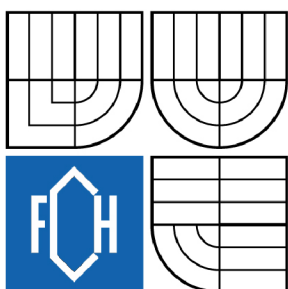




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
ENVIRONMENTAL PROTECTION

## TEPLONOSNÉ KAPALINY PRO CELOROČNÍ TERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

NON-FREEZING HEAT TRANSFER FLUIDS IN SOLAR THERMIC SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

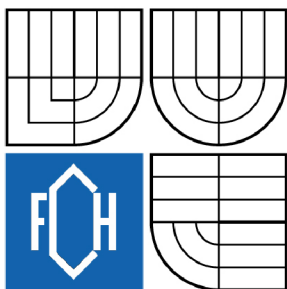
FRANTIŠEK MIKŠÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF KOTLÍK, CSc.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce

**FCH-BAK0214/2007**

Akademický rok: **2007/2008**

Ústav

Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí

Student(ka)

**Mikšík František**

Studijní program

Chemie a chemické technologie (B2801)

Studijní obor

Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002)

Vedoucí bakalářské práce

**Ing. Josef Kotlík, CSc.**

Konzultanti bakalářské práce

### Název bakalářské práce:

Teplonosné kapaliny pro celoroční termické solární systémy

### Zadání bakalářské práce:

Vytypovat vhodné nemrznoucí teplonosné kapaliny pro moderní termické solární systémy a stanovit základní kritéria pro antikorozi systém.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 30.5.2008

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

---

František Mikšík  
student(ka)

---

Ing. Josef Kotlík, CSc.  
Vedoucí práce

---

Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2007

---

doc. Ing. Jaromír Havlica, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Předmětem práce je studium nemrznoucích teplotnosných kapalin pro celoroční termické solární systémy. Byla zkoumána látka propan-1,3-diol, která byla porovnána s dnes používanými teplotnosnými kapalinami propan-1,2-diolem a ethan-1,2-diolem. Porovnány byly zejména fyzikálně-chemické vlastnosti látky z hlediska použitelnosti v moderních solárních systémech. Látka byla zkoumána také z hlediska ekologie a toxikologie.

Klíčová slova: nemrznoucí teplotnosné kapaliny, solární systémy, degradace, koroze

## **ABSTRAKT**

The subject of this thesis is a study of non-freezing heat transfer liquids for perennial traffic thermal solar systems. The investigated substance propane-1,3-diol has been compared with commonly used heat transfer liquids propane-1,2-diole and ethan-1,2-diole. The compared attributes has been above all physical and chemical properties from view of applicable in modern solar systems. The substance has been studied also in ecological and toxicological perspective.

Key words: non-freezing heat transfer fluids, solar systems, degradation, corrosion

MIKŠÍK, F. Teplonosné kapaliny pro celoroční termické solární systémy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2008. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Kotlík, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

Děkuji slunci za inspiraci.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>7</b>
2.1	TERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY .....	7
2.1.1	<i>Konstrukce kapalinových kolektorů</i> .....	8
2.1.2	<i>Materiály použité při stavbě solárních systémů</i> .....	9
2.2	MÉDIA DO TERMICKÝCH SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ .....	9
2.2.1	<i>Voda</i> .....	9
2.2.2	<i>Glykolové nemrznoucí směsi</i> .....	10
2.2.3	<i>Antikorozní úprava glykolových směsí</i> .....	12
<b>3</b>	<b>NÁVRH NEMRZNOUCÍ SMĚSI DO TERMICKÝCH SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ NA BÁZI PROPAN-1,3-DIOLU</b> .....	<b>13</b>
3.1	POŽADAVKY .....	13
3.2	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI 1,3-PROPANDIOLU .....	13
3.2.1	<i>Bod tuhnutí</i> .....	14
3.2.2	<i>Tepelná kapacita</i> .....	15
3.2.3	<i>Viskozita</i> .....	16
3.2.4	<i>Hořlavost</i> .....	17
3.2.5	<i>Chemická odolnost a termická stálost</i> .....	18
3.3	KOROZE .....	19
3.3.1	<i>Definice pojmu</i> .....	19
3.3.2	<i>Korosivní vlastnosti propan-1,3-diolu</i> .....	19
3.3.3	<i>Inhibitory koroze</i> .....	19
3.4	TOXICITA .....	20
3.5	BIOLOGICKÁ ROZLOŽITELNOST .....	21
3.6	DOSTUPNOST NA TRHU .....	22
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>29</b>

# 1 ÚVOD

Slunce je hlavním zdrojem energie na Zemi. Dnes nejvíce používaná energie pochází z fosilních paliv a právě sluneční energie je hlavní složkou těchto paliv. Uložena a koncentrována leží pod zemí, kde ji před milióny let rostliny a živočichové přijali a uložili ve svých tělech a daly tak, po dlouhé době působení vysokých tlaků a teplot, vzniknou uhlí, ropě a jiným fosilním zdrojům energie. Ani vodní elektrárny, které čerpají energii z vodního koloběhu, či větrné elektrárny spoléhající na pohyb vzduchu by se bez slunečního záření neobešly. Sluneční energie má mnoho výhod. Je prakticky nevyčerpatelná, ekologická a je zadarmo. Je proto nasnadě se pokusit ji využít co nejvíce a omezit tak čerpání neobnovitelných zdrojů energie.

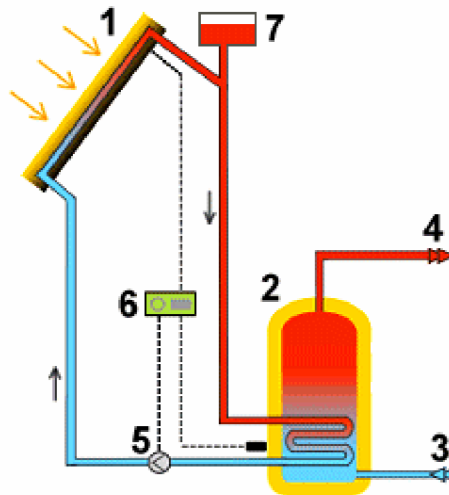
Jednou z možností, která se nám nabízí, je ohřev vody pomocí slunečního záření. Abychom byli schopni co nejefektivněji přeměnit sluneční energii na teplou vodu, je k tomu zapotřebí specifických technických zařízení, které se nazývají sluneční kolektory. Sluneční kolektory jsou zařízení, která přijímají svým povrchem tepelné záření ze slunce a napomáhají jejímu přenosu a ukládání do teplonosné kapaliny, která je jako zdroj tepla dále zpracovávána, pro ohřev užitkové vody, přitápění v domácnostech či jinak. Ačkoliv je sama sluneční energie ekologická, na výrobu zařízení, které jsou schopny ji zpracovat, jsou zapotřebí zdroje a energetické nároky, které již tak ekologické být nemusí. Proto, abychom co nejvíce snížili nároky na přírodní prostředí a vyčerpatelné přírodní zdroje, je naší snahou prodloužit životnost a zaručit vysoký výkon takového zařízení. Nejjednodušší součástí, kterou můžeme našeho cíle dosáhnout, je výběr správné teplonosné kapaliny, která nám umožní čerpat sluneční energii po celý rok a zároveň minimálně poškozuje solární systém ve kterém obíhá.

Cílem této práce je prozkoumat možnosti dnes již používaných nemrznoucích kapalin do celoročních solárních systémů a zároveň navrhnout nová efektivnější řešení. Dnes používané kapaliny jsou odvozeny od chladících systémů u automobilů, kde našly své první využití. Otázkou tedy je, zda-li jsou tyto kapaliny dostačující a jestli vyhovují i pro použití v solárních systémech.

## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 Termické solární systémy

Pod tímto pojmem rozumíme technické zařízení schopné konvertovat sluneční záření dopadající na zem na tepelnou energii. Tato energie je poté ukládána v médiu, které se dále zpracovává. Solární systémy využívající jako médium kapalinu, jež jsou konstruovány pro ohřev užitkové vody v domácnosti, jsou zpravidla dvouokruhové.[2]



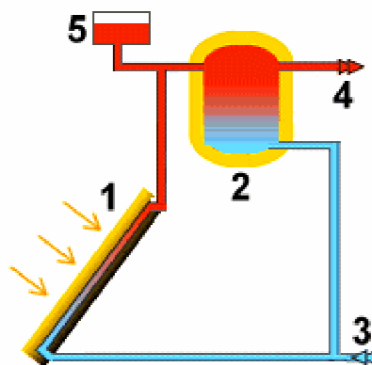
Obrázek 1: Dvouokruhový kapalinový solární systém

1 – solární kolektor, 2 – tepelný výměník, 3 – přívod studené vody, 4 – odběr teplé vody,  
5 – oběhové čerpadlo, 6 – automatická regulace, 7 – expanzní nádoba

Pokud jsou dvouokruhové solární systémy správně konstruovány a dimenzovány, jsou schopny dodávat teplou užitkovou vodu i v zimních měsících s dostatkem slunečního svitu. Pro systémy, které se využívají celoročně, je v našich zeměpisných šířkách nezbytné nemrznoucí médium. [1]

Podobné konstrukce se využívají i pro výrobu kombinovaných solárních systémů, které lze využít i k přitápění. Jedná se například o tříokruhové systémy, kde třetí okruh je spojen s kotlem, nebo je využito elektrického topného tělesa. V těchto případech je rozhodujícím faktorem plocha solárních panelů pro zachyt slunečního záření.[1]

Dalším typem solárního systému, jenž je hojně používán, je systém jednookruhový. Jednookruhový systém ohřívá v kolektoru přímo médium, které má být konečným produktem. Tímto médiem je zpravidla voda. Systémy s jedním okruhem se například požívají pro sezónní ohřev bazénů.[1]



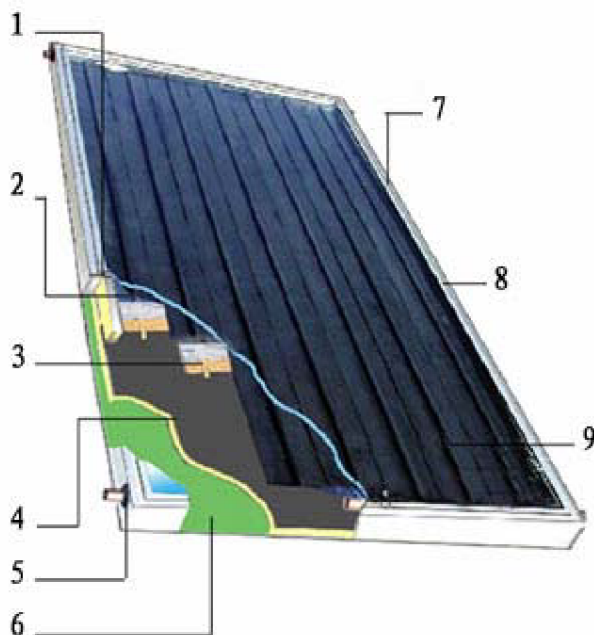
Obrázek 2: Jednookruhový solární systém.

1 – solární kolektor, 2 – zásobník teplé vody, 3 – přívod studené vody, 4 – odběr teplé vody,  
5 – expanzní nádoba

Menší jednookruhové solární systémy lze v současné době koupit prakticky kompletní a instalaci je schopen provést i laik.

### 2.1.1 Konstrukce kapalinových kolektorů

Základní částí každého solárního systému je solární kolektor. Solární kolektor je v systému nejvíce namáhanou částí a proto se mu věnuje největší pozornost. Především potom u kolektorů, které jsou využívány celoročně.



Obrázek 3: Základní konstrukce kapalinového kolektoru.

1 – těsnění, 2 – absorpční nátěr, 3 – absorpční potrubí, 4 – izolace, 5 – výstup média,  
6 – skelet, 7 – rámování, 8 – upevňovací lišta, 9 – skleněná deska[5]



Kapalinový kolektor je u nás nejpoužívanějším typem kolektoru[3]. Jeho výhodou je jednoduchá výroba a konstrukce. Vyrábějí se ve formě panelů, které se připevňují paralelně na střechy a jiné vhodné plochy. Důležitým prvkem kolektoru je izolační vrstva, především v zimním období, kdy zabráňuje zpětnému vyzáření pohlceného tepla do okolí. Celoroční kolektory musí být schopny odolávat teplotnímu rozmezí od -30 – 200 °C.[7]

### **2.1.2 Materiály použité při stavbě solárních systémů**

Pro zajištění dlouhodobého a bezproblémového provozu systému je výběr vhodného materiálu nezbytný. Problematikou výroby a konstrukce se zabývá řada firem na našem i světovém trhu a prakticky každá má svůj výrobní postup a používá jiné materiály, ačkoliv základní konstrukce systému je většinou shodná nebo velmi podobná. Ovšem i tyto rozdíly kladou větší nároky na vývoj univerzální nemrznoucí kapaliny.

Životnost kolektoru je důležitým faktorem jak při výrobě tak při jeho likvidaci. Většina výrobců kolektorů udává životnost kolem 30 až 40 let. Proto, aby kolektor vydržel po takto dlouhou dobu, výrobci vybírají materiály, které nerozkládá sluneční záření a dobře odolávají i jiným povětrnostním podmínkám, například mrazu, dešti atp.

V běžných typech kolektorů se používají absorbéry z mědi, nebo slitin mědi a hliníku, či chromniklové oceli. Tyto materiály jsou velmi dobrými vodiči tepla a vydrží dlouhodobě vysoké teploty, kterých mnohdy povrch kolektoru dosahuje. Při návrhu nemrznoucí kapaliny je ovšem nutno počítat s celým okruhem, kterým kapalina prochází. Potrubí, jež vede kapalinu do výměníku, nemusí být vždy ze stejného materiálu jako absorbér a proto antikorozivní vlastnosti musí být nastaveny na širší okruh látek. Nejvíce jsou v tomto ohledu namáhány spoje trubek a těsnění.[4][5]

## **2.2 Média do termických solárních systémů**

V kapalinových termických solárních systémech se používá několik druhů médií podle využití systému. Pro naše podnebí jsou nejpoužívanějšími médii pro celoroční provoz glykolové směsi s vodou.[7]

### **2.2.1 Voda**

Nejjednodušším médiem do solárních systémů je voda. Voda se v praxi ovšem používá pouze v sezónních systémech, jelikož bez patřičné úpravy solární systém poškozuje. Na zimu se systémy, které pracují s vodou jako médiem, vyprazdňují. Pro celoroční využití má voda několik nevýhod. Pro naše podnebí je to především vysoká teplota tuhnutí a zvyšování objemu při změně skupenství. V zimních měsících je proto její použití nemožné. Další nevhodnou vlastností jsou její korozivní vlastnosti, pokud není udržováno neutrální pH. Tato vlastnost je především nevhodná pro delší použití v systému s kovovými částmi. Pokud chceme omezit korozivní vlastnosti vody, je třeba přidávat další chemické látky. Tím se ovšem médium stává nepoužitelné jako primární zdroj teplé vody. Pokud není použita destilovaná voda (ohřev bazénů), může dojít při použití vody s vyšším obsahem minerálů k zanesení systému vyloučenými minerály. Z fyzikálního hlediska je však voda jako teplonosná kapalina ideální. Má vysokou tepelnou kapacitu a nízkou viskozitu, která se mění s teplotou

jen málo. Proto se pro celoroční provozы hledají především látky mísitelné s vodou, které sníží její bod tuhnutí. [7]

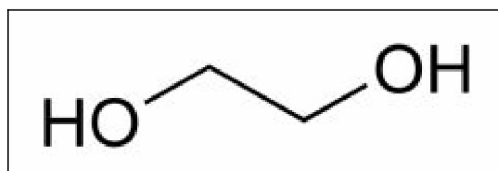
## 2.2.2 Glykolové nemrznoucí směsi

### 2.2.2.1 Historie

V solárních systémech používané glykolové směsi jsou odvozeny z automobilového průmyslu. Tyto směsi jsou dostupné od roku 1926, kdy se začala prodávat první ethylenglykolová nemrznoucí směs, tehdy nazývaná jako „stále nemrznoucí“ (z anglického originálu „permanent antifreeze“). V té době se používala směs ethylenglykol/voda do prvních vodou chlazených automobilů. S nástupem tepelných solárních systémů se ethylenglykolové směsi začaly používat i zde. Později, se zjednodušením procesu výroby složitějšího propylenglykolu, se začaly používat méně toxické propylenglykolové směsi. Nejpoužívanější glykolové směsi jsou v současnosti ethylenglykol/voda, propylenglykol/voda a v poslední době se dostává do povědomí směs 1,3-propandiol/voda. [6][7]

### 2.2.2.2 Ethylenglykolové směsi

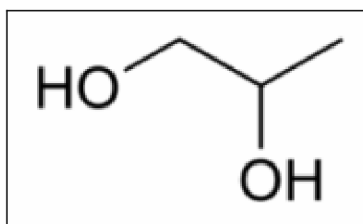
Jedná se o směs 1,2-ethandiolu s vodou. Pro název ethylenglykol (jiný název pro 1,2-ethandiol) je v technické literatuře vžita zkratka EG. Sloučenina 1,2-ethandiol je toxická látka způsobující methanolovou otravu. Ethylenglykol se ředí s vodou v objemovém ředění 40-50 % ethylenglykolu s inhibitory s vodou. Vzhledem ke své toxicitě je možno jej používat pouze v systémech, kde je primární okruh bezpečně oddělen od ohřívání pitné vody. Od používání ethylenglykolu v solárních soustavách se již nějakou dobou postupně upouští a je nahrazován méně toxickým propylenglykolem. [7][11][14]



Obrázek 4: Struktura 1,2-ethandiolu

### 2.2.2.3 Propylenglykolové směsi

Propylenglykol patří mezi alkoholy se dvěma funkčními alkoholovými skupinami na pozicích 1 a 2. Systematický název sloučeniny je tedy 1,2-propandiol. Ve směsi s vodou tvoří vhodné netoxické médium do solárních systémů. Stejně jako ethylenglykol je s vodou omezeně mísitelný. Do solárních systémů se používají ředění okolo 50 hm%. [7][15]



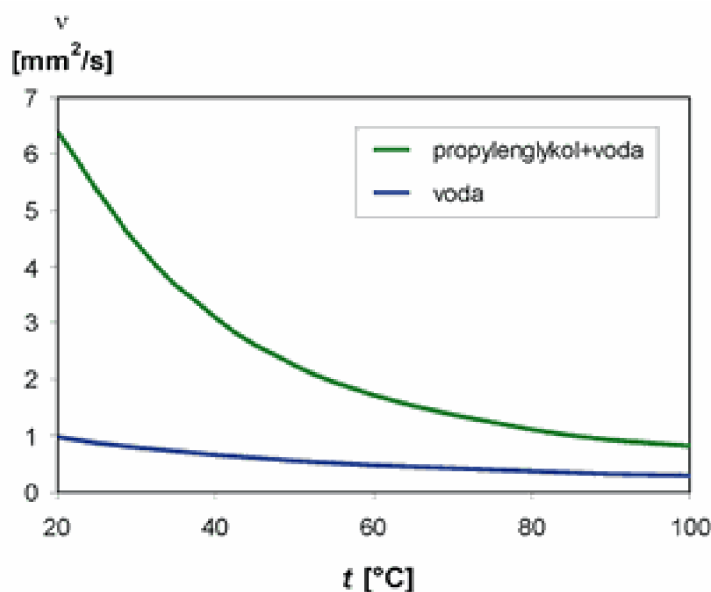
Obrázek 5: Struktura 1,2-propandiolu

#### 2.2.2.4 Vlastnosti glykolových směsí

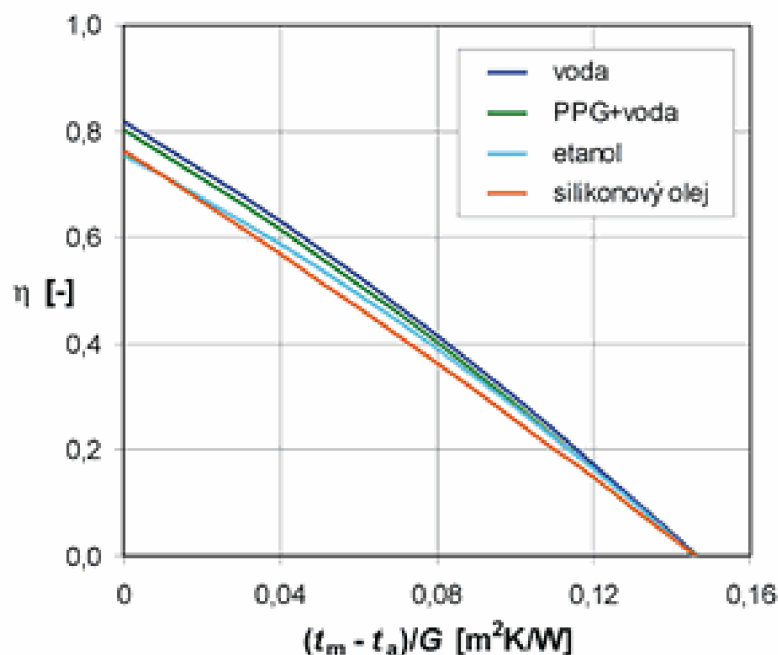
Jak již bylo zmíněno, glykolové směsi jsou nejvíce používaná média pro celoroční solární systémy. Oproti čisté vodě mají však několik nevýhod.

Jednou z negativních vlastností glykolů je jejich vysoká viskozita. Při 20 °C mají glykolové směsi až 6× vyšší viskozitu než voda. Zejména v chladnějších obdobích to klade vysoké nároky na čerpadlo, které pohání médium v systému. Viskozita těchto směsí je velmi závislá na teplotě. I když je viskozita směsi při 20 °C 6× vyšší než u čisté vody, při 80 °C je to už jen 2×. Rozdíl je také v tepelné kapacitě. Směsi 50 % mají nižší tepelnou kapacitu než voda přibližně o 25 %. V konečném důsledku se ovšem tyto vlastnosti projeví na účinnosti systému pouze nepatrně, jak je vidět na obrázku 7. [7]

Ve správně konstruovaném solárním systému by nemělo docházet k razantním výkyvům teplot, ale i v tom nejlépe konstruovaném systému může dojít k jevu, který se obecně nazývá stagnace. Stagnace je děj, při kterém solární systém dosahuje výrazně vyšších teplot než je obvyklé. U běžných kapalinových systémů stagnační teplota dosahuje hodnot až 200 °C a při použití vakuových kolektorů může být dosaženo až teploty 300 °C. Při těchto teplotách se kapalina rychle vypařuje a vzniklá pára vytlačí zbylou kapalinu z kolektoru do expanzní nádoby. V dobře konstruovaných kolektorech se přemění na páru pouze malé množství kapaliny a větší část je z kolektoru vytlačena. Vysoké teploty a rozpuštěný kyslík v kapalině způsobují degradaci glykolových směsí. Dochází k oxidaci glykolů a snižuje se pH směsi. Okyselená směs dále poškozuje systém a zkracuje jeho dobu životnosti. Doporučuje se proto pH směsi pravidelně sledovat a popřípadě médium vyměňovat a tím se zaručí dlouhodobá funkčnost solárního systému. [7]



Obrázek 6: Závislost kinematické viskozity na teplotě



Obrázek 7: Účinnosti solárního systému pro různá média

### 2.2.3 Antikorozní úprava glykolových směsí

Glykoly jsou na slunci a za vysokých teplot nestabilní látky a časem v solárním systému degradují a společně s vodou následně systém poškozují. Systém poškozují především korozivní schopnosti nestabilního média. Směs glykol/voda má větší korozivní schopnosti než čistá voda nebo 100 % glykol. Z tohoto důvodu obsahují glykolové směsi roztoky inhibující korozi, čímž poškození systému zpomalují. [7]

Antikorozní aditiva fungují převážně na systému tvorby ochranné vrstvy na povrchu kovu, která brání reakci oxidantů s kovovým povrchem. Oxidanty rozumíme látky schopné reagovat s kovy a vytvářet jejich oxidy. Rozpuštěný kyslík v teplotněm médiu je za neutrálního pH poměrně stabilní. Jakmile dojde k degradaci glykolu a snížení pH roztoku, stává se směs s rozpuštěným vzdušným kyslíkem agresivnější. Při změně pH také dochází ke změně vodivosti směsi. Čistá směs glykol/voda je prakticky nevodivá. Když posléze dojde k degradaci glykolů a pH směsi klesne pod 7, stává se směs vodivou. Jelikož systémy nejsou tvořeny pouze jedním kovem, dochází díky jejich rozdílnému potenciálu ke galvanické korozi. Při výběru vhodné směsi je proto vodivost jedním z diskutovaných kritérií. [7]

Hlavním problémem při návrhu inhibitorů koroze je, že systém se neskládá pouze z jednoho druhu materiálu. Zatím nebyl objeven žádný inhibitor, který by byl schopný chránit větší množství druhů povrchů před korozi. Situace se řeší různými kombinacemi inhibitorů. [7]

### 3 NÁVRH NEMRZNOUCÍ SMĚSI DO TERMICKÝCH SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ NA BÁZI PROPAN-1,3-DIOLU

Vesměs veškeré nemrznoucí teplotnosné kapaliny používané v současné době jsou odvozeny z automobilových systémů. Ačkoliv jsou tyto směsi většinou dostačující, stále chybí směsi, které by byly navrženy primárně pro solární systémy a splňovaly by tak veškeré požadavky kladené těmito systémy. Jak již bylo nadneseno, nejpoužívanějšími látkami jsou ethylenglykol a propylenglykol. Jelikož jsou tyto směsi primárně stavěné pro chladiče automobilů, nedokáží tak dobře snášet vysoké teploty, kterých mnohdy solární systémy dosahují. Směsi v zážehových motorech fungují při teplotách okolo 80 °C, kdežto běžné solární systémy mnohdy dosahují teplot okolo až 100 °C a vakuové systémy až 200 °C. Při stagnaci v systému mohou být tyto teploty ještě vyšší. V neposlední řadě je potřeba si uvědomit ekologické aspekty těchto směsí. Ethylenglykol je toxická látka a škodí životnímu prostředí, zejména vodním organismům. Nevýhodou propylenglykolu je jeho chemická nestabilita při vyšších teplotách.[7][9]

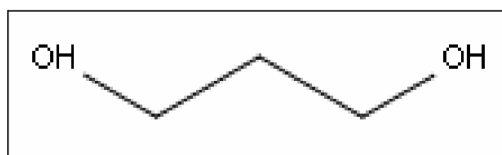
#### 3.1 Požadavky

Pro výběr vhodné látky jako teplotnosného média je nutno vymezit si kritéria, podle kterých bude látka vybírána.

- nízký bod tuhnutí (nejlépe kolem -25 až -30 °C)
- dobré tepelně-fyzikální vlastnosti (tepelná kapacita, viskozita), co nejvíce podobné vodě
- nehořlavost
- ochrana proti korozi
- kompatibilita s těsníci materiály
- ekologické aspekty (netoxická, biologicky rozložitelná)
- dlouhodobá stálost vlastností- teplotní odolnost
- cenová dostupnost [7]

#### 3.2 Fyzikální vlastnosti 1,3-propandiolu

1,3-propandiol zkráceně PDO je nehořlavá málo toxická látka bez barvy a zápachu. Je hygroskopická a neomezeně mísitelná s vodou. Neomezeně mísitelná je také s nízkomolekulárními alkoholy a ketony. Je málo rozpustná v aromatických uhlovodících a takřka nemísitelná s alifatickými organickými rozpouštědly. 1,3-propandiol má charakteristické vlastnosti alkoholů. Může být přímo využit jako chladicí médium, či jako teplotnosná kapalina. Jeho použití je také široce rozšířeno při výrobě polymeru polytrimethyltereftalátu. Díky nedostatečným údajům o jeho dlouhodobé toxicitě, nebylo zatím povoleno jeho užití v potravinářském průmyslu a při výrobě léků a kosmetiky. Základní fyzikální vlastnosti můžeme vyčíst z tabulky č.1. [18]



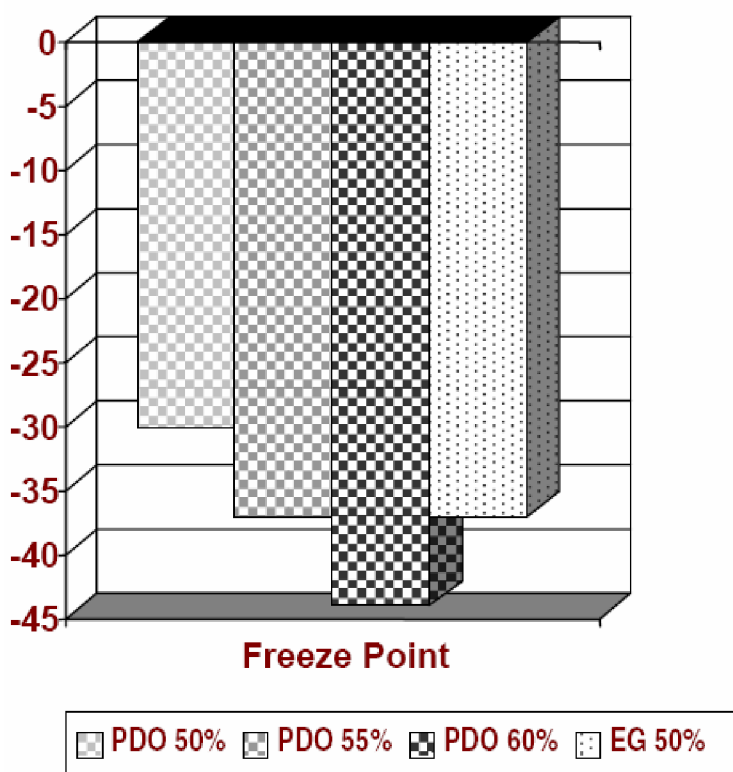
Obrázek 8: Struktura 1,3-propandiolu

Tabulka 1: Základní fyzikální vlastnosti 1,3-propandiolu[20]

Molekulová váha	79,09 g/mol
Hustota při 20 °C	1,0526 g/cm <sup>3</sup>
Teplota varu	214 °C
Teplota tání/tuhnutí	- 24 °C
Viskozita	52 cP
Teplota vzplanutí	129 °C

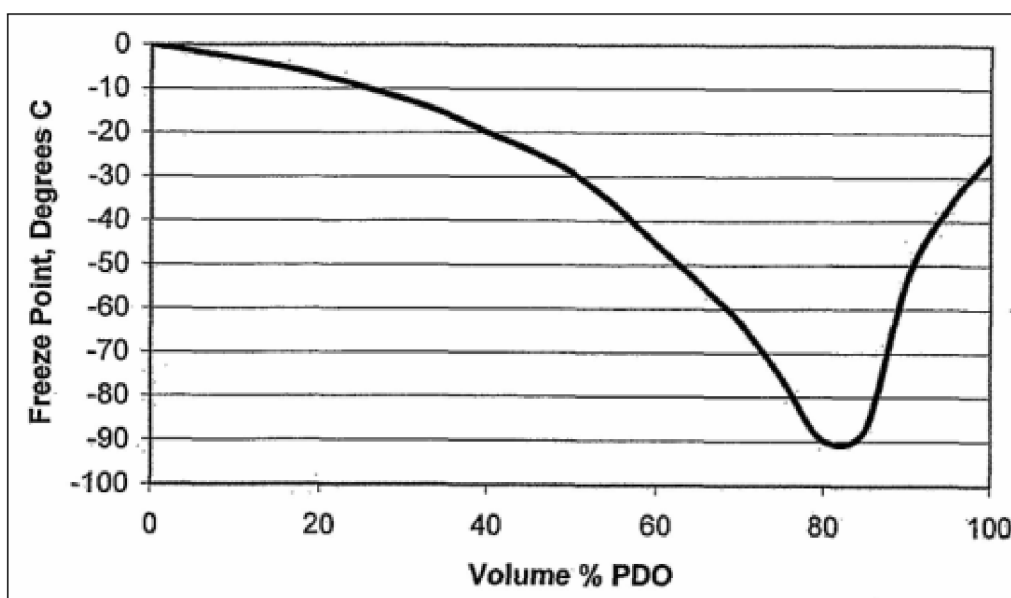
### 3.2.1 Bod tuhnutí

Pro použití v celoročním provozu je nízký bod tuhnutí nezbytností. V závislosti na čistotě látky má 100 % 1,3-propandiol teplotu přibližně -24 °C. Teplonosné kapaliny pro celoroční solární systémy musí v našich podmínkách být schopny odolávat mrazům okolo -15 až -20 °C. Poměrně zřídka se teplota vzduchu dostane pod teplotu -20. Ovšem ve vyšších oblastech a především na horách je potřeba samozřejmě počítat s nižšími teplotami. Směs PDO s vodou při hmotnostní koncentraci 50 % má teplotu tuhnutí okolo -30 °C, což je pro naše podnebí ve většině případů naprosto dostačující. [10][25]



Obrázek 9: Porovnání bodu tuhnutí ethylenglykolu a 1,3-propandiolu

Na obrázku 9 můžeme vidět srovnání teploty tuhnutí směsí PDO + voda a EG + voda. Při stejném ředění má směs ethylenglykolu s vodou o osm stupňů nižší teplotu tuhnutí než je tomu u směsi PDO s vodou. Ačkoliv je tento rozdíl relativně velký v oblastech, kde hrozí nižší teploty, je možné ředění upravit a snížit tak teplotu tuhnutí směsi PDO s vodou na požadovanou úroveň. Na dosažení stejné teploty tuhnutí jakou má směs ethylenglykol a voda je zapotřebí zvýšit celkový podíl PDO ve vodě na 55%. [10][25]



Obrázek 10: Bod tuhnutí v závislosti na obsahu 1,3-propandiolu ve vodě[8]

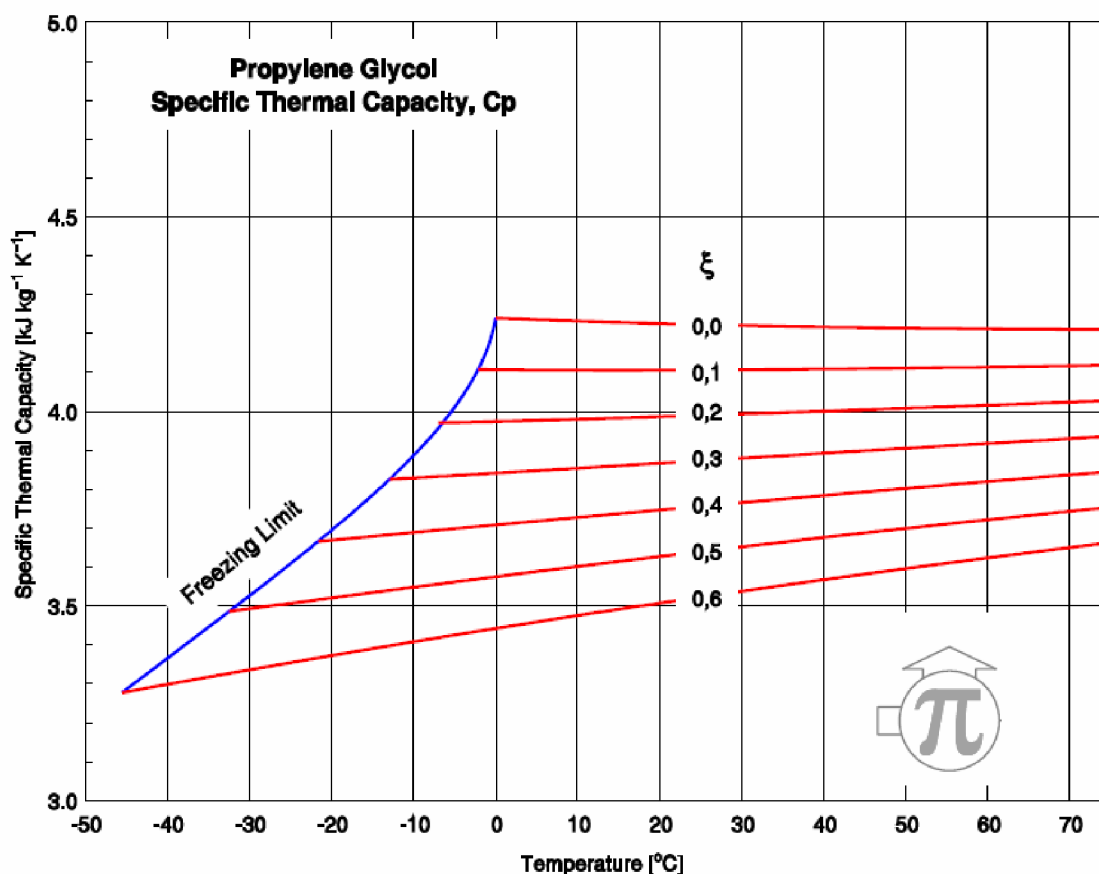
### 3.2.2 Tepelná kapacita

Abychom dosáhli co největšího přenosu tepla v systému, je výhodné použít látku s vysokou tepelnou kapacitou. Při použití látky s nižší měrnou tepelnou kapacitou je potřeba pro stejný objem přeneseného tepla použít větší objem teplonosné látky, neboli je nutné, aby jí více cirkulovalo v oběhu. To ovšem znamená vyšší nároky na celý cirkulační systém a hlavně pak na čerpadlo, které s kapalinou v systému pohybuje, čímž samozřejmě rostou náklady na provoz systému. Největší tepelnou kapacitu z možných použitelných látek má čistá voda. Bohužel, jak již bylo dříve popsáno, není možné v celoročním provozu solárního systému použít čistou vodu z důvodu její vysoké teploty tuhnutí. Voda se proto míchá s glykoly a vznikají tak glykolové směsi, jejichž teplota tuhnutí je o několik desítek stupňů nižší než u čisté vody, ale měrná tepelná kapacita se snižuje. [7][10]

Podobně jako u vody, u glykolů se tepelná kapacita s rostoucí teplotou zvyšuje. Pro systémy přenášející teplo se dostatečná tepelná kapacita pohybuje od 3 do 4  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  [8]. Směsi glykolů s vodou o hmotnostní koncentraci 50 % mají měrnou tepelnou kapacitu okolo 3,6  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  [14][15]. Pro představu je na obrázku 11 znázorněna tepelná kapacita pro různé hmotnostní koncentrace v závislosti na teplotě pro propylenglykol. Čistá voda je na obrázku vyznačena jako křivka s nulovým obsahem propylenglykolu ve směsi, tedy jako  $\xi = 0,0$ .

Měrná tepelná kapacita s rostoucí teplotou roste, avšak tento nárůst je u glykolů s nižší koncentrací zanedbatelný. Podobně roste tepelná kapacita i při zvyšujícím se podílem vody ve směsi.

Pro PDO můžeme nalézt podobné hodnoty tepelných kapacit jako je tomu u ethylenglykolu a propylenglykolu. Měrná tepelná kapacita PDO se dá srovnat s hodnotami PG a EG. U směsi s vodou při ředění okolo 50 %, nedochází k většímu poklesu tepelné kapacity než 20 % oproti použití čisté vody.



Obrázek 11: Závislost měrné tepelné kapacity na teplotě, pro různé koncentrace PG ve vodě. [16]

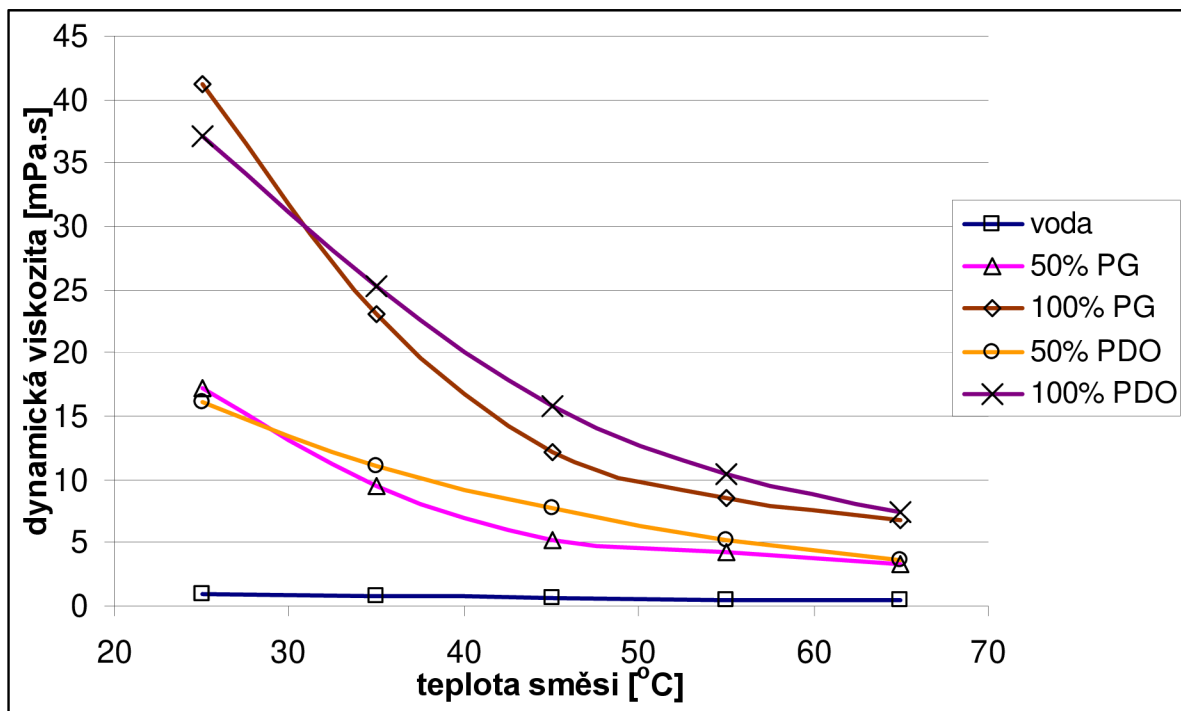
### 3.2.3 Viskozita

Abychom splnili požadavky kladené na teplotnosnou kapalinu do celoročních solárních systémů, je potřeba dosáhnout několika kompromisů týkajících se vlastností teplotnosné kapaliny. Jednou z těchto vlastností je i viskozita kapaliny, nebo směsi. Nemrznoucí směsi používané v solárních systémech mají téměř vždy vyšší viskozitu než čistá voda. Vyšší viskozita je způsobena použitými nemrznoucími příměsmi.

Glykoly používané jako nemrznoucí příměsi do nemrznoucích teplotnosných směsí mají vysokou viskozitu. Viskozita ovšem prudce klesá se zvyšující se teplotou, jak můžeme pozorovat na obrázku 12. Po dosažení teploty okolo 60 °C je pokles viskozity směsi PDO s vodou už jen minimální a další změna viskozity je zanedbatelná. Ovšem největší problém



nastává při nižších teplotách. Na obrázku 12 jsou graficky porovnány závislosti viskozity čistých látek propylenglykolu a propan-1,3-diolu i jejich 50 % směsí. Je vidět, že závislosti jsou si dosti podobné. V čistém stavu jsou PDO i PG při nízkých teplotách mnohonásobně viskóznější než voda a s klesající teplotou tento rozdíl ještě více roste. I když je ale pravdou, že PDO má v rozmezí teplot 30 – 60 °C větší viskozitu, výhodou této látky je pozvolnější křivka, s kterou stoupá viskozita při klesající teplotě. Po klesnutí teploty pod 30 °C, je již viskozita čisté látky i směsi PDO s vodou nižší, než je tomu tak u PG a rozdíl se se snižující teplotou prohlubuje. Nižší viskozita při nižších teplotách způsobí menší namáhání čerpadla v zimních měsících a tím se sníží spotřeba energie na provoz čerpadla i jeho mechanické opotřebení.



Obrázek 12: Závislost dynamické viskozity na teplotě směsi.[17]

### 3.2.4 Hořlavost

Neméně důležitou vlastností látky obíhající v solárním systému je nehořlavost. Jelikož je téměř vždy v systému společně s vodou, rozhodující je nehořlavost především u skladování a při přepravě v čisté formě.

Jednou z hodnot udávající požární bezpečnost je takzvaná teplota flashpoint. Je to mezinárodně uznávané označení pro teplotu hořlavé kapaliny, při níž její páry po smíchání se vzduchem tvoří zápalnou směs. Jak je vidět v tabulce 2, teplota při níž je tlak par nad kapalinou dostatečně vysoký, aby dal vzniknutí zápalné směsi, je pro PDO nejvyšší ze zmiňované trojice látek. Za normálních okolností je PDO nehořlavý, stejně tak jako EG a PG. [11][12][13]

Pro představu je ještě zmíněna teplota samovznícení. Ta určuje teplotu, po jejímž dosažení kapalina sama vzplane. Jako srovnání k uvedeným teplotám v tabulce 2, je uvedena teplota

samovznícení papíru, která je stanovena přibližně, dle druhu papíru, na 233 °C. Vidíme tedy, že ani v tomto směru nehrozí žádné vážnější nebezpečí, jelikož teploty samovznícení popsaných látek se pohybují okolo 400 °C, vysoce převyšující běžně používaný papír.[11][12][13]

*Tabulka 2: Teploty pro požární bezpečnost*

	EG	PG	PDO
Flashpoint [°C]	111	99	140
Samovznícení [°C]	410	371	405

### 3.2.5 Chemická odolnost a termická stálost

V čisté formě, při teplotách do 40 °C, je PDO nereaktivní hygroskopická kapalina. Podléhá rozkladu za přítomnosti silných oxidačních či redukčních činidel, jako kyseliny chlorné, chloroformáty aj. Některé glykoly mají tendence polymerovat. PDO se používá jako monomer při výrobě PTT [18], ovšem reaguje pouze za přítomnosti katalyzátorů a dalších látek. Za normálních podmínek nemá tendence polymerovat ani při vyšších teplotách [13].

Jelikož je PDO hygroskopická látka, snadno na sebe váže vodu ze vzduchu. Ačkoliv je v čisté formě prakticky nereaktivní, po přidání vody dochází přirozeným způsobem za přístupu vzduchu ke stárnutí látky. Proto je při delším skladování doporučeno zamezit působení vody a vzduchu na skladovanou látku. Nejdůležitější reakcí v tomto směru je oxidace glykolů na karboxylové kyseliny, působením různých oxidantů ze vzduchu. [20][10]

Všechny dnes používané látky v systémech plněných teplonosnými kapalinami mají svoji určitou dobu, po kterou lze tyto látky ponechat v systému. Při delší než doporučené době dochází rychle ke ztrátě původních vlastností směsi a degradace systému se s časem zrychluje. Čistá a čerstvá směs je opatřena řadou látek bránící poškození systému a inhibujících oxidaci směsi, tím prodlužuje její použitelnost. Pokud je teplonosná kapalina v systému po dlouhou dobu, podléhá většinou negativním nevratným změnám. Tyto změny jsou téměř vždy urychlovány vyššími teplotami. Kapalina tedy nerychleji stárne při vysokých teplotách. Proto nejdéle použitelná bude látka, která dokáže odolávat působení vysokých teplot nejdéle, neboli rychlost chemických reakcí, které způsobují stárnutí kapaliny, bude katalyzována vysokými teplotami jen málo. [10]

O propan-1,2-diolu se obecně uvažuje jako o látce termicky méně stabilnější a podléhající rozkladu více, než je tomu u ethylenglykolu. Podle studie prováděné společností Shell Chemicals, která srovnávala ethylenglykol s propan-1,3-diolem, je termicky nejstabilnější, ze všech tří uváděných glykolů, právě PDO. Směsi s PDO ukázaly ve většině prováděných experimentů vyšší odolnost vůči oxidaci propan-1,3-diolu za vyšších teplot (150 °C), než směsi obsahující EG. Pro použití PDO v solárních systémech, které mnohdy pracují na hranici varu směsí, je tato skutečnost velmi pozitivním faktorem. PDO si udržuje své fyzikální a chemické vlastnosti i při dlouhodobém zahřátí a tím se celkově prodlužuje použitelnost směsi v systému. To má dopady na cenu provozu systému i na ekologické aspekty provozu, kdy není potřeba tak často měnit teplonosnou kapalinu a tím se snižuje množství odpadů, které systém produkuje.[10]

## 3.3 Koroze

### 3.3.1 Definice pojmu

Aby bylo možné navrhnout správné řešení antikorosního systému, je potřeba nejdříve definovat, co pojem koroze představuje.

K tomu, aby lidé mohli používat kovy, musí k jejich výrobě a úpravě dodat energii. Vzniká tak energeticky bohatý produkt, kov, který zpravidla není v prostředí stabilní a podléhá samovolně korozi. Energie vynaložená na jeho výrobu se při tom uvolňuje do okolního prostředí. Kov přechází během koroze do stabilnějšího stavu s menším obsahem energie a méně uspořádanou strukturou, do korozních produktů, které jsou vzhledem i složením blízké výchozí surovině pro výrobu – rudě. Korozi nepodléhají pouze kovové materiály, ale také materiály anorganické, nekovové i polymerní. Většinou je ale pod pojmem koroze myšlena právě jen fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí. Pokud používáme termínu koroze i pro jinou skupinu materiálů, pak obvykle hovoříme o korozi betonu, korozi skla, korozi polymerů atd. Koroze kovů je chápána jako nežádoucí proces, a to je také obsaženo v její definici: "Koroze kovů je fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí, vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami" [22]

### 3.3.2 Korosivní vlastnosti propan-1,3-diolu

Pro dlouhodobé využívání solárního systému je důležité používat teplotonosnou kapalinu, které nemá, v ideálním případě, žádné korosivní vlastnosti. I když jsou látky ve své čisté formě nekorosivní, v systémech se v drtivé většině používají jako směsi s jinými látkami, které jinak upravují jejich vlastnosti. Tyto směsi v závislosti na poměru složek mohou mnohdy, bez další patřičné úpravy, vykazovat vysoké korosivní vlastnosti.[7]

PDO jako čistá látka nemá téměř žádné korosivní vlastnosti. V praxi se s takto čistou látkou nelze setkat a ani její použití v čisté formě, není možné kvůli mnoha nevyhovujícím fyzikálním parametrům (viskozita, tepelná kapacita). Proto se PDO mísí s vodou v určeném poměru a takto připravenou směsí se plní systém. Jelikož je nemožné zamezit přístupu oxidačních činidel ze vzduchu, i při malém obsahu vody dochází časem k oxidaci glykolů a vzniku karboxylových kyselin. Kyseliny posléze snižují pH směsi a ta dále napadá povrch systému a dochází k jeho korozi. Aby se proces koroze co nejvíce zpomalil, přidávají se do směsi tzv. inhibitory koroze.[10]

### 3.3.3 Inhibitory koroze

Inhibitory, rozpuštěné v kapalině, umožňují zamezit korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů. Solární soustavy obsahují zpravidla různé materiály (měď, bronz, ocel, litina). V současné době není k dispozici univerzální inhibitor a problém se zpravidla řeší kombinací několika různých (organických, anorganických) inhibitorů s ochranným potenciálem pro specifický kov. [7]

Je známo, že po přidání dalšího inhibitoru koroze do inhibovaných glykolových roztoků dochází k tomu, že se mění potenciály kovů elektrochemických článků a může začít koroze

některého kovu, který byl předtím pasivní a ztrácí se již dosažené dobré antikorozi vlastnosti. Z těchto důvodů se musí volit kombinace inhibitorů tak, aby fungovaly ve vzájemné shodě.[23]

Další důležitou vlastností inhibitorů koroze je jejich rozpustnost v kapalině, ve které inhibují její korosivní vlastnosti. Pokud nejsou inhibitory plně rozpustné v kapalině, může postupem času docházet k jejich vylučování. Jakmile se sníží koncentrace inhibitorů ve směsi, povrch materiálů přestane být chráněn a dochází rychle ke korozi materiálu. Aby nedocházelo k vylučování inhibitorů ze směsi, musí být tedy zaručena jejich úplná rozpustnost i za nepříznivých podmínek, jako je stagnace systému, nepřesné ředění, či stárnutí směsi. Moderní směsi používají kapalné inhibitory, které jsou schopné i po vyloučení z roztoku se opět rozpustit beze změny funkce inhibitoru.[7]

V současné době se výzkum, zabývající se inhibitory koroze pro teplotně odolné kapaliny, soustřeďuje především na automobilový průmysl. Protože se však v chladicích systémech používají podobné materiály jako je tomu u solárních systémů, lze ve většině případů směsi inhibitorů navrhované pro automobilové chladicí systémy použít i zde.

Výzkumy a experimenty ukázaly, že PDO má potenciál stát se leaderem mezi teplotně odolnými kapalinami. Nejenom, že dnes již používané inhibitory koroze lze použít na propan-1,3-diol téměř kompletně, ale výsledky použití stejných nebo podobných směsí inhibitorů, užívaných pro ethylenglykol a propylenglykol, se zdají být dokonce o něco lepší. Souvisí to také s menší tendencí degradace PDO při vyšších teplotách. Jediným problémem tedy stále zůstává přesné nastavení inhibitorů na trochu odlišné požadavky v solárních systémech, které používají někdy jiné materiály, než jsou v chladicích systémech automobilů.[10]

### 3.4 Toxicita

Jelikož bylo doposud provedeno omezené množství experimentů, které by řešily otázky toxicity PDO z dlouhodobého hlediska, je v této chvíli použití PDO ve farmaceutickém průmyslu a potravinářském průmyslu. Z obecného hlediska je považován PDO za málo toxickou látku.[20]

Vyšší toxické vlastnosti nebyly zaznamenány při stárnutí kapaliny ani při většině chemických postupů využívajících jako složku PDO. Byl pouze pozorován vznik iritantů při kysele katalyzované esterifikaci PDO kyselými aromatickými diacidy za vysokých teplot, kdy vznikaly především dvě toxické látky a to propen-2-en-1-ol a acrolein (propen-2-al). [18]

Toxické vlastnosti PDO se dají srovnat s vlastnostmi propylenglykolu. Ethylenglykol je naopak již středně toxickou látkou. I když ethylenglykol nepředstavuje nějaké vyšší zdravotní riziko pro člověka, smrtelná dávka se odhaduje na přibližně 100 ml pro dospělého člověka. Ethylenglykol je především nebezpečný nechtěnou otravou požitím, jelikož jeho nasládlá vůně láká zvěř a mnohdy pokud není správně skladován, může dojít k požití dětmi. [12][19][21]

Limity a omezení nejsou u PDO v podstatě žádné. Z hlediska působení na člověka, může PDO způsobovat u citlivějších jedinců podráždění pokožky. Jeho výpary mohou ve

vyšších koncentracích působit dráždivě. Oči v zásadě nedráždí, pokud nedojde k přímému kontaktu s kapalinou, a i tehdy vmytí proudem vody stačí k odstranění dráždivého působení. Doposud provedené výzkumy neprokázaly jakékoliv karcinogenní účinky, či mutagenní účinky. Dávky LD<sub>50</sub> stanovované na myších a na krysách se pohybují podle různých zdrojů od 2100 mg/kg po 5000 mg/kg. Ani při dlouhodobějších pokusech nebyly zjištěny žádné chronické následky otravy PDO. Zmíněné dávky se týkají orálního užití látky. Ovšem u většiny glykolů se předpokládá pro lidi vyšší toxicita, jelikož jsou na glykoly více citliví, než je tomu u většiny hlodavců. Také dosti záleží na osobní odolnosti člověka vůči xenobiotiku. Je ovšem zřejmé, že takto vysokých dávek lze dosáhnout pouze výjimečně, za přispění velké neopatrnosti či nedbalosti. [13][19][20]

Byla také zkoumána toxicita při inhalaci. Pokus byl prováděn na krysách v laboratorních podmínkách simulujících pracovní dobu člověka pracujícího s těmito látkami. Tj. pokusná zvířata byla exponována aerosolem PDO o různém množství na m<sup>3</sup> vzduchu po dobu 6 hodin v jednom dni, po dobu pěti dnů v jednom týdnu. Celý pokus probíhal v časovém intervalu 2 týdnů. Zvířata byla rozdělena do několika skupin, kde každá skupina byla exponována různé hodnotě množství aerosolu PDO ve směsi se vzduchem. Nejvyšší pokusná dávka byla 1800 ml/m<sup>3</sup>. Po celou dobu testu byly pozorovány reakce pokusných zvířat a tyto reakce byly srovnávány se skupinou zvířat, která nebyla aerosolu vystavena. Bylo pozorováno, že ani zvířata patřící do skupiny, která byla zasažena nejvyšším množstvím PDO ve formě aerosolu, nereagovala na látku žádným způsobem. Po skončení testu byly provedeny patologické rozborů tkání zvířat a jejich orgánů a ani zde nebyly zaznamenány žádné změny v organismu. Závěrem studie bylo, že není předpokládáno u propan-1,3-diolu vážnější ohrožení způsobené inhalací aerosolu ani výparů. [24]

Celkově ze všech známých poznatků, lze tedy tvrdit, že PDO nepředstavuje za normálních okolností vážnější nebezpečí a při manipulaci s touto látkou není třeba zavádět zvláštní opatření.

### **3.5 Biologická rozložitelnost**

Neméně důležitým aspektem všech teplonosných kapalin je jejich odbouratelnost a rozložitelnost v prostředí. Dosud nebyla vynalezena kapalina, která by v systému mohla být v podobných systémech využívána bez regenerace po celou dobu životnosti systému. Kapalínu je tedy třeba po určitém čase vyměnit, jinak hrozí vážné poškození systému. Vzhledem k velkým objemům, které se ve světě používají především v soukromém sektoru, je důležité používat látky, které jsou v přírodním prostředí rozložitelné. Ačkoliv je pro drtivou většinu těchto prostředků doporučena ekologicky specializovaná likvidace, stále končí mnoho těchto látek v kanalizaci a v půdě.

Předpokládaná doba životnosti látky v životním prostředí se odhaduje na 10 – 30 dnů. Rychle podléhá fotochemickým reakcím a rozkládá se za přispění půdních bakterií. Rozkladným procesům napomáhá naprostá rozpustnost ve vodě. Nemá tendence se hromadit v ekosystému. [13][20]

Pro ekologické zpracování je možná také regenerace již použitých směsí. Regenerace je ovšem nákladná a v mnohých případech již nelze dosáhnout takové čistoty produktu. Firmy, které se o regeneraci pokoušely, většinou sbíraly od uživatelů použitou teplotnosnou směs a složitými chemickými procesy ji zbavovaly rozpuštěných kovů a dalších nežádoucích příměsí. Největším problémem se ukázalo být znečištění oleji a jinými ropnými produkty, pocházejícími především z chladících systémů automobilů. [23]

Tendence je tedy vytvořit provoz, který by měl za úkol ekologicky rozložit glykolové směsi v případech, kdy je regenerace příliš nákladná. Takový provoz by nejspíše využíval bakterií, schopných rozložit nižší dioly.

### **3.6 Dostupnost na trhu**

Ačkoliv je propan-1,3-diol již poměrně dlouho známá látka, doposud se její použití omezovalo na specifické odvětví průmyslu, kvůli její vysoké ceně. V poslední době, se ovšem PDO díky svým vlastnostem dostává do vědeckého povědomí a s postupujícím výzkumem se rozšiřují i jeho možnosti použití. Aby bylo možno naplnit poptávku po PDO, soustředil se výzkum v posledních letech především na vyvinutí levných a nenáročných technologických postupů výroby. [30]

Dva současní největší výrobci 1,3-propandiolu, Shell Chemicals a DuPont ve spolupráci s Tate & Lyle, vyvíjejí po dlouhá léta technologické postupy na levnou výrobu PDO. V roce 2006 byl kupříkladu otevřen závod firmy DuPont na výrobu Bio-PDO. Jedná se o výrobu PDO z kukuřičného cukru fermentací geneticky upravenými bakteriemi. Tento závod má za úkol pokrýt současnou spotřebu firmy pro výrobu polymerů. Firma Shell zase vyrábí PDO z ethylen oxidu, kdy jeho hydroformylací se syntetickým plynem (svítiplyn, syngas) vzniká 3-hydroxypropionaldehyd, ze kterého se hydrogenací vyrábí PDO. Obě firmy se snaží tyto postupy zjednodušit a zlevnit tak výrobu. V současnosti se prodává v USA PDO za cenu od 1,7 \$/kg za látku o technické čistotě. Na evropských trzích je tato cena o něco vyšší, jelikož zatím chybí evropský výrobce. Většina výroby PDO na světě je soustředěna v USA. Pro srovnání uvádím ceny jiných glykolů a to propylenglykolu a ethylenglykolu. Propylenglykol je obchodovatelný na světových trzích za cenu od 1,6 \$/kg, ethylenglykol je levnější a prodává se přibližně za 1 \$/kg. Cena PDO je tedy k dostání za již poměrně příznivé ceny a začíná konkurovat ostatním glykolům v mnoha odvětvích průmyslu. [26][27][28][29][30]

## 4 ZÁVĚR

Po důkladném zvážení dostupných materiálů je možné konstatovat, že propan-1,3-diol je vhodným kandidátem pro použití v celoročních termických solárních systémech jako nemrznoucí kapalina.

Vlastnosti PDO a jeho směsi s vodou byly porovnávány s dosavadními favority na poli teplonosných látek jimiž jsou propan-1,2-diol a ethan-1,2-diol. Všechny tři látky jsou si dosti podobné a mnohé jejich vlastnosti srovnatelné. Pro použití v solárních systémech má však PDO několik vlastností, které jsou výhodnější než u ostatních dvou.

Jednou z klíčových vlastností PDO se prokázala být jeho chemická stálost při vysokých teplotách. Studie prokázaly, že degradace propan-1,3-diolu za působení vysokých teplot je pomalejší než je tomu u PG a EG. Schopnost odolávat vysokým teplotám se sebou nese pomalejší okyselování směsi čímž se také snižuje korosivní působení.

Pro fyzikální vlastnosti nebyla nalezena žádná významnější vlastnost, kterou by se PDO lišil od běžně používaných nemrznoucích kapalin. Teplota tuhnutí či teplota varu je velmi podobná u všech třech látek stejně tak jako u jejich směsí. Podobně je tomu i u jiných vlastností jako je tepelná vodivost, hustota a další. I když se v mnohých případech může zdát, že rozdíl je přece jenom výrazný, jako je tomu u viskozity či tepelné kapacity, ve většině případů nejsou tyto rozdíly tak markantní, aby vážnějším způsobem ovlivnily funkčnost směsi.

Všechny kapaliny dlouhodobě obíhající v systémech tvořených kovovými součástmi musejí být opatřeny inhibitory koroze, jež ochraňují systém před poškozením korozí. Výhodou propan-1,3-diolu se ukázalo být také, že na něj lze úspěšně uplatnit antikoroční systémy, které se používají i u propylenglykolu a ethylenglykolu. Provedené výzkumy naznačují, že by tyto systémy mohly být z dlouhodobějšího hlediska dokonce více efektivnější než je tomu u současných teplonosných kapalin. To by mělo za následek prodloužení životnosti systému a celkové ušetření nákladů na jeho provoz. Čím déle je schopna si kapalina udržet optimální vlastnosti v systému, tím déle je možné ji v systému ponechat. Prodloužení doby použitelnosti kapalinu snížíme zároveň její spotřebu, což vede ke snížení nákladů na provoz a také to z dlouhodobého hlediska snižuje množství odpadů produkovaných systémem.

Ačkoliv chybí dlouhodobé studie věnované působení PDO na životní prostředí, dokáže si příroda s PDO relativně lehce poradit. Po rozředění vodou v prostředí dochází k jeho rychlé degradaci fotochemickými reakcemi a jeho výdrž v prostředí je odhadována podle podmínek přibližně na 10 – 30 dnů. Nemá tendence se bioakumulovat, ani jinými způsoby koncentrovat v prostředí, což je způsobeno především jeho naprostou rozpustností ve vodě. Lze tedy tvrdit, že propan-1,3-diol nepředstavuje v malém množství riziko pro životní prostředí. Avšak pravdou zůstává, že PDO není zcela netoxický a směsi použité v systémech obsahují určité množství látek, které mohou životnímu prostředí uškodit. Doporučuje se proto jeho ekologická likvidace specializovanými firmami.

## 5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RNDr. Kusala, J.: Solární energie [online]. 2006, last revision 2006 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>>.
- [2] Ladener, Heinz; Späte, Frank: Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 268 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [3] Ing. Bufka, A., Ministerstvo průmyslu a obchodu: Solární kolektory v roce 2004 [online]. 2005, last revision 2005 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=33#482>>.
- [4] Ing. Hruběšová, A.: Typy solárních kolektorů [online, pdf dokument]. Brno: VUT FAST 2004 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z URL: <[http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01\\_Pozemni%20stavitelstvi/1\\_04\\_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Hrubesova\\_Alana.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Hrubesova_Alana.pdf)>.
- [5] TianJin QiXin Solar Energy Technology: Metallic Fluid Channal Collectors [online]. 2004, last revision 3.4. 2008 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://www.qxsolar.com/english/c2.htm>>.
- [6] Wikipedia, the free encyclopedia: Antifreeze [online]. 2008, last revision 28. března 2008 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Antifreeze>>.
- [7] Matuška, T.: Prvky solárních soustav (I). TZB-info [online]. 2006, last revision červenec 2006 [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3418>>. ISSN 1801-4399.
- [8] Boon, Eaton, Smith: A novel chemical base for fuel cell engine heat exchange coolant/antifreeze. Hague (NL): Shell International Research MAATSCHAPPIJ B.V., 2001.
- [9] Matuška, T.: Problematika stagnace u solárních tepelných soustav (I). TZB-info [online]. 2006, srpen [cit. 11. dubna 2008]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3462>>. ISSN 1801-4399
- [10] Edward R. Eaton: A Chemical Base for Engine Coolant / Antifreeze with Improved Thermal Stability Properties. Deatroit, Michigan (USA): SEA Technical Paper Series, 2001.
- [11] MSDS: Ethylenglykol. Phillipsburg, NJ (USA): Mallinckrodt Baker, Inc., 2005.
- [12] MSDS: Propylenglykol. Phillipsburg, NJ (USA): Mallinckrodt Baker, Inc., 2005.
- [13] MSDS: Propan-1,3-diol. Fair Lawn, NJ (USA):Acros Organics N.V., 2007.
- [14] The Engineering ToolBox: Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid. The Engineering ToolBox [online]. 2005, last revision 2005 [cit. 12. května 2008]. Dostupné z URL: <[http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d\\_146.html](http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html)>.



- [15] The Engineering ToolBox: Propylene Glycol based Heat-Transfer Fluids. ToolBox [online]. 2005, last revision 2005 [cit. 12. května 2008]. Dostupné z URL: <[http://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d\\_146.html](http://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d_146.html)>.
- [16] M. Conde Engineering: Thermophysical Properties of Brines. M. Conde Engineering [online]. 2002, last revision 4. října 2006 [cit. 12. května 2008]. Dostupné z URL: <[www.mrc-eng.com/Downloads/Brine%20Properties.pdf](http://www.mrc-eng.com/Downloads/Brine%20Properties.pdf)>.
- [17] John Georgie, Nandhibatla V. Sastry: Densities, Dynamic Viscosities, Speeds of Sound, and Relative Permittivities for Water + Alkanediols (Propane-1,2- and -1,3-diol and Butane-1,2-, -1,3-, -1,4-, and -2,3-Diol) at Different Temperatures. Journal of Chemical & Engineering Data [online]. 2003, Vol. 48, No. 6, Pag. 1529–1539 [cit. 11. května 2008]. Dostupné na www: <<http://pubs.acs.org/journals/jceaax/index.html>>.
- [18] Shell chemicals: 1,3-propanediol: Experiment. Houston (USA): CORTERRA Polymers, 2002.
- [19] MSDS: Ethylenglykol. Rotterdam (NL), Shell Chemicals, 2005.
- [20] MSDS: 1,3-propandiol. Rotterdam (NL), Shell Chemicals, 2006.
- [21] MSDS: Propyleneglykol. Calgary (CAN), Shell Chemicals, 2006.
- [22] Novák, P.: Korozní inženýrství. Praha: VSCHT Praha, 2002.
- [23] HAMŠÍKOVÁ, V. Degradální změny nemrznoucích teplotnosných kapalin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc.
- [24] Scott, Frame, Ross, Loveless, Kennedy: Inhalation Toxicity of 1,3-Propanediol in the Rat. In Inhalation Toxicology, August 2005. Informa Healthcare, pages 487 – 493. ISSN 0895-8378.
- [25] Český hydrometeorologický ústav: Informace o klimatu [online]. 2008, last revision 15.5.2008 [cit. 17. května 2008]. Dostupné z: <<http://www.chmu.cz/meteo/ok/infklim.html>>.
- [26] Chemicals Prices & Chemicals Suppliers from ICIS: Propylene Glycol (PG) Prices and Pricing Information [online]. 2008, last revision mid-may 2008 [cit. 24. května 2008]. Dostupné z: <<http://www.icis.com/v2/chemicals/9076442/propylene-glycol/pricing.html>>.
- [27] Chemicals Prices & Chemicals Suppliers from ICIS: Ethylene Glycol (EG) Prices and Pricing Information [online]. 2008, last revision mid-may 2008 [cit. 24. května 2008]. Dostupné z: <<http://www.icis.com/v2/chemicals/9075765/ethylene-glycol-mono/pricing.html>>.

- [28] George A. Kraus: Center for Catalysis at Iowa State University. [PDF dokument]. Iowa (USA): Iowa State University, září 2006 [cit. 23. května 2008], 9 s. Dostupné z URL: <<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/893416-c5vHpS/893416.PDF>>.
- [29] ChemExper: Catalogue Of Chemicals Suppliers [online]. 2008, last revision květen 2008 [cit. 24. května 2008]. Dostupné z: <<http://www.chemexper.com/>>.
- [30] Shell Chemicals: 1,3-propanediol [online]. 2008, last revision Květen 2008 [cit. 23. května 2008]. Dostupné z: <[http://www.shellchemicals.com/1\\_3\\_propanediol/1,1098,300,00.html](http://www.shellchemicals.com/1_3_propanediol/1,1098,300,00.html)>

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### Zkratky:

EG	Ethylenglykol (ethan-1,2-diol)
PG	Propylenglykol (propan-1,2-diol)
PDO	Propan-1,3-diol
PTT	polytrimethyltereftalát
LD <sub>50</sub>	Lethal dose 50 – 50% úmrtnost pokusných zvířat po podání látky

### Symboly:

ξ	Hmotnostní zlomek
---	-------------------

## **7 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: Porovnání vlastností ethylenglykolu, propylenglykolu a 1,3-propandiolu v čistém stavu.

## 8 PŘÍLOHY

Příloha 1:

Fyzikální vlastnosti	PDO	EG	PG
Molekulová hmotnost [g/mol]	76,1	62,07	76,1
Teplota varu [°C]	214,4	197,6	187,4
Flash point [°C]	129	116	104
Hustota [g/cm <sup>3</sup> ] (20 °C)	1,0536	1,115	1,032
Teplota tuhnutí (roztok 50 %)	-29	-38	-33
Viskozita [mPa.s] (20 °C)	52	17	49
Měrná tepelná kapacita [kJ·K <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	2,730	2,784	2,948
Tepelná vodivost [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] (20 °C)	0,220	0,254	0,206
Odpařovací teplo [kJ/kg]	954	1044	882
Čistota [%]	99,7	94,5	99