

Extrakce SPE

EXTRAKCE PEVNOU FÁZÍ (SOLID-PHASE EXTRACTION, SPE)

- dělení analytu mezi dvě nemísitelné fáze, z nichž jedna je pevná
- analyt přechází do pevné fáze z plynné či kapalné fáze
- odběr a úprava vzorku, spojení s instrumentálními analytickými metodami (chromatografické, elektrochemické)
- rychle vytlačuje klasickou extrakci kapaliny kapalinou (LLE)

Princip SPE

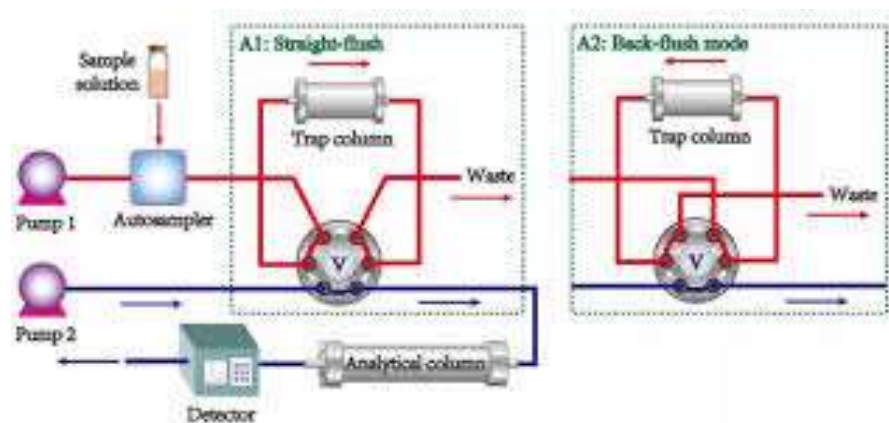
selektivní zadržování látek na pevné fázi, která je umístěna ve formě sloupce nebo membrány v krátké kolonce

Sorpce - adsorpce, rozpouštění, iontová výměna, molekulové rozpoznávání

Desorpce - teplotou nebo rozpouštědly

Použití SPE

1. odstranění rušivých složek matrice (i odsolování)
2. selektivní obohacení (**nakoncentrování**) vzorku z velkých objemů
3. izolace stopových látek
4. změna rozpouštědla vzorku



Výhody SPE ve srovnání s LLE:

1. jednoduché provedení
2. práce s menšími objemy vzorků, větší bezpečnost
3. rychlejší a levnější (snížená spotřeba organických rozpouštědel)
4. selektivitu lze měnit volbou stacionární (pevné) fáze
5. snadné skladování a transport vzorků prekoncentrovaných na kolonách
(skladování až 8 měsíců při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo 3 - 4 měsíce při $4\text{ }^{\circ}\text{C}$)
6. snadná automatizace, on-line spojení s HPLC

Nevýhody SPE:

1. pro některé specifické izolace nejsou na trhu vhodné fáze
2. složení odebraného vzorku je odlišné od původního, může být problém s kalibrací

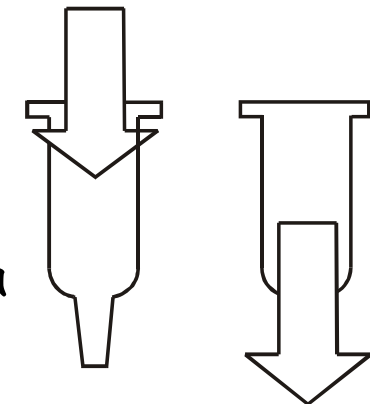
Provedení SPE

- skládá se z pěti kroků
- 1. předúprava (kondicionování) kolonky
- 2. dávkování vzorku
- 3. promývání
- 4. sušení
- 5. eluce (vymývání)

PŘEDÚPRAVA KOLONKY

- příprava kolonky na reprodukovatelnou interakci složek vzorku s pevnou fází, která je umožněna **solvací pevné fáze**

Kolonku propláchneme předepsaným rozpouštědlem (**aktivace pevné fáze, příprava pro interakce se vzorkem**) a následně rozpouštědlem podobným vzorku (**úprava prostředí pro vlastní vzorek**).



Fáze C18: aktivace methanolem, úprava prostředí vodou a následuje vodný vzorek

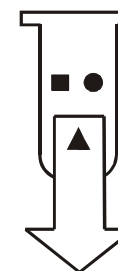
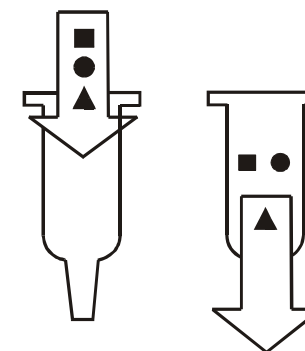
DÁVKOVÁNÍ VZORKU

- podle druhu pevné fáze a vzorku dochází ke specifickým interakcím látek s tuhou fází

Žádaná skupina látek se selektivně sorbuje a nesorbované látky (matrice) procházejí volně kolonkou.

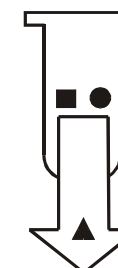
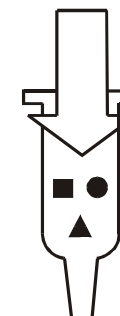
■ izolovaná látka

●▲ rušící složky matrice



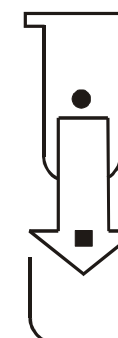
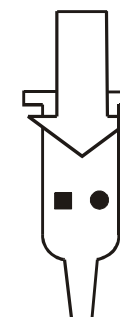
PROMÝVÁNÍ

- propláchnutí kolonky vhodným rozpouštědlem vede k vymytí zbytků matrice vzorku z kolonky; žádané látky zůstávají sorbovány na pevné fázi



SUŠENÍ

- pokud se eluční rozpouštědlo výrazně liší od promývacího roztoku, kolonku vysušíme proudem inertního plynu (dusík)

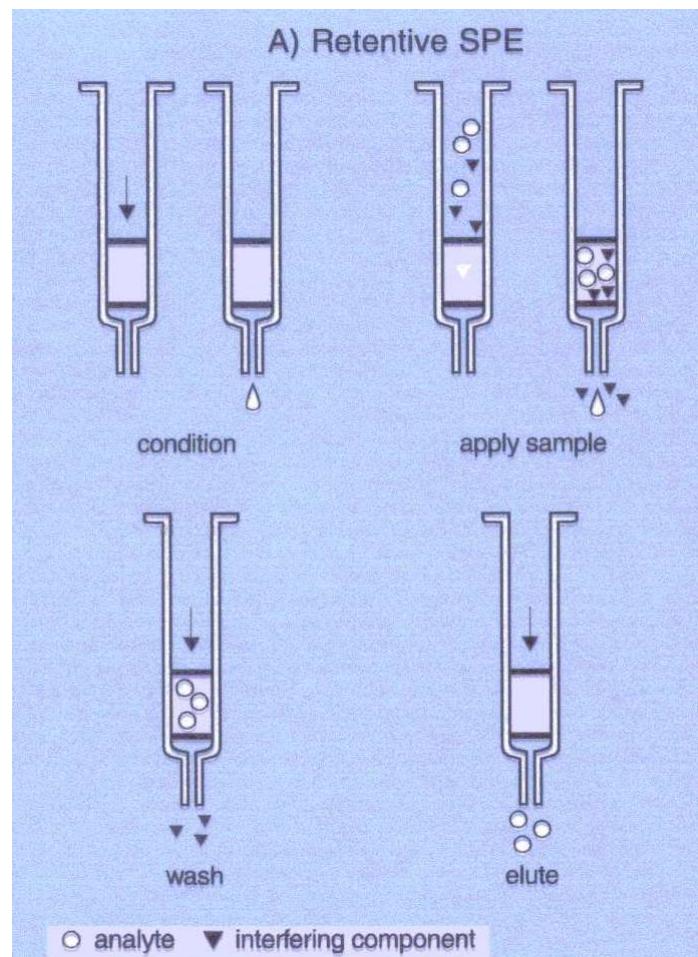


ELUCE

- kolonku promýváme elučním rozpouštědlem, dochází k selektivní desorpci žádaných látek z pevné fáze a k jejich vymytí z kolonky. Eluát jímáme a dále zpracováváme.

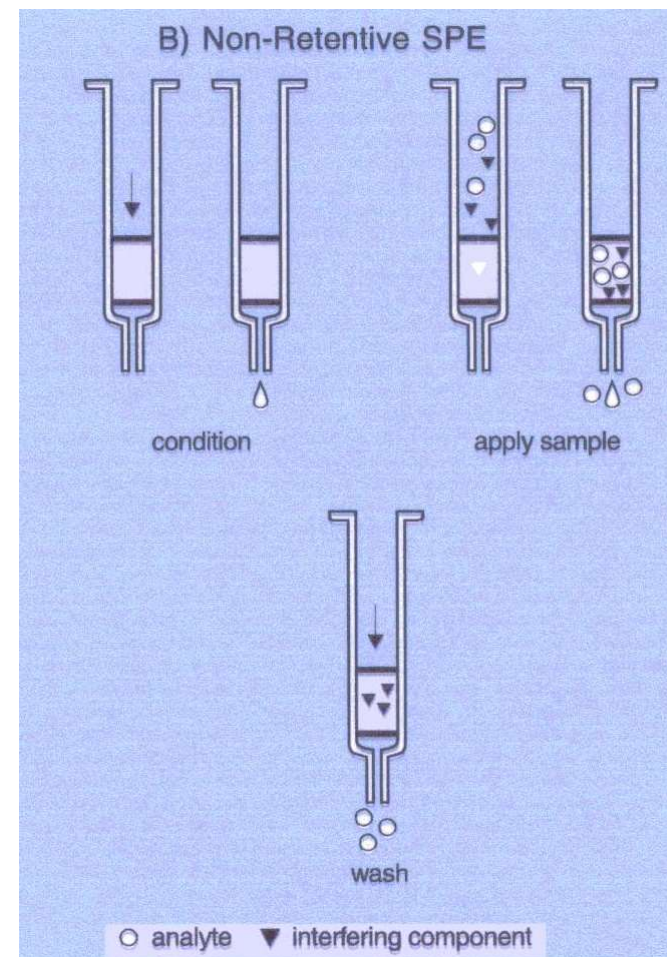
Typ SPE

selektivní záchyt analytu
retentivní (retentive) SPE



selektivní záchyt doprovodných
nečistot

neretentivní (non-retentive) SPE



SPE Instrumentace

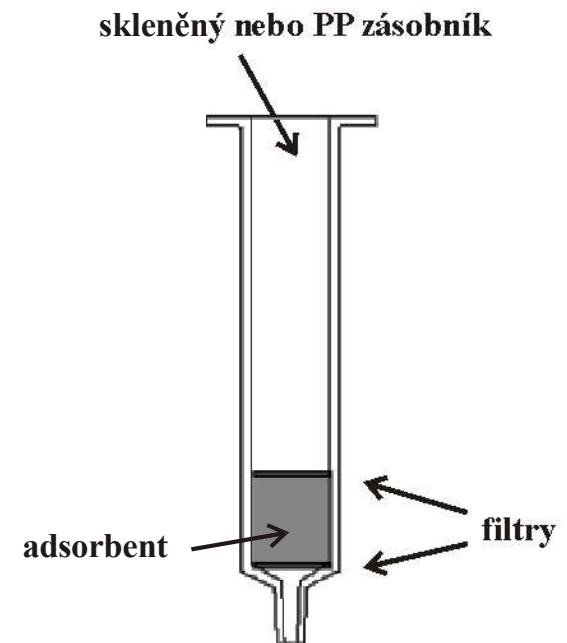
1. kolonky
2. extrakční disky (vzorkovací terče)
3. vlákna (SPME Solid Phase MicroExtraction)

SPE KOLONKY

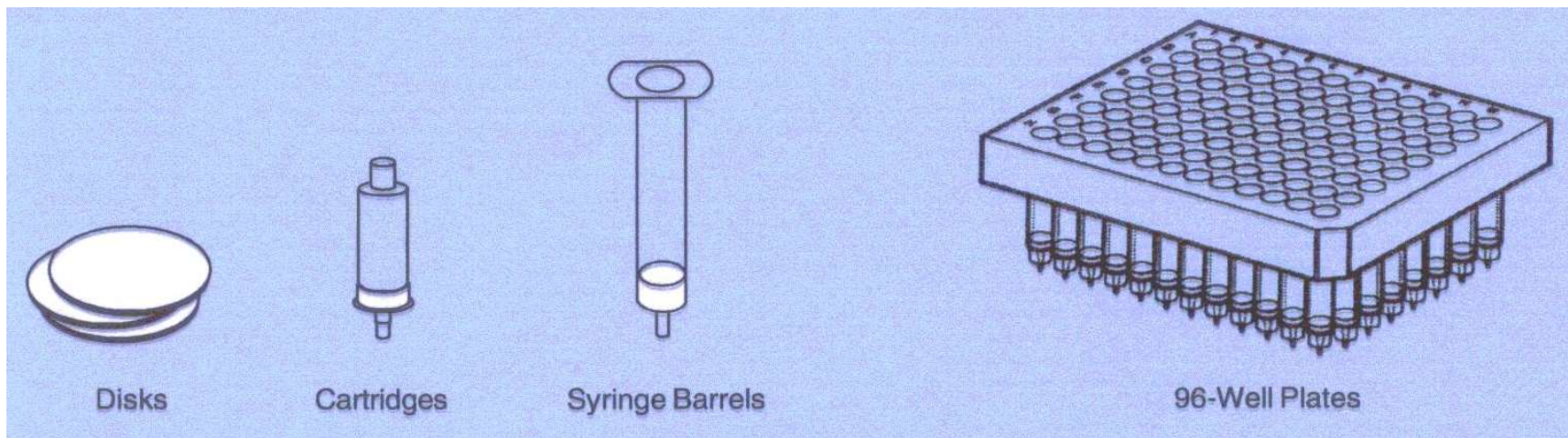
- tvar injekční stříkačky bez pohyblivého pístu
- naplněny sorbenty o různé velikosti částic

Parametry SPE kolonek

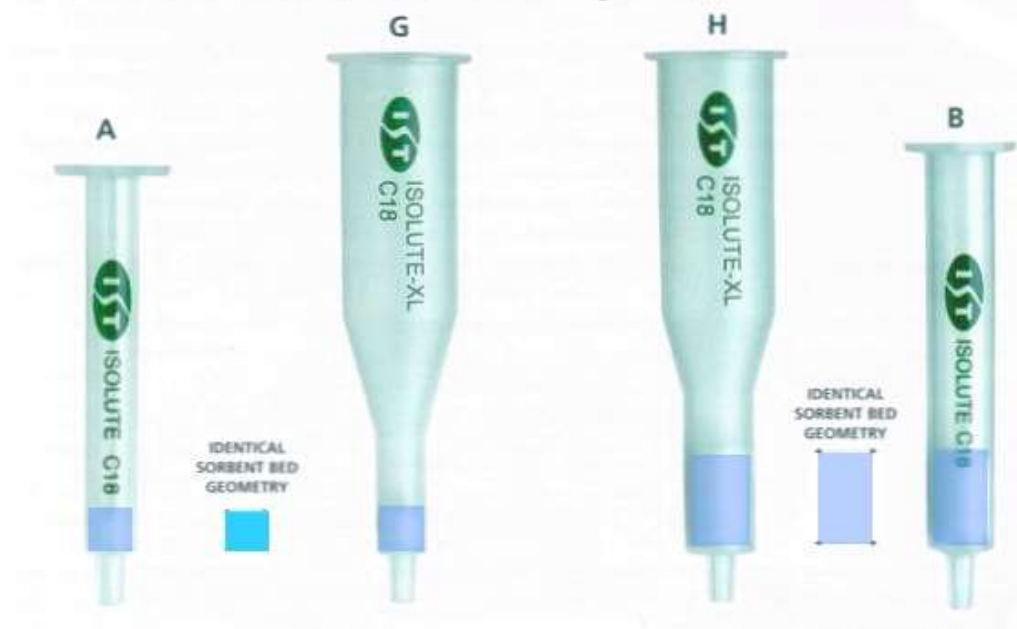
1. typ pevné fáze, velikost částic (adsorpce, rozpouštění, iontová výměna, imprint...)
2. materiál kolonky [PP, sklo]
3. objem kolonky [0,4 - 15 ml]
4. kapacita [1 - 500 (2800) mg]
5. minimální eluční objem [10 μ l - 50 ml]
6. maximální průtoková rychlost vzorku a MF



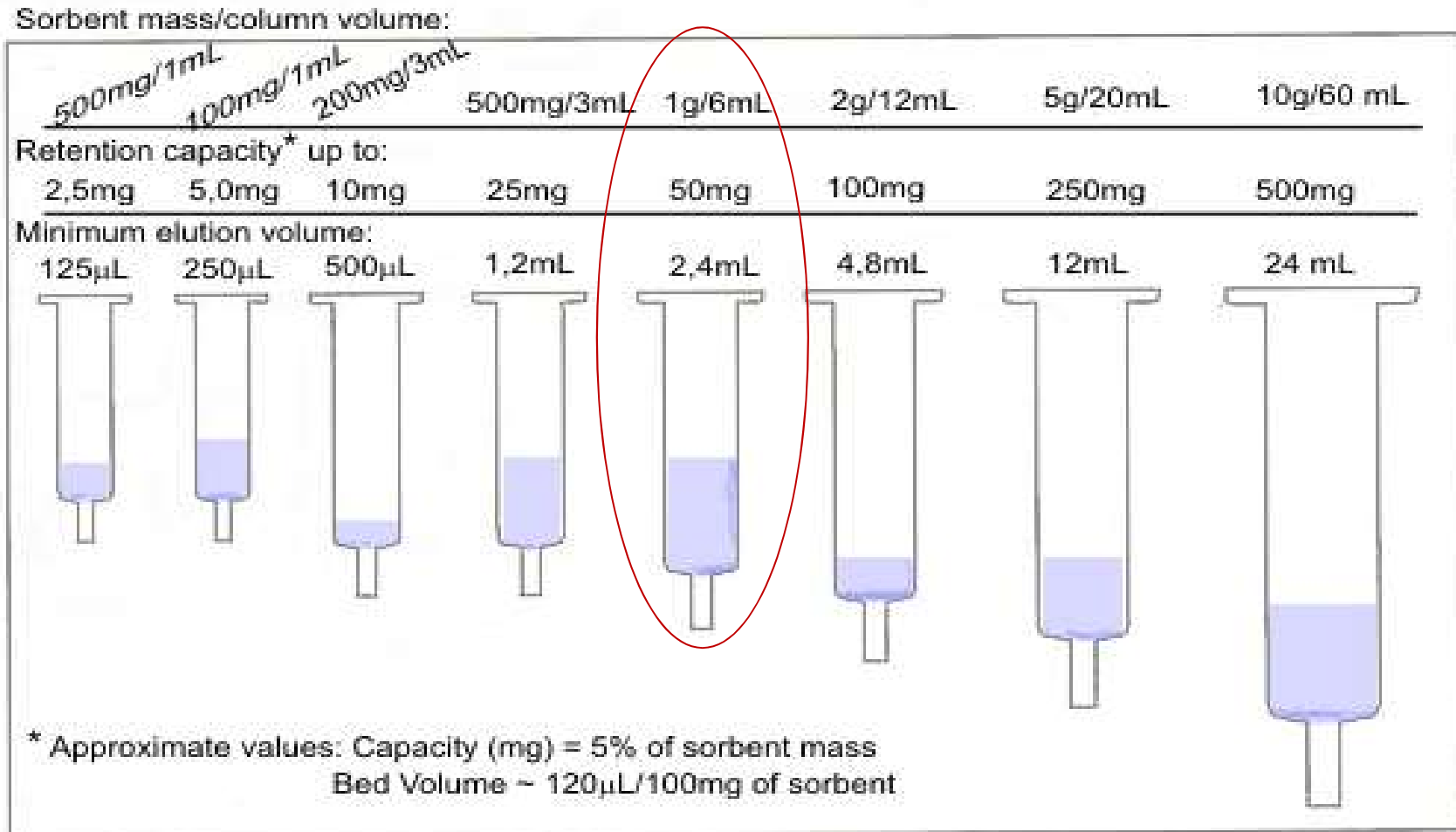
Možnosti SPE uspořádání



ISOLUTE-XL versus the standard ISOLUTE configuration



Retenční kapacita a eluční objem SPE kolonek



Minimální eluční objem = 2x objem sorbentu
Kapacita = 20x méně než obsah sorbentu

EXTRAKČNÍ DISKY

- moderní forma SPE
- kompozitní tenké membrány z PVC nebo PTFE a příslušného modifikovaného sorbentu (až 90 hm. %)
- velká hustota disku, nutná aplikace vakua pro průtok kapaliny
- membrány umístěny v SPE kolonkách nebo speciálních držácích, bývá předřazen sedmivrstevný filtr

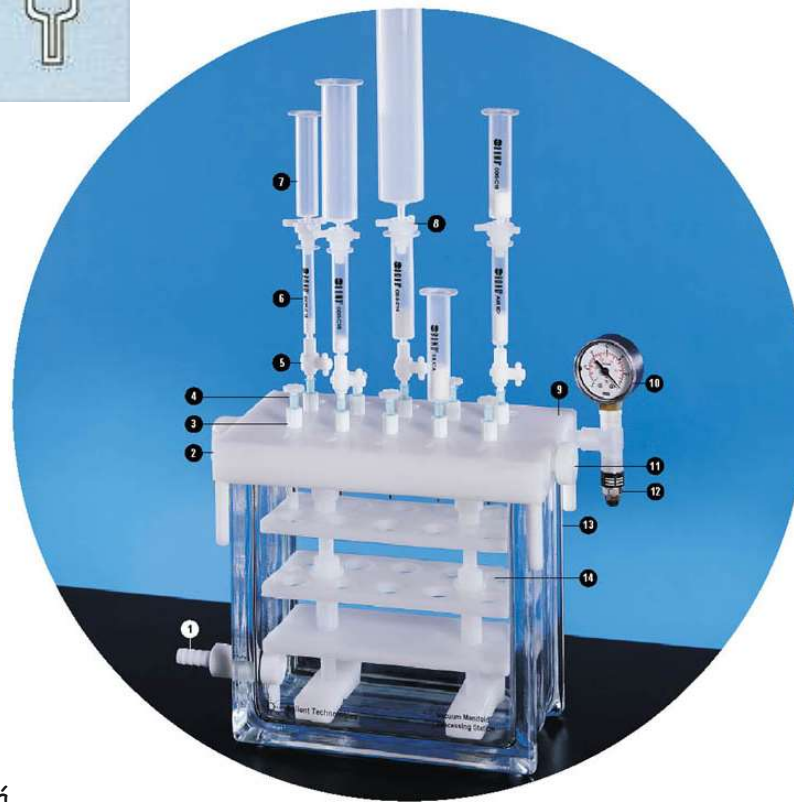
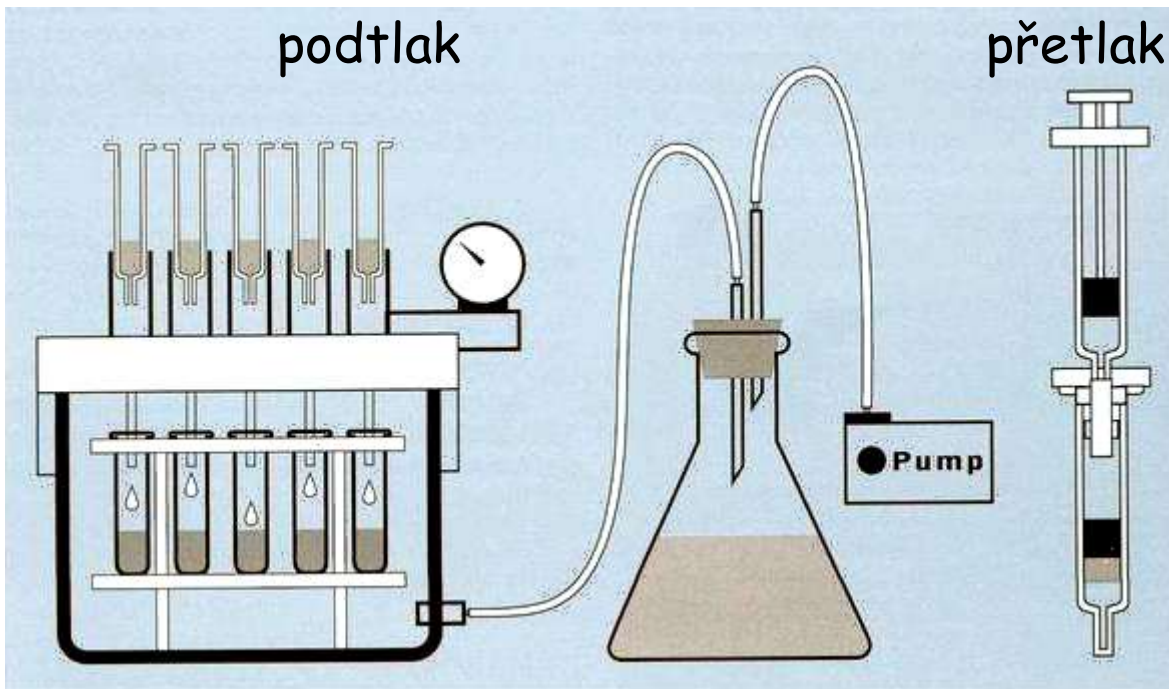
Výhody disků

1. není omezena průtoková rychlost vzorku a rozpouštědla
2. nakoncentrování vzorku ve velmi úzké zóně membrány
3. k eluci analytu stačí řádově μl rozpouštědla, odpadá odpařování nadbytečného rozpouštědla před následnou analýzou vzorku

Možnost použití několika (až desítek) SPE kolonek či disků současně zkracuje dobu potřebnou k přípravě vzorků.

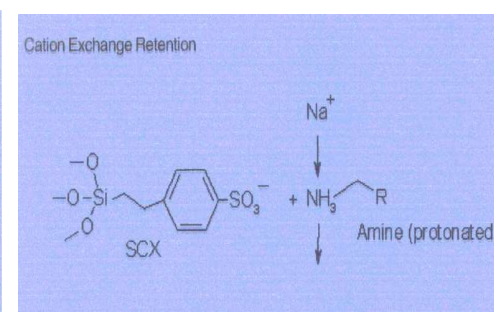
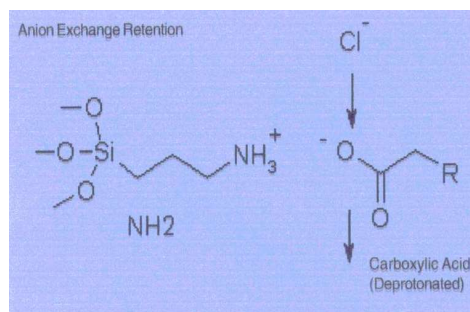
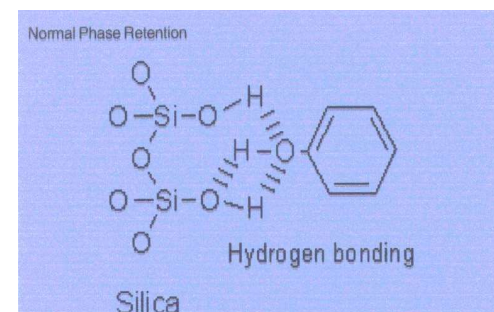
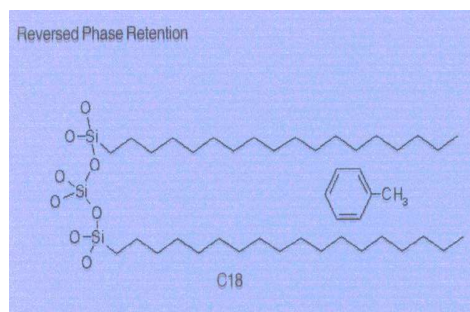
podtlak

přetlak



Interakční mechanismus SPE

- adsorpce
- rozpouštění
- iontoměniče
- afinitní fáze
- vtištěné fáze



Specifita pevné fáze k izolované složce je dána nejen použitým sorbentem, ale i **matricí vzorku** a **podmínkami extrakce**:

- složení matrice vzorku (matrice ve velkém nadbytku)
- použitá organická rozpouštědla
- pH a iontová síla vodné fáze

Typy sorbentů / princip (pre)separace

sorbenty pro GC a LC s větší velikostí částic

ADSORBENTY

aktivní uhlí, grafitizované uhlí, porézní grafit
silikagel, alumina

styren-divinylbenzenový kopolymer
polymerní 2,6-difenyl-*p*-fenylenoxid

ROZPOUŠTĚNÍ

nepolární polydimethylsiloxan

polární polyakryl, velmi polární polyethylenglykol a jejich kombinace
modifikovaný silikagel (C18, C8, C4, C2, fenyl, kyano, diol, aminopropyl)
modifikovaný polymer PS/DVB (C18, C8...)

IONTOVÁ VÝMĚNA

modifikovaný silikagel nebo PS/DVB polymer (SCX, WCX, SAX)

MOLEKULOVÉ ROZPOZNÁVÁNÍ: vysoce selektivní vtištěné fáze

Sorbenty pro kapaln  vzorky

Princip	Sorbent	Vzorek (kapaln�)	Eluční rozpouštědlo
Nepolární extrakce	C18, C8, C4, C2, fenyl	PAH, PCB, pesticidy, antibiotika, aflatoxiny, kofein, nikotin, vitamíny	hexan, dichlormethan, acetonitril, alkoholy
Nepolární extrakce na polymeru	PS/DVB kopolymer	fenoly a pesticidy z vody PAH z olejů	ethylacetát methanol, acetonitril
Polární extrakce	silikagel, NH ₂ , CN, OH	antibiotika, pesticidy, steroidy, vitamíny, aflatoxiny	di- a trichlormethan, ethylacetát, voda, alkoholy
Kationtová výměna	kyselý katex	aminokyseliny, chlorofyl, PCB	roztoky solí, pufrů, kyselin
Aniontová výměna	bazický anex	organické kyseliny, kofein, sacharin	roztoky solí, pufrů, zásad
Extrakce ve směsném modu	CN/SiOH NH ₂ /C18 SCX/SiOH	PAH z půdy a vody PCB z odpadních olejů tělní tekutiny	chloroform, aceton, ethylacetát, methanol

Sorbenty pro těkavé organické látky

5.10.2004 ©Jana Sobotníková



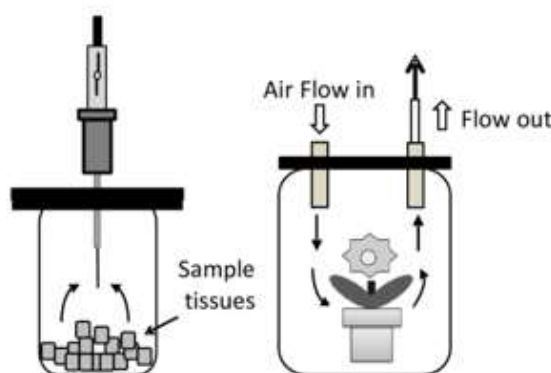
sorpční trubičky

- odběr plynného vzorku pasivně (difuze) nebo aktivně (prosávání čerpadlem)
- desorpce rozpouštědlem (sirouhlík, dichlormethan, aceton, methanol)
- tepelná desorpce

Statický headspace - SPME

Dynamický headspace

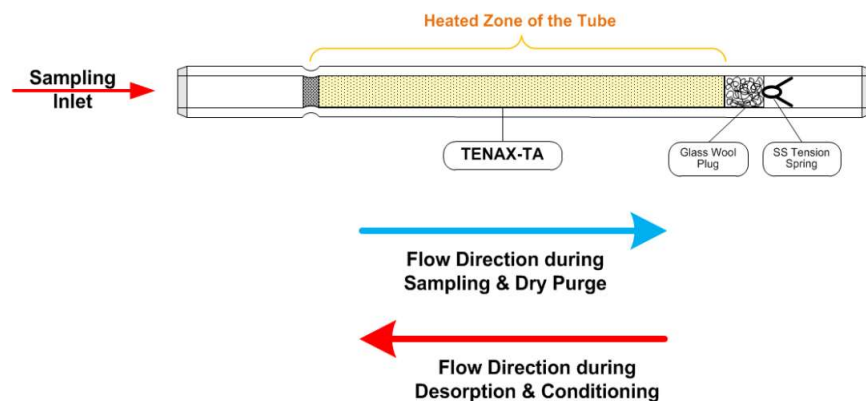
PURGE and TRAP analýza



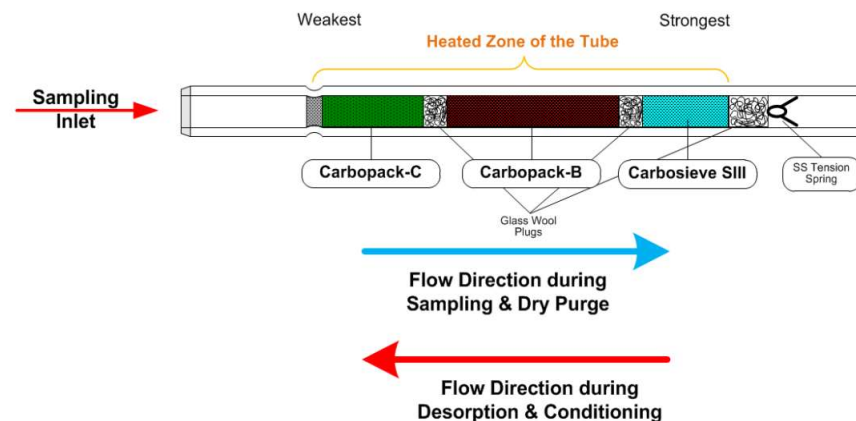
Single-Bed Thermal Desorption Tube

Multi-Bed Thermal Desorption Tube

Single-Bed Tube (Tenax® TA)



3-Bed Tube (Carbotrap® 300)



5.10.2004 ©Jana Sobotníková

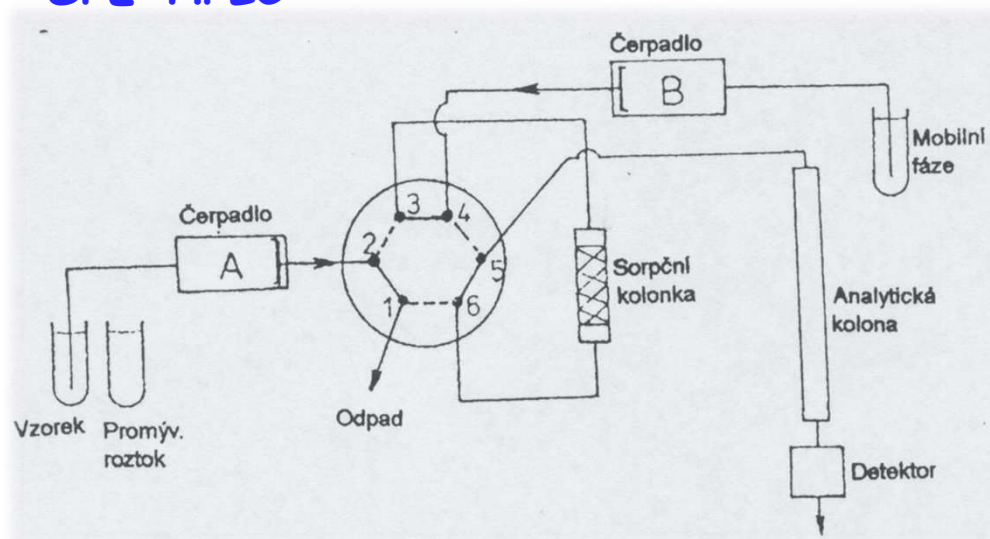
On-line SPE

- proces SPE lze přímo spojit vícecestným ventilem s analytickou metodou - nejčastěji HPLC nebo GC

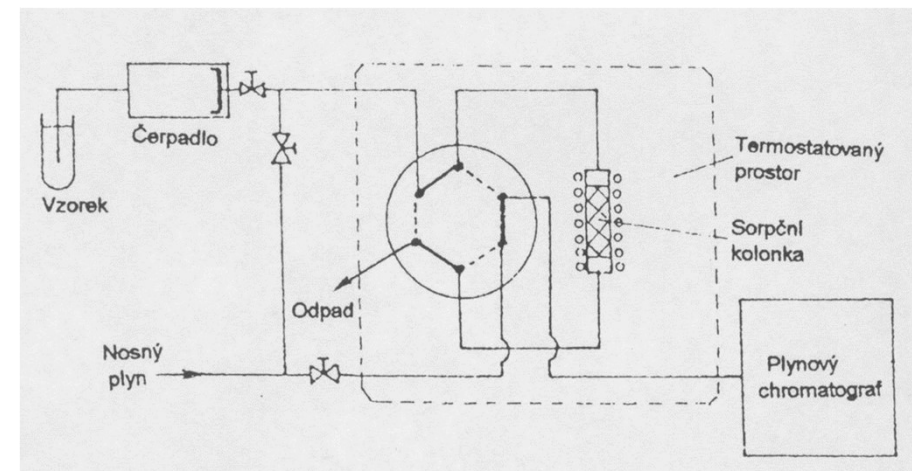
Výhody

1. neprovádí se předřazená SPE
2. přímé dávkování vzorků, např. tělních tekutin
3. bezpečná manipulace s infekčními materiály
4. plně automatizovaný provoz
5. zvýšená opakovatelnost a přesnost analýz
6. zvýšená produktivita a nižší náklady připadající na jeden vzorek

SPE-HPLC



SPE-GC

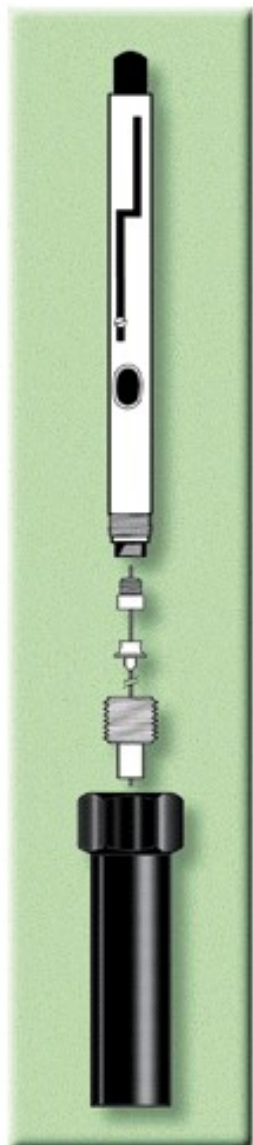


MIKROEXTRAKCE PEVNOU FÁZÍ (SOLID PHASE MICROEXTRACTION, SPME)

- vyvinuta speciálně pro spojení s GC a HPLC
- princip je shodný s klasickou SPE, liší se technikou provedení
- extrakce a zakoncentrování analytu na vlákně pokrytém sorbentem
- záchyt těkavých i netěkavých sloučenin z plyných, kapalných a nad pevnými vzorky

Sorbent

- nanesen na krátkém úseku povrchu křemenné kapiláry ve formě tenkého filmu
- chráněn ocelovou jehlou, do které může kapilára se sorbentem zajíždět
- absorbent (polymer, kapalina) nebo adsorbent (pevná látka)
- komerčně dostupná vlákna: polydimethylsiloxan (PDMS), polyakrylát (PA), Carboxen/PDMS, Carbowax/divinylbenzen (DVB), PDMS-DVB, DVB/Carboxen/PDMS
- **tloušťka vrstvy sorbentu** podle množství analytu
- **typ sorbentu** podle typu analytu a analyzovaného vzorku



Provedení SPME

Odběr vzorku (sorpce): zasunutí sorpční kapiláry do plynného nebo kapalného vzorku nebo držení nad vzorkem (headspace) do **ustálení sorpční rovnováhy** (typicky 2 - 15 min).

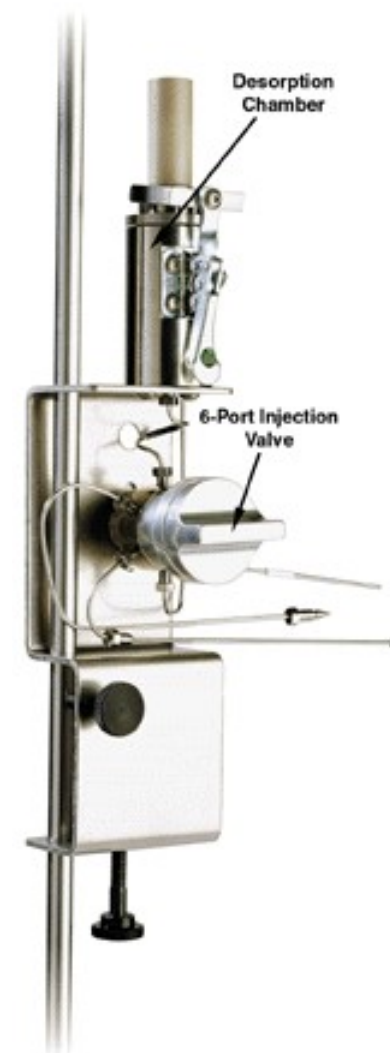
Desorpce-dávkování v GC: po propíchnutí septa dávkovače tepelná desorpce analytu do proudu nosného plynu

- snadná automatizace pomocí automatického dávkovače plynového chromatografu

Desorpce-dávkování v HPLC: v upraveném dávkovacím ventilu dochází k desorpci látek mobilní fází

Výhody SPME

1. nízké detekční limity (v GC řádově ppT)
2. široké aplikační možnosti (sorbenty o různé polaritě a tloušťce vrstvy)



PESTICIDY Z VODY

metoda: SPE

matrice: voda

Příprava vzorku: pomocí zřed'. NH_3 upravíme pH 1000 ml vody na hodnotu 7-8, přidáme 100 μl vnitřního standardu

Kolonka: CHROMABOND C18 Hydra

Kondicionání: 2 x 5 ml methanolu, poté 2 x 5 ml destilované vody

Dávkování vzorku: vzorek necháme projít kolonou, vysušení kolonky dusíkem (2 bar) po dobu 2 hodin

Eluce: 10 ml methanolu

Eluát odpaříme do sucha v rotační odparce při 30 °C a uložíme do ledničky na dobu 15 minut. Odparek rozpustíme v 200 μl *n*-hexanu a přeneseme do konické vialky. Následuje GC (kolona OPTIMA delta-3) nebo HPLC analýza (Nucleosil 120-3 C18).

Výtěžek: 95-100 %

DOPINGOVÁ KONTROLA KOŇSKÉ MOČI

metoda: SPE

matrice: moč

Příprava vzorku: 1 ml moči smícháme s 1 ml 7 mM H_3PO_4 a pH upravíme na hodnotu 2 konc. H_3PO_4

Kolonka: CHROMABOND® SA (= SCX)

Kondicionování: 1 kolonkový objem methanolu, vody a 7 mM H_3PO_4

Dávkování vzorku: vzorek necháme projít kolonou, vysušení kolonky vakuem

Promývání: 1 ml 7 mM H_3PO_4 , 0,5 ml 0,1 M kyseliny octové, 1 ml methanolu; vysušení vakuem po dobu 30 sec.

Eluce: 2 x 1 ml methanolu s přídavkem amoniaku (1 %)

PROTINÁDOROVÉ LÉČIVO TEMOZOLOMID Z PLASMY A MOČI

metoda: SPE

matrice: plasma, moč

Příprava vzorku: biologický vzorek stabilizujeme přidavkem 1 M HCl, zamrazíme a skladujeme při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. 253 μl okyseleného vzorku smícháme se 115 μl roztoku interního standardu.

Kolonka: CHROMABOND® C18ec

Kondicionání: 2 x 1 ml methanolu, pak 2 x 1 ml 0,5% kyseliny octové

Dávkování vzorku: 160 μl předupraveného vzorku, aplikace slabého vakua

Promývání: po 1 minutě stání promýváme 750 μl 0,5% kyseliny octové a vysušíme vakuem po dobu 5 minut

Eluce: 1,25 ml methanolu

Eluát odpaříme proudem dusíku při laboratorní teplotě. Odparek rozpustíme ve 200 μl 0,5% kyseliny octové, zcentrifugujeme a dávkujeme na HPLC kolonu

AROMATICKÉ AMINY Z VODY

(ANILÍNY, CHLORANILÍNY, NITROANILÍNY, AMINONITROTOLUENY)



metoda: SPE

matrice: voda

Příprava vzorku: pH vzorku upravíme roztokem 10 M NaOH na hodnotu 9

Kolonka: CHROMABOND® HR-P (PS-DVB adsorbent)

Kondicionování: 2 ml methanolu, acetonitrilu a 10^{-5} M roztoku NaOH

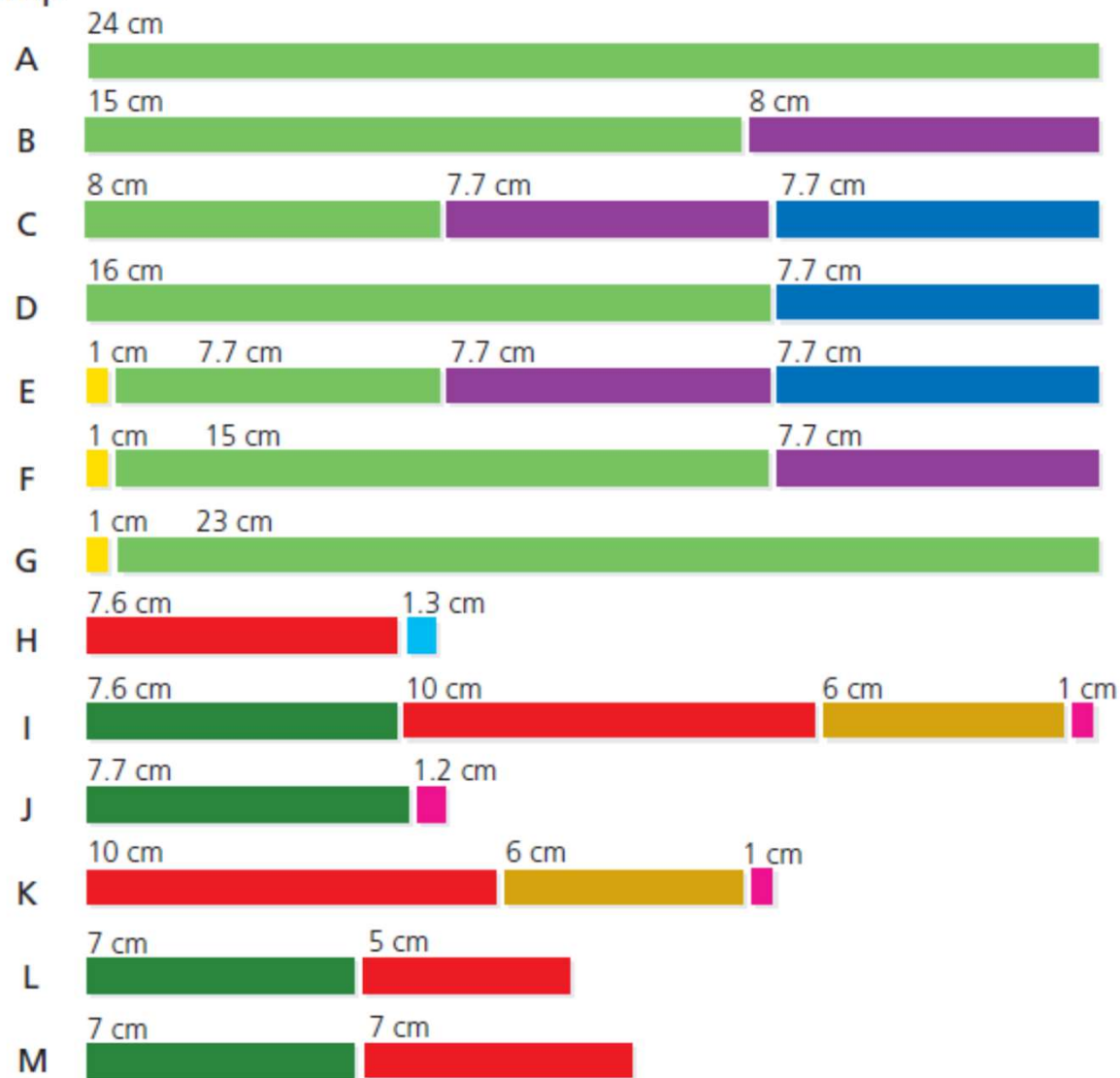
Dávkování vzorku: nasávání vzorku do kolony rychlostí 10 ml/min

Promývání: 2 ml destilované vody, poté vysušení vakuem po dobu 5 minut

Eluce: 2 x 1 ml směsi methanol/acetonitril v poměru 1/1 obj.

PURGE AND TRAP ANALÝZA TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK

Trap



Adsorbent Key



VSTUP

→SORPCE

←DESORPCE

VÝSTUP

Extrakce SLE

EXTRAKCE SLE

- analyt z pevného vzorku selektivně extrahujeme do vhodného rozpouštědla, příp. kombinujeme s chemickou reakcí (roztoky kyselin)
- pevné vzorky - např. vzorky půd, rostlinných materiálů, potravin

Extrakti SLE lze provést

- **vsádkově** (macerace, digesce)
- **v dynamickém režimu** (perkolace, Soxhletův extraktor)

EXTRAKCE PEVNÁ LÁTKA-KAPALINA

EXTRAKCE ULTRAZVUKEM (v prostředí rozpouštědla)

MIKROVLNNÁ EXTRAKCE (MAE)

URYCHLENÁ EXTRAKCE SOLVENTEM (ASE) (PFE, PSE, PLE)

EXTRAKCE TEKUTINOU V NADKRITICKÉM STAVU (SFE)

EXTRAKCE PEVNÁ LÁTKA-KAPALINA

- pro extrakci 1 nebo více složek z přírodního nebo technického materiálu
- extrakce v přístroji s kontinuálním chodem (**Soxletův extraktor**), maximalizace výtěžku
- rozpouštědlo selektivně rozpouští extrahovaný analyt
- výhodné je použít rozpouštědlo s nízkou teplotou varu, analyt lze následně destilací izolovat/zakoncentrovat



Multifunkční extrakční systém

- kombinace extrakce (macerace, digesce, perkolace) a destilace, příp. filtrace
- extrakce až do tlaku 10 bar nebo ve vakuu
- recyklace rozpouštědla (uzavřený okruh)
- vysoký výtěžek, krátké extrakční časy, vysoká čistota extraktu, jednoduchá manipulace, vizualizace celého extrakčního procesu (detailní počítačový záznam parametrů procesu)



MIKROVLNNÁ EXTRAKCE

- první použití koncem 80. let 20. století
- záření s frekvencí 300 MHz-300 GHz, tj. vlnové délky 1m - 1 mm, nejčastěji **12,24 cm - 2450 MHz**

MIKROVLNNÁ EXTRAKCE

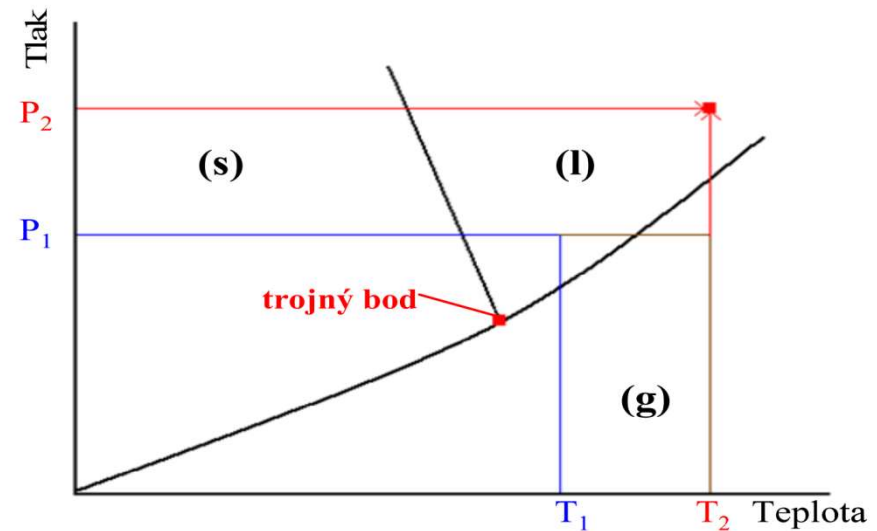
- v prostředí rozpouštědla => urychlení extrakce, ohřev rozpouštědla
- bez rozpouštědla => rostlinný materiál pro headspace analýzu
- v otevřených nádobách (aMAE)
- v uzavřených celách (pMAE)

Výhody

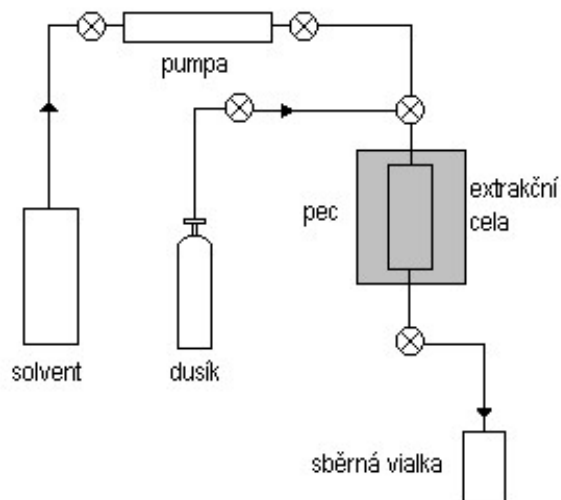
- rychlost - dramatické snížení doby analýzy (hodiny → minuty)
- ekonomický faktor - menší spotřeba rozpouštědla
- vyšší účinnost extrakce => vyšší výtěžnost (vztahuje se k Soxhletu)
- možnost automatizace

URYCHLENÁ EXTRAKCE SOLVENTEM (ASE)

- komerční využití od roku 1995
- užití běžných solventů za teplot vyšších než T_{varu} a při vysokém tlaku
- extrakce zahřátou kapalinou - rychlá kinetika extrakce, **zvýšení difúze a rozpustnosti, zvýšení účinnosti extrakce**
- fázový diagram: zahřátí rozpouštědla z teploty T_1 na T_2 vede k přechodu rozpouštědla do plynné fáze, proto musíme zvýšit tlak k opětovnému zkapalnění rozpouštědla



URYCHLENÁ EXTRAKCE SOLVENTEM (ASE)



Nerezová extrakční cela

plní se pevným vzorkem smíchaným s inertním materiálem (skleněné kuličky, zajišťují propustnost)

teploty při ASE: 40°C - 200°C

tlaky při ASE: 10 - 15 MPa

doba ASE: 5 - 15 minut

počet cyklů: 1-5 (staticky), 10-20 (dynamicky)

- malé částice extrahovaného materiálu zajišťují větší styčnou plochu mezi extrahovaným materiálem a solventem
- úprava matrice vzorku kyselinou nebo zásadou, po hydrolýze lze analyty snáze extrahovat

EXTRAKCE STLAČENOU KAPALNOU HORKOU VODOU (PHWE)

- horká stlačená voda je „nejzelenější“ rozpouštědlo (teplota mezi 100 - 374 °C, tlak do 21,7 MPa)

Extrakce SFE

SUPERKRITICKÁ FLUIDNÍ EXTRAKCE (SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION, SFE)

Nadkritická tekutina (supercritical fluid, SF) je zvláštní skupenský stav, který spojuje vlastnosti kapalin a plynů. Vznikne zahřátím plynu nebo kapaliny na teplotu vyšší než je jeho/její kritická teplota T_k při současném stlačení na hodnotu vyšší než je jeho/její kritický tlak p_k .

Nadkritické tekutiny se používají při **extrakci (SFE)** i jako mobilní fáze v **chromatografii (SUPERCRITICAL FLUID CHROMATOGRAPHY, SFC)**

Použití SFE: extrakce z půdy, rostlinného a živočišného materiálu

Použití SFC: tam, kde selhává GC - analýza málo těkavých nebo tepelně labilních látek. Tyto látky lze analyzovat metodou HPLC, avšak s nižší účinností a při delší době analýzy než v SFC.

Cagniard de la Tour (1822) - první pozorování koexistence kapaliny a plynu (její páry) v uzavřené nádobě

Hannay a Hogarth (1879) - experimenty se zahřátým ethanolem (rozpuštění x srážení halogenidů kovů v závislosti na tlaku)

Francis (1954) - chování CO_2 za vysokých teplot a tlaků

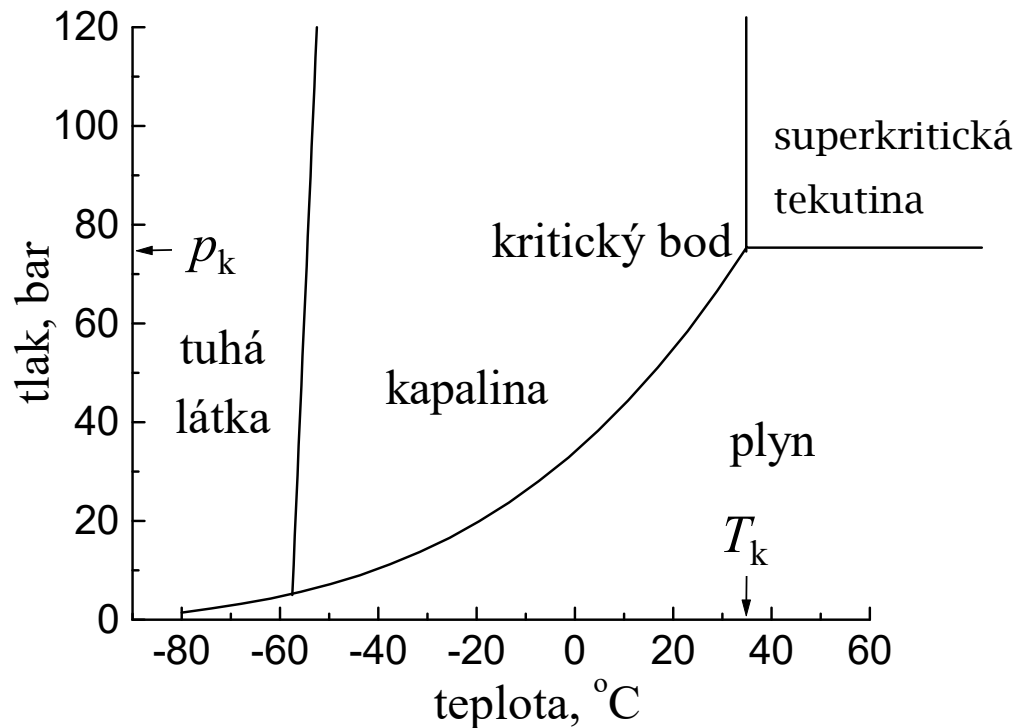
Využití superkritických kapalin v chemické syntéze (1980)

Nadkritické tekutiny

- mají některé vlastnosti jako plyny, jiné jako kapaliny
- jsou **stlačitelné**, lze měnit jejich hustotu. **Hustota nadkritických tekutin se blíží kapalinám**; rozpouštěcí vlastnosti závisejí do značné míry na hustotě \Rightarrow **změnou hustoty lze měnit rozpouštěcí vlastnosti**
- **viskozita** je o 1 řád nižší než u kapalin; dochází k **rychlému převodu hmoty** v důsledku příznivých charakteristik toku
- **vysoká difuzivita a absence povrchového napětí**: **snadné pronikání nadkritických tekutin do pórů pevné fáze**, účinná extrakce v SFE, rychlé analýzy v SFC

	Hustota (g cm^{-3})	Viskozita (Pa s)	Difuzivita ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)
Plyn	ca 10^{-3}	$(0,5 - 3,5) \cdot 10^{-5}$	0,01 - 1,0
Nadkritická tekutina	0,2 - 0,9	$(0,2 - 1,0) \cdot 10^{-4}$	$(3,3 - 0,1) \cdot 10^{-4}$
Kapalina	0,8 - 1,0	$(0,3 - 2,4) \cdot 10^{-3}$	$(0,5 - 2,0) \cdot 10^{-5}$

Fázový diagram oxidu uhličitého



CO₂

kritická teplota, $T_k = 31,3 \text{ °C}$

kritický tlak, $p_k = 7,2 \text{ MPa}$

(35 °C x 75 bar)

(1 bar = $1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,987 \text{ atm}$)

- fázový přechod $g \Leftrightarrow l$ nelze do nekonečna
- při určité T a $p \Rightarrow$ superkritická tekutina

změna hustoty CO₂

40 °C : 72 bar \rightarrow 0,22 g cm⁻³ , 400 bar \rightarrow 0,96 g cm⁻³

80 °C : 72 bar \rightarrow 0,14 g cm⁻³ , 400 bar \rightarrow 0,82 g cm⁻³

Kritické vlastnosti vybraných rozpouštědel

ROZPOUŠTĚDLO	T_k (°C)	p_k (10^5 Pa)
CO ₂	31,1	73,8
propan	96,7	42,5
cyklohexan	280,3	40,7
propan-2-ol	235,2	47,6
methanol	239,6	80,9
ethanol	243,2	61,4
toluen	318,6	41,1
voda	374,2	221,2

Superkritické tekutiny (SkT) mohou difundovat skrz pevné látky jako plyny a rozpouští materiály jako kapaliny.

- nemají rozhraní kapalina-plyn a povrchové napětí
- všechny SkT jsou vzájemně zcela mísitelné
- směs superkritických rozpouštědel je jediná fáze při překročení kritického bodu směsi (aritmetický průměr kritických teplot a tlaků jednotlivých složek)
- blízko kritickému bodu malé změny p nebo T způsobují velké změny hustoty-rozpouštěcí síly SkT
- řízení selektivity extrakce změnou rozpouštěcí síly (hustoty SkT) a přidávkem ko-solventu

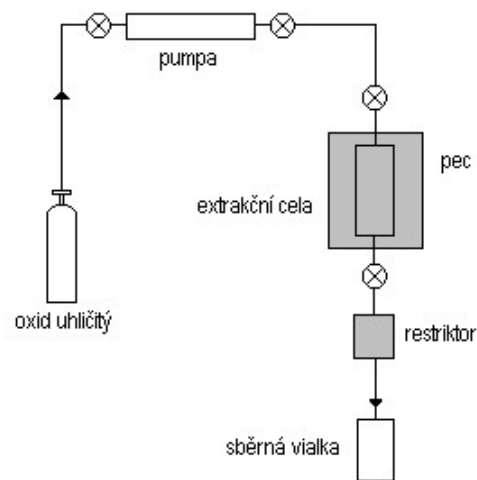
Výhody CO₂

- T_k a p_k relativně nízké a instrumentálně dosažitelné
- netoxický (zdravotně nezávadný)
- nehořlavý
- snadno se čistí
- při SFC kompatibilní s plamenově ionizačním detektorem (nehořlavý)
- kompatibilní se spektrofotometrickým detektorem (transparentní v UV oblasti) a IČ detektorem
- nízká cena

Nevýhody CO₂

- je nepolární (podobný hexanu), dobře rozpouští nepolární látky
- **pro polární látky** je nutné zvýšení polarity pomocí modifikátorů (nejčastěji methanol, ethanol, acetonitril, voda, tetrahydrofuran v koncentracích 1-20 %)

Přístroj pro SFE



Instrumentace

pumpa

tlaková cela

zahřívací zóna

extrakční nádoba (nerez)

restriktor

Aplikace SFE

extrakce pevných a kapalných (vodných) vzorků

PAH (půda, prach), PCB (říční sedimenty)

potravinářství, vonné silice

Aplikační možnosti superkritických tekutin

hlavně CO_2 (40-70 MPa, 60-150 °C)

Potravinářství

- extrakce kofeinu z kávových zrn
- extrakce tuků z mléka, masa, čokolády, bramborových lupínek, krmných směsí

Parfumerství: vonné silice z rostlin

Chemické syntézy

rozpouštědlo polymerů, změna extrakčního tlaku způsobí změnu hustoty extrakčního rozpouštědla => extrakce polymerů s různou velikostí (M_r)

Suché čištění textilií - SkT místo toxických těkavých rozpouštědel

Impregnace/barvení materiálů - dobrá difuze SkT do materiálů

Produkce bionafty

- z rostlinných olejů získáváme transesterifikací methylestery nenasycených mastných kyselin, použití MeOH + kyselina + katalyzátor
- superkritický MeOH bez dalších aditiv

Hydrolýza PET: superkritickou vodou za 30 min, nejsou třeba aditiva

Superkritická voda

- kritická teplota 374,2 °C, kritický tlak 22,12 MPa
- silně korozivní, způsobuje korozi všech druhů oceli
- silné oxidační účinky
 - urychlení oxidačních procesů organických látek, likvidace odpadů (PAH, PCB) a jedovatých látek
- výroba nanočástic
- rozpouštědlo
- katalyzátor

Superkritické tekutiny v přírodě

Podmořské sopky („černí kuřáci“, „black smokers“)
ve velkých hloubkách (řádově 3 km, $p = 30$ MPa) se uvolňuje horká
vodní pára a tvoří se **superkritická voda**

Atmosféra Venuše

96 % CO_2 , $T = 461,9$ °C, $p = 9$ MPa \Rightarrow CO_2 v superkritickém stavu