



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



# Kontaminace Barokního divadla na Zámku v Českém Krumlově organochlorovými a organocíničnými pesticidy a její řešení

Holoubek I.<sup>1, 2, 3</sup>, Příbylová, P.<sup>1</sup>, Prokeš, R.<sup>1</sup>, Slavko, P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, RECETOX, Masarykova Univerzita, Kamenice 753/5, 625 00 Brno*

<sup>2</sup> *Centrum pro výzkum globální změny, CzechGlobe, AV ČR, Bělidla 4a, 602 00 Brno*

<sup>3</sup> *TOCOEN, s.r.o., Vomáčkova 16, 619 00 Brno*

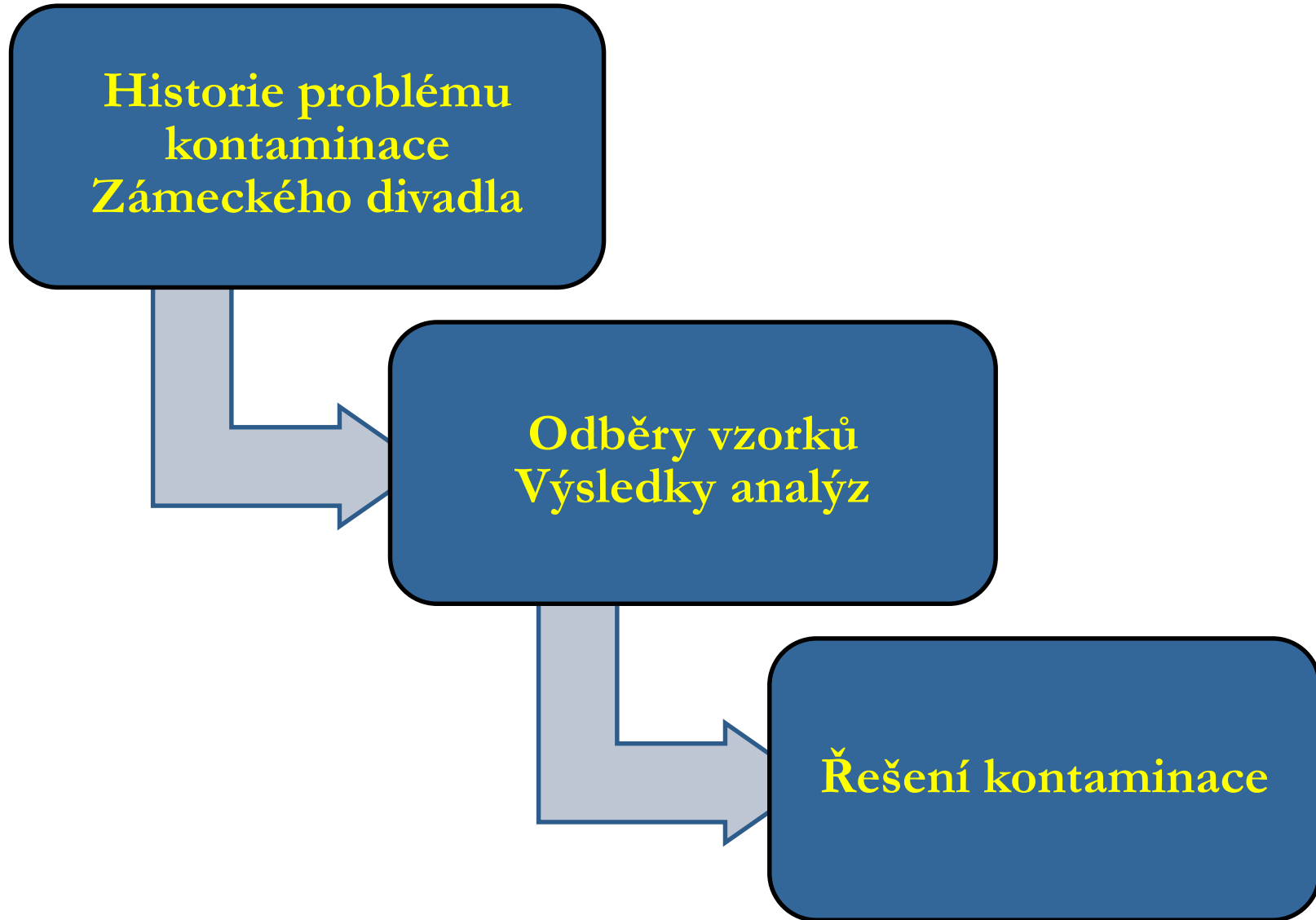
<sup>4</sup> *Státní hrad a zámek Český Krumlov. Zámek čp. 59, 381 01 Český Krumlov*

[holoubek@recetox.muni.cz](mailto:holoubek@recetox.muni.cz); <http://recetox.muni.cz>; [holoubek.i@czechglobe.cz](mailto:holoubek.i@czechglobe.cz)

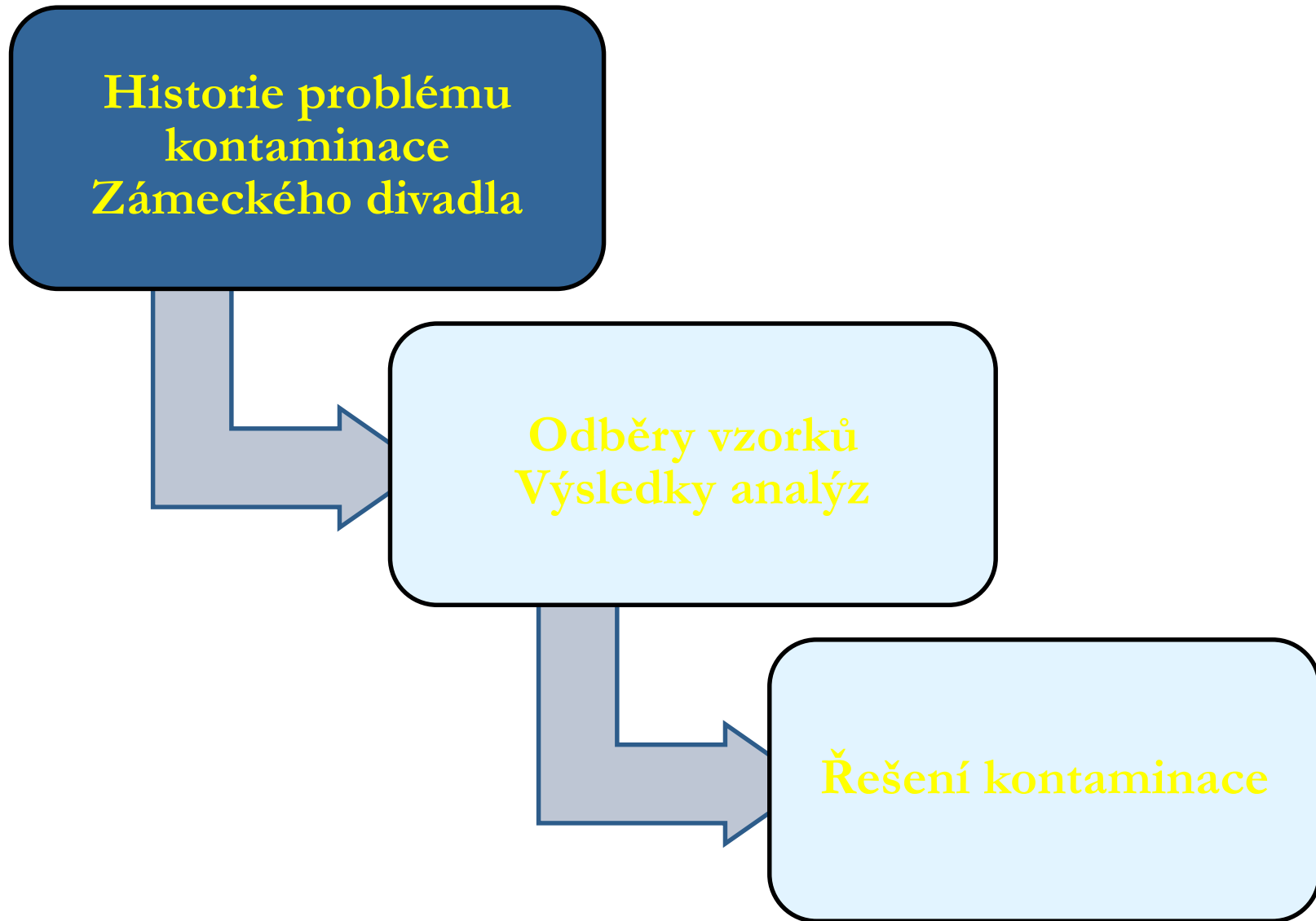
Sanační technologie 2018

Hotel Palcát, Tábor, 23 – 25/05/2018

# Obsah



# Obsah



# Zámek Český Krumlov



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



# Plánovaná opatření



**Historic Centre of Czech Krumlov is an excellent example of a small central European medieval town whose architectural heritage has remained intact for more than five centuries.**



for toxic compounds  
in the environment

**CzechGlobe**  
Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



# Plánovaná opatření



**Czech Republic - Český Krumlov, historic center, UNESCO heritage, historic site with exceptional value.**



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Plánovaná opatření



**UNESCO Heritage Site with an extraordinary cultural history, with an exceptional tangible and intangible cultural heritage is a good place for exploring, study and science.**

**Czech Republic, Czech Krumlov, UNESCO Heritage, Study Center for historic, heritage, cultural, artistic and the environment context.**



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



# Zámek Český Krumlov



**1250**

- Založení zámku pány z Krumlova

**1302 - 1602**

- V majetku rodu Rožmberků

**Od 17. století**

- V majetku rodu Eggenberk

**Od 1719**

- V majetku rodu Schwarzenberk

**Od roku 1947**

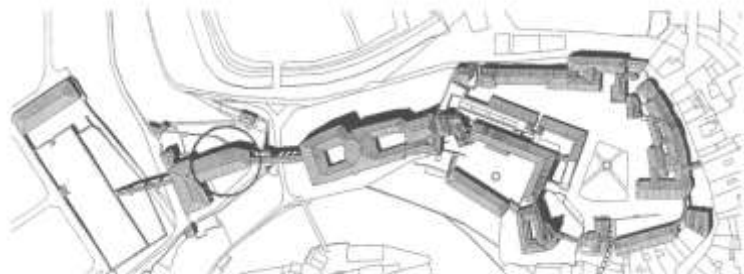
- V majetku státu

**Od roku XXXX**

- Celý zámecký areál památkou zapsanou v seznamu UNESCO



# Barokní zámecké divadlo



**Zděná budova barokního divadla stojí na V. nádvoří zámku Český Krumlov**

**Postavena v letech 1680 - 1682 Janem Kristiánem z Eggenberku**

**Se zámekem je spojena Plášt'ovým mostem s krytou spojovací chodbou vedoucí z Maškarního sálu do knížecí lóže divadla**

**V letech 1765 - 1766 Josefem Adamem ze Schwarzenberku upravena a vybavena novým zařízením a dekoracemi**



**Divadlo nikdy nevyhořelo a v posledních dvou stoletích nebylo přestavováno**

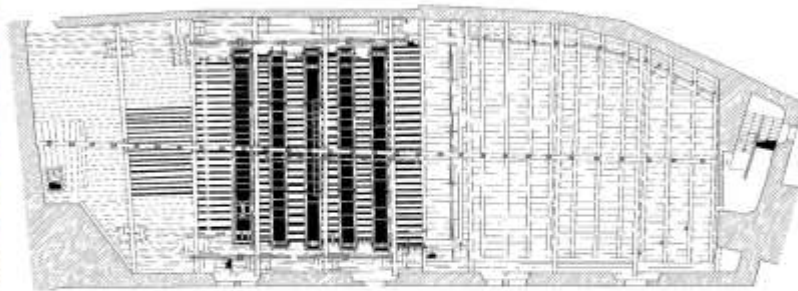
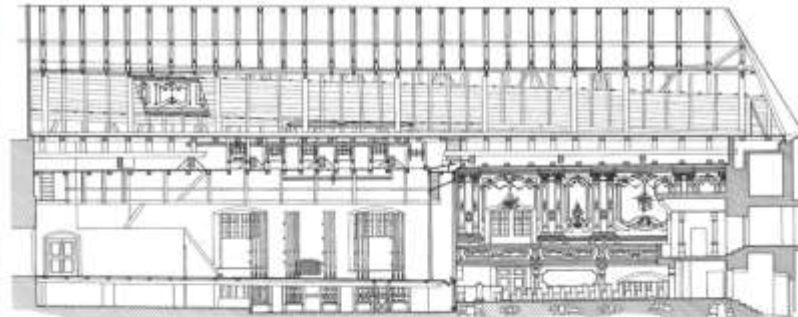


Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Technické zázemí divadla



Mašinérie, jevištní technika zámeckého divadla, je po letech soustředěného zájmu z nejpodstatnější části obnovena. Některé funkce barokní jevištní techniky v provazlání a v krovu především rumpály létacích strojů, rumpály na sufitové osvětlení, rumpál v krovu (snad rumpál na mraky nebo alegorie) a také principy vedení lanovodů sufit a prospektů ještě nejsou dostatečně poznány a pochopeny. Musíme doufat, že při dostatečné pily a vytrvalosti najdeme odpovědi a řešení v archivních zdrojích nebo v samotné jevištní technice krumlovského divadla či konstrukčních principech divadel jiných. Je nepochybné, že obnovená barokní jevištní technika snese nejpřísnější srovnání a je vzorem pro většinu pracovišť v celém divadelním světě.



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



# Vnitřní prostory barokního divadla



Divadlo se dochovalo v původním stavu i se značnou částí vnitřního vybavení

V letech 1966 - 1997 bylo uzavřeno pro veřejnost z důvodu probíhajících restaurátorských prací

V září 1997 zahájen omezený prohlídkový provoz



# Příčiny kontaminace



Převažující materiál v interiéru barokního divadla: dřevo

Následek narušení pravidelného režimu výměny vzduchu v padesátých letech: šíření dřevomorky a později i dřevokazného hmyzu

Ochrana dřevěných konstrukcí během let 1965 - 1985: masivní a často i opakované použití přípravků s fungicidním, insekticidním a konzervačním účinkem

Přehled zásahů: neúplný z důvodu nekompletní dokumentace ze šedesátých a sedmdesátých let





# Příčiny kontaminace

## Příčiny kontaminace



Nevhodná aplikace bez náležité přípravy: přípravky typu Lastanox ( $\text{Sn}_{\text{org}}$ ), Pentalidol (5% PCP, 2% DDT, 0,1%  $\gamma$ -HCH) a methylbromid



Podezření na nedodržování technologické kázně: nerovnoměrná aplikace a aplikace na prachovou vrstvu usazenou na horizontálních plochách

Účinky: počátkem devadesátých let měl delší pobyt v divadle za následek podráždění očí, sliznic a pokožky

**Dekontaminace: v průběhu devadesátých let odstraněno množství kontaminovaného prachu a sutin (cca 5 tun + ve druhé etapě 500 kg)**

# Obsah





# Provedená měření – do 2006

**Devadesátá léta**

první měření znečištění tuhých matric a vnitřního ovzduší barokního divadla na zámku Český Krumlov

**2001**

- počátek pravidelných odběrů vzorků ovzduší a tuhých matric

**Cíl odběrů**

- posoudit stav a vývoj znečištění vnitřního ovzduší divadla i s ohledem na již provedené sanační zásahy

**Odběry tuhých matric**

- posoudit stav a vývoj znečištění vnitřního ovzduší divadla i s ohledem na již provedené sanační zásahy

**Odběry ovzduší**

- slouží k posouzení možného vlivu nalezených škodlivin na zdraví osob

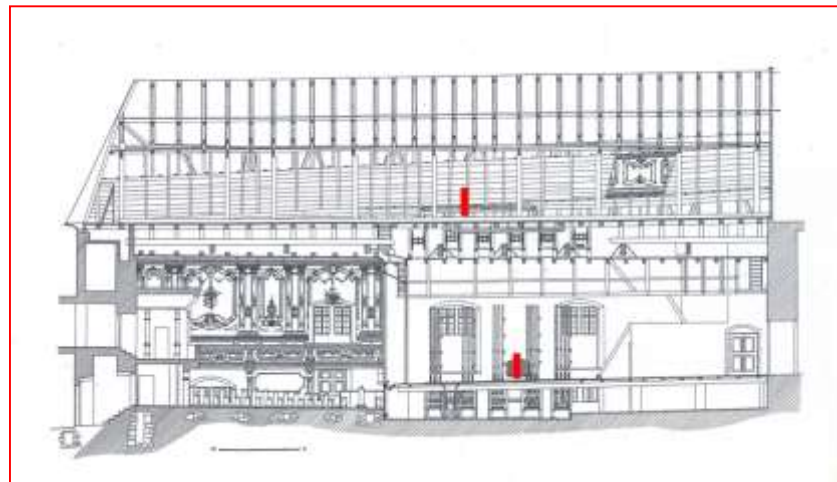
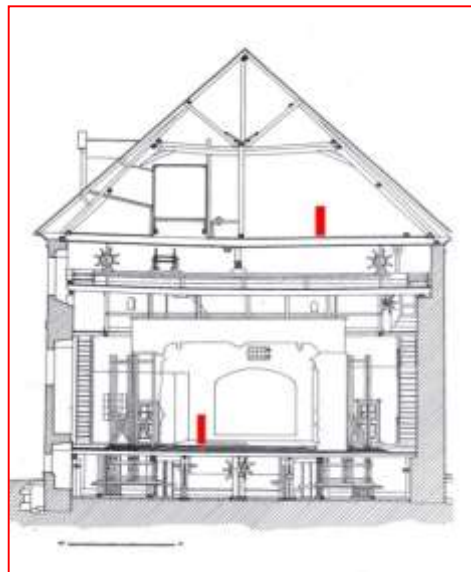


Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Odběry ovzduší



**Vzorkování ovzduší v roce 2001:** v hledišti, na jevišti, v horním provazišti a na půdě divadla

**Vzorkování v letech 2003 až 2005:** paralelně na dvou odběrových místech - jeviště a půda divadla

**Vzorkování POPs (OCPs):** dle US EPA metodiky TO-13 (délka vzorkování 12 hodin; odebrané objemy cca 200 m<sup>3</sup>)

**Vzorkování organocínčitých látek (Sn<sub>org</sub>):** dle metodiky NIOSH (délka vzorkování 8 hodin; odebrané objemy cca 0,4 m<sup>3</sup>)



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Testování pasivních vzorkovačů

↗ 2004 – 2006 - prostor pudy zámeckého divadla byl využit jako testovací komora pro testování efektivity zachytu POPs z volného ovzduší v rámci přípravy monitoringu POPs ve volném ovzduší v rámci programu MONET centra RECETOX.



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



## Cíl studie 2017



Porovnání výsledků měření chemického znečištění prováděných v prostorách barokního divadla na zámku Český Krumlov v letech 2001 až 2016 s měřeními prováděnými ve dvou kampaních v roce 2017



Cíl srovnání - posoudit aktuální stav a vývoj tohoto znečištění ve sledovaném období i s přihlédnutím k již provedeným dílčím sanačním zásahům.

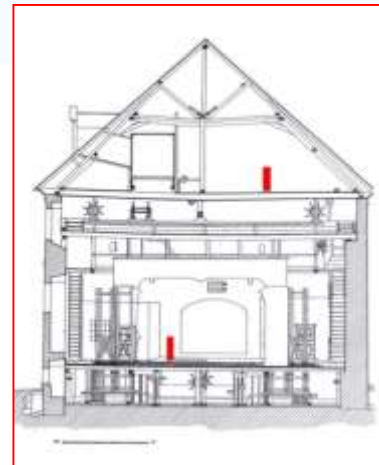
# Dvě odběrové kampaně 2017

## Červenec

- Teplejší období, intenzivnější vytěkávání
- Vyšší četnost návštěv v prostorách divadla – vyšší proudění v jeho prostorách

## Prosinec

- Chladnější období s nižším výparem
- Prostor divadla je prakticky uzavřen



# Sledované látky

Výběr sledovaných látek vycházel z informací o aplikovaných přípravcích

Sledované látky:

- ↪ Organocíničité látky ( $\text{Sn}_{\text{org}}$ )
- ↪ Vybrané organochlorové pesticidy (OCPs):
  - ❖ DDT a jeho metabolity (zejména DDE)
  - ❖ lindan ( $\gamma$ -HCH)



# Pasivní vzorkování 2017

Vzorkovač umístěný v severní části půdního prostoru divadla v blízkosti vstupu.



Vzorkovač umístěný souběžně se vzorkovačem na jižní straně oddělené části půdy.



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Odběr tuhých matic - půda 2017

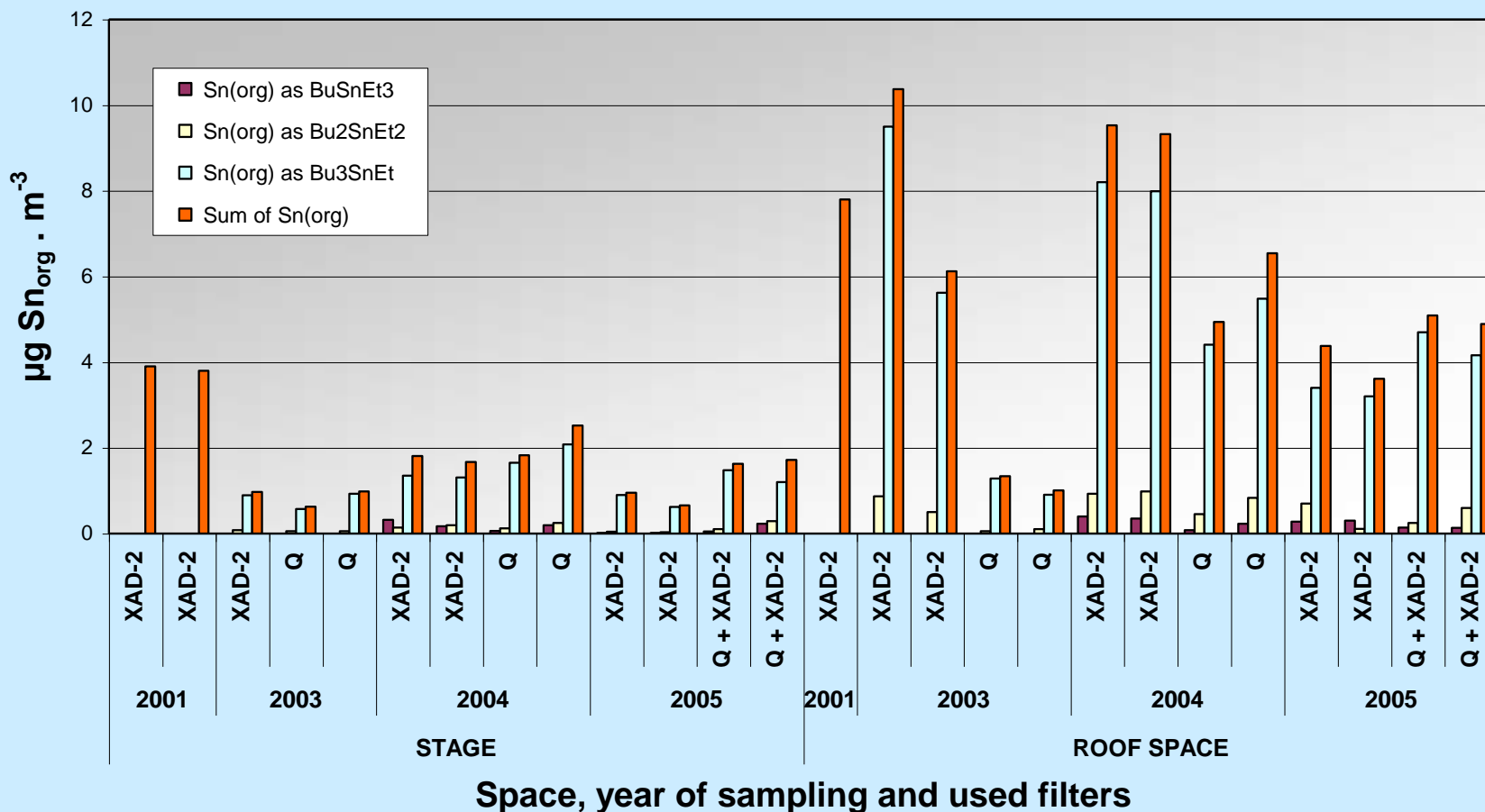
Odběr půdního prachu byl proveden z PE fólie jako směsný vzorek z celkem 10 lokalit rovnoměrně rozmístěných v severním a jižním prostoru půdy.



Odběr trémových pilin byl proveden z různých vrstev v PE pytlí nashromážděných pilin jako směsný vzorek z celkem 5 různých vrstev.



## Indoor Air Contamination of the Baroque Theatre - Organotin Compounds





# Závěry – ovzduší

- ↪ **nejvýznamnější škodliviny:** organocínicité sloučeniny ( $\text{Sn}_{\text{org}}$ ), lindan ( $\gamma\text{-HCH}$ ), **DDT** a jeho metabolity (**DDE**)
- ↪ **DDT a DDE:** koncentrace DDT i DDE na jevišti i na půdě divadla jsou poměrně stálé; koncentrace DDT na úrovni cca 25% DDE
- ↪ **DDT a DDE:** vyšší koncentrace sumy DDT na **půdě divadla** (56 až 208  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ); jeviště 6,6 až 29,4  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$
- ↪ **Lindan ( $\gamma\text{-HCH}$ ):** mírně vyšší koncentrace  $\gamma\text{-HCH}$  na jevišti divadla (5,20 až 56,05  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ); půda 4,37 až 32,00  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$
- ↪ **Organocínicité sloučeniny:** vyšší koncentrace  $\text{Sn}_{\text{org}}$  na **půdě divadla** (1,01 až 10,37  $\mu\text{g Sn}_{\text{org}}\cdot\text{m}^{-3}$ ); na jevišti 0,63 až 3,90  $\mu\text{g Sn}_{\text{org}}\cdot\text{m}^{-3}$
- ↪ **Organocínicité sloučeniny:** převážně ve formě vázané na prachové částice uvolňované z bělavé sprašující vrstvy na povrchu krokví
- ↪ **Limity:** existující přípustné expoziční limity (PEL) pro pracovní prostředí **překročeny nejsou**

# Odběry tuhých matic



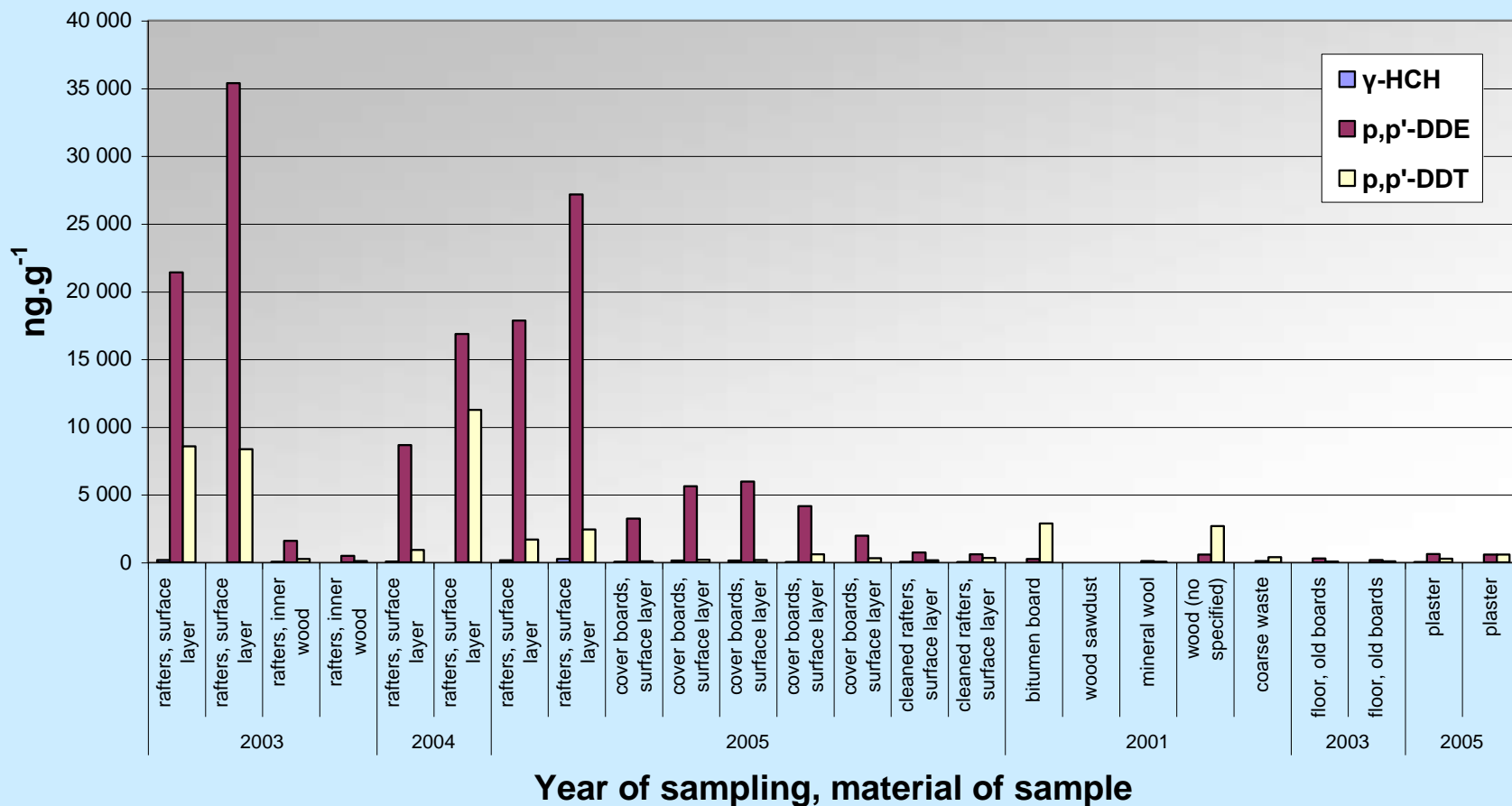
Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Kontaminace tuhých matric POPs - půda

## Roof Space Contamination of the Baroque Theatre - Persistent Organic Pollutants



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment

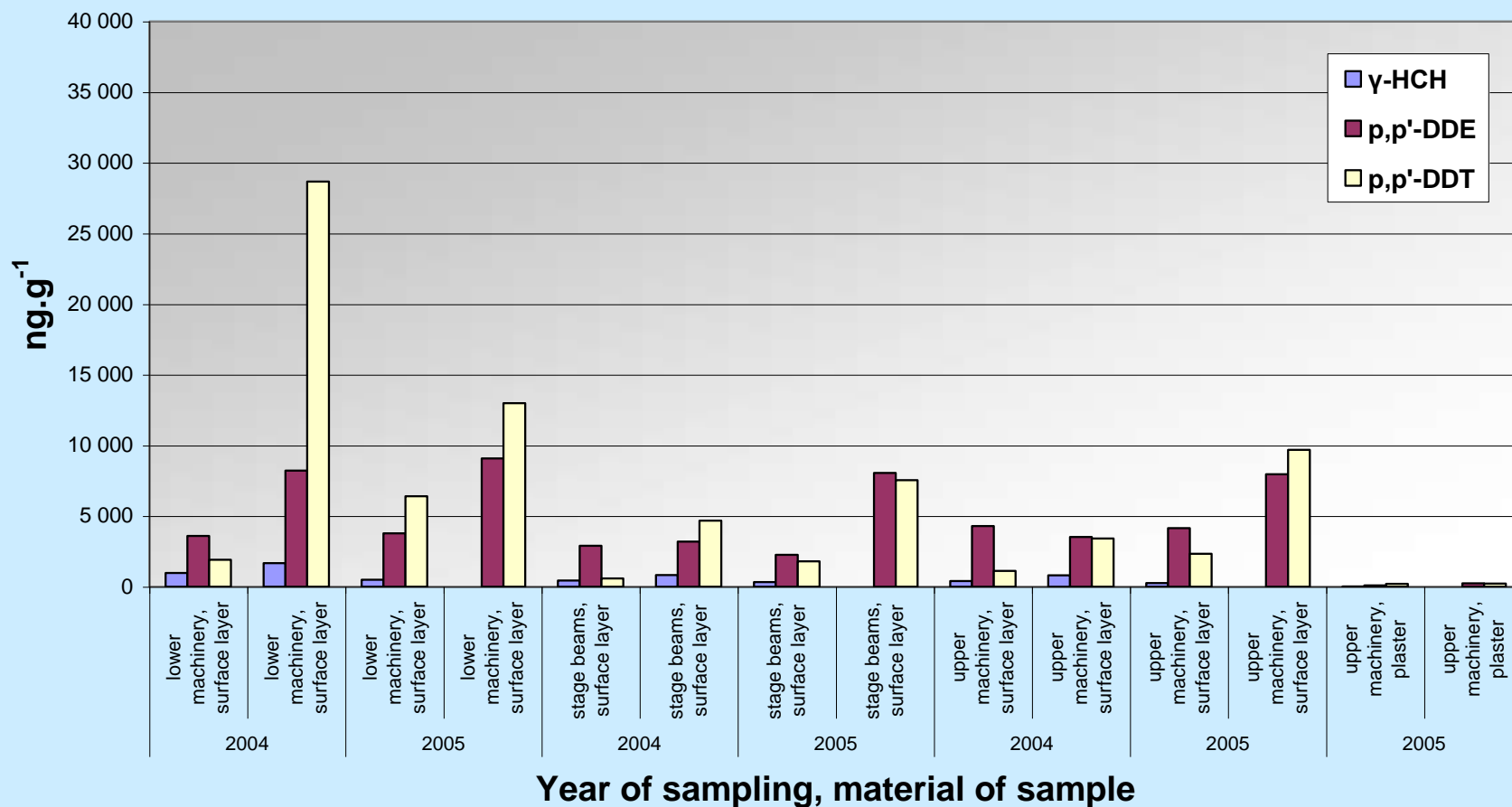


Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



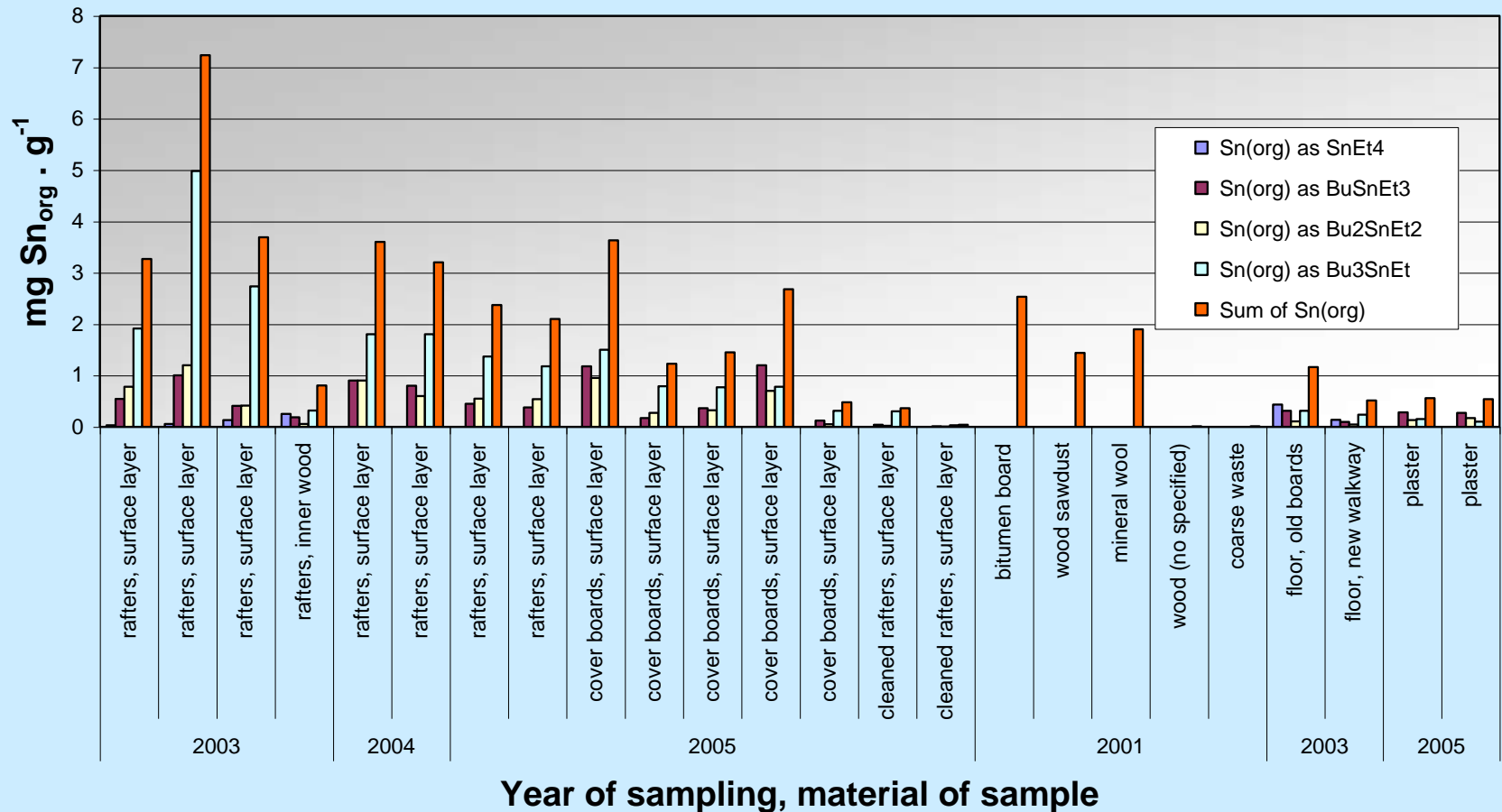
# Kontaminace tuhých matric POPs - jeviště

## Contamination of Other Spaces of the Baroque Theatre - Persistent Organic Pollutants



# Kontaminace tuhých matric $\text{Sn}_{\text{org}}$ - půda

## Roof Space Contamination of the Baroque Theatre - Organotin Compounds



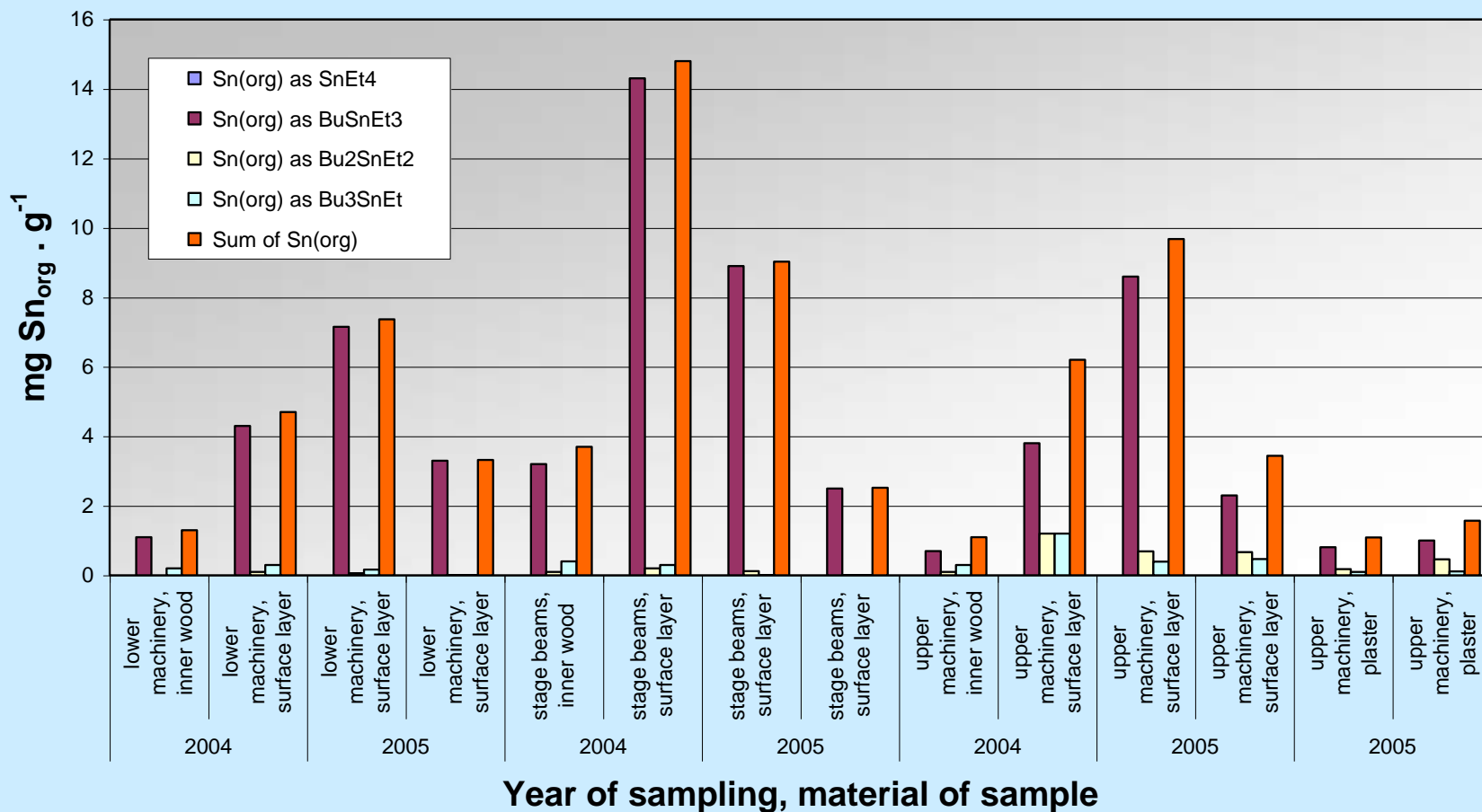
Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Kontaminace tuhých matic $\text{Sn}_{\text{org}}$ - jeviště

## Contamination of Other Spaces of the Baroque Theatre - Organotin Compounds



# Závěry – tuhé matrice

- ↪ **Nejvýznamnější škodliviny:** organocíníčitě sloučeniny (**Sn<sub>org</sub>**), lindan (**γ-HCH**), **DDT** a jeho metabolity (**DDE**)
- ↪ **Další škodliviny:** prokázány **toxické** nebo **silně dráždivé sloučeniny** (benzaldehyd, chlortoluen, benzylalkohol, bromtoluen) v koncentracích  $10^1$ - $10^2$   $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  vzorku
- ↪ **DDT a DDE:** nejsilněji kontaminována **povrchová vrstva trámů krokví** (9 587 až 43 730 ng sumy DDTs.g<sup>-1</sup>) a prken mezi krokvemi (2 265 až 6 139 ng sumy DDTs.g<sup>-1</sup>) - důsledek aplikace Pentalidolu v prostoru půdy
- ↪ **Trámy po očištění a konzervaci:** pokles znečištění DDTs o více než jeden řád (880 až 922 ng sumy DDTs.g<sup>-1</sup>)
- ↪ **Lindan (γ-HCH):** nejvyšší koncentrace v povrchové vrstvě trámů ve vnitřních prostorách divadla (dolní mašinerie, jeviště, horní provaziště) - 263 až 1 660 ng.g<sup>-1</sup> - důsledek aplikace Pentalidolu

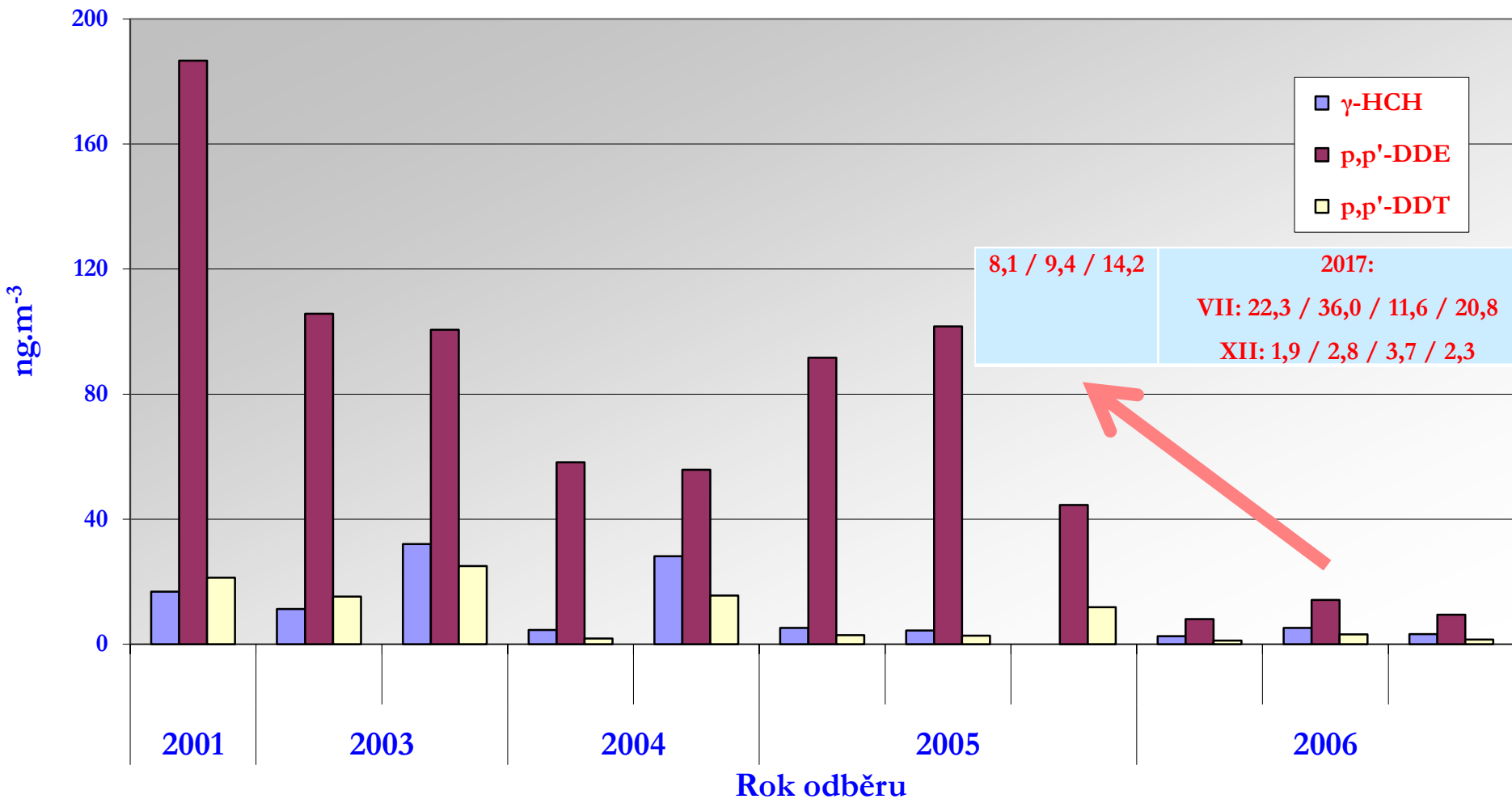


# Závěry – tuhé matrice

- ↪ **Organocínité sloučeniny ( $\text{Sn}_{\text{org}}$ ):** přítomny jako důsledek aplikace fungicidního přípravku **Lastanox** (účinná látka tributylcínoxid)
- ↪ **Tributylcínité sloučeniny:** nejvyšší zastoupení ve vzorcích trámů (krokví) z půdy, jde o směs chloridů a bromidů v poměru 70-90%  $\text{Bu}_3\text{SnCl}$  a 30-10%  $\text{Bu}_3\text{SnBr}$  - důsledek aplikace **methylbromidu**
- ↪ **Monobutylcínité sloučeniny:** produkt degradace tributylcínitých látek, nejvyšší zastoupení ve vzorcích trámů z vnitřních prostor divadla - možný důsledek mokrého čištění s použitím alkalických čistících prostředků v průběhu dekontaminace počátkem devadesátých let (na půdě divadla nebylo prováděno)
- ↪ **Sekundární kontaminace ovzduší:** zdrojem jsou tuhé matrice, zejména bělavá sprašující povrchová vrstva krokví
- ↪ **Trámy po očištění a konzervaci:** pokles znečištění  $\text{Sn}_{\text{org}}$  o jeden až dva řády

# Výsledky měření – ovzduší půda

Vybrané POPs v ovzduší na půdě barokního divadla  
v letech 2001 – 2006 / 2017



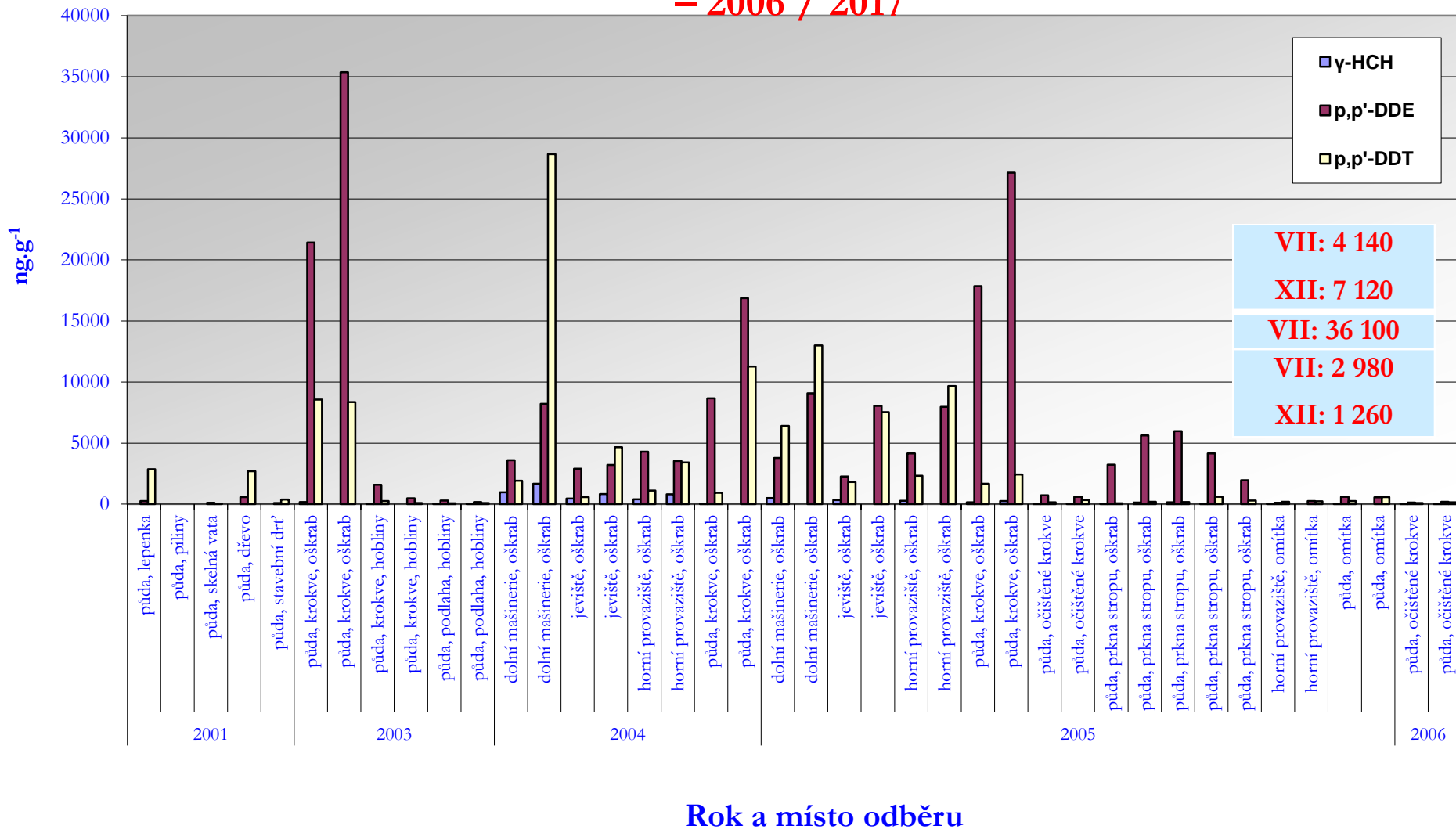
Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Výsledky měření – tuhé matrice

Vybrané POPs v tuhých maticích barokního divadla v letech 2001  
– 2006 / 2017

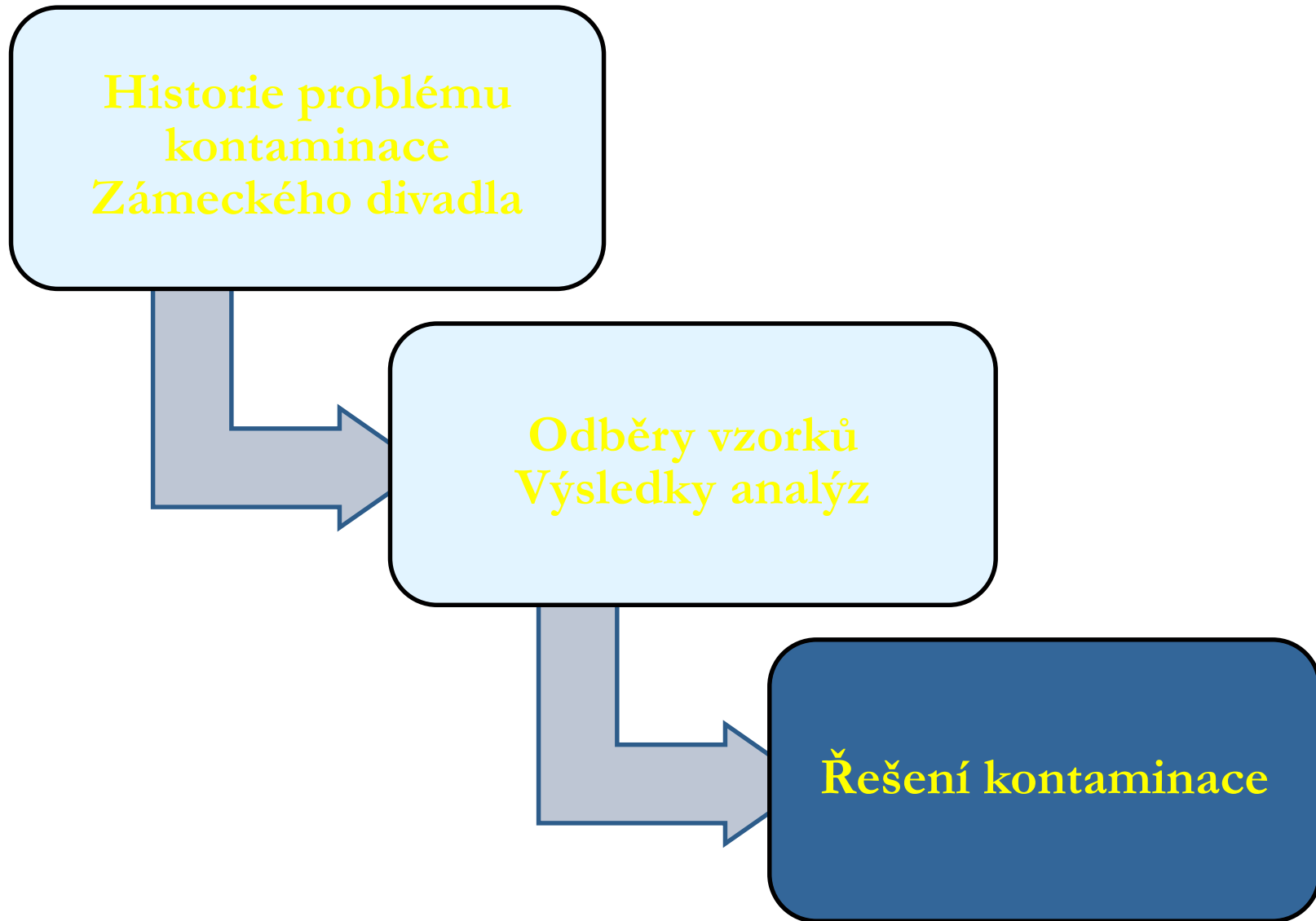


Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Obsah





# Realizovaná opatření

**Zimní období 2002/2003:** proběhlo odstranění kontaminovaných vrstev mezi půdou a horním provazištěm (prkenný záklop, tepelná izolace, asfaltová lepenka)

**Zimní období 2003/2004:** podlaha půdy byla vyložena plastovou fólií s cílem zabránit transportu jemných prachových částic s vysokou koncentrací škodlivin uvolňovaných z povrchu krokví (dočasné opatření)



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Realizovaná / plánovaná opatření

**Jaro 2005:** proběhly zkoušky technologie čištění a konzervace trámů na půdě divadla a následné odběry kontrolních vzorků z těchto trámů

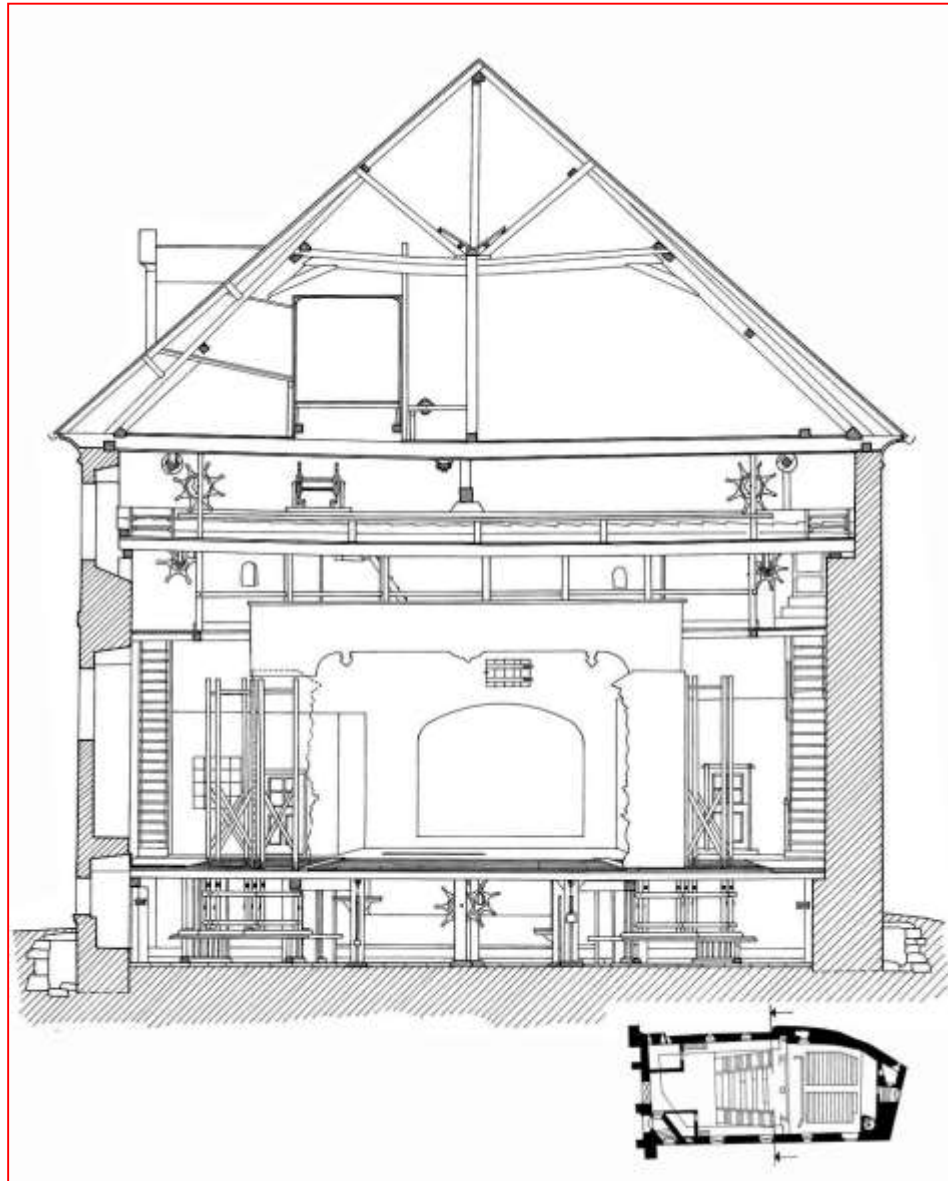


**Dekontaminace divadla:** prioritním krokem v procesu sanace je odstranění bělavé sprašující vrstvy z povrchu trámových konstrukcí na půdě divadla

**Vzorkování:** jsou plánovány pravidelné kontrolní odběry ovzduší i tuhých matric



# Plánovaná opatření



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment

**CzechGlobe**

Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Provedená opatření

Podlaha půdy vyložena plastovou fólií, která omezuje možnost transportu prašných částic z půdy do dalších prostor divadla



Sprašující jemné částice z povrchu krokví vytváří "stopy" na plastové fólii, kterou je vyložena podlaha půdy

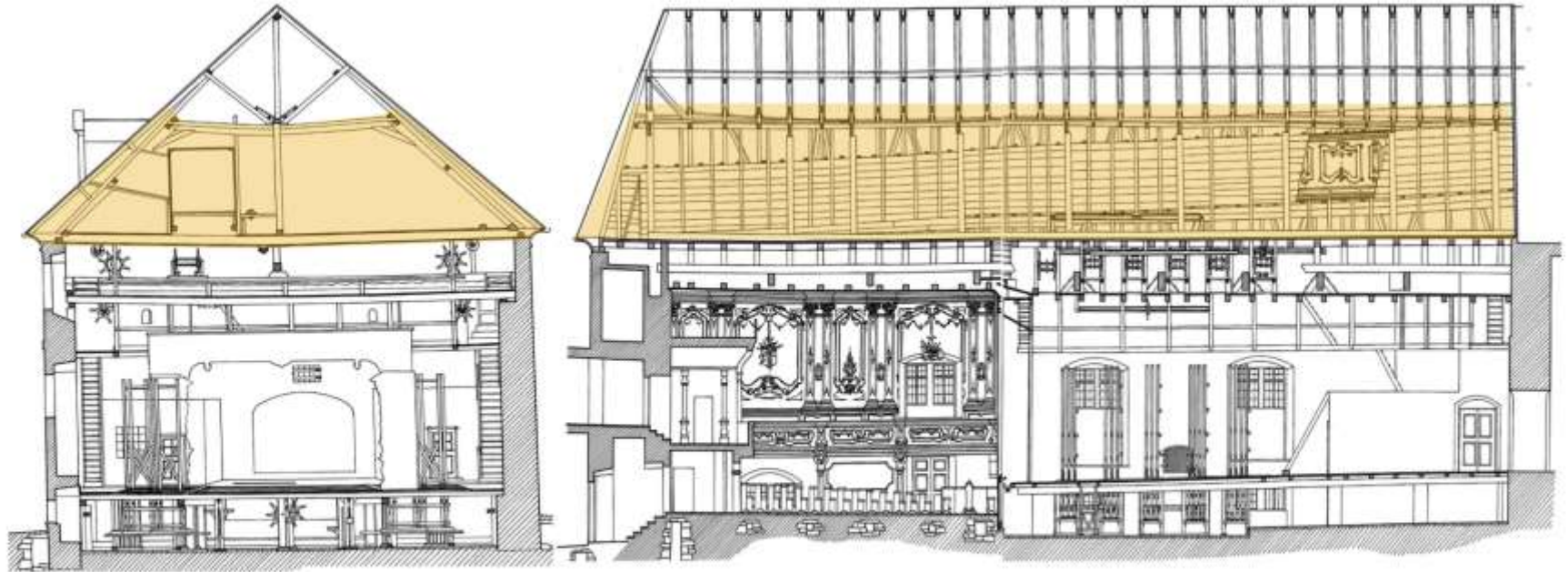




# Plánovaná opatření



# Plánovaná opatření



**Zámek Český Krumlov, krov barokního divadla, rozsah kontaminace konstrukce krovu.**



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



# Plánovaná opatření



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment



Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

# Plánovaná opatření





Děkuji Vám za Vaší pozornost 😊



Research centre  
for toxic compounds  
in the environment

