjenou samozřejmostí je znalost PTCH hořlavé kapaliny, se kterou pracujeme. Je to z důvodů výpočtu a taky kvůli zdravotním komplikacím, viz kapitola 1.6.5 a 1.6.6. Obzvláště v horkém prostředí, je důležité znát teplotu varu hořlavé kapaliny. Konkrétně teplota varu pentanu 36 °C je v těchto dnech alarmující a její znalost absolutně nutná. Nejen z bezpečnostních důvodů, abychom láhev s hořlavou kapalinou nenechali vystavenou slunečnímu záření, ale i proto, aby měření bylo přesné. Proto je důležité před dávkováním pentanu, nebo obecně jakékoliv hořlavé kapaliny pomocí izokratického čerpadla do měřicí nádoby počkat, až z bočního potrubí, které je určeno především k proplachu čerpadla začne hořlavá kapalina vytékat. Poté můžeme hořlavou kapalinu pomocí třicestného ventilu dávkovat do měřicí nádoby.

Neméně důležitým aspektem ovlivňující výsledek měření během velkého horka je nastavení průtoku čerpadla. Když je nastavený průtok čerpadla nízký, pentan se do měřicí nádoby nenadávkuje a odpaří se dříve, než dojde k nadávkování. Tento jev jsem pozoroval na vyhodnocovacím softwaru, když byl nastaven průtok čerpadla 10 ml/min. a 20 ml/min. Po dobu deseti sekund nedošlo k nadávkování pentanu do měřicí nádoby. Tento závěr jsem učinil proto, že během opakovaného dávkování nedošlo k poklesu teploty v měřicí nádobě běžně viditelném u každého měření, viz obr. č. 12, č. 13 a č. 14. Z těchto důvodů sem volil nastavení čerpadla na 30 ml/min. až 50 ml/min.

Komplikace nastala při měření 10 % a 15 % objemu hořlavé kapaliny, kdy při nastavení průtoku čerpadla 30 ml/min až 50 ml/min. nebylo možné přesně dávkovat

hořlavou kapalinu do měřicí nádoby proto, že dávkování do měřicí nádoby je kratší, než 3 sekundy. Opačný problém je při nastavení průtoku čerpadla 10 ml/min. a 20 ml/min., protože dávkování je při tomto nastaveném průtoku pomalé a kapalina se nedávkuje do měřicí nádoby dostatečně rychle nebo se dokonce před tím odpaří. Z těchto důvodů byla ve výše uvedených objemových procentech hořlavá kapalina měřena brzy ráno, kdy ještě okolní teplota nepřesahovala 36 °C.

### **6.1 Zhodnocení měření při tlaku 100 kPa**

Při tlaku 100 kPa je pentan i heptan měřený ve stejných objemových procentech kyslíku v měřicí nádobě. U objemového procenta kyslíku 21 % je  $T_{vz}$  heptanu 218 °C a pentanu 258 °C. Poslední objemové procento kyslíku, při kterém dojde ke vznícení je shodně u obou hořlavých kapalin 11 % a stanovená  $T_{vz}$ , heptanu je 226 °C a pentanu 265 °C. Nárůst teploty od objemového procenta kyslíku 21 % není větší, než 8 °C, což je poměrně nízká hodnota, při tak nízkém zastoupení objemového procenta kyslíku.

U heptanu nedochází ke vznícení při objemovém procentu kyslíku 10 % ani při teplotě 264 °C. Navýšení od počáteční teploty v měřicí nádobě je pouhých 39 °C. Z tohoto důvodu je v tomto objemovém procentu heptan nehořlavý. Heptan je zkoušen i u objemového procenta kyslíku 9 % při teplotě 284 °C a nárůst teploty je rovněž nedostatečný. U pentanu proběhla stejná měření a to při teplotě 293 °C při objemovém procentu kyslíku 10 %. V tomto případě můžeme konstatovat, že je pentan náchylnější ke vznícení více než heptan, protože nárůst teploty v měřicí nádobě je 48 °C.

### **6.2 Zhodnocení měření při tlaku 200 kPa**

Za zvýšeného tlaku 200 kPa, jsou rovněž stanovené  $T_{vz}$  heptanu i pentanu. U obou kapalin je  $T_{vz}$  měřená u objemového procenta kyslíku 21 % o 11 °C nižší, než  $T_{vz}$  při tlaku 100 kPa. U  $T_{vz}$  heptanu můžeme pozorovat v tabulce č. 6, že v rozsahu objemového procenta kyslíku 21 % až 9 % v měřicí nádobě, stanovená  $T_{vz}$  pozvolna narůstá a rozdíl teplot v tomto rozsahu je pouze 7 °C. Významný nárůst stanovené  $T_{vz}$  můžeme pozorovat až od objemového procenta kyslíku 8 %, kde  $T_{vz}$  narůstá průměrně o 6 °C při každém klesajícím objemovém procentu, až po poslední stanovenou  $T_{vz}$ , kdy se heptan ještě vznítí.

Podobný trend s odlišným průběhem můžeme pozorovat u  $T_{vz}$  pentanu znázorněného na grafu č. 18. U něj je nárůst teploty pozvolný v rozsahu objemového procenta kyslíku

21 % až 6 %. Rozdíl teplot v tomto rozsahu je pouhých 10 °C. Významný nárůst stanovené  $T_{vz}$  je mezi objemovými procenty kyslíku 6 % až 5 % objemovými procenty kyslíku, kde se stanovená  $T_{vz}$  navýšila o 26 °C. Poslední objemová procenta kyslíku, při kterém dojde ke vznícení, jsou shodně u obou hořlavých kapalin 5 % a stanovená  $T_{vz}$  heptanu je 231 °C a pentanu 283 °C. Ke vznícení u obou hořlavých kapalin nedochází, když je objemové procento kyslíku 4 %.

### **6.3 Zhodnocení měření při tlaku 500 kPa**

Stejně jako v předchozích případech i při tlaku 500 kPa jsou  $T_{vz}$  stanovené pro heptan i pro pentan. Podle předpokladu se obě kapaliny chovají podle předchozích trendů a potvrzují nepřímo úměrnou závislost  $T_{vz}$  na tlaku v měřicí nádobě. Teplota vznícení heptanu u objemového procenta kyslíku 21 % při tlaku 500 kPa je 203 °C. Je o 15 °C nižší, než při tlaku 100 kPa, která je 218 °C. Teplota jen o 2 °C vyšší a to 220 °C je v objemovém procentu kyslíku 5 % při tlaku 500 kPa, což je propastný rozdíl v objemovém procentu kyslíku, ve kterém je heptan stále vznětlivý. Od objemového procenta 21 % až po 8 % můžeme pozorovat, viz tabulka č. 10, pozvolný nárůst teploty o pouhých 6 °C. Větší přírůstky teploty pozorujeme, až od objemového procenta kyslíku 8 %, kde  $T_{vz}$  s klesajícím objemovým procentem kyslíku stoupá o 6 °C k objemovému procentu kyslíku, kde už heptan při tlaku 500 kPa není vznětlivý. K žádnému přírůstku  $T_{vz}$  nedochází v objemovém procentu kyslíku 7 % a 6 %, kdy je  $T_{vz}$  v obou případech 215 °C. Podobný trend pozorujeme i u pentanu. V rozmezí objemového procenta kyslíku 21 % až 9 % je rozdíl  $T_{vz}$  pouze 1 °C. Teprve až od objemového procenta kyslíku 9 % začíná  $T_{vz}$  významně narůstat, až po objemové procento kyslíku ve kterém už pentan není vznětlivý. Stejně jako heptan i pentan při tlaku 500 kPa není vznětlivý v objemovém procentu kyslíku 3 % v měřicí nádobě.

### **6.4 Dílčí zhodnocení měření**

U objemového procenta kyslíku za všech měřených počátečních tlaků 100 kPa, 200 kPa a 500 kPa ve zkušební nádobě, kdy je hořlavá kapalina prohlášena za nevznětlivou jsem opakovaně pozoroval na vyhodnocovacím softwaru tendenci hořlavé kapaliny se vznítit. Tendence ke vznícení je evokována zvýšením teploty v měřicí nádobě v krátkém časovém intervalu. Krátký časový interval vznícení je zapříčiněn tím, že při měření v objemovém procentu, kdy už hořlavá kapalina není vznětlivá, je teplota v měřicí nádobě

mnohem větší, než stanovená  $T_{vz}$  v atmosférických podmínkách. Jelikož je v měřicí nádobě u výše uvedených měření nedostatečné objemové procento kyslíku, ke vznícení nedochází.

Naopak při klesajícím objemovém procentu kyslíku stoupá indukční perioda hořlavé kapaliny. S ubývajícím objemovým procentem kyslíku v nádobě ubývá počet vznícení v různých koncentracích hořlavé kapaliny, především v koncentracích, kdy je objemové procento hořlavé kapaliny 40 % a větší. Tento trend platí i v závislosti na tlaku. S klesajícím objemovým procentem kyslíku dochází k nižšímu nárůstu tlaku v měřicí nádobě.

### **6.5 Porovnání měření v TÚPO se zahraničními výsledky**

Z naměřených hodnot, viz tabulka č. 14 Technického ústavu požární ochrany a Fyzikálně technického ústavu Braunschweig lze konstatovat poměrnou shodu naměřených výsledků. Měření ve PTB potvrdila závislost tlaku ve zkušební nádobě na velikost  $T_{vz}$ . Stejně jako námi stanovené  $T_{vz}$  heptanu v tabulce č. 14 můžeme i u  $T_{vz}$  z PTB pozorovat, že s narůstajícím tlakem ve zkušební nádobě klesá  $T_{vz}$  hořlavé kapaliny. Drobné rozdíly stanovených  $T_{vz}$  jsou způsobeny velikostí nádoby, tvarem zkušební nádoby, použitými termočlánky, způsobem dávkování, množstvím vstříkované směsi hořlavé kapaliny se vzduchem atd. Na zařízení v TÚPO je zkušební nádoba, která má objem 1 dm<sup>3</sup>, zatímco zařízení v PTB má objem zkušební nádoby 0,5 dm<sup>3</sup>.

Studie, která tvrdí, že s rostoucím objemem zkušební nádoby rapidně klesá  $T_{vz}$  se potvrdila pouze při tlaku 100 kPa. V TÚPO je stanovená  $T_{vz}$  heptanu při tomto počátečním tlaku 218 °C a v PTB je 220 °C. Jinak je tomu v případech, kdy se ve zkušební nádobě navyšuje tlak. U obou měření tj. při počátečním tlaku 200 kPa a 500 kPa je trend opačný a  $T_{vz}$  jsou nižší v nádobě s menším objemem.

Další drobnou anomálii, která teorii klesající  $T_{vz}$  s rostoucím objemem zkušební nádoby vyvrací, můžeme pozorovat v tabulce č. 13 u pentanu. Ve zkušební nádobě o objemu 1 dm<sup>3</sup> byla  $T_{vz}$  pentanu 250 °C a v nádobě o objemu 5 dm<sup>3</sup>  $T_{vz}$  o 2 °C vyšší. Nejspíš se jedná pouze o špatné zapsání výsledku nebo aritmetickou chybu. Když porovnáme námi stanovenou  $T_{vz}$  pentanu, která je 258 °C a dosadím ji do tabulky č. 13, místo původní hodnoty v nádobě o objemu 1 dm<sup>3</sup>, námi naměřená  $T_{vz}$  do teorie o klesající  $T_{vz}$  s rostoucím objemem nádoby dokonale zapadá.

Teplota vznícení pentanu, která je při tlaku 100 kPa a objemového procenta kyslíku 21 % TÚPO stanovena 258 °C vyvrací tvrzení studie Národního poradního výboru pro letectví ve Spojených státech amerických. Výbor uvedl, že hodnota  $T_{vz}$  se pohybuje v rozmezí 200 °C až 220 °C, pro sloučeniny  $C_5$  až  $C_{16}$ . Tohle tvrzení se shoduje pouze s  $T_{vz}$  heptanu, která do stanoveného rozmezí zapadá. Pentan stanovené rozmezí překračuje o 38 °C.

Dalším rozdílem mezi zařízeními v TÚPO a PTB je používání různého počtu termočlánky s odlišnými parametry. Vzhledem k tomu, že zařízení TÚPO disponuje větší zkušební nádobou, logicky používá pro přesnost měření 3 termočlánky o vnějším průměru stonku 1 mm, zatímco PTB používá pouze 2 termočlánky o průměru 0,5 mm.

Rozdílné je i dávkování hořlavé kapaliny do měřicí nádoby, které je v TÚPO zajištěno ručním trojcestným ventilem, zatímco PTB používá výhradně pneumatické ventily. Poslední zásadní rozdíl v metodice měření je rozsah měření v obsahu hořlavé kapaliny. V případě PTB se rozmezí objemového procenta hořlavé kapaliny pohybuje od 15 % až 40 %. V případě TÚPO je nejčastější rozmezí objemového procenta hořlavé kapaliny 10 % až 50 %, ve kterém je dávkována do měřicí nádoby. Jsou provedena měření v rozsahu 5 % až 70 % objemového procenta hořlavé kapaliny, viz příloha A a B, kde jsou znázorněny všechny měření heptanu i pentanu. V tak vysokém obsahu hořlavé kapaliny v měřicí nádobě jsou měření pouze při tlaku 100 kPa. Při zvýšených tlacích 200 kPa a 500 kPa je nadávkování do měřicí nádoby delší než 10 sekund, proto je v tomto obsahu hořlavé kapaliny provedeno jen několik měření.

## 7 Závěr

Znalost vlastností hořlavých kapalin a jejich par je důležitá pro různá odvětví vědy, techniky a průmyslu. Především v technologických procesech je znalost požárně technických charakteristik hořlavých kapalin mimořádně důležitá, jelikož bezpečnost a ochrana zdraví osob, které s těmito látkami pracují, by měla být hlavní prioritou všech provozovatelů, kteří hořlavé kapaliny vyrábějí, zpracovávají, skladují nebo s nimi manipulují. V České republice jsou zařízení, která pracují s hořlavými kapalinami za zvýšeného tlaku, ale musejí se spokojit s charakteristikami, uvedenými jen v bezpečnostních listech, které uvádějí požárně technické charakteristiky látek pouze za atmosférických podmínek. Je nutné si uvědomit, že v neatmosférických podmínkách mají hořlavé kapaliny vlastnosti, napomáhající vzniku požáru, nebo mohou negativním způsobem průběh požáru ovlivnit.

Výzkumná otázka, která je položena v této práci: „Jaká je závislost teplot vznícení u vybraných čistých látek na počátečním tlaku a změně koncentrace kyslíku?“, pomáhá specifikovat vlastnosti hořlavých kapalin v neatmosférických podmínkách. Nejen naše, ale i výsledky teplot vznícení zahraničních výzkumných ústavů pomáhají shodně odpovědět na tuto otázku. Velikost počátečního tlaku v měřicí nádobě, nepřímo úměrně ovlivňuje teplotu vznícení hořlavé kapaliny a to tak, že s rostoucím počátečním tlakem v měřicí nádobě klesá stanovená teplota vznícení u hořlavých kapalin.

Komparací teplot vznícení zjištěných v TÚPO konkrétně u heptanu, s teplotami vznícení zjištěných ve spolupracujícím výzkumném ústavu v Německu se ukázalo, že nejen tlak, ale i objem měřicí nádoby, ve které je hořlavá kapalina testována, ovlivňuje její hodnotu. Závislost je rovněž nepřímo úměrná a to tak, že se zvětšujícím se objemem měřicí nádoby, klesá teplota vznícení hořlavé kapaliny. Komparace výsledků odhalila, že tento trend platí pouze při atmosférických podmínkách. Při počátečním tlaku 200 kPa a 500 kPa, tedy v podmínkách neatmosférických, je trend v obou případech opačný. S velikostí měřicí nádoby se stanovená teplota vznícení navýšila. Nicméně komparace výsledných teplot vznícení je jeden z cílů práce a můžeme konstatovat, že byl splněn. Ostatně komparace se ukázala jako velmi dobrá výzkumná metoda, jelikož odhalila zajímavý trend, se kterým se v práci vůbec nepočítalo.

Druhým cílem této práce bylo stanovit teploty vznícení u vybraných hořlavých kapalin za proměnného počátečního tlaku a za různé koncentrace kyslíku. Můžeme



konstatovat, že i tento cíl práce se podařilo naplnit u heptanu i pentanu ve všech měřených počátečních tlacích. Měření odhalila stejný trend, jako u závislosti teploty vznícení na počátečním tlaku v měřicí nádobě. S narůstajícím tlakem v měřicí nádobě se snižuje objemové procento kyslíku, ve kterém je hořlavá kapalina vznětlivá. V této oblasti jsme došli k překvapivým výsledkům. Měření u obou hořlavých kapalin prokázala, že při tlaku 200 kPa jsou hořlavé i při objemovém procentu kyslíku 5 % a při počátečním tlaku 500 kPa, to jsou dokonce 4 % kyslíku v měřicí nádobě.

Jelikož je Technický ústav požární ochrany zatím jediným ústavem, který se touto problematikou zabývá, není možné porovnat výsledky za zvýšeného tlaku a současně s klesajícím objemovým procentem kyslíku s žádnými jinými výsledky. Měření v neatmosférických podmínkách za sníženého objemového procenta je stejně jako atypické zařízení vyrobeno pro tyto účely relativně nové. Z toho důvodu nemají žádnou metodiku danou českou technickou normou, ani oporu v právních předpisech.

Celkově můžeme konstatovat, že řešená problematika v této práci je teprve ve svých počátcích. S rostoucími požadavky na bezpečnost a širokým rozsahem využití hořlavých kapalin v technologických podmínkách se dá předpokládat, že se touto tematikou začne zabývat více výzkumných ústavů.

## 8 Seznam použitých zdroje

ADÁMEK [online]. Náchod: Martin Adámek, 2010 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.adamek.cz>

Anon., 1980. *Tabulky hořlavých a nebezpečných látek: Tabellenbuch brennbarer und gefährlicher Stoffe* [1. vyd.], Praha: Svaz požární ochrany ČSSR

ASTM E659-14:2005 *Standard Test Method for Autoignition Temperature of Liquids Chemicals*

BOJKOVSKÝ, Martin. Ideální plyn a děje v plynech. *Omska* [online]. Praha, 2009 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: [http://www.omska.cz/Soubory/termodynamika/zakladni\\_pojmy.html](http://www.omska.cz/Soubory/termodynamika/zakladni_pojmy.html)

BOZPINFO [online]. Praha: Ladislav Mokraš, 2007 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/zakladni-pozarne-technicke-charakteristiky-jejich-vyznam-v-technicke-praxi>

BRANDES, E., HIRSCH, W., STOLZ, T., Autoignition Temperature for Mixtures of Flammable Liquids with Air at Elevated Pressure, *Proceedings of the European Combustion Meeting*, 2005, 5 p.

ČSN 33 0371 *Nevýbušná elektrická zařízení. Výbušné směsi. Klasifikace a metody zkoušek*. Praha: Český normalizační institut, 1982

ČSN 64 0149, *Stanovení vznětlivosti materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 1978.

ČSN 65 0201, *Hořlavé kapaliny – Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci ze srpna 2003*. Praha: Český normalizační institut, 2006

ČSN EN 14522 *Stanovení teploty vznícení plynů a par*. Praha: Český normalizační institut, 2006

ČSN EN 57 (65 6065) *Ropné výrobky Stanovení bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Abela-Penskyho*. Praha: Český normalizační institut, 1995.

ČSN EN ISO 13736 (656067) *Stanovení bodu vzplanutí – Metoda uzavřeného kelímku podle Abela*. 2nd ed. Praha: Český normalizační institut, 2013

ČSN EN ISO 1523 (656017) *Stanovení bodu vzplanutí - Rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku*. Praha: Český normalizační institut, 2002.

ČSN EN ISO 2592 (65 6212) *Ropa a ropné výrobky – Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření – Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda*. 2nd ed. Praha: Český normalizační institut, 2018.

ČSN EN ISO 2719 (65 6064) *Stanovení bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Penskyho-Martense*. 2nd ed. Praha: Český normalizační institut, 2016.

ČSN EN ISO 3679 (656018) *Stanovení bodu vzplanutí - Rychlá rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku*. 3rd ed. Praha: Český normalizační institut, 2015.

DIN 51794:2003 *Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen- Bestimmung der Zündtemperatur*

FILDÁN, Zdeněk. Povinnosti kolem bezpečnostních listů. *envigroup* [online]. 2015 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/povinnosti-kolem-bezpecnostnich-listu.html>

FlexiTEMP® 60 Plášt'ové odporové a termoelektrické snímače teploty. *JSP Industrial Controls* [online]. Jičín, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: [http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam\\_dle\\_kategorie/snimace\\_teploty/modularni-snimace-teploty/flexitemp-60-plastove-odporove-termoelektricke-snimace-teploty.html](http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorie/snimace_teploty/modularni-snimace-teploty/flexitemp-60-plastove-odporove-termoelektricke-snimace-teploty.html)

Heptane. *Pubchem* [online]. USA: National Library of Medicine, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Heptane>

HZS ČR [online]. Praha: MV GR HZS ČR [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/organizacni-slozky-technicky-ustav-pozarni-ochrany-historie.aspx>

CHARVÁTOVÁ, Vlasta, Romana FRIEDRICHOVÁ a Milan RŮŽIČKA. Chemické a fyzikální metody používané v TUPO při vypracování PTE. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. Praha, 2015, **XIV**(9), 7.

Ideální plyn a děje v plynech. *Itnetwork* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-idealni-plyn-a-deje-v-plynech>

IEC 60079-4: 1975 *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres- Part 4: Method of Test for Ignition Temperature*

IOTA50 Preparative Pump. *ECOM* [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.ecomsro.com/iota-50-preparative-pump-0-1-50-ml-min-30mpa>

KASÍK, Pavel., 2008 *Oheň přinesl lidem svobodu, počátky byly ale únavné a výbušné*, [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://technet.idnes.cz>

KISLINGER, Radek. *Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. ISBN 9788086466729

KOPEČNÝ, Jan. *Fyzika pro bakaláře: průvodce studiem*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Institut fyziky, 2005. ISBN 8024809877.

KVARČÁK, Miloš. *Základy požární ochrany*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 8086634655.

MYSLIVEC, Theodor. *Fyzikálně chemické základy ocelářství*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí. In: Brusel: EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE, 2008.

NFPA 497 *Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002

NOVÁK, Josef. *Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-675-3.

Pentan. *Dbpedia* [online]. 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://cs.dbpedia.org/page/Pentan>

PRUŠÁK, Jiří. *Srovnání vybraných dějů v reálném plynu - modely, animace*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Prokšová, Jitka.

SABELA, Marek. *Stanovení požárně technických charakteristik vybraných látek vybranými metodami*. České Budějovice, 2018. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

SNEE, T. J., *Loss Prevention Bulletin*, 1988, p. 25

STEINLEITNER, Hans-Dieter. *Požárně a bezpečnostně technické charakteristické hodnoty nebezpečných látek: Díl I*. Praha: Svaz požární ochrany, 1990.

SUCHÝ, O. a kol., Výzkumný projekt č. VF20112015020: Výzkum a vývoj progresivních metod stanovení požárně technických charakteristik hořlavých látek a materiálů za specifických technologických podmínek, Dílčí výzkumný úkol č. 1: Výzkum a vývoj metod zkušebního stanovení a výpočetního odhadu teploty vznícení pevných hořlavých látek a hořlavých kapalin za podtlaku, přetlaku ve vzduchu, kyslíku nebo jiném plynném oxidantu, *Závěrečná výzkumná zpráva*, Praha, 2015.

SUCHÝ, Ondřej a Libor ŠEVČÍK. Metoda na stanovení teploty vznícení kapalných látek za specifických technologických podmínek. *Časopis 112*. Praha, 2018, **XVII**(5/2018), 5.

ŠENOVSKÝ, Michail. *Nebezpečné látky*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. ISBN 8086634477

ŠENOVSKÝ, Michail. *Nebezpečné látky*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. ISBN 8086634477

ŠENOVSKÝ, Michail. *Základy požárního inženýrství*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. ISBN 8086634507

ŠEVČÍK, Libor a Ondřej SUCHÝ. Stanovení bodu vzplanutí hořlavých kapalin metodami v Technickém ústavu požární ochrany. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. Praha, 2014, **XIII**(12), 4.

ŠUPÍK, Jan. Hmotnost - veličina neveličina? [online]. [cit. 30.5.2020]. Dostupný na WWW: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2009-2010/Zima09/proc/hmotnost.pdf>

TRÁVNÍČKOVÁ, Zdeňka. Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci a označování látek a směsí = nařízení CLP. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/navrh-narizeni-ghs-o-klasifikaci-a-oznacovani-latek-a-smesi-1>

TSAI, Fang-Yi, Chan-Cheng CHEN a Horng-Jang LIAW. A Model for Predicting the Auto-ignition Temperature using Quantitative Structure Property Relationship Approach. *Procedia Engineering*. 2012, **45**, 512-517. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.195. ISSN 18777058. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812032079>

UHROVÁ, I., 2013. *Šíření plamene po vrstvě prachu tvořené dřevní biomasou* [online].

VOLF, Oldřich. *Konpekty odborné přípravy jednotek PO*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 8086111466.

Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Praha: Ministerstvo vnitra 2001, ročník 2001, č. 95, číslo 246.

Vyhláška ministra zahraničních věcí o Evropské dohodě o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (ADR). In: *Sbírka zákonů České republiky*, Praha: Ministerstvo vnitra 1987, ročník 1987, č. 13, číslo 64.

WIEZEVICH, P. J., WHITELEY, J. M., and TURNER, L. B., Spontaneous Ignition of Petroleum Fractions, *Ind. and Eng. Chem.* 27, 152 - 155 (1935)

Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*, Praha: Ministerstvo vnitra 2011. ročník 2011, č. 122, číslo 350.

Zákon o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů České republiky*, Praha: Ministerstvo vnitra 2015, ročník 2015, č. 93, číslo 224.

## 9 Seznam zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
ADN	přeprava nebezpečné látky po řece
ADR	přeprava nebezpečné látky po silnici
ČR	Česká republika
GŘ	generální ředitelství
HPLC	Vysokoúčinná plynová chromatografie
HSPO	hlavní správa požární ochrany
HZS	hasičský záchranný sbor
ICAO TI	letecká přeprava nebezpečné látky
IMDG CODE	přeprava nebezpečné látky na moři
MV	Ministerstvo vnitra
OTR	odbor technického rozvoje
PO	požární ochrana
PTB	Fyzikálně technický ústav
PTE	požárně technické expertízy
PTCH	požárně technické charakteristiky
PTL	požárně technická laboratoř
RID	přeprava nebezpečné látky na železnici
TÚPO	Technický ústav požární ochrany

## 10 Seznam tabulek a obrázků

### Seznam obrázků

Obrázek 1, Trojúhelník hoření.....	12
Obrázek 2, Kemlerův kód.....	16
Obrázek 3, Schéma 1 l zkušební nádoby .....	34
Obrázek 4, Navržené konstrukční úpravy 1 l zkušební nádoby .....	35
Obrázek 5, Modernizovaná 1 l zkušební nádoba s regulátorem teploty.....	36
Obrázek 6, Snímače teploty v autoklávu .....	37
Obrázek 7, Kontrolní a plnicí panel.....	38
Obrázek 8, Tlakové láhve s manometry, pro ovládání a plnění .....	39
Obrázek 9, Vývěva .....	46
Obrázek 10, Třicestný ventil.....	48
Obrázek 11, Dávkování pomoci izokratického čerpadla .....	49
Obrázek 12, Průběh zkoušky s negativním výsledkem .....	51
Obrázek 13, Průběh zkoušky s pozitivním výsledkem .....	53
Obrázek 14, Průběh zkoušky určení konečného objemového procenta kyslíku.....	54
Obrázek 15, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	58
Obrázek 16, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	59
Obrázek 17, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	60
Obrázek 18, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	61
Obrázek 19, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	62
Obrázek 20, Závislost $T_{vz}$ na objemovém procentu kyslíku.....	63
Obrázek 21, Srovnání $T_{vz}$ při všech měřených tlacích a různém objemovém procentu kyslíku u heptanu .....	64
Obrázek 22, Srovnání $T_{vz}$ při všech měřených tlacích a různém objemovém procentu kyslíku u pentanu .....	65

## Seznam tabulek

Tabulka 1, Teploty vznícení čistých sloučenin při zvětšených tlacích.....	42
Tabulka 2, Zkouška heptanu, při které nedošlo ke vznícení.....	51
Tabulka 3, Zkouška heptanu, při které došlo ke vznícení.....	53
Tabulka 4, Zkouška heptanu, stanovení nejnižšího objemového procenta kyslíku.....	54
Tabulka 5, Nastavení průtoku izokratického čerpadla.....	56
Tabulka 6, Nastavení průtoku izokratického čerpadla.....	57
Tabulka 7, Stanovené $T_{vz}$ heptanu při tlaku 100 kPa.....	58
Tabulka 8, Stanovené $T_{vz}$ pentanu při tlaku 100 kPa.....	59
Tabulka 9, Stanovené $T_{vz}$ heptanu při tlaku 200 kPa.....	60
Tabulka 10, Stanovené $T_{vz}$ pentanu při tlaku 200 kPa.....	61
Tabulka 11, Stanovené $T_{vz}$ heptanu při tlaku 500 kPa.....	62
Tabulka 12, Stanovené $T_{vz}$ pentanu při tlaku 500 kPa.....	63
Tabulka 13, Stanovené $T_{vz}$ v závislosti na měřicí nádobě.....	67
Tabulka 14, Teplota vznícení heptanu naměřené v TÚPO a v PTB v Německu.....	67



## **11 Seznam příloh**

Příloha A – Pracovní tabulka všech měření heptanu.

Příloha B - Pracovní tabulka všech měření pentanu

Příloha A.

Název	Počáteční tlak [kPa]	Konečný tlak [kPa]	delta p	p max [Mpa]	deltaT			Indukční perioda [sec.]	Průměrná teplota uvnitř Autoklavu
					Dole	Uprostřed	Nahoře		
<b>Heptan 220 10 % HK</b>	94,90	104,60	9,70	0,001	0,0	0,3	4,3	0	<b>231</b>
Heptan 220 20 % HK	80,80	100,40	19,60	0,070	36,9	58,6	49,5	55	<b>232</b>
Heptan 220 30 % HK	68,10	97,30	29,20	0,036	26,1	49,1	52,5	84	<b>233</b>
Heptan 220 40 % HK	65,50	106,30	40,80	0,030	17,2	50,5	33,1	70	<b>234</b>
Heptan 220 50 % HK	51,20	101,00	49,80	0,017	4,5	51,3	31,4	55	<b>234</b>
heptan 220 70 % HK	31,60	101,40	69,80	0,002	1,7	44,1	40,3	75	<b>235</b>
<b>heptan 215 20 % HK</b>	79,20	99,60	20,40	0,048	31,6	60,3	59,9	59	<b>229</b>
heptan 215 15 % HK	89,70	103,90	14,20	0,052	39,4	64,7	57,7	56	<b>228</b>
heptan 215 30 % HK	76,79	106,80	30,01	0,037	30,8	47,8	47,8	47	<b>229</b>

heptan 215 40 % HK	60,10	99,90	39,80	0,044	19,6	55,1	47,0	57	<b>230</b>
heptan 215 50 % HK	50,20	99,80	49,60	0,032	10,6	63,2	51,3	55	<b>230</b>
heptan 215 70 % HK	31,50	101,90	70,40	0,013	11,2	97,3	65,5	59	<b>230</b>
heptan 215 10 % HK	95,20	104,80	9,60	0,049	53,3	79,9	63,3	36	<b>230</b>
heptan 215 5 % HK	96,60	102,50	5,90	0,138	74,0	104,6	76,2	37	<b>229</b>
<b>heptan 210 5 % HK</b>	<b>93,98</b>	<b>99,00</b>	<b>5,02</b>	<b>0,007</b>	<b>3,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0</b>	<b>218</b>
heptan 210 10 % HK	89,90	100,00	10,10	0,009	6,2	2,9	2,1	0	<b>218</b>
heptan 210 20 % HK	84,56	104,40	19,84	0,067	48,8	66,8	67,2	100	<b>218</b>
heptan 210 30 % HK	70,20	100,10	29,90	0,022	3,2	0,6	0,7	0	<b>220</b>
heptan 210 40 % HK	62,30	104,10	41,80	0,034	38,1	57,9	45,9	95	<b>218</b>
heptan 210 50 % HK	49,50	100,20	50,70	0,040	40,2	62,2	55,0	106	<b>218</b>
<b>heptan 190 10 % HK</b>	<b>90,20</b>	<b>99,90</b>	<b>9,70</b>	<b>0,006</b>	<b>3,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>	<b>205</b>
heptan 190 20 % HK	80,10	100,70	20,60	0,007	4,5	1,6	0,6	0	<b>205</b>

heptan 190 30 % HK	70,1	100,6	30,5	0,006	4,0	2,1	1,3	0	<b>205</b>
heptan 190 40 % HK	60,9	100,9	40	0,008	3,9	1,7	0,4	0	<b>205</b>
heptan 190 50 % HK	55,6	106,1	50,5	0,008	2,9	2,1	0,7	0	<b>205</b>
heptan 190 70 % HK	30,8	99,6	68,8	0,008	2,0	1,1	0,7	0	<b>205</b>
<b>heptan 195 10 % HK</b>	<b>90,3</b>	<b>101,2</b>	<b>10,9</b>	<b>0,005</b>	4,5	1,0	0,3	<b>0</b>	<b>210</b>
heptan 195 20 % HK	80,4	100,1	19,7	0,007	5,1	1,4	0,3	0	<b>210</b>
heptan 195 30 % HK	70,2	99,9	29,7	0,004	5,6	2,4	1,1	0	<b>210</b>
heptan 195 40 % HK	60,9	99,7	38,8	0,009	4,4	1,6	0,3	0	<b>210</b>
heptan 195 50 % HK	50,7	100,6	49,9	0,007	4,8	1,8	0,3	0	<b>210</b>
heptan 195 70 % HK	30,7	101,8	71,1	0,008	2,4	1,5	0,6	0	<b>210</b>
<b>heptan 200 10 % HK</b>	<b>90,2</b>	<b>101,2</b>	<b>11</b>	<b>0,006</b>	9,4	1,5	0,0	<b>0</b>	<b>215</b>
heptan 200 20 % HK	79,6	99,6	20	0,004	6,5	4,6	2,5	0	<b>215</b>
heptan 200 30 % HK	70,2	100,5	30,3	0,009	11,5	19,2	5,2	?	<b>215</b>

heptan 200 40 % HK	60,1	100,4	40,3	0,009	8,7	5,5	1,8	0	<b>215</b>
heptan 200 50 % HK	50,2	101,6	51,4	0,007	5,3	5,3	2,1	0	<b>215</b>
heptan 200 70 % HK	30,5	100,6	70,1	0,007	2,7	2,6	1,3	0	<b>215</b>

**snížená koncentrace kyslíku při tlaku  
100 kPa**

heptan18 205 10 % HK	91,5	101,8	10,3	0,004	11,4	2,7	1,0	0	<b>219</b>
heptan18 205 20 % HK	81,2	101,4	20,2	0,036	40,6	63,0	47,6	95	<b>219</b>
heptan18 205 30 % HK	69,9	101,4	31,5	0,030	13,6	57,2	34,1	133	<b>219</b>
heptan18 205 40 % HK	60	99,7	39,7	0,012	10,4	81,0	54,2	138	<b>220</b>
heptan18 205 50 % HK	50,1	101	50,9	0,013	1,2	1,9	1,3	0	<b>220</b>
heptan18 205 70 % HK	30,1	103,2	73,1	0,013	2,9	3,5	1,8	0	<b>220</b>
heptan15 205 10 % HK	90	100	10	0,004	4,5	1,7	1,4		<b>220</b>
heptan15 205 20 % HK	79,9	99,9	20	0,026	30,4	63,6	44,8	99	<b>220</b>

heptan15 205 30 % HK	70,3	101,9	31,6	0,013	9,0	67,9	42,4	145	220
heptan15 205 40 % HK	60	99,5	39,5	0,012	4,1	8,3	1,5	0	220
heptan15 205 50 % HK	50	100,5	50,5	0,013	4,6	5,9	1,9	0	220
heptan15 205 70 % HK	30	100,6	70,6	0,010	1,6	2,5	1,5	0	220
heptan12 205 10 % HK	90,2	101,2	11	0,006	7,8	1,4	0,4	0	220
heptan12 205 20 % HK	80,1	99,4	19,3	0,009	11,5	4,0	0,9	0	220
heptan12 205 30 % HK	69,9	100,5	30,6	0,013	5,3	5,5	1,1	0	220
heptan12 205 40 % HK	60,6	101,1	40,5	0,010	3,7	5,0	1,2	0	220
heptan12 205 50 % HK	49,8	102	52,2	0,011	3,1	3,8	1,7	0	220
heptan12 205 70 % HK	30	102,6	72,6	0,012	1,5	1,3	0,7	0	220
heptan18 200 10 % HK	89,3	100	10,7	0,003	3,8	1,4	0,4	0	213
heptan18 200 20 % HK	82,9	102,2	19,3	0,009	10,4	3,6	1,0	0	214
heptan18 200 30 % HK	70	100	30	0,011	8,6	4,8	0,8	0	214

heptan18 200 40 % HK	60,1	100,2	40,1	0,009	5,7	5,6	1,7	0	<b>214</b>
heptan18 200 50 % HK	49,9	100,7	50,8	0,010	4,1	5,0	2,0	0	<b>214</b>
heptan18 200 70 % HK	30	101,4	71,4	0,009	2,4	2,4	1,2	0	<b>215</b>
heptan15 200 10 % HK	90	100,8	10,8	0,003	3,1	1,3	0,6	0	<b>215</b>
heptan15 200 20 % HK	80	99,2	19,2	0,006	6,8	1,9	0,9	0	<b>215</b>
heptan15 200 30 % HK	70	100,8	30,8	0,006	7,6	3,8	1,7	0	<b>215</b>
heptan15 200 40 % HK	60	99,1	39,1	0,009	5,4	4,1	1,4	0	<b>215</b>
heptan15 200 50 % HK	52,3	103,4	51,1	0,009	4,3	4,0	1,7	0	<b>215</b>
heptan15 200 70 % HK	30	101,3	71,3	0,011	1,4	1,7	0,9	0	<b>215</b>
heptan12 210 10 % HK	91,2	100	8,8	0,003	4,4	2,1	1,6	0	<b>224</b>
heptan12 210 20 % HK	89,9	100,3	10,4	0,011	9,5	54,0	45,1	96	<b>224</b>
heptan12 210 30 % HK	70	99,9	29,9	0,009	8,4	52,5	42,2	113	<b>225</b>
heptan12 210 40 % HK	59,8	101,6	41,8	0,009	3,8	10,0	3,1	0	<b>225</b>

heptan12 210 50 % HK	50	102,4	52,4	0,009	3,2	6,0	3,6	0	<b>225</b>
heptan12 210 70 % HK	29,9	102	72,1	0,009	1,7	1,8	1,1	0	<b>225</b>
heptan9 210 10 % HK	90	100,1	10,1	0,006	9,1	2,7	0,6	0	<b>224</b>
heptan9 210 20 % HK	80	100,2	20,2	0,010	7,8	4,4	1,4	0	<b>224</b>
heptan9 210 30 % HK	70,1	100,5	30,4	0,009	7,2	3,1	0,0	0	<b>224</b>
heptan9 210 40 % HK	61	101,6	40,6	0,012	1,8	3,0	0,8	0	<b>223</b>
heptan9 210 50 % HK	50	99,5	49,5	0,001	0,7	2,3	0,7	0	<b>223</b>
heptan9 210 70 % HK	30	99,6	69,6	0,009	1,5	0,4	-0,2	0	<b>223</b>
heptan9 225 10 % HK	90	100,1	10,1	0,007	22,9	35,9	23,4	26	<b>244</b>
heptan9 225 20 % HK	80	100,9	20,9	0,011	16,9	30,9	21,6	37	<b>244</b>
heptan9 225 30 % HK	70	100	30	0,011	3,6	32,4	25,5	42	<b>243</b>
heptan9 225 40 % HK	60	102	42	0,011	2,4	29,3	17,8	49	<b>242</b>
heptan9 225 50 % HK	50	99,1	49,1	0,012	0,6	28,0	20,5	55	<b>241</b>



heptan9 225 70 % HK	29,9	99,3	69,4	0,013	0,8	1,9	0,5	0	<b>239</b>
heptan9 235 10 % HK	90,6	100,9	10,3	0,009	34,4	37,0	32,1	20	<b>246</b>
heptan9 235 20 % HK	80,1	100,3	20,2	0,011	9,0	37,3	23,3	24	<b>246</b>
heptan9 235 30 % HK	70,4	100,5	30,1	0,010	4,0	35,1	20,2	30	<b>246</b>
heptan9 235 40 % HK	59,9	101,3	41,4	0,012	2,0	28,8	20,3	31	<b>246</b>
heptan9 235 50 % HK	50	100,6	50,6	0,013	0,3	24,1	20,5	36	<b>246</b>
heptan9 235 70 % HK	31	101,7	70,7	0,013	0,5	6,0	6,3	0	<b>246</b>
heptan9 240 10 % HK	90	100,4	10,4	0,009	26,2	30,4	20,9	14	<b>252</b>
heptan9 240 20 % HK	81	101,9	20,9	0,011	13,5	22,9	19,4	22	<b>253</b>
heptan9 240 30 % HK	70	99,8	29,8	0,011	5,9	26,6	20,1	23	<b>252</b>
heptan9 240 40 % HK	60,6	101,7	41,1	0,013	1,4	26,3	39,7	21	<b>252</b>
heptan9 240 50 % HK	51	100,5	49,5	0,012	0,6	29,1	29,5	23	<b>252</b>
heptan9 240 70 % HK	30,1	100,5	70,4	0,020	0,3	9,6	13,1	0	<b>252</b>

<b>heptan9 270 10 % HK</b>	90,1	99,9	9,8	0,017	18,1	31,9	27,9	4	<b>284</b>
heptan9 270 20 % HK	80	101,2	21,2	0,014	13,6	19,7	10,9	6	<b>281</b>
heptan9 270 30 % HK	70,3	101,2	30,9	0,010	0,0	23,8	22,4	6	<b>280</b>
heptan9 270 40 % HK	59,9	101,1	41,2	0,017	-2,7	19,0	19,1	7	<b>280</b>
heptan9 270 50 % HK	49,7	100,1	50,4	0,016	0,0	14,3	18,4	8	<b>279</b>
heptan9 270 70 % HK	30	102,6	72,6	0,016	0,0	3,1	9,0	0	<b>279</b>
<b>heptan 10 % O2 220 10 % HK</b>	90	100	10	0,075	0,0	13,4	15,8	0	<b>232</b>
heptan 10 % O2 220 20 % HK	80	99,7	19,7	0,015	14,5	40,5	39,8	0	<b>233</b>
heptan 10 % O2 220 30 % HK	71,2	101,2	30	0,011	6,1	40,7	39,1	0	<b>232</b>
heptan 10 % O2 220 40 % HK	60	100,3	40,3	0,013	11,1	45,0	31,0	0	<b>232</b>
heptan 10 % O2 220 50 % HK	50	100	50	0,046	5,9	19,0	31,8	0	<b>232</b>
<b>heptan 11 % O2 220 10 % HK</b>	90,2	100,2	10	0,025	42,8	81,2	67,0	38	<b>232</b>
heptan 11 % O2 220 20 % HK	80	100	20	0,014	33,6	50,3	39,6	42	<b>232</b>

heptan 11 % O2 220 30 % HK	69,9	100	30,1	0,018	19,3	27,2	36,9	0	<b>232</b>
heptan 11 % O2 220 40 % HK	60,1	100,3	40,2	0,015	15,1	42,7	33,3	0	<b>232</b>
heptan 11 % O2 220 50 % HK	50,2	100,3	50,1	0,018	5,3	74,3	65,4	70	<b>232</b>
heptan 11 % O2 215 10 % HK	90,1	99,9	9,8	0,018	32,5	57,0	55,1	67	<b>226</b>
heptan 11 % O2 215 20 % HK	80	100	20	0,024	34,3	54,7	41,9	63	<b>226</b>
heptan 11 % O2 215 30 % HK	72,5	102,4	29,9	0,016	16,2	40,1	33,4	0	<b>226</b>
heptan 11 % O2 215 40 % HK	60	101	41	0,022	9,5	84,3	60,0	96	<b>226</b>
heptan 11 % O2 215 50 % HK	50	100,1	50,1	0,022	3,7	45,0	42,4	0	<b>226</b>
heptan 10 % O2 255 10 % HK	91,2	101,2	10	0,012	11,7	25,1	21,2	0	<b>263</b>
heptan 10 % O2 255 20 % HK	80,1	100,1	20	0,015	34,7	30,9	25,7	0	<b>263</b>
heptan 10 % O2 255 30 % HK	70	100,1	30,1	0,021	16,6	31,8	27,8	0	<b>264</b>
heptan 10 % O2 255 40 % HK	60	100,1	40,1	0,018	0,0	18,9	17,5	0	<b>264</b>
heptan 10 % O2 255 50 % HK	50	100,7	50,7	0,023	0,0	31,8	38,9	0	<b>264</b>

<b>heptan 11 % O2 210 10 % HK</b>	90	100	10	0,009	10,9	1,1	0,0	0	<b>220</b>
heptan 11 % O2 210 20 % HK	80,5	100,5	20	0,018	8,1	4,5	1,2	0	<b>220</b>
heptan 11 % O2 210 30 % HK	70	100,1	30,1	0,019	6,6	3,1	0,1	0	<b>220</b>
heptan 11 % O2 210 40 % HK	60	99,9	39,9	0,025	6,8	5,1	1,3	0	<b>221</b>
heptan 11 % O2 210 50 % HK	50	100,1	50,1	0,030	6,5	7,1	1,1	0	<b>221</b>
<b>zvýšený tlak 200 kPa a 500 kPa</b>									
<b>heptan200kpa 190 10 % HK</b>	180	203,1	23,1	0,008	0,5	0,3	0,1	0	<b>201</b>
heptan200kpa 190 20 % HK	160	205,6	45,6	0,011	5,6	1,4	1,0	0	<b>202</b>
heptan200kpa 190 30 % HK	142,3	206,7	64,4	0,010	8,0	2,8	1,6	0	<b>202</b>
heptan200kpa 190 40 % HK	120	195,2	75,2	0,035	7,2	3,1	0,9	0	<b>203</b>
heptan200kpa 190 50 % HK	104	206	102	0,013	5,7	3,1	1,4	0	<b>203</b>
<b>heptan500kpa 190 10 % HK</b>	450	495,6	45,6	0,038	2,5	1,3	1,1	0	<b>203</b>
heptan500kpa 190 20 % HK	402,3	504,3	102	0,035	2,5	2,9	3,1	0	<b>203</b>

heptan500kpa 190 30 % HK	350	498,5	148,5	0,223	89,2	133,4	114,6	224	<b>203</b>
heptan500kpa 190 15 % HK	425	500,2	75,2	0,016	2,2	2,3	2,6	0	<b>203</b>
heptan500kpa 190 25 % HK	375,8	503,1	127,3	0,017	2,2	2,7	3,0	0	<b>202</b>
heptan500kpa 190 40 % HK	300	490,9	190,9	0,168	60,2	106,1	90,2	257	<b>202</b>
heptan200kpa 195 10 % HK	180	199,5	19,5	0,006	1,3	1,3	1,4	0	<b>207</b>
heptan200kpa 195 20 % HK	160	196,9	36,9	0,130	67,0	92,4	80,5	195	<b>207</b>
heptan200kpa 195 30 % HK	140	204,5	64,5	0,089	38,8	80,5	72,8	208	<b>207</b>
heptan200kpa 195 40 % HK	120	198,1	78,1	0,042	15,7	101,6	60,1	265	<b>207</b>
heptan200kpa 195 50 % HK	105,3	200,3	95	0,020	9,0	7,1	2,5	0	<b>207</b>
heptan500kpa 185 10 % HK	450	501,3	51,3	0,009	1,1	1,0	1,0	0	<b>197</b>
heptan500kpa 185 15 % HK	430	506,8	76,8	0,015	1,4	1,3	1,0	0	<b>197</b>
heptan500kpa 185 20 % HK	400	501,4	101,4	0,123	1,8	2,1	2,5	0	<b>197</b>
heptan500kpa 185 25 % HK	375	501,5	126,5	0,016	1,3	1,3	1,2	0	<b>198</b>

heptan500kpa 185 30 % HK	254,5	499,4	244,9	0,022	2,9	1,9	1,7	0	<b>197</b>
heptan500kpa 185 40 % HK	301,8	488,8	187	0,040	4,7	0,4	1,2	0	<b>197</b>

### snížená koncentrace kyslíku při tlaku

heptan 15 % O2 200kpa 190 10 % HK	180	199,3	19,3	0,004	0,7	0,0	0,1	0	<b>203</b>
heptan 15 % O2 200kpa 190 20 % HK	160	198,7	38,7	0,003	0,0	0,1	0,0	0	<b>203</b>
heptan 15 % O2 200kpa 190 30 % HK	139,8	203,7	63,9	0,011	5,8	1,4	1,0	0	<b>203</b>
heptan 15 % O2 200kpa 190 40 % HK	120	197,3	77,3	0,015	6,0	1,6	1,0	0	<b>203</b>
heptan 15 % O2 200kpa 190 50% HK	100	203,1	103,1	0,010	5,5	1,9	1,3	0	<b>203</b>
heptan 12 % O2 200kpa 190 10 % HK	180	199,3	19,3	0,004	0,4	0,3	0,4	0	<b>203</b>
heptan 12 % O2 200kpa 190 20 % HK	160	198,7	38,7	0,004	3,5	0,1	0,2	0	<b>203</b>
heptan 12 % O2 200kpa 190 30 % HK	140	203,9	63,9	0,009	5,6	0,7	0,5	0	<b>203</b>
heptan 12 % O2 200kpa 190 40 % HK	120	197,3	77,3	0,014	5,3	1,4	0,8	0	<b>203</b>
heptan 12 % O2 200kpa 190 50 % HK	100	203,1	103,1	0,031	5,0	1,9	1,0	0	<b>203</b>

<b>heptan15 % O2 200kpa 195 10 % HK</b>	180,1	199,4	19,3	0,004	0,5	0,5	-0,2	0	<b>208</b>
heptan 15 % O2 200kpa 195 20 % HK	160	198,7	38,7	0,007	1,3	0,9	0,5	0	<b>207</b>
heptan 15 % O2 200kpa 195 30 % HK	141	205,8	64,8	0,026	7,6	2,8	1,3	0	<b>207</b>
heptan 15 % O2 200kpa 195 40 % HK	120	198,5	78,5	0,062	7,4	3,5	1,2	0	<b>207</b>
heptan 15 % O2 200kpa 195 50 % HK	100,1	204,7	104,6	0,057	4,2	2,9	1,6	0	<b>206</b>
<b>heptan 15 % O2 200kpa 200 10 % HK</b>	181,7	201,5	19,8	0,007	2,9	1,4	1,2	0	<b>213</b>
heptan 15 % O2 200kpa 200 20 % HK	160	199,6	39,6	0,084	43,0	79,8	69,4	145	<b>213</b>
heptan 15 % O2 200kpa 200 30 % HK	140,1	196,3	56,2	0,054	27,2	65,9	56,0	140	<b>213</b>
heptan 15 % O2 200kpa 200 40 % HK	120	199,5	79,5	0,025	17,2	20,3	10,1	0	<b>213</b>
heptan 15 % O2 200kpa 200 50 % HK	100,4	197	96,6	0,015	4,9	3,3	3,6	0	<b>213</b>
<b>heptan 12 % O2 200kpa 200 10 % HK</b>	181,7	201,7	20	0,008	5,5	2,4	1,2	0	<b>213</b>
heptan 12 % O2 200kpa 200 20 % HK	160,1	199,8	39,7	0,009	16,2	11,2	4,4	0	<b>213</b>
heptan 12 % O2 200kpa 200 30 % HK	140	197,9	57,9	0,050	24,1	67,3	50,3	148	<b>213</b>

heptan 12 % O2 200kpa 200 40 % HK	120,1	199,6	79,5	0,025	8,9	4,5	2,5	0	<b>213</b>
heptan 12 % O2 200kpa 200 50 % HK	100	196,6	96,6	0,025	10,6	3,5	3,3	0	<b>213</b>
heptan 9 % O2 200kpa 240 10 % HK	180	201,5	21,5	0,112	82,5	82,2	66,3	10	<b>252</b>
heptan 9 % O2 200kpa 240 20 % HK	160	200,5	40,5	0,039	16,1	35,0	31,4	0	<b>251</b>
heptan 9 % O2 200kpa 240 30 % HK	140	200,8	60,8	0,060	20,4	45,7	44,2	0	<b>251</b>
heptan 9 % O2 200kpa 240 40 % HK	120	201,1	81,1	0,036	16,5	35,9	31,7	0	<b>251</b>
heptan 9 % O2 200kpa 240 50 % HK	100	200,1	100,1	0,024	5,4	35,2	32,1	0	<b>251</b>
heptan 9 % O2 200kpa 225 10% HK	180	200,9	20,9	0,151	59,1	87,5	67,2	27	<b>238</b>
heptan 9 % O2 200kpa 225 20 % HK	160	199,4	39,4	0,059	42,7	50,0	37,8	28	<b>238</b>
heptan 9 % O2 200kpa 225 30 % HK	140	199,2	59,2	0,043	14,1	23,9	13,1	35	<b>237</b>
heptan 9 % O2 200kpa 225 40 % HK	120	198,9	78,9	0,055	14,3	47,1	37,1	38	<b>237</b>
heptan 9 % O2 200kpa 225 50 % HK	100	197,5	97,5	0,046	8,0	25,2	22,0	41	<b>238</b>
heptan 9 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,048	54,2	70,7	54,1	36	<b>231</b>



heptan 9 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,029	45,2	63,2	44,7	39	<b>231</b>
heptan 9 % O2 200KPa 220 30 % HK	140	198,2	58,2	0,048	13,0	54,7	44,7	49	<b>231</b>
heptan 9 % O2 200KPa 220 40 % HK	120	200	80	0,031	15,9	53,0	39,1	51	<b>231</b>
heptan 9 % O2 200KPa 220 50 % HK	101,2	201,1	99,9	0,022	10,3	51,1	34,2	54	<b>231</b>
heptan 8 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,034	51,3	65,5	51,8	34	<b>231</b>
heptan 8 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,030	36,0	57,2	44,1	43	<b>231</b>
heptan 8 % O2 200KPa 220 30 % HK	141,5	199,7	58,2	0,040	12,1	54,9	42,7	52	<b>231</b>
heptan 8 % O2 200KPa 220 40 % HK	120,2	200,2	80	0,021	5,6	49,8	32,6	0	<b>231</b>
heptan 8 % O2 200KPa 220 50 % HK	100,2	200,1	99,9	0,021	9,3	36,4	28,0	0	<b>231</b>
heptan 7 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,056	38,0	66,0	55,3	37	<b>232</b>
heptan 7 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,031	34,0	51,4	36,4	45	<b>231</b>
heptan 7 % O2 200KPa 220 30 % HK	140	198,2	58,2	0,027	11,6	52,3	39,8	55	<b>231</b>
heptan 7 % O2 200KPa 220 40 % HK	120	200	80	0,016	14,8	32,9	30,2	0	<b>231</b>

heptan 7 % O2 200KPa 220 50 % HK	100,8	200,7	99,9	0,020	7,4	50,5	37,6	64	<b>231</b>
heptan 6 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,021	18,1	54,9	51,9	40	<b>232</b>
heptan 6 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,032	22,7	47,4	36,1	0	<b>231</b>
heptan 6 % O2 200KPa 220 30 % HK	140	198,2	58,2	0,052	10,2	46,9	39,5	0	<b>231</b>
heptan 6 % O2 200KPa 220 40 % HK	120	200	80	0,018	17,3	39,6	30,5	0	<b>231</b>
heptan 6 % O2 200KPa 220 50 % HK	100,9	200,8	99,9	0,027	6,9	24,5	17,9	0	<b>232</b>
heptan 5 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,017	8,0	43,5	57,6	42	<b>231</b>
heptan 5 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,023	18,5	39,1	32,1	0	<b>232</b>
heptan 5 % O2 200KPa 220 30 % HK	140	198,2	58,2	0,011	11,7	27,2	25,9	0	<b>231</b>
heptan 5 % O2 200KPa 220 40 % HK	121,3	201,3	80	0,020	5,7	40,3	32,1	0	<b>231</b>
heptan 5 % O2 200KPa 220 50 % HK	100,1	200	99,9	0,016	5,8	5,7	7,7	0	<b>231</b>
heptan 4 % O2 200KPa 220 10 % HK	180	200,5	20,5	0,004	9,1	4,4	5,4	0	<b>232</b>
heptan 4 % O2 200KPa 220 20 % HK	160	201,1	41,1	0,011	17,4	15,5	7,6	0	<b>232</b>

heptan 4 % O2 200KPa 220 30 % HK	140	198,2	58,2	0,022	9,4	6,1	7,0	0	<b>231</b>
heptan 4 % O2 200KPa 220 40 % HK	120,8	200,8	80	0,044	5,1	15,3	8,1	0	<b>231</b>
heptan 4 % O2 200KPa 220 50 % HK	100	199,9	99,9	0,015	5,4	3,0	4,0	0	<b>232</b>
heptan 9 % O2 200KPa 205 10 % HK	180	199,9	19,9	0,004	3,3	1,6	0,9	0	<b>216</b>
heptan 9 % O2 200KPa 205 20 % HK	160	199,9	39,9	0,061	35,7	65,9	52,8	94	<b>217</b>
heptan 9 % O2 200KPa 205 30 % HK	140	197	57	0,037	17,1	58,0	47,9	96	<b>219</b>
heptan 9 % O2 200KPa 205 40 % HK	120	198,2	78,2	0,014	20,1	37,0	39,7	0	<b>219</b>
heptan 9 % O2 200KPa 205 50 % HK	100,2	198	97,8	0,019	5,6	70,6	48,0	110	<b>219</b>
heptan 8 % O2 200KPa 205 10 % HK	180	199,9	19,9	0,004	7,1	2,1	1,4	0	<b>216</b>
heptan 8 % O2 200KPa 205 20 % HK	160	199,9	39,9	0,039	17,7	55,2	49,2	112	<b>217</b>
heptan 8 % O2 200KPa 205 30 % HK	140	197	57	0,027	22,7	49,9	45,4	0	<b>219</b>
heptan 8 % O2 200KPa 205 40 % HK	120,5	198,7	78,2	0,038	13,7	27,8	18,9	0	<b>219</b>
heptan 8 % O2 200KPa 205 50 % HK	102,1	200,8	98,7	0,028	13,3	5,4	5,6	0	<b>220</b>

<b>heptan 7 % O2 200KPa 205 10 % HK</b>	180	199,9	19,9	0,004	5,9	2,0	0,8	0	<b>217</b>
heptan 7 % O2 200KPa 205 20 % HK	160	199,9	39,9	0,013	14,5	5,1	5,0	0	<b>217</b>
heptan 7 % O2 200KPa 205 30 % HK	140	197	57	0,011	19,2	33,2	19,5	0	<b>219</b>
heptan 7 % O2 200KPa 205 40 % HK	120,7	199,4	78,7	0,024	9,8	4,9	5,2	0	<b>219</b>
heptan 7 % O2 200KPa 205 50 % HK	100,9	198,5	97,6	0,022	5,6	4,7	3,9	0	<b>220</b>
<b>heptan 6 % O2 200KPa 205 10 % HK</b>	180	199,9	19,9	0,004	1,8	0,7	0,3	0	<b>217</b>
heptan 6 % O2 200KPa 205 20 % HK	160	199,9	39,9	0,005	6,9	2,7	1,3	0	<b>218</b>
heptan 6 % O2 200KPa 205 30 % HK	140	197	57	0,013	10,9	3,5	3,6	0	<b>219</b>
heptan 6 % O2 200KPa 205 40 % HK	120,5	198,7	78,2	0,029	7,4	2,0	3,2	0	<b>219</b>
heptan 6 % O2 200KPa 205 50 % HK	100,3	198,1	97,8	0,022	6,8	3,0	3,6	0	<b>220</b>
<b>heptan 5 % O2 200KPa 205 10 % HK</b>	180,4	200,3	19,9	0,004	4,6	1,9	0,9	0	<b>217</b>
heptan 5 % O2 200KPa 205 20 % HK	160	199,9	39,9	0,009	6,8	1,3	1,3	0	<b>219</b>
heptan 5 % O2 200KPa 205 30 % HK	140	197	57	0,012	6,6	3,8	1,7	0	<b>219</b>

heptan 5 % O2 200KPa 205 40 % HK	120,7	199,4	78,7	0,012	8,1	2,1	2,9	0	<b>219</b>
heptan 5 % O2 200KPa 205 50 % HK	100,4	199,2	98,8	0,013	5,2	1,9	2,8	0	<b>220</b>
<b>heptan 9% O2 200KPa 200 10 % HK</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>0,004</b>	0,3	1,3	0,8	<b>0</b>	<b>216</b>
heptan 9% O2 200KPa 200 20 % HK	160	199,9	39,9	0,004	1,0	0,1	0,1	0	<b>214</b>
heptan 9% O2 200KPa 200 30 % HK	140	196,5	56,5	0,034	18,7	59,9	46,6	159	<b>214</b>
heptan 9% O2 200KPa 200 40 % HK	120	197,6	77,6	0,014	11,3	4,6	3,7	0	<b>215</b>
heptan 9% O2 200KPa 200 50 % HK	101,3	198,3	97	0,012	8,6	1,9	2,7	0	<b>215</b>
<b>heptan 8% O2 200KPa 200 10 % HK</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>0,007</b>	0,8	1,4	1,2	<b>0</b>	<b>216</b>
heptan 8% O2 200KPa 200 20 % HK	160	199,9	39,9	0,004	5,9	2,9	2,8	0	<b>213</b>
heptan 8% O2 200KPa 200 30 % HK	140	196,5	56,5	0,009	14,2	6,9	3,4	0	<b>215</b>
heptan 8% O2 200KPa 200 40 % HK	120	197,6	77,6	0,024	9,6	3,7	2,8	0	<b>215</b>
heptan 8% O2 200KPa 200 50 % HK	100	197	97	0,013	1,6	1,8	2,1	0	<b>215</b>
<b>heptan 9% O2 200KPa 195 10 % HK</b>	<b>180</b>	<b>199,7</b>	<b>19,7</b>	<b>0,008</b>	3,8	1,6	1,8	<b>0</b>	<b>208</b>

heptan 9% O2 200KPa 195 20 % HK	160	199,5	39,5	0,004	0,5	0,4	0,4	0	<b>209</b>
heptan 9% O2 200KPa 195 30 % HK	140	195,9	55,9	0,004	7,1	1,7	1,4	0	<b>208</b>
heptan 9% O2 200KPa 195 40 % HK	120	196,8	76,8	0,012	6,5	2,1	1,3	0	<b>208</b>
heptan 9% O2 200KPa 195 50 % HK	100	196,3	96,3	0,016	4,9	2,9	1,1	0	<b>208</b>
heptan 7% O2 200KPa 215 10 % HK	180	200,4	20,4	0,005	1,5	1,7	1,6	0	<b>227</b>
heptan 7% O2 200KPa 215 20 % HK	160	200,7	40,7	0,004	4,0	4,6	5,6	0	<b>223</b>
heptan 7% O2 200KPa 215 30 % HK	140	197,7	57,7	0,020	12,1	83,0	40,0	70	<b>225</b>
heptan 7% O2 200KPa 215 40 % HK	120	199,2	79,2	0,033	7,5	70,8	53,8	72	<b>226</b>
heptan 7% O2 200KPa 215 50 % HK	100	198,9	98,9		-227,1	-226,9	-225,8	0	<b>227</b>
heptan 6% O2 200KPa 215 10 % HK	180	200,4	20,4	0,004	0,4	0,1	0,0	0	<b>226</b>
heptan 6% O2 200KPa 215 20 % HK	160	200,7	40,7	0,004	5,0	2,9	3,1	0	<b>224</b>
heptan 6% O2 200KPa 215 30 % HK	140	197,7	57,7	0,015	13,8	36,4	19,5	0	<b>225</b>
heptan 6% O2 200KPa 215 40 % HK	120	199,2	79,2	0,067	7,0	28,3	21,2	0	<b>226</b>

heptan 6% O2 200KPa 215 50 % HK	100	198,9	98,9	0,043	6,0	5,0	6,4	0	<b>227</b>
heptan 5% O2 200KPa 215 10 % HK	180	200,4	20,4	0,004	0,0	0,0	0,0	0	<b>224</b>
heptan 5% O2 200KPa 215 20 % HK	160	200,7	40,7	0,004	5,0	2,8	2,6	0	<b>223</b>
heptan 5% O2 200KPa 215 30 % HK	140	197,7	57,7	0,013	9,6	8,8	8,1	0	<b>225</b>
heptan 5% O2 200KPa 215 40 % HK	120	199,2	79,2	0,035	7,3	17,4	9,1	0	<b>226</b>
heptan 5% O2 200KPa 215 50 % HK	100	198,9	98,9	0,018	5,5	3,7	5,0	0	<b>227</b>

#### snížená koncentrace kyslíku při tlaku

heptan 15% O2 500kpa 190 10 % HK	450	501,5	51,5	0,006	2,2	2,4	1,9	0	<b>201</b>
heptan 15% O2 500kpa 190 15 % HK	425	502,3	77,3	0,006	3,0	2,9	3,1	0	<b>202</b>
heptan 15% O2 500kpa 190 20 % HK	399,94	502	102,06	0,014	3,3	4,1	4,3	0	<b>202</b>
heptan 15% O2 500kpa 190 25 % HK	375	497,4	122,4	0,014	13,7	4,2	4,6	0	<b>203</b>
heptan 15% O2 500kpa 190 30 % HK	349,9	500,3	150,4	0,011	6,5	3,5	3,9	0	<b>203</b>

heptan 15% O2 500kpa 190 40 % HK	300	501,4	201,4	0,123	45,4	101,0	88,9	274	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 10 % HK	450	501,5	51,5	0,009	0,9	1,4	1,5	0	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 15 % HK	425	502,3	77,3	0,012	1,8	2,4	2,2	0	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 20 % HK	400	502	102	0,210	52,0	113,6	101,7	237	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 25% HK	375	497,4	122,4	0,014	2,7	2,7	2,4	0	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 30 % HK	350	500,4	150,4	0,016	4,0	3,3	3,7	0	<b>203</b>
heptan 12% O2 500kpa 190 40 % HK	300	501,1	201,1	0,025	21,6	3,5	2,5	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 10 % HK	450	501,5	51,5	0,009	1,0	1,7	1,5	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 15 % HK	425	502,3	77,3	0,009	1,3	1,7	1,3	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 20 % HK	400	502	102	0,029	1,3	2,2	2,0	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 25 % HK	375	497,4	122,4	0,018	2,0	1,6	1,3	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 30 % HK	352,4	502,7	150,3	0,022	3,4	2,8	3,1	0	<b>203</b>
heptan 9 % O2 500kpa 190 40% HK	300	501,1	201,1	0,026	12,5	1,5	1,3	0	<b>203</b>



<b>heptan 15 % O2 500kpa 185 10 % HK</b>	450	501,2	51,2	0,011	1,7	1,3	1,2	0	<b>199</b>
heptan 15 % O2 500kpa 185 15 % HK	425	501,8	76,8	0,015	1,5	1,7	1,7	0	<b>200</b>
heptan 15 % O2 500kpa 185 20 % HK	400	501,4	101,4	0,069	3,4	1,3	1,2	0	<b>200</b>
heptan 15 % O2 500kpa 185 25 % HK	377,3	499,7	122,4	0,022	5,0	0,4	0,3	0	<b>200</b>
heptan 15 % O2 500kpa 185 30 % HK	351,6	502	150,4	0,016	1,3	0,9	0,7	0	<b>199</b>
heptan 15 % O2 500kpa 185 40 % HK	300,4	501,5	201,1	0,026	8,7	0,7	0,3	0	<b>199</b>
<b>heptan 12 % O2 500kpa 185 10 % HK</b>	450	501,5	51,5	0,018	0,0	0,9	0,6	0	<b>199</b>
heptan 12 % O2 500kpa 185 15 % HK	425	502,2	77,2	0,013	0,7	0,7	1,2	0	<b>199</b>
heptan 12 % O2 500kpa 185 20 % HK	400,5	502,1	101,6	0,024	3,3	1,0	0,8	0	<b>198</b>
heptan 12 % O2 500kpa 185 25 % HK	376,2	498,1	121,9	0,022	4,1	0,6	0,9	0	<b>198</b>
heptan 12 % O2 500kpa 185 30 % HK	350,8	500,5	149,7	0,020	2,2	1,7	1,1	0	<b>198</b>
heptan 12 % O2 500kpa 185 40 % HK	301,2	501,5	200,3	0,026	5,7	0,1	0,4	0	<b>198</b>
<b>heptan 9 % O2 500kpa 240 10 % HK</b>	450	500,7	50,7	0,219	38,6	75,6	56,2	12	<b>252</b>

heptan 9 % O2 500kpa 240 15 % HK	425	496,5	71,5	0,197	43,6	59,9	54,2	14	<b>252</b>
heptan 9 % O2 500kpa 240 20 % HK	400	500,1	100,1	0,296	44,2	76,2	111,0	13	<b>252</b>
heptan 9 % O2 500kpa 240 25 % HK	375	500,2	125,2	0,194	46,9	60,2	107,6	13	<b>252</b>
heptan 9 % O2 500kpa 240 30 % HK	350	485,9	135,9	0,171	44,9	50,9	94,8	13	<b>252</b>
heptan 9 % O2 500kpa 240 40 % HK			0		0,0	0,0	0,0		<b>0</b>
heptan 9 % O2 500kpa 225 10 % HK	450	499,2	49,2	0,270	89,3	109,7	84,7	21	<b>238</b>
heptan 9 % O2 500kpa 225 15 % HK	425	494,5	69,5	0,263	61,7	104,9	72,4	26	<b>238</b>
heptan 9 % O2 500kpa 225 20 % HK	401,1	498,4	97,3	0,176	57,0	95,5	77,4	26	<b>238</b>
heptan 9 % O2 500kpa 225 25 % HK	375,2	496,8	121,6	0,226	47,7	92,8	80,0	28	<b>238</b>
heptan 9 % O2 500kpa 225 30 % HK	350	504	154	0,180	35,1	85,5	71,8	29	<b>238</b>
heptan 4 % O2 500KPa 205 10 % HK	450	500,3	50,3	0,004	3,5	5,3	6,7	0	<b>220</b>
heptan 4 % O2 500KPa 205 15 % HK	425	501	76	0,009	5,9	9,0	13,4	0	<b>220</b>
heptan 4 % O2 500KPa 205 20 % HK	400	498,7	98,7	0,019	21,5	6,1	6,5	0	<b>220</b>

heptan 4 % O2 500KPa 205 30 % HK	350	498,6	148,6	0,020	18,4	5,8	4,7	0	<b>220</b>
heptan 4 % O2 500KPa 205 40 % HK	300	498,6	198,6		-222,1	-221,0	-218,1	0	<b>220</b>
heptan 5 % O2 500KPa 205 10 % HK	450	500,3	50,3	0,004	1,9	2,6	3,4	0	<b>220</b>
heptan 5% O2 500KPa 205 15 % HK	425	501	76	0,009	6,5	10,6	17,6	0	<b>220</b>
heptan 5% O2 500KPa 205 20 % HK	400	498,7	98,7	0,081	21,2	60,6	51,1	61	<b>220</b>
heptan 5% O2 500KPa 205 30 % HK	350	498,6	148,6	0,022	23,6	8,9	7,6	0	<b>220</b>
heptan 5% O2 500KPa 205 40 % HK	300	498,6	198,6	0,026	11,5	7,1	6,2	0	<b>220</b>
heptan 6% O2 500KPa 205 10 % HK	450	500,3	50,3	0,004	3,0	3,2	4,3	0	<b>220</b>
heptan 6% O2 500KPa 205 15 % HK	428	504	76	0,007	7,8	13,5	32,0	0	<b>220</b>
heptan 6% O2 500KPa 205 20 % HK	400	498,7	98,7	0,061	43,1	72,0	61,4	55	<b>220</b>
heptan 6% O2 500KPa 205 30 % HK	350	498,6	148,6	0,073	24,0	56,8	52,3	75	<b>220</b>
heptan 6% O2 500KPa 205 40 % HK	300	498,6	198,6	0,026	14,9	9,4	7,9	0	<b>220</b>
heptan 5% O2 500KPa 200 10 % HK	450	497,1	47,1	0,004	1,9	1,9	2,3	0	<b>214</b>

heptan 5% O2 500KPa 200 15 % HK	425	500,3	75,3	0,004	4,0	4,9	6,2	0	<b>214</b>
heptan 5% O2 500KPa 200 20 % HK	400	497	97	0,004	3,5	4,5	4,5	0	<b>215</b>
heptan 5% O2 500KPa 200 30 % HK	350	497,4	147,4	0,019	26,5	3,6	3,3	0	<b>215</b>
heptan 5% O2 500KPa 200 40 % HK	300	497	197	0,199	8,3	3,6	2,0	0	<b>215</b>
heptan 6% O2 500KPa 200 10 % HK	450	497,1	47,1	0,004	2,3	3,1	3,9	0	<b>214</b>
heptan 6% O2 500KPa 200 15 % HK	425	500,3	75,3	0,006	4,3	5,3	7,0	0	<b>214</b>
heptan 6% O2 500KPa 200 20 % HK	400	497	97	0,012	4,5	5,4	6,7	0	<b>214</b>
heptan 6% O2 500KPa 200 30 % HK	350	497,4	147,4	0,070	22,5	58,4	55,0	107	<b>215</b>
heptan 6% O2 500KPa 200 40 % HK	300	497	197	0,419	12,4	4,4	3,7	0	<b>214</b>
heptan 7% O2 500KPa 200 10 % HK	450	499,9	49,9	0,004	1,3	1,4	1,2	0	<b>214</b>
heptan 7% O2 500KPa 200 15 % HK	425	500,3	75,3	0,009	4,9	6,4	8,0	0	<b>215</b>
heptan 7% O2 500KPa 200 20 % HK	400	497	97	0,008	4,5	5,2	6,0	0	<b>215</b>
heptan 7% O2 500KPa 200 30 % HK	350	497,4	147,4	0,092	24,3	69,9	60,3	100	<b>215</b>

heptan 7% O2 500KPa 200 40 % HK	300	497	197	0,027	17,9	17,2	55,0	120	<b>215</b>
heptan 8% O2 500KPa 200 10 % HK	450	499,9	49,9	0,004	1,1	1,2	1,3	0	<b>215</b>
heptan 8% O2 500KPa 200 15 % HK	425	500,3	75,3	0,011	4,7	5,5	6,7	0	<b>215</b>
heptan 8% O2 500KPa 200 20 % HK	400	497	97	0,009	4,9	6,7	8,5	0	<b>215</b>
heptan 8% O2 500KPa 200 30 % HK	350	497,1	147,1	0,101	36,5	79,1	60,2	83	<b>215</b>
heptan 8% O2 500KPa 200 40 % HK	300	497	197	0,087	20,3	61,7	66,7	109	<b>214</b>
heptan 9% O2 500KPa 200 10 % HK	450	499,9	49,9	0,004	1,7	2,0	2,1	0	<b>215</b>
heptan 9% O2 500KPa 200 15 % HK	425	500,3	75,3	0,007	5,3	6,5	8,3	0	<b>215</b>
heptan 9% O2 500KPa 200 20 % HK	400	497	97	0,143	70,1	87,5	68,9	70	<b>215</b>
heptan 9% O2 500KPa 200 30 % HK	350	497,4	147,4	0,171	34,4	89,1	78,3	104	<b>215</b>
heptan 9% O2 500KPa 200 40 % HK	300	497	197	0,078	23,1	71,9	65,8	104	<b>214</b>
heptan 4 % O2 500KPa 220 10 % HK	450	498,5	48,5	0,018	9,2	48,8	84,6	49	<b>232</b>
heptan 9% O2 500KPa 195 10 % HK	450	499,4	49,4	0,019	1,0	1,5	1,7	0	<b>209</b>

heptan 9% O2 500KPa 195 15 % HK	425	499,6	74,6	0,009	3,2	3,6	4,5	0	<b>209</b>
heptan 9% O2 500KPa 195 20 % HK	400	496	96	0,005	3,1	3,4	3,8	0	<b>209</b>
heptan 9% O2 500KPa 195 30 % HK	350	495,9	145,9	0,126	32,6	84,2	79,0	145	<b>209</b>
heptan 9% O2 500KPa 195 40 % HK	300	494,9	194,9	0,026	17,8	3,8	4,3	0	<b>208</b>
heptan 8% O2 500KPa 195 10 % HK	450	499,4	49,4	0,004	0,9	0,9	1,0	0	<b>209</b>
heptan 8% O2 500KPa 195 15 % HK	425	499,6	74,6	0,008	2,5	3,3	4,1	0	<b>209</b>
heptan 8% O2 500KPa 195 20 % HK	400	496	96	0,011	2,7	3,6	4,2	0	<b>209</b>
heptan 8% O2 500KPa 195 30 % HK	350	495,9	145,9	0,105	22,3	74,1	76,8	193	<b>209</b>
heptan 8% O2 500KPa 195 40 % HK	300	494,9	194,9	0,024	12,9	2,6	1,8	0	<b>209</b>
heptan 7% O2 500KPa 195 10 % HK	450	499,4	49,4	0,004	1,4	1,5	1,5	0	<b>209</b>
heptan 7% O2 500KPa 195 15 % HK	425	499,6	74,6	0,008	2,5	2,9	3,4	0	<b>209</b>
heptan 7% O2 500KPa 195 20 % HK	400	496	96	0,012	2,7	3,4	3,9	0	<b>209</b>
heptan 7% O2 500KPa 195 30 % HK	350	495,9	145,9	0,042	23,1	2,1	3,0	0	<b>208</b>

heptan 7% O2 500KPa 195 40 % HK	300	494,9	194,9	0,024	12,8	2,4	1,7	0	209
heptan 6% O2 500KPa 195 10 % HK	450	499,4	49,4	0,004	1,3	1,4	1,5	0	209
heptan 6% O2 500KPa 195 15 % HK	425	499,6	74,6	0,010	2,5	3,1	3,6	0	209
heptan 6% O2 500KPa 195 20 % HK	400	496	96	0,012	2,4	0,8	3,3	0	209
heptan 6% O2 500KPa 195 30 % HK	350	495,9	145,9	0,213	13,4	1,3	1,1	0	208
heptan 6% O2 500KPa 195 40 % HK	300	494,9	194,9	0,026	8,3	2,0	1,4	0	209
heptan 9% O2 500KPa 190 10 % HK	450	498,5	48,5	0,010	4,0	3,3	2,8	0	201
heptan 9% O2 500KPa 190 15 % HK	425	498,3	73,3	0,004	4,1	3,3	2,7	0	202
heptan 9% O2 500KPa 190 20 % HK	400	494,5	94,5	0,029	3,9	3,2	2,8	0	202
heptan 9% O2 500KPa 190 30 % HK	350	493,4	143,4	0,021	4,8	2,9	2,0	0	202
heptan 9% O2 500KPa 190 40 % HK	300	491,7	191,7	0,027	7,9	0,8	0,1	0	202
heptan 8% O2 500KPa 190 10 % HK	450	498,5	48,5	0,005	1,4	0,9	1,0	0	201
heptan 8% O2 500KPa 190 15 % HK	425	498,3	73,3	0,009	2,5	1,5	0,9	0	202

heptan 8% O2 500KPa 190 20 % HK	400	494,5	94,5	0,014	1,3	1,6	1,8	0	<b>202</b>
heptan 8% O2 500KPa 190 30 % HK	350	493,4	143,4	0,022	9,2	1,0	1,5	0	<b>202</b>
heptan 8% O2 500KPa 190 40 % HK	300	491,7	191,7	0,358	6,8	1,0	0,5	0	<b>202</b>
<b>heptan 4% O2 500KPa 215 10 % HK</b>	<b>450</b>	<b>500,9</b>	<b>50,9</b>	<b>0,010</b>	8,0	15,6	89,8	61	<b>227</b>
heptan 4% O2 500KPa 215 15 % HK	425	501,9	76,9	0,010	9,5	20,5	60,5	63	<b>228</b>
heptan 4% O2 500KPa 215 20 % HK	400	498,9	98,9	0,038	19,2	49,7	40,3	0	<b>228</b>
heptan 4% O2 500KPa 215 30 % HK	350	500,4	150,4	0,022	18,3	13,1	12,8	0	<b>228</b>
heptan 4% O2 500KPa 215 40 % HK	300	501	201	0,023	8,4	10,9	11,8	0	<b>228</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 215 10 % HK</b>	<b>450</b>	<b>500,9</b>	<b>50,9</b>	<b>0,004</b>	7,0	11,5	27,5	0	<b>228</b>
heptan 3% O2 500KPa 215 15 % HK	425	501,9	76,9	0,008	8,0	13,0	26,7	0	<b>228</b>
heptan 3% O2 500KPa 215 20 % HK	400	498,9	98,9	0,013	8,0	11,1	18,8	0	<b>228</b>
heptan 3% O2 500KPa 215 30 % HK	350	500,4	150,4	0,022	3,8	1,4	1,0	0	<b>228</b>
heptan 3% O2 500KPa 215 40 % HK	300	501	201	0,024	2,3	1,7	2,4	0	<b>228</b>



<b>heptan 4% O2 200KPa 255 10 % HK</b>	180	200,9	20,9	0,037	19,6	22	19,5	0	<b>270</b>
<b>heptan 4% O2 200KPa 255 20 % HK</b>	160	201,8	41,8	0,023	1,9	15,1	12,2	0	<b>270</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 255 10 % HK</b>	450	502,3	52,3	0,076	12,9	1,2	20,1	0	<b>270</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 255 15 % HK</b>	425	503,4	78,4	0,045	4,2	7,5	27,6	0	<b>270</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 255 20 % HK</b>	400	500,2	100,2	0,051	4,8	8,2	19,3	0	<b>270</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 255 30 % HK</b>	350	500,9	150,9	0,039	9,2	12,7	23,9	0	<b>270</b>
<b>heptan 3% O2 500KPa 255 40 % HK</b>	300	500,4	200,4	0,042	7,9	14,2	26,2	0	<b>270</b>

Příloha B.

Název	Počáteční tlak [kPa]	Konečný tlak [kPa]	delta p	p max [Mpa]	deltaT			Indukční perioda [sec.]	Průměrná teplota uvnitř Autoklavu
					Dole	Uprostřed	Nahoře		
<b>pentan 260 10 % HK</b>	90,2	102,5	12,3	0,004	8,2	9,1	38,5	0	<b>263</b>
pentan 260 5 % HK	94,90	100,00	5,10	0,044	48,6	61,8	66,9	20	<b>263</b>
pentan 260 20 % HK	84,50	103,60	19,10	0,038	45,5	55,3	49,9	25	<b>263</b>
pentan 260 30 % HK	70,20	99,80	29,60	0,046	29,0	55,6	44,5	35	<b>263</b>
pentan 260 40 % HK	59,40	101,20	41,80	0,018	23,3	64,4	56,1	40	<b>264</b>
pentan 260 50 % HK	50,00	101,40	51,40	0,012	17,0	97,2	64,6	43	<b>264</b>
pentan 260 70 % HK	30,20	97,70	67,50	0,030	2,9	10,3	10,4	0	<b>264</b>

<b>pentan 250 10 % HK</b>	90,30	100,50	10,20	0,004	4,6	1,3	1,3	0	<b>250</b>
pentan 250 20 % HK	79,50	102,70	23,20	0,012	5,3	2,0	1,4	0	<b>251</b>
pentan 250 30 % HK	69,80	99,90	30,10	0,002	5,6	2,0	0,7	0	<b>252</b>
pentan 250 40 % HK	62,00	100,70	38,70	0,004	4,9	2,6	1,5	0	<b>252</b>
pentan 250 50 % HK	50,20	101,10	50,90	0,004	3,5	2,7	1,3	0	<b>252</b>
pentan 250 70 % HK	30,20	100,40	70,20	0,004	2,2	1,3	0,8	0	<b>253</b>
<b>pentan 245 10 % HK</b>	90,20	103,30	13,10	0,09	48,8	87,2	81,6	49	<b>258</b>
pentan 245 20 % HK	82,60	101,80	19,20	0,06	38,2	72,5	56,3	40	<b>259</b>
pentan 245 30 % HK	71,02	100,20	29,18	0,03	35,9	70,8	55,8	45	<b>259</b>
pentan 245 40 % HK	60,30	101,70	41,40	0,01	11,8	72,3	72,9	44	<b>260</b>
pentan 245 50 % HK	50,00	101,80	51,80	0,03	16,3	93,2	56,8	57	<b>260</b>
pentan 245 70 % HK	34,10	104,10	70,00	0,02	5,3	6,8	4,9	0	<b>260</b>

snížená koncentrace kyslíku

<b>pentan18 240 10 % HK</b>	90,00	101,20	11,20	0,01	7,3	1,2	0,5	0	<b>254</b>
pentan18 240 20 % HK	82,10	101,50	19,40	0,01	8,5	2,9	1,5	0	<b>253</b>
pentan18 240 30 % HK	70,00	100,30	30,30	0,02	7,5	3,1	1,1	0	<b>254</b>
pentan18 240 40 % HK	60,4	100,2	39,80	0,016	6,1	3,0	1,1	0	<b>254</b>
pentan18 240 50 % HK	50,6	103	52,40	0,026	6,9	6,0	2,3	0	<b>254</b>
pentan18 240 70 % HK	30	100,1	70,10	0,025	2,9	2,3	1,0	0	<b>254</b>
<b>pentan15 240 10 % HK</b>	90,2	101,7	11,50	0,007	4,9	1,5	1,0	0	<b>253</b>
pentan15 240 20 % HK	82,6	103,5	20,90	0,01	5,8	1,3	0,4	0	<b>254</b>
pentan15 240 30 % HK	70	100,1	30,10	0,015	4,6	1,7	0,7	0	<b>254</b>
pentan15 240 40 % HK	60	102,2	42,20	0,018	3,9	2,5	0,8	0	<b>254</b>
pentan15 240 50 % HK	50	100,3	50,30	0,021	3,7	2,9	0,8	0	<b>254</b>
pentan15 240 70 % HK	30	101,3	71,30	0,028	2,4	1,2	0,6	0	<b>254</b>
<b>pentan12 240 10 % HK</b>	91,6	101,5	9,90	0,004	3,7	2,1	0,6	0	<b>253</b>

pentan12 240 20 % HK	80	102,2	22,20	0,013	3,6	1,4	0,4	0	<b>254</b>
pentan12 240 30 % HK	70,2	99,5	29,30	0,004	2,1	1,6	0,7	0	<b>254</b>
pentan12 240 40 % HK	60,1	100,8	40,70	0,017	3,0	1,1	0,1	0	<b>254</b>
pentan12 240 50 % HK	50	101,2	51,20	0,029	2,7	1,3	0,4	0	<b>254</b>
pentan12 240 70 % HK	30	100,5	70,50	0,024	1,8	0,5	0,1	0	<b>254</b>
<b>pentan18 245 10 % HK</b>	<b>90</b>	<b>99,7</b>	<b>9,70</b>	<b>0,06</b>	<b>50,6</b>	<b>105,2</b>	<b>116,8</b>	<b>41</b>	<b>260</b>
pentan18 245 20 % HK	81,1	101,5	20,40	0,039	32,9	71,5	64,6	40	<b>259</b>
pentan18 245 30 % HK	70,1	100,1	30,00	0,018	32,8	60,8	63,9	44	<b>259</b>
pentan18 245 40 % HK	60	99,7	39,70	0,013	15,2	67,3	50,4	51	<b>259</b>
pentan18 245 50 % HK	50	100,6	50,60	0,025	14,4	78,5	76,6	55	<b>259</b>
pentan18 245 70 % HK	30	99,3	69,30	0,032	3,5	3,8	1,3	0	<b>259</b>
<b>pentan15 245 10 % HK</b>	<b>90</b>	<b>101,4</b>	<b>11,40</b>	<b>0,004</b>	<b>8,2</b>	<b>4,4</b>	<b>4,6</b>		<b>259</b>
pentan15 245 20 % HK	80,1	102,3	22,20	0,016	12,6	61,7	61,9	47	<b>259</b>

<b>pentan15 245 30 % HK</b>	71	100,6	29,60	0,013	15,3	62,3	52,8	53	<b>259</b>
<b>pentan15 245 40 % HK</b>	60	102	42,00	0,018	2,9	2,8	3,4	0	<b>259</b>
<b>pentan15 245 50 % HK</b>	50	103,7	53,70	0,027	7,6	9,4	3,1	0	<b>259</b>
<b>pentan15 245 70 % HK</b>	30	98,9	68,90	0,029	3,3	2,1	1,0	0	<b>259</b>
<b>pentan12 245 10 % HK</b>	90,1	100,5	10,40	0,004	5,3	1,7	0,9	0	<b>260</b>
<b>pentan12 245 20 % HK</b>	80,5	100,6	20,10	0,013	3,3	2,7	1,2	0	<b>259</b>
<b>pentan12 245 30 % HK</b>	70,3	99,9	29,60	0,013	7,3	4,0	1,1	0	<b>259</b>
<b>pentan12 245 40 % HK</b>	60	100,2	40,20	0,017	6,2	3,8	1,4	0	<b>259</b>
<b>pentan12 245 50 % HK</b>	52	101,7	49,70	0,024	5,5	2,7	0,7	0	<b>259</b>
<b>pentan12 245 70 % HK</b>	30,2	101,4	71,20	0,044	0,7	2,3	1,1	0	<b>259</b>
<b>pentan12 250 10 % HK</b>	90,1	100,8	10,70	0,008	32,9	45,0	49,4	36	<b>263</b>
<b>pentan12 250 10 % HK</b>	80	102,3	22,30	0,013	10,4	49,3	46,7	38	<b>264</b>
<b>pentan12 250 30 % HK</b>	70	100,3	30,30	0,025	11,6	84,8	66,7	49	<b>264</b>

<b>pentan12 250 40 % HK</b>	60	101,3	41,30	0,028	10,5	40,3	52,0	56	<b>264</b>
<b>pentan12 250 50 % HK</b>	50	103,5	53,50	0,03	6,4	5,4	5,5	0	<b>264</b>
<b>pentan12 250 70 % HK</b>	30	100,9	70,90	0,032	2,7	2,0	0,6	0	<b>264</b>
<b>pentan9 250 10 % HK</b>	90,5	100,4	9,90	0,007	11,7	19,6	20,5	61	<b>263</b>
<b>pentan9 250 20 % HK</b>	80,5	101,1	20,60	0,013	10,1	18,7	6,7	67	<b>263</b>
<b>pentan9 250 30 % HK</b>	70,2	100,8	30,60	0,019	5,7	2,2	0,5	0	<b>263</b>
<b>pentan9 250 40 % HK</b>	60,3	100,5	40,20	0,018	5,0	2,3	0,8	0	<b>263</b>
<b>pentan9 250 50 % HK</b>	50,3	104,6	54,30	0,019	3,9	2,1	1,2	0	<b>263</b>
<b>pentan9 250 70 % HK</b>	29,9	102,7	72,80	0,039	1,8	1,3	0,6	0	<b>263</b>
<b>pentan9 245 10 % HK</b>	90	100,6	10,60	0,004	0,0	0,0	0,0	0	<b>257</b>
<b>pentan9 245 20 % HK</b>	80	100,8	20,80	0,013	2,0	0,2	0,2	0	<b>257</b>
<b>pentan9 245 30 % HK</b>	72,3	99,7	27,40	0,013	3,4	0,4	0,1	0	<b>257</b>
<b>pentan9 245 40 % HK</b>	60	101,1	41,10	0,018	2,8	0,6	0,3	0	<b>257</b>

pentan9 245 50 % HK	50	100,8	50,80	0,022	2,9	0,7	0,3	0	<b>258</b>
pentan9 245 70 % HK	30	103,5	73,50	0,041	1,6	1,2	0,4	0	<b>258</b>
<b>pentan9 270 10 % HK</b>	<b>89,9</b>	<b>99,9</b>	<b>10,00</b>	<b>0,012</b>	<b>22,2</b>	<b>31,6</b>	<b>11,9</b>	<b>14</b>	<b>283</b>
pentan9 270 20 % HK	80,1	100,3	20,20	0,023	24,0	29,6	19,1	21	<b>282</b>
pentan9 270 30 % HK	70,5	100	29,50	0,034	5,0	10,8	21,5	25	<b>280</b>
pentan9 270 40 % HK	59,9	100,8	40,90	0,029	4,4	14,9	16,8	29	<b>280</b>
pentan9 270 50 % HK	50,6	100,1	49,50	0,03	3,4	13,0	15,6	0	<b>279</b>
pentan9 270 70 % HK	30	101,6	71,60	0,041	1,4	10,8	2,3	0	<b>279</b>
<b>Pentan 10 % O2 255 10% HK</b>	<b>90,2</b>	<b>100,3</b>	<b>10,1</b>	<b>0,011</b>	<b>37,00</b>	<b>46,90</b>	<b>44,80</b>	<b>0</b>	<b>264</b>
Pentan 10 % O2 255 20% HK	80,1	100,1	20	0,014	29,30	48,70	45,80	0	<b>264</b>
Pentan 10 % O2 255 30% HK	70	100,2	30,2	0,012	14,00	33,90	33,10	0	<b>265</b>
Pentan 10 % O2 255 40% HK	60	100,2	40,2	0,016	15,50	46,90	38,30	0	<b>265</b>
Pentan 10 % O2 255 50% HK	50,3	100,7	50,4	0,022	13,20	41,70	27,10	0	<b>265</b>



<b>Pentan 11 % O2 255 10% HK</b>	90	100	10	0,016	44,00	62,60	57,40	33	<b>265</b>
Pentan 11 % O2 255 20% HK	80,1	100,1	20	0,013	30,60	54,00	50,00	33	<b>265</b>
Pentan 11 % O2 255 30% HK	70	100	30	0,019	22,70	46,60	43,30	0	<b>265</b>
Pentan 11 % O2 255 40% HK	60,1	100	39,9	0,027	13,70	40,90	35,10	0	<b>265</b>
Pentan 11 % O2 255 50% HK	50,1	99,8	49,7	0,023	12,00	49,80	40,00	0	<b>265</b>
<b>Pentan 11 % O2 250 10% HK</b>	90,1	100,2	10,1	0,011	10,10	81,10	66,10	57	<b>260</b>
Pentan 11 % O2 250 20 % HK	80	99,9	19,9	0,016	7,90	74,60	67,90	66	<b>260</b>
Pentan 11 % O2 250 30 % HK	70	99,9	29,9	0,019	13,70	71,40	48,10	68	<b>260</b>
Pentan 11 % O2 250 40 % HK	60	100,3	40,3	0,04	3,90	3,60	2,20	0	<b>260</b>
Pentan 11 % O2 250 50 % HK	50	100,3	50,3	0,032	5,20	2,80	1,10	0	<b>260</b>
<b>Pentan 11 % O2 245 10 % HK</b>	90	99,8	9,8	0,012	4,30	0,50	0,10	0	<b>255</b>
Pentan 11 % O2 245 20 % HK	80	100	20	0,013	5,50	0,60	0,10	0	<b>256</b>
Pentan 11 % O2 245 30 % HK	70	100,1	30,1	0,031	4,50	1,20	0,50	0	<b>256</b>

Pentan 11 % O2 245 40 % HK	60	100	40	0,033	4,00	1,00	0,10	0	<b>256</b>
Pentan 11 % O2 245 50 % HK	50	100	50	0,029	3,80	1,00	0,30	0	<b>256</b>
<b>Pentan 10 % O2 285 10 % HK</b>	<b>90</b>	<b>100,1</b>	<b>10,1</b>	<b>0,004</b>	<b>36,70</b>	<b>32,30</b>	<b>43,30</b>	<b>0</b>	<b>291</b>
Pentan 10 % O2 285 20 % HK	80	100	20	0,024	25,30	21,20	47,80	0	<b>292</b>
Pentan 10 % O2 285 30 % HK	70	100	30	0,028	8,60	48,90	51,00	9	<b>292</b>
Pentan 10 % O2 285 40 % HK	60	100	40	0,001	4,90	13,40	42,10	0	<b>292</b>
Pentan 10 % O2 285 50 % HK	50	100,3	50,3	0,035	1,60	34,60	27,30	0	<b>293</b>
<b>zvýšený tlak 200 kPa a 500 kPa</b>									
<b>pentan200kPa 230 10 % HK</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>20,00</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>	<b>242</b>
pentan200kPa 230 20 % HK	160	197,8	37,8	0,011	5,9	0,6	0,9	0	<b>242</b>
pentan200kPa 230 30 % HK	140	202,9	62,9	0,012	6,9	3,8	1,5	0	<b>242</b>
pentan200kPa 230 40 % HK	120	208,1	88,1	0,013	6,9	1,3	0,6	0	<b>242</b>
pentan200kPa 230 50 % HK	103,5	210,1	106,6	0,014	4,9	2,9	1,8	0	<b>242</b>

<b>pentan500kPa 230 10 % HK</b>	450	500,3	50,3	0,007	9,2	2,4	2,5	0	<b>243</b>
pentan500kPa 230 15 % HK	430	501,1	71,1	0,522	112,8	212,1	147,1	62	<b>243</b>
pentan500kPa 230 20 % HK	400	506,6	106,6	0,412	104,5	184,9	166,6	68	<b>243</b>
pentan500kPa 230 25 % HK	375	499,4	124,4	0,383	94,5	179,2	138,8	70	<b>243</b>
pentan500kPa 230 30 % HK	350	505,5	155,5	0,382	88,4	153,7	141,1	71	<b>243</b>
<b>pentan200kPa 235 10 % HK</b>	180	200,4	20,4	0,001	0,0	0,0	0,0	0	<b>248</b>
pentan200kPa 235 20 % HK	160	198,5	38,5	0,141	62,3	89,9	83,6	63	<b>247</b>
pentan200kPa 235 30 % HK	140	203,8	63,8	0,109	57,0	91,6	67,4	67	<b>247</b>
pentan200kPa 235 40 % HK	120	209,3	89,3	0,064	22,6	85,1	59,7	79	<b>247</b>
pentan200kPa 235 50 % HK	103,2	193,3	90,1	0,015	17,8	18,5	10,2	0	<b>247</b>
<b>Pentan 21 % O2 500kPa 225 10% HK</b>	450	500	50	0,025	0,80	0,70	0,60	0	<b>238</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 225 15% HK	425	500,1	75,1	0,026	3,60	1,10	1,60	0	<b>238</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 225 20% HK	400	500,1	100,1	0,025	4,80	0,60	0,90	0	<b>238</b>

Pentan 21 % O2 500kPa 225 25% HK	375,1	498,7	123,6	0,316	101,10	155,80	138,70	104	<b>238</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 225 30% HK	350	504,6	154,6	0,241	89,10	149,90	114,90	107	<b>238</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 225 40% HK	300,7	496,5	195,8	0,214	77,80	131,90	108,20	121	<b>238</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 10% HK	450	499,4	49,4	0,008	1,3	0,7	0,7	0	<b>232</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 15% HK	425	499	74	0,01	3,70	1,20	1,20	0	<b>233</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 20% HK	400	501,6	101,6	0,02	9,10	0,00	0,80	0	<b>233</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 25% HK	375	502	127	0,018	14,20	0,60	0,90	0	<b>233</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 30% HK	350	502,4	152,4	0,195	90,60	170,40	138,20	281	<b>232</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 220 40% HK	300	503	203	0,215	56,80	132,90	112,70	211	<b>232</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 215 10% HK	450	499,2	49,2	0,006	1,30	0,70	0,50	0	<b>227</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 215 15% HK	425	498,8	73,8	0,008	1,5	0,6	0,4	0	<b>228</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 215 20% HK	400	501,4	101,4	0,024	3,30	0,50	0,50	0	<b>228</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 215 25% HK	375	501,8	126,8	0,017	2,40	0,10	0,30	0	<b>228</b>

Pentan 21 % O2 500kPa 215 30% HK	350	502,2	152,2	0,024	4,30	0,40	0,40	0	<b>228</b>
Pentan 21 % O2 500kPa 215 40% HK	300	502,8	202,8	0,028	5,60	1,30	0,50	0	<b>228</b>

### snížená koncentrace kyslíku při tlaku

Pentan 15 % O2 200kPa 230 10% HK	180,3	500,4	320,1	0,004	0,0	0,0	0,0	0	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 230 20% HK	160	198	38	0,012	5,4	0,9	0,9	0	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 230 30% HK	140	203,3	63,3	0,012	6,0	3,0	1,2	0	<b>242</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 230 40% HK	120	198	78	0,016	5,5	1,3	0,3	0	<b>242</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 230 50% HK	100	201,1	101,1	0,023	4,6	3,0	0,8	0	<b>242</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 235 10% HK	180	200,3	20,3	0,004	0,7	0,2	0,0	0	<b>248</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 235 20% HK	160	198,3	38,3	0,007	4,5	0,8	0,7	0	<b>248</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 235 30% HK	140	203,8	63,8	0,011	6,6	0,8	0,9	0	<b>248</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 235 40% HK	120	198,8	78,8	0,016	8,2	2,2	1,3	0	<b>248</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 235 50% HK	100	201,9	101,9	0,014	6,3	1,2	0,4	0	<b>247</b>

<b>Pentan 15 % O2 200kPa 240 10% HK</b>	180	200,5	20,5	0,004	0,4	0,0	0,0	0	<b>254</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 240 20% HK	160	201	41	0,004	0,0	0,0	0,0	0	<b>253</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 240 30% HK	140	204,5	64,5	0,007	54,8	82,2	59,1	45	<b>253</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 240 40% HK	120	199,7	79,7	0,004	0,9	0,7	0,7	0	<b>252</b>
Pentan 15 % O2 200kPa 240 50% HK	100	206,3	106,3	0,004	1,3	0,2	0,0	0	<b>252</b>
<b>Pentan 15% O2 200kPa 240 10% HK</b>	180	205,7	25,7	0,01	9,90	1,90	2,60	0	<b>252</b>
Pentan 15% O2 200kPa 240 20% HK	160	198,6	38,6	0,106	55,90	76,80	69,20	46	<b>251</b>
Pentan 15% O2 200kPa 240 30% HK	140	204,3	64,3	0,074	43,70	79,50	60,10	56	<b>251</b>
Pentan 15% O2 200kPa 240 40% HK	120	197,1	77,1	0,069	40,10	76,80	46,20	66	<b>251</b>
Pentan 15% O2 200kPa 240 50% HK	100	202,8	102,8	0,031	14,70	72,00	59,40	102	<b>251</b>
<b>Pentan 9% O2 200kPa 245 10% HK</b>	180	205,6	25,6	0,105	48,3	87,6	84,2	47	<b>256</b>
Pentan 9% O2 200kPa 245 20% HK	160	198,9	38,9	0,062	36,5	81,8	61,5	44	<b>257</b>
Pentan 9% O2 200kPa 245 30% HK	140	204,8	64,8	0,032	27,1	56,1	43,0	52	<b>257</b>

Pentan 9% O2 200kPa 245 40% HK	120	197,7	77,7	0,024	15,6	49,4	37,1	60	<b>257</b>
Pentan 9% O2 200kPa 245 50% HK	100	203,9	103,9	0,012	14,1	82,3	69,0	78	<b>257</b>
<b>Pentan 6% O2 200kPa 245 10% HK</b>	<b>180</b>	<b>205,6</b>	<b>25,6</b>	<b>0,018</b>	14,1	54,1	57,7	<b>57</b>	<b>257</b>
Pentan 6% O2 200kPa 245 20% HK	160	198,9	38,9	0,009	13,5	8,4	4,6	0	<b>256</b>
Pentan 6% O2 200kPa 245 30% HK	140	204,8	64,8	0,012	18,3	45,7	48,6	68	<b>256</b>
Pentan 6% O2 200kPa 245 40% HK	120	197,7	77,7	0,011	10,6	2,1	1,2	0	<b>256</b>
Pentan 6% O2 200kPa 245 50% HK	100	203,9	103,9	0,011	5,7	1,2	0,4	0	<b>256</b>
<b>Pentan 9% O2 200kPa 240 10% HK</b>	<b>180</b>	<b>205,7</b>	<b>25,7</b>	<b>0,007</b>	5,8	0,7	1,1	<b>0</b>	<b>251</b>
Pentan 9% O2 200kPa 240 20% HK	160	198,6	38,6	0,011	13,4	2,6	1,8	0	<b>251</b>
Pentan 9% O2 200kPa 240 30% HK	140	204,3	64,3	0,015	10,4	1,0	1,0	0	<b>252</b>
Pentan 9% O2 200kPa 240 40% HK	120	197,1	77,1	0,018	9,9	2,0	1,6	0	<b>252</b>
Pentan 9% O2 200kPa 240 50% HK	100	202,8	102,8	0,024	6,6	2,0	1,2	0	<b>252</b>
Pentan 9% O2 200kPa 255 10% HK	180	206,4	26,4	0,066	49,20	84,20	50,20		<b>270</b>

<b>Pentan 6% O2 200kPa 240 10% HK</b>	180	205,7	25,7	0,005	4,00	0,10	0,30	0	<b>252</b>
Pentan 6% O2 200kPa 240 20% HK	160	198,6	38,6	0,008	5,20	0,50	0,70	0	<b>252</b>
Pentan 6% O2 200kPa 240 30% HK	140	204,3	64,3	0,011	8,10	0,70	1,10	0	<b>252</b>
Pentan 6% O2 200kPa 240 40% HK	120	197,1	77,1	0,011	5,30	0,70	0,80	0	<b>252</b>
Pentan 6% O2 200kPa 240 50% HK	100	202,8	102,8	0,013	3,80	0,50	0,40	0	<b>252</b>
<b>Pentan 6% O2 200kPa 255 10% HK</b>	180	206,4	26,4	0,021	30,6	57,3	41,2	0	<b>269</b>
Pentan 6% O2 200kPa 255 20% HK	160	199,9	39,9	0,012	27,5	47,2	36,2	0	<b>269</b>
Pentan 6% O2 200kPa 255 30% HK	140	206,5	66,5	0,02	23,8	29,7	30,4	0	<b>269</b>
Pentan 6% O2 200kPa 255 40% HK	120	199,8	79,8	0,017	23,8	40,9	20,7	0	<b>269</b>
Pentan 6% O2 200kPa 255 50% HK	100	206,4	106,4	0,009	10,8	33,5	27,2	0	<b>269</b>
<b>Pentan 5% O2 200kPa 255 10% HK</b>	180	206,4	26,4	0,012	6,9	41,9	46,9	0	<b>269</b>
Pentan 5% O2 200kPa 255 20% HK	160	199,9	39,9	0,014	23,9	39,1	27,8	0	<b>269</b>
Pentan 5% O2 200kPa 255 30% HK	140	206,5	66,5	0,015	17,3	37,0	25,1	0	<b>269</b>



Pentan 5% O2 200kPa 255 40% HK	120	199,8	79,8	0,004	16,2	11,4	30,7	0	<b>269</b>
Pentan 5% O2 200kPa 255 50% HK	100	206,4	106,4	0,002	9,3	17,0	24,1	0	<b>269</b>
<b>Pentan 5% O2 200kPa 270 10% HK</b>	<b>180</b>	<b>205,7</b>	<b>25,7</b>	<b>0,019</b>	<b>32,50</b>	<b>43,00</b>	<b>37,80</b>	<b>0</b>	<b>282</b>
Pentan 5% O2 200kPa 270 20% HK	160	197,6	37,6	0,018	30,10	35,30	24,00	0	<b>283</b>

#### snížená koncentrace kyslíku při tlaku

<b>Pentan 15 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,6</b>	<b>50,6</b>	<b>0,01</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>0</b>	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 230 15% HK	425	501	76	0,3	93,5	154,3	127,4	67	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 230 20% HK	400,2	501,5	101,3	0,256	87,0	131,7	96,8	67	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 230 25% HK	375,9	501	125,1	0,275	101,9	130,4	104,2	68	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 230 30% HK	350	493	143	0,163	61,6	105,3	91,8	80	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 230 40% HK	300,8	498,9	198,1	0,185	62,3	117,3	102,7	85	<b>243</b>
<b>Pentan 12 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,6</b>	<b>50,6</b>	<b>0,28</b>	<b>81,1</b>	<b>140,8</b>	<b>102,2</b>	<b>83</b>	<b>243</b>

Pentan 12 % O2 500kPa 230 15% HK	425	501	76	0,237	79,9	114,8	96,1	74	<b>243</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 230 20% HK	400	501,3	101,3	0,013	3,1	3,2	3,4	0	<b>243</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 230 25% HK	375,2	500,3	125,1	0,188	69,4	123,8	99,8	75	<b>243</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 230 30% HK	375,4	493,4	118	0,165	62,2	116,1	88,4	77	<b>243</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 230 40% HK	300,5	498,6	198,1	0,131	41,8	99,5	85,3	94	<b>243</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 10% HK	450	500	50	0,026	7,6	-0,1	0,4	0	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 15% HK	425	500,1	75,1	0,026	17,80	1,60	2,00	0	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 20% HK	400,2	500,3	100,1	0,261	81,50	112,70	103,40	135	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 25% HK	375	496,6	121,6	0,121	75,90	112,20	101,20	140	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 30% HK	350	504,6	154,6	0,264	83,00	132,50	105,20	121	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 225 40% HK	300	495,8	195,8	0,204	62,60	114,90	99,50	139	<b>238</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 220 10% HK	450	499,4	49,4	0,01	2,70	0,50	0,80	0	<b>233</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 220 15% HK	425	499	74	0,01	3,4	1,2	0,7	0	<b>232</b>

Pentan 15 % O2 500kPa 220 20% HK	400	501,6	101,6	0,021	8,0	0,1	0,7	0	<b>232</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 220 30% HK	350	502,4	152,4	0,03	14,8	0,8	0,9	0	<b>232</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 220 40% HK	310	513	203	0,18	35,2	109,7	98,2	302	<b>232</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 220 40% HK 2	300	503	203	0,082	20,9	164,4	115,3	337	<b>232</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 215 10% HK	450	499,2	49,2	0,009	2,4	0,2	0,3	0	<b>228</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 215 15% HK	425	498,8	73,8	0,012	2,3	0,1	0,2	0	<b>228</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 215 20% HK	400	501,4	101,4	0,017	2,3	0,0	0,5	0	<b>228</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 215 30% HK	350	502,2	152,2	0,015	3,2	0,1	0,5	0	<b>228</b>
Pentan 15 % O2 500kPa 215 40% HK	300	502,8	202,8	0,044	3,4	0,5	0,2	0	<b>228</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 225 10% HK	450	500	50	0,026	4,3	-0,1	0,6	0	<b>238</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 225 15% HK	425	500,1	75,1	0,026	8,5	0,0	0,4	0	<b>238</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 225 20% HK	400,4	500,5	100,1	0,026	11,0	1,0	1,5	0	<b>238</b>

Pentan 12 % O2 500kPa 225 25% HK	375	498,6	123,6	0,253	69,8	129,8	96,1	127	<b>238</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 225 30% HK	350	504,6	154,6	0,06	63,9	123,8	104,8	139	<b>238</b>
Pentan 12 % O2 500kPa 225 40% HK	300	495,8	195,8	0,167	22,80	95,70	88,50	154	<b>238</b>
<b>Pentan 9 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,3</b>	<b>50,3</b>	<b>0,01</b>	<b>7,20</b>	<b>0,80</b>	<b>1,20</b>	<b>0</b>	<b>243</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 230 15% HK	425	500,5	75,5	0,297	72,10	119,60	93,40	82	<b>243</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 230 20% HK	400	500,7	100,7	0,179	63,10	109,30	83,10	75	<b>243</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 230 30% HK	350	505,5	155,5	0,122	47,60	92,00	70,30	86	<b>244</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 230 40% HK	300	496,9	196,9	0,087	22,70	75,90	69,30	107	<b>244</b>
<b>Pentan 6 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,3</b>	<b>50,3</b>	<b>0,009</b>	<b>4,9</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0</b>	<b>242</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 230 15% HK	425	500,5	75,5	0,011	7,6	1,9	1,9	0	<b>243</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 230 20% HK	400	500,7	100,7	0,092	16,0	74,0	63,6	105	<b>243</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 230 30% HK	350	505,7	155,7	0,085	24,1	67,3	57,5	117	<b>244</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 230 40% HK	300	496,9	196,9	0,023	11,1	3,8	3,4	0	<b>244</b>

<b>Pentan 5 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	450	500,3	50,3	0,035	5,2	0,7	1,0	0	<b>244</b>
Pentan 5 % O2 500kPa 230 15% HK	425	500,5	75,5	0,016	9,6	0,6	1,1	0	<b>243</b>
Pentan 5 % O2 500kPa 230 20% HK	400	500,7	100,7	0,066	17,7	61,5	63,4	113	<b>244</b>
Pentan 5 % O2 500kPa 230 30% HK	350	505,5	155,5	0,022	18,6	3,7	2,6	0	<b>244</b>
Pentan 5 % O2 500kPa 230 40% HK	300	496,9	196,9	0,051	7,2	1,9	1,8	0	<b>244</b>
<b>Pentan 4 % O2 500kPa 230 10% HK</b>	450	500,3	50,3	0,009	5,4	0,0	0,4	0	<b>244</b>
Pentan 4 % O2 500kPa 230 15% HK	425	500,5	75,5	0,029	20,2	3,5	2,2	0	<b>244</b>
Pentan 4 % O2 500kPa 230 20% HK	400	500,7	100,7	0,026	16,1	0,5	1,1	0	<b>244</b>
Pentan 4 % O2 500kPa 230 30% HK	350	505,5	155,5	0,015	11,5	0,6	1,5	0	<b>244</b>
Pentan 4 % O2 500kPa 230 40% HK	300	496,9	196,9	0,036	4,8	2,8	1,1	0	<b>244</b>
<b>Pentan 4% O2 500kPa 240 10% HK</b>	450	501,4	51,4	0,041	14,00	58,10	72,70	57	<b>251</b>
Pentan 4% O2 500kPa 240 15% HK	425	502,1	77,1	0,066	27,70	60,20	54,50	58	<b>251</b>
Pentan 4% O2 500kPa 240 20% HK	400	502,8	102,8	0,041	27,10	11,60	18,80	0	<b>251</b>

Pentan 4% O2 500kPa 240 30% HK	350	495,2	145,2	0,035	18,20	9,50	5,40	0	<b>250</b>
Pentan 4% O2 500kPa 240 40% HK	300	501,1	201,1	0,034	10,20	3,20	3,10	0	<b>250</b>
<b>Pentan 4% O2 500kPa 245 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>501,3</b>	<b>51,3</b>	<b>0,041</b>	<b>25,40</b>	<b>92,40</b>	<b>64,70</b>	<b>62</b>	<b>256</b>
Pentan 4% O2 500kPa 245 15% HK	425	502	77	0,083	35,60	59,20	54,70	44	<b>257</b>
Pentan 4% O2 500kPa 245 20% HK	400	502,6	102,6	0,057	25,00	53,80	43,30	63	<b>257</b>
Pentan 4% O2 500kPa 245 30% HK	350	494,9	144,9	0,039	19,10	15,80	26,80	0	<b>256</b>
Pentan 4% O2 500kPa 245 40% HK	300	500,8	200,8	0,022	13,10	11,80	9,60	0	<b>255</b>
<b>Pentan 9 % O2 500kPa 225 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,1</b>	<b>50,1</b>	<b>0,009</b>	<b>2,90</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>0</b>	<b>239</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 225 15% HK	425	500,3	75,3	0,011	18,70	2,70	1,30	0	<b>239</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 225 20% HK	400	500,5	100,5	0,179	33,70	108,80	85,90	174	<b>238</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 225 30% HK	350	504,9	154,9	0,16	44,10	94,80	87,10	161	<b>238</b>
Pentan 9 % O2 500kPa 225 40% HK	300	496,2	196,2	0,027	14,90	13,30	2,80	0	<b>238</b>
<b>Pentan 6 % O2 500kPa 225 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,1</b>	<b>50,1</b>	<b>0,019</b>	<b>3,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0</b>	<b>238</b>

Pentan 6 % O2 500kPa 225 15% HK	425	500,3	75,3	0,019	6,30	1,20	1,90	0	<b>238</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 225 20% HK	400	500,5	100,5	0,019	9,00	0,30	0,50	0	<b>238</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 225 30% HK	350	504,9	154,9	0,021	8,30	0,00	0,10	0	<b>238</b>
Pentan 6 % O2 500kPa 225 40% HK	300	496,2	196,2	0,054	3,00	0,20	1,20	0	<b>238</b>
<b>Pentan 5% O2 500kPa 225 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>500,1</b>	<b>50,1</b>	<b>0,001</b>	<b>5,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,70</b>	<b>0</b>	<b>238</b>
Pentan 5% O2 500kPa 225 20% HK	400	500,5	100,5	0,002	0,50	-0,50	-0,40	0	<b>238</b>
Pentan 5% O2 500kPa 225 30% HK	350	504,9	154,9	0,003	2,90	0,50	0,70	0	<b>238</b>
Pentan 5% O2 500kPa 225 40% HK	300	496,2	196,2	0,001	1,20	-0,80	-0,90	0	<b>238</b>
<b>Pentan 9% O2 500kPa 220 10% HK</b>	<b>450</b>	<b>499,7</b>	<b>49,7</b>	<b>0,001</b>	<b>10,10</b>	<b>6,30</b>	<b>6,70</b>	<b>0</b>	<b>233</b>
Pentan 9% O2 500kPa 220 15% HK	425	499,6	74,6	0,001	24,80	8,40	7,10	0	<b>233</b>
Pentan 9% O2 500kPa 220 20% HK	400	499,3	99,3	0,175	38,30	112,70	86,90	0	<b>233</b>
Pentan 9% O2 500kPa 220 30% HK	350	503,3	153,3	0,154	49,80	100,10	92,00	0	<b>233</b>
Pentan 9% O2 500kPa 220 40% HK	300	504,5	204,5	0,002	20,40	18,20	7,20	0	<b>233</b>

<b>Pentan 4% O2 500kPa 255 10% HK</b>	450	502,8	52,8	0,069	30,70	62,60	46,00	<b>268</b>
<b>Pentan 4% O2 500kPa 255 15% HK</b>	425	504,2	79,2	0,045	35,10	52,30	43,70	<b>268</b>
<b>Pentan 3% O2 500kPa 255 10% HK</b>	450	502,8	52,8	0,055	26,40	40,50	36,60	0 <b>268</b>
<b>Pentan 3% O2 500kPa 255 15% HK</b>	425	504,2	79,2	0,048	17,10	44,00	34,80	0 <b>269</b>
<b>Pentan 3% O2 500kPa 255 20% HK</b>	400	505,6	105,6	0,038	18,30	36,60	34,10	0 <b>269</b>
<b>Pentan 3% O2 500kPa 255 30% HK</b>	350	499,1	149,1	0,018	11,50	26,70	29,70	0 <b>269</b>
<b>Pentan 3% O2 500kPa 255 40% HK</b>	300	506,5	206,5	0,039	5,30	19,20	19,10	0 <b>269</b>