

PARAMETRY ROZPUSTNOSTI A JEJICH VYUŽITÍ PRO VÝBĚR VHODNÉHO ROZPOUŠTĚDLA NEJEN V RESTAURÁTORSKÉ PRAXI

ANNA FIALOVÁ a PETR KOTLÍK

*Ústav chemické technologie restaurování památek, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
fialovan@vscht.cz*

Došlo 20.3.18, přijato 26.4.18.

Klíčová slova: odstraňování polymerů, parametry rozpustnosti, Teasovy diagramy, rozpustnostní koule

Obsah

1. Úvod
2. Metody výběru rozpouštědla
3. Parametry rozpustnosti
 - 3.1. Parametr rozpustnosti Hildebrand-Scott
 - 3.2. Hansenovy parametry rozpustnosti
 - 3.3. Příklady dalších vícečetných parametrů rozpustnosti
4. Grafické zobrazení Hansenových parametrů rozpustnosti
 - 4.1. Teasovy diagramy
 - 4.2. 3D model – rozpustnostní koule (solubility sphere)
5. Závěr

1. Úvod

Životnost materiálů používaných pro ošetřování povrchu památkových objektů je často omezená a po určité době se tak objevuje potřeba jejich odstranění. Odstranitelnost (reverzibilita) je jedním z velmi důležitých parametrů použitelnosti konzervačních, hydrofobizačních, barvicích a dalších prostředků upravujících povrch památek. V případech, kdy si aplikovaný materiál i po stárnutí zachová určitou rozpustnost, je obvykle této vlastnosti při jeho odstraňování využíváno a látka (často polymerní) je vhodným rozpouštědlem „omývána“, otírána tampony namočenými v rozpouštědle nebo změkčována obklady rozpouštědlem nasycenými a následně odstraňována mechanicky. Objevují se i snahy používat pro tento účel různé gelovité systémy^{1–4}, v nichž jsou rozpouštědla převedena do formy gelu přísadkou vhodného zahušťovačů. V tomto případě jde o jakousi šetrnou obdobu odstraňovačů starých nátěrů. Použití rozpouštědel však představuje

určité zdravotní riziko pro provádějícího pracovníka i pro životní prostředí^{5,6}. Zvláště při čistění větších ploch nebo při práci v uzavřených prostorech může být odpar rozpouštědel značně nepříjemný až nebezpečný.

Z uvedených důvodů jsou hledány systémy, které použití rozpouštědel pro popsané potřeby omezují, případně omezují i jejich odpar do okolního prostředí. Jednou z cest je náhrada čistých rozpouštědel nebo jejich směsí vodnými systémy – mikroemulzemi, které obsahují jen velmi malé množství rozpouštědla (případně směsi rozpouštědel) dispergované ve vodném prostředí. Základní charakteristiky takovýchto mikroemulzí byly popsány v naší dřívější práci⁷. Účinnost těchto systémů závisí na několika faktorech, přičemž jedním z nejpodstatnějších je charakter obsaženého rozpouštědla. Protože se v restaurátorské praxi často jedná o odstraňování dřívě použitých komerčně dostupných vinylových polymerů (hlavně polyvinylacetátu a jeho kopolymerů) nebo akrylátových kopolymerů, je užitečné hledat rozpouštědlové systémy vhodné pro rozpouštění právě takových polymerních látek. Dalším kritériem volby rozpouštědla je možnost jeho dispergace ve vodě v přítomnosti vhodné povrchově aktivní látky. A konečně posledním významným kritériem pro výběr rozpouštědla (vedle zdravotních rizik) je jeho inertnost vůči čištěnému povrchu. To je důležité především při odstraňování polymerů z organických povrchů, hlavně v přítomnosti olejových barevných vrstev, některých typů zlacení apod. Z výše uvedených důvodů je patrné, že je třeba věnovat výběru rozpouštědla dostatečnou pozornost, což umožňují především níže popsané metody.

2. Metody výběru rozpouštědla

Volbu vhodného rozpouštědla lze provést experimentálně, nebo teoreticky, vždy se ale jedná o aplikaci poučky „podobné se rozpouští v podobném“.

Experimentální stanovení, které vyžaduje vzorek odstraňovaného materiálu a dostatečně širokou škálu rozpouštědel, je vhodné použít především v případě, že není známo přesné složení odstraňované látky a nelze provést její analýzu. Vzorovým příkladem experimentálního stanovení rozpustnosti odstraňované látky je test, který popsal R. Feller⁸. Fellerův test spočívá v rolování bavlněného tamponku nasyceného testovaným rozpouštědlem po povrchu odstraňovaného materiálu po dobu 75 s. Pokud se film o tloušťce 1–3 mm po tomto zásahu nerozpustí ani jinak neopotřebuje, lze jej podle Fellerova označit jako nerozpustný v daném rozpouštědle.

Pokud je alespoň rámcově známo chemické složení odstraňované látky, lze pro výběr vhodného rozpouštědla

použit teoretický odhad na základě porovnání parametrů rozpustnosti odstraňované látky a rozpouštědla^{9,10}. Čím bližší si budou hodnoty parametrů rozpustnosti porovnávaných látek, tím větší bude jejich vzájemná mísitelnost a tím pravděpodobněji bude dané rozpouštědlo schopné rozpustit, nebo alespoň dostatečně zbotnat odstraňovanou látku. Tento postup umožňuje odhadnout také míru interakce vybraného rozpouštědla s podkladem (je-li známo jeho složení) a vyhnout se tak použití rozpouštědel, která by mohla podklad poškodit. Maximální hodnota rozdílu parametrů rozpustnosti určující mez mísitelnosti dvou látek není jednoznačně stanovena, údaje uváděné v literatuře se pohybují od 2 MPa^{0,5} (cit.¹¹) přes 5 (cit.¹²) do 7 MPa^{0,5} (cit.¹³).

3. Parametry rozpustnosti

3.1. Parametr rozpustnosti Hildebrand-Scott

Pojem parametr rozpustnosti (δ) stanovili poprvé J. H. Hildebrand a R. L. Scott¹⁴ v roce 1962 a definovali jej jako odmocninu z hustoty kohezní energie (HKE), což je veličina vyjadřující celkovou energii nutnou pro zrušení všech intermolekulárních sil držících molekuly pohromadě¹⁵. HKE lze matematicky vyjádřit¹⁶ jako podíl měřitelné energie vypařování E a molárního objemu látky V , v případě odpařitelného vzorku¹⁵ lze energii E nahradit výrazem popisujícím změnu molární výparné enthalpie H_v při teplotě T . Uvedené vztahy přehledně shrnuje rovnice:

$$\delta = \sqrt{\text{HKE}} = \sqrt{E/V} = \sqrt{(\Delta H_v - RT)/V} \quad (1)$$

kde R je univerzální plynová konstanta. Pro neodpařitelné látky lze stanovit parametr rozpustnosti experimentálně sledováním chování vzorku v sadě rozpouštědel o známém parametru. Například u vzorku polymeru se sleduje rovnovážný stupeň nabotnění lehce zesíťovaného polymeru, kdy je nejvyšší hodnoty nabotnění dosaženo v rozpouštědle s nejméně podobnými parametry rozpustnosti¹⁷. Teoreticky lze hodnotu parametru rozpustnosti odhadnout metodou skupinových příspěvků (group contribution), která je založena na sčítání příspěvků jednotlivých atomů či skupin atomů a kromě molekulární struktury látky tak nevyžaduje žádná experimentální data¹⁸. Modelů příspěvkových metod existuje více, pravděpodobně nejčastěji používaná je metoda, jejímž autorem je R. F. Fedors a která umožňuje odhadnout buď Hildebrandův parametr rozpustnosti, nebo molární objem látky¹⁹. Z novějších přístupů lze zmínit metodu Stefanise a spol.²⁰, která rozšiřuje původní metodu o příspěvek skupin 2. řádu, čímž dochází ke zpřesnění odhadu.

Koncept parametru rozpustnosti byl původně vyvinutý pro popis termodynamiky mísení neelektrolytů, ale následně byl aplikován i na rozpustnost plynů a pevných látek v kapalinách, mísitelnost kapalin a v dalších oblastech⁹. Pro své široké využití zůstává parametr rozpustnosti

dodnes jedním z klíčových parametrů pro charakterizaci povrchů, odhad kompatibility polymerů nebo výběru rozpouštědel v průmyslu¹⁰.

Jedním z nedostatků Hildebrandova a Scottova parametru rozpustnosti je fakt, že tento model nebere ohled na asociace mezi molekulami, jako jsou vodíkové můstky nebo polární interakce. Řešením je použití vícesložkových parametrů, jako jsou např. Hansenovy parametry rozpustnosti, čímž dochází ke zpřesnění odhadů při porovnávání parametrů rozpustnosti různých látek^{10,16}.

Hansenovy parametry rozpustnosti

Východním předpokladem teorie Hansenových parametrů rozpustnosti je, že celková energie vypařování kapalin E se skládá z několika složek vycházejících z disperzních sil, interakcí permanentních dipólů a vodíkových vazeb. Jednotlivé složky charakterizují příspěvek vždy jednoho ze tří hlavních typů interakcí, které se vyskytují v běžných organických materiálech, k celkové energii¹⁶. Základním typem interakcí, které vykazují všechny molekuly, jsou nepolární (také disperzní) interakce vycházející z atomárních sil. Příspěvek těchto interakcí vyjadřuje disperzní kohezní energie E_D . V případě molekul, které vykazují pouze tento typ interakcí (např. nasycené alifatické uhlovodíky), je předpokládána rovnost mezi E_D a E . U většiny molekul se v různé míře kromě nepolárních interakcí vyskytují také molekulární interakce mezi permanentními dipóly, jejichž příspěvek k celkové energii shrnuje polární kohezní energie E_p . Posledním hlavním zdrojem kohezní energie jsou podle Hansena¹⁶ vodíkové vazby, příslušný parametr vodíkové vazby E_H lze obecně nazvat parametrem elektronové výměny a v Hansenově přístupu zahrnuje nejen přitažlivé síly mezi molekulami vzniklé v důsledku vodíkových vazeb, ale také všechny ostatní interakce, které nelze zařadit do prvních dvou skupin.

Na základě rozdělení kohezní energie na jednotlivé složky a s využitím vztahu mezi parametrem rozpustnosti a kohezní energií stanovil Hansen dílčí parametry rozpustnosti δ_D , δ_p a δ_H . Celkový parametr rozpustnosti pak určil pomocí úpravy vztahu pro celkovou kohezní energii, viz rovnice (2)–(4) (cit.¹⁶).

$$E = E_D + E_p + E_H \quad (2)$$

$$E/V = E_D/V + E_p/V + E_H/V \quad (3)$$

$$\delta^2 = \delta_D^2 + \delta_p^2 + \delta_H^2 \quad (4)$$

Pro teoretické stanovení jednotlivých Hansenových parametrů rozpustnosti je možné použít různé výpočetní metody, jejichž výběr závisí do značné míry především na tom, jaká data jsou pro daný materiál k dispozici. Pro výpočet nepolárního parametru δ_D použil Hansen metodu, kterou popisují Blanks a Prausnitz²¹. Tato metoda je používaná stále a je považována za nejhodnější metodu pro výpočet disperzního parametru δ_D . Rozdělení zbylé kohez-

ní energie probíhalo zpočátku metodou pokus-omyl, aby získaná data korespondovala s experimentálně stanovenými parametry rozpustnosti polymerů. Na základě experimentálních dat bylo následně zjištěno, že pro výpočet polárního parametru δ_p lze použít tzv. Böttcherovu rovnici²², což vedlo k přepočítání dříve stanovených parametrů¹⁶. I pro odhad Hansenových parametrů existují metody skupinových příspěvků, díky kterým lze odhadnout jednotlivé dílčí parametry rozpustnosti. Z jednoskupinových lze jmenovat metody, jejichž autory jsou Hoftyzer a van Krevelen¹² nebo Hoy²³, se skupinami prvního a druhého řádu pracuje upravená metoda Stefanise a spol.²⁴.

Hansenovy parametry rozpustnosti byly do dnešní doby stanoveny pro více než tisíc látek, což poskytuje dostatečně široký soubor dat po výběr vhodných rozpouštědel. Další výhodou těchto parametrů je, že pokud při míchání kapalin nedochází ke změně jejich objemu, lze stanovit celkový parametr i dílčí parametry rozpustnosti směsi jakožto lineární funkci složení podle vztahu:

$$\delta_{x,s} = \sum \phi_i \delta_{x,i} \quad (5)$$

kde $\delta_{x,s}$ je dílčí parametr směsi, ϕ_i je objemový zlomek i -té složky a $\delta_{x,i}$ je dílčí parametr i -té složky²⁵. Předpoklad aditivity parametrů rozpustnosti tak umožňuje nahrazení čistého rozpouštědla směsí, což je užitečné především v případech, kdy rozpouštědlo s požadovanými parametry není k dispozici, nebo je žádoucí omezit toxicitu používaných rozpouštědel.

3.3. Příklady dalších vícečetných parametrů rozpustnosti

Hansenův tříparametrový systém není jedinou možností rozšíření (a zpřesnění) parametru rozpustnosti. Někteří autoři dělí parametr vodíkové vazby na další, aby bylo umožněno zahrnutí jak pozitivního, tak negativního směšovacího tepla¹⁶. Jednou z variant je rozdělení parametru vodíkových vazeb na kyselou (δ_A) a bazickou (δ_B) složku, aby byl zohledněn charakter Lewisových kyselin a bází^{26,27}. Pro rozšíření parametru rozpustnosti byly použity stupnice kyselosti a bazicity, jak je publikovali Kamlet a spol.^{28–30}, a na jejich základě byl sestaven jednoduchý lineární vztah mezi parametry kyselosti a bazicity²⁷:

$$2\delta_A \delta_B = \delta_H^2 \quad (6)$$

Hlavní nevýhodou uvedeného vztahu je fakt, že pokud je jeden z parametrů zanedbatelný až nulový, musí být druhý parametr nepřiměřeně vysoký. Z tohoto důvodu nelze rovnici aplikovat na látky, které mají pouze bazický nebo pouze kyselý charakter¹⁰. I přes tento nedostatek je rozšířený model podstatně přesnější, než výchozí Hansenův parametr³¹. Jelikož však pro výchozí Hansenův model existují rozsáhlé databáze hodnot parametrů a naopak chybí jednoduché metody pro jednoznačné určení kyselého a bazického parametru, stále je v praxi většinou využíván model Hansenových parametrů rozpustnosti¹⁰.

O jeden parametr více lze nalézt v práci Kargera, který dělí kohezní energii na pět částí – disperzní, orientační, indukční, proton-donorovou a proton-akceptorovou³². Ačkoliv rozdělením kohezní energie do více parametrů dochází ke zpřesnění předpovědi parametrů rozpustnosti, v praxi je stále nejvíce používán Hansenův model, jelikož udržuje počet parametrů na použitelné úrovni a jeho parametr vodíkové vazby dobře odpovídá praxi¹⁶.

4. Grafické zobrazení Hansenových parametrů rozpustnosti

V restaurátorské praxi, jak již bylo uvedeno, je často potřeba odstranit dříve aplikované látky, které již nespĺňují svou původní funkci. V takových případech není zpravidla nutné exaktně stanovovat Hansenovy parametry rozpustnosti odstraňované látky, užitečnější je určit rozsah parametrů rozpustnosti jednotlivých rozpouštědel, která jsou schopná danou látku rozpustit, nebo alespoň zbotnat do té míry, že je umožněno její mechanické odstranění z ošetřovaného předmětu. Stanovením hraničních hodnot dílčích parametrů dobrých rozpouštědel lze určit oblast rozpustnosti dané látky, čili definovat oblast parametrů rozpustnosti, ve které se musí rozpouštědlo pohybovat, aby mohlo být pro danou látku označeno za dobré. Pro jednodušší orientaci a odhadnutí vzájemné mísitelnosti látek je vhodné použít grafické znázornění těchto oblastí ať už v 2D, nebo v 3D podobě.

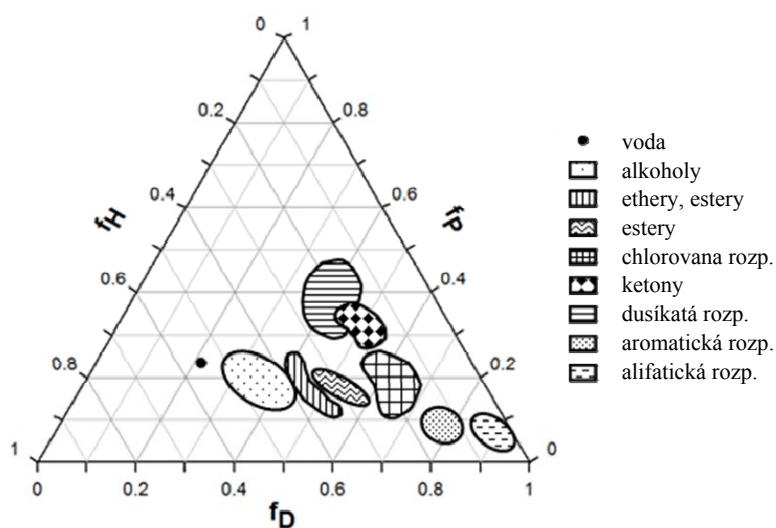
4.1. Teasovy diagramy

Pro planární zobrazení oblasti rozpustnosti lze použít ternární Teasovy diagramy. Aby bylo možné tyto diagramy sestavit, je nejprve nutné převést jednotlivé Hansenovy parametry rozpustnosti na redukovanou formu (f). Toho je dosaženo vydělením příslušného Hansenova parametru součtem všech tří dílčích parametrů rozpustnosti (rovnice (7))³³:

$$f_x = \delta_x / (\delta_D + \delta_p + \delta_H) \quad (7)$$

Součet takto spočítaných redukovaných parametrů jedné látky je roven jedné, často se redukované parametry uvádějí v procentuální podobě a jejich součet je pak roven stu. Díky úpravě parametrů rozpustnosti je tedy možné zobrazit v Teasově diagramu libovolnou látku v podobě bodu určeného třemi souřadnicemi³³. Při znalosti souřadnic dostatečného počtu bodů odpovídajících rozpouštědlům s podobnými vlastnostmi lze v Teasově diagramu vyznačit oblasti odpovídající jednotlivým skupinám rozpouštědel (obr. 1). Ve většině případů je dodržováno zobrazení, při kterém základna rovnostranného trojúhelníku diagramu odpovídá parametru f_D , levá strana zobrazuje f_H a pravá strana f_p (cit.⁹).

Ačkoliv jsou Teasovy diagramy relativně jednoduchým způsobem, jak znázornit body o třech souřadnicích v ploše, není jejich použití obecně doporučováno. Někteří

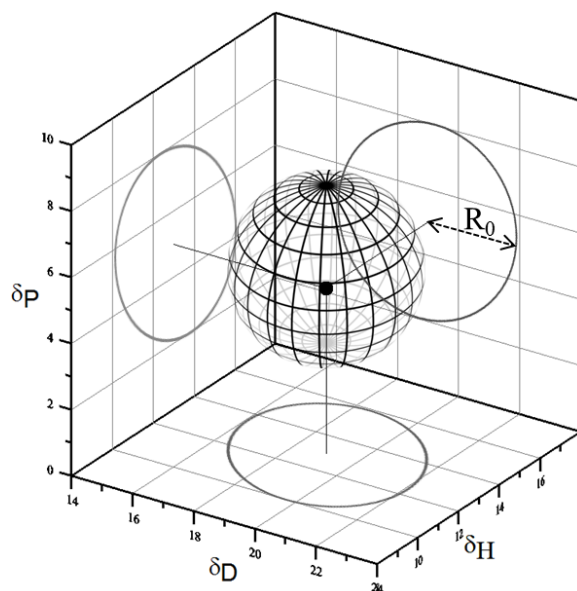


Obr. 1. Teasov diagram s vyznačenými oblastmi jednotlivých skupin rozpouštědel. Autorem diagramu Michele Baglioni³⁴

autoři kritizují tento způsob znázornění parametrů rozpustnosti pro jeho nepřesnost a určitou omezenost^{35,36} především z toho důvodu, že redukovaná forma parametrů rozpustnosti nemá žádnou teoretickou hodnotu³⁷. Ilustračním příkladem nedostatku zobrazování oblastí rozpustnosti v Teasově diagramu je srovnání účinnosti chloroformu a diethyletheru. Tato rozpouštědla se vyskytují v Teasově diagramu prakticky vedle sebe, ovšem jejich vliv na většinu rozpouštěných látek bývá diametrálně odlišný. Proto může být v některých případech vhodnější použití zobrazení v 3D prostoru bez úpravy parametrů rozpustnosti³⁷.

4.2. 3D model – rozpustnostní koule (solubility sphere)

Při zobrazování v 3D prostoru není v případě Hanse-
nova tříparametrového systému nutné parametry rozpustnosti jakkoliv upravovat, ale jednoduše stačí přidělit jeden dílčí parametr rozpustnosti ke každé ose. Libovolnou látku o známých parametrech rozpustnosti pak lze zobrazit jako bod v prostoru daný třemi souřadnicemi³⁷. Pro výpočet vzdálenosti bodů 1 a 2 v prostoru vyvinul Skaarup rovnici pro vzdálenost parametrů rozpustnosti R_a (rovnice (8))¹⁶.



Obr. 2. Schématické znázornění rozpustnostní koule. Bod ve středu síťované koule znázorňuje souřadnice odstraňované látky, oblast dobrých rozpouštědel je daná poloměrem R_0 . Na jednotlivých stěnách grafu je zobrazen průmět rozpustnostní koule do plochy

Tuto veličinu lze použít i pro posouzení vzájemné mísitelnosti látek – čím nižší hodnota R_a , tím podobnější parametry rozpustnosti látky mají¹⁵.

$$R_a^2 = 4(\delta_{D,1} - \delta_{D,2})^2 + (\delta_{P,1} - \delta_{P,2})^2 + (\delta_{H,1} - \delta_{H,2})^2 \quad (8)$$

Oblast rozpustnosti určité látky lze v 3D prostoru znázornit jako kouli, jejíž střed je daný parametry rozpustnosti rozpouštěné látky a poloměr odpovídá maximální hodnotě R_a , která ještě dává dobré rozpouštědlo (viz obr. 2). Tato hraniční hodnota se označuje R_0 . Výsledná koule tak zahrnuje všechna rozpouštědla dobrá pro konkrétní odstraňovanou látku, zatímco všechna špatná rozpouštědla zůstávají mimo ni¹⁵. Sestavený 3D graf lze jednoduchým postupem zredukovat na tři 2D grafy tak, že bude postupně proveden řez grafu rovinou kolmou na jednu z os 3D grafu a procházející středem rozpustnostní koule.

Pokud již byla rozpustnostní koule konkrétní látky sestavena a je znám její poloměr R_0 , lze posoudit účinnost zvažovaného rozpouštědla i bez vynášení jeho souřadnic do grafu. K tomu slouží číslo RED (relative energy difference), které je definováno jako poměr R_a ku R_0 . V případě, že mezi látkami není žádný energetický rozdíl, je RED rovno nule. Pokud je hodnota RED v intervalu mezi nulou a jednou, mají látky vysokou afinitu a zvažované rozpouštědlo lze označit za dobré. Hodnota jedna je hraniční hodnotou, kdy lze ještě rozpouštědlo použít, zatímco hodnoty RED vyšší než jedna označují rozpouštědla špatná¹⁶.

Určitou nevýhodou jak rozpustnostní koule, tak čísla RED je nutnost znalosti parametrů rozpustnosti odstraňované látky. Pokud tyto parametry nejsou k dispozici, lze použít 3D graf pouze v podobě mračna experimentálně získaných bodů dobrých a špatných rozpouštědel. Použití 3D modelů také komplikuje potřeba softwaru umožňujícího jejich sestavení a dále určitá nepřehlednost modelů při prezentaci v 2D prostoru, například v tištěné podobě.

5. Závěr

Parametry rozpustnosti lze vzhledem ke značným možnostem jejich využití považovat za užitečnou pomůcku, díky které lze ušetřit materiál i čas nejen v průmyslových výrobcích, ale i v případě péče o předměty kulturního dědictví. Jejich využití při odstraňování nežádoucích látek z povrchů předmětů snižuje environmentální dopad používaných organických rozpouštědel a zároveň snižuje riziko poškození ošetřovaného předmětu v průběhu procesu čištění. Jedná se tak o názornou ukázkou toho, jaké výhody může přinést spolupráce restaurátora s chemikem, a jak užitečná může být aplikace vědeckých poznatků do tradiční restaurátorské praxe.

LITERATURA

- Carretti E., Fratini E., Berti D., Dei L., Baglioni P.: *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* 48, 8966 (2009).
- Baglioni M., Giorgi R., Berti D., Baglioni P.: *Nanoscale* 4, 42 (2012).
- Brajer I., Fossé-Le Rouzic M., Shashoua Y., Taube M., Chelazzi D., Baglioni M., Giorgi R., Baglioni P.: *ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15-19 September 2014* (Bridgland J., ed.), str. 8.
- Angelova L. V., Berrie B. H., de Ghetaldi K., Kerr A., Weiss R. G.: *Stud. Conserv.* 60, 227 (2015).
- Carretti E., Dei L., Baglioni P.: *Langmuir* 19, 7867 (2003).
- Grassi S., Favaro M., Tomasin P., Dei L.: *Journal of Cultural Heritage* 10, 347 (2009).
- Kotlík P.: *Chem. Listy* 108, 1113 (2014).
- Feller R., Stolow N., Jones E.: *On Picture Varnishes and their Solvents*. National Gallery of Art, Washington 1985.
- Berti D., Lo Nostro P., v knize: *Nanoscience for the Conservation of Works of Art* (Baglioni P., Chelazzi D., ed.), kap. 4, The Royal Society of Chemistry, Cambridge 2013.
- Stefanis E., Panayiotou C.: *Int. J. Pharm.* 426, 29 (2012).
- Forster A., Hempenstall J., Tucker I., Rades T.: *Int. J. Pharm.* 226, 147 (2001).
- van Krevelen D. W., te Nijenhuis K., v knize *Properties of Polymers*, kap. 7, Elsevier, Amsterdam 2009.
- Greenhalgh D. J., Williams A. C., Timmins P., York P.: *J. Pharm. Sci.* 88, 1182 (1999).
- Hildebrand J. H., Scott R. L.: *Regular solutions*. Prentice-Hall, 1962.
- Fardi T., Stefanis E., Panayiotou C., Abbott S., van Loon S.: *Journal of Cultural Heritage* 15, 583 (2014).
- Hansen C. M., v knize: *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook* (Hansen C. M., ed.), kap. 1, CRC Press, Boca Raton 2007.
- Meissner B., Zilvar V.: *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. SNTL, Praha 1987.
- DeBoyace K., Wildfong P. L. D.: *J. Pharm. Sci.* 107, 57 (2018).
- Fedors R. F.: *Polym. Eng. Sci.* 14, 147 (1974).
- Stefanis E., Constantinou L., Panayiotou C.: *Ind. Eng. Chem. Res.* 43, 6253 (2004).
- Blanks R. F., Prausnitz J. M.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 3, 1 (1964).
- Hansen C. M., Skaarup K.: *J. Paint Technol.* 39, 511 (1967).
- Hoy K. L.: *J. Paint. Tech.* 42, 76 (1970).
- Stefanis E., Panayiotou C.: *Int. J. Thermophys.* 29, 568 (2008).
- Durkee J., v knize: *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook* (Hansen C. M., ed.), kap. 11, CRC Press, Boca Raton 2007.

26. Jensen W. B., v knize: *Surface and Colloid Science in Computer Technology* (Mittal K. L., ed.), kap. 2, Plenum Press, New York 1987.
27. Karger B. L., Snyder L. R., Eon C.: *J. Chromatogr. A* 125, 71 (1976).
28. Kamlet M. J., Taft R. W.: *J. Am. Chem. Soc.* 98, 377 (1976).
29. Taft R. W., Kamlet M. J.: *J. Am. Chem. Soc.* 98, 2886 (1976).
30. Kamlet M. J., Abboud J. L. M., Taft R. W., v knize: *Progress in Physical Organic Chemistry* (Taft R. W., ed.), sv. 13, kap. 6, Wiley, New York 1981.
31. Verheyen S., Augustijns P., Kinget R., Van den Moortel G.: *Int. J. Pharm.* 228, 199 (2001).
32. Karger B. L., Snyder L. R., Eon C.: *Anal. Chem.* 50, 2126 (1978).
33. Teas J. P.: *J. Paint Technol.* 40, 16 (1968).
34. Carretti E., Dei L., v knize: *Nanoscience for the Conservation of Works of Art* (Baglioni P., Chelazzi D., ed.), kap. 5, The Royal Society of Chemistry, Cambridge 2013.
35. Stavroudis C., Blank S.: *WAAC Newsletter* 11, 2 (1989).
36. McGlinchey C.: *WAAC Newsletter* 22, 17 (2002).
37. Abbott S., Hansen C. M., Yamamoto H.: *Hansen Solubility Parameters in Practice*. Hansen-Solubility.com, 2015.

A. Fialová and P. Kotlík (*Department of Chemical Technology of Monument Conservation, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Solubility Parameters and Their Utilization for the Selection of Suitable Solvent Not Only in Restoration Practice**

The efficiency of polymer removal from surfaces of cultural heritage objects depends primarily on the selection of appropriate solvent. This selection could be performed experimentally or in a theoretical way by comparing the solubility parameters of the substance to be removed, the base and the considered solvent. The theoretical method of selection is environment-friendly and lowers the risk of damaging the object being cleaned by an inappropriate solvent. In this paper, the development of solubility parameter models is summarized; the review is focused mainly on the Hansen model which is the most used one.

Keywords: polymer removal, solubility parameters, Teas diagrams, solubility sphere