

POLUTANTY

Účinky na sbírkové materiály

Metody monitorování

Možnosti regulace a eliminace účinků

Co jsou polutanty

- Znečišťující látky jakéhokoli skupenství, které mají v určité koncentraci degradační vliv na materiál
- **Polutanty** – jakékoli látky znečišťující soustavu
 - **Emise** – znečišťující látky vypouštěné do ovzduší (CO_x , popílek, NO_x , SO_x)
 - **tuhé** – prach, popílek, saze,
 - **kapalné a plynné** – sloučeniny S, C, oxidy dusíku, amoniak, sloučeniny Cl a F a jiné
 - **Imise** – znečišťující látky rozptýlené v životním prostředí – v půdě, vodě,... (těžké kovy, popel)

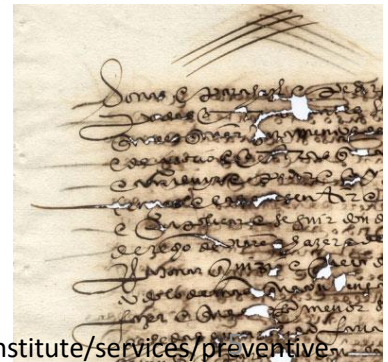
Proč jsou nebezpečné?

- Synergický efekt (s RV, T a světlem) mechanismů poškozování
 - Vyšší T → urychlení chemické reakce → intenzivnější uvolnění VOC
 - Synergický efekt SO_3 a NO_2 – při vysoké RH se zvyšuje reaktivita SO_3 s celulózou
- **Kumulativní a nereverzibilní** změny materiálů
- Změny nejsou ihned - např. u textilu či papíru dochází k pomalému, postupnému poškození struktury a následnou změnu mechanických vlastností
- Zmírnění vlivu polutantů:
 - Komplexní zhodnocení celkového prostředí
 - **Znalost skladby materiálů a jejich interakce s okolím**
- Podmínky uložení by se vždy měly podřít nejcitlivějšímu materiálu

Rozdělení polutantů

- Pevné a kapalné, **rozptýlené ve vzduchu** – polétavý prach, aerosoly
- **Plynné polutanty vnější** - SO_2 , NO_x , O_3 , H_2S , org. sloučeniny síry
- **Plynné polutanty vnitřní** – CH_3COOH , HCOOH , acetaldehyd, formaldehyd, H_2S , COS (karbonylsulfid), O_3
 - Zdroje:
 - stavební, těsnící, nátěrové hmoty,
 - materiály samotných mobiliářů (dřevěné skříně), obalové materiály (papír, plasty)
 - čisticí prostředky i prostředky použité pro konzervaci
 - předměty samotné

- **Polutanty přenášené vzduchem** – SO_x , NO_x , VOC, H_2S , O_3 , NH_3 , pevné částice (prach, pyl,...)
- **Polutanty přenášené kontaktem** – dřevo, kyselý papír a lepenka, lepidla a lepicí pásy, PU pěny, plasty (PVC, pryž,...) kámen a cihly kontaminované solemi, kovy (při vysoké RH), organické materiály, čisticí prostředky
- **Vnitřní polutanty** – látky obsažené v samotné hmotě předmětu
 - Primární – původní součásti, konzervační prostředky
 - Sekundární – vznikají během degradace



Pevné částice

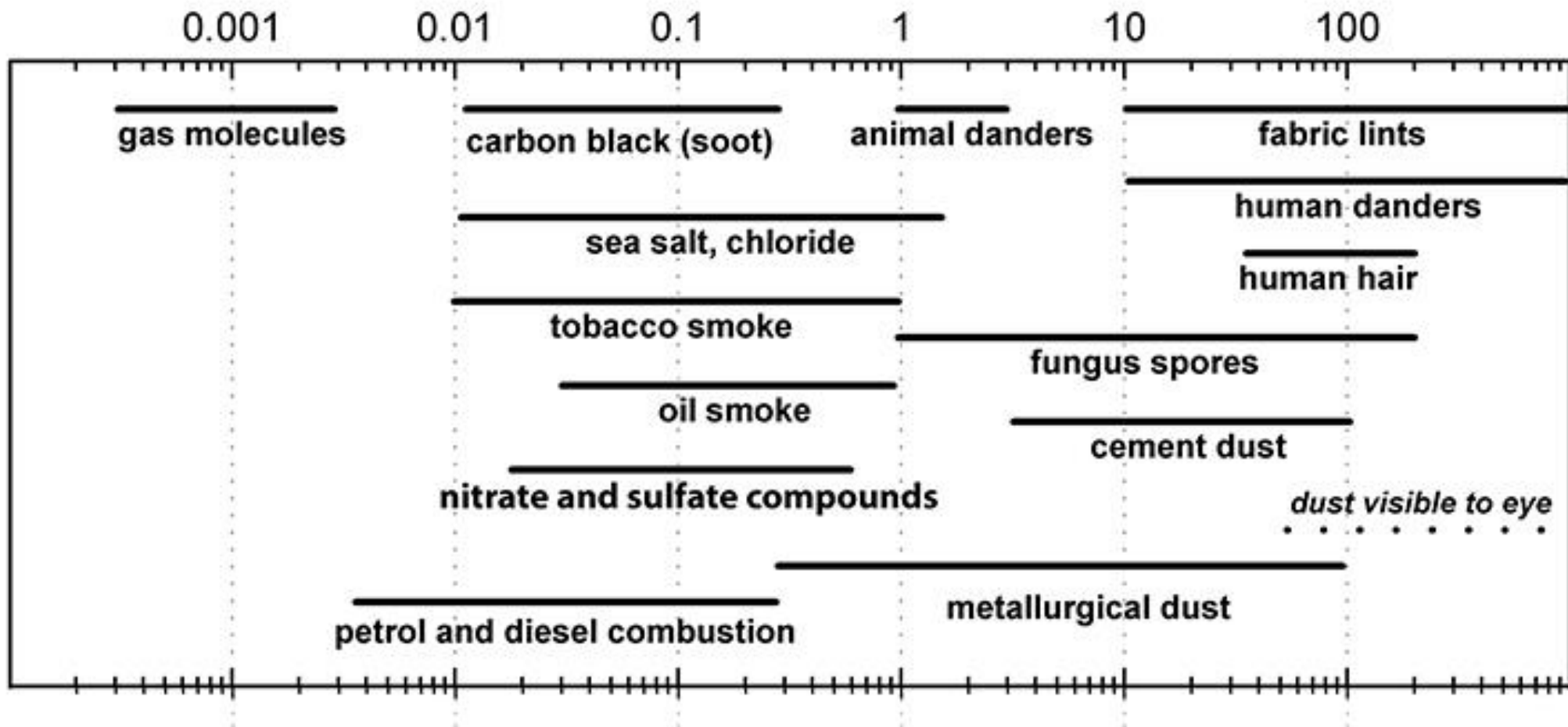
Prach, saze, pyl

- **Vnější zdroje** – spalování fosilních paliv; antropogenní i přírodní původ
 - Saze a dehtové látky; **většinou kyselé** (absorbují SO_2); mohou obsahovat stopy kovů, částice textilu, kůže, stavební hmoty
- **Vnitřní zdroje**
 - přístroje, osoby (návštěvníci – hrubé částice); prachové částice, textilní zbytky, kousky kůže; cigaretový kouř
- Od 10^{-4} μm až po zrnka písku,
- **Přípustná koncentrace** $\leq 75 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$
- **Centra koroze a biologického napadení** - kumulují vlhkost, vážou plyny, živná půda

- Velká variabilita složení a velikosti částic
- Znečištění, abraze a mechanické poškození povrchu,
- Jemné částice mohou být kyselé či alkalické povahy, bývají hygroskopické (navlhání)
(Mašková, L., Smolík, J.: Prach v knihovně, FKR, Brno, 2013)
- Návštěvníci – vysokým zdroj prachu v ovzduší
 - Koncentrace prachových částic narůstá během návštěvních hodin, nejvyšší je před koncem návštěvních hodin. Následně klesá.
(Mašková, L. et al. Prach v expozici a depozitáři národního muzea, FKR, Brno, 2018, 42-45)



Praskliny ve slonovině vyplněné prachem
<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>

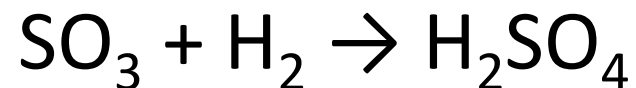
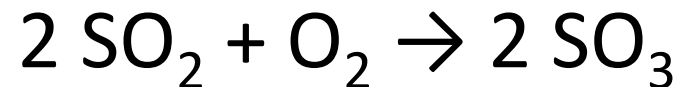


Plynné polutanty

Oxidy síry SO_x (především SO_2)

- **Vnější zdroje** – spalování fosilních paliv; lokální topeniště

- **Škodlivost narůstá s vyšší vlhkostí** – vzniká H_2SO_4

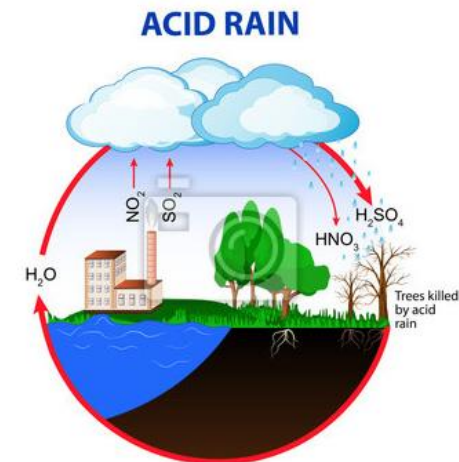


- SO_x se snadno sorbují, např. SO_3 se sorbuje na kapky H_2O . Vzniklý aerosol H_2SO_4 (kyselý déšť) působí velmi korozivně

- **Koroze**

- většiny kovů – Fe, Ag, Cu a jeho slitiny
- Materiály s obsahem CaCO_3
- Devitrifikace alkalického skla
- Hydrolýza bílkovin (kůže, vlna), celulózy (papír, rostlinná vlákna)

- Přípustná koncentrace $\leq 10 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$





<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/caring-plastics-rubbers.html>



<https://blog.thepreservationlab.org/tag/red-rot>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/photographic-materials.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>

Sulfan H₂S (sirovodík)

- **Vnější zdroje** – průmysl, produkt tlení organických materiálů
- **Vnitřní zdroje** – rozkladem organických sbírkových předmětů, např. vlny a keratinových vláken, z barviv; produkt mikroorganismů
- **Koroze** např.:
 - Barevných kovů – Ag (černý povlak Ag₂S) a Cu (černý povlak CuSO₄)
 - Zčernání některých anorganických pigmentů , např.: olovnaté běloby 2 PbCO₃ · Pb(OH)₂, suříku Pb₃O₄



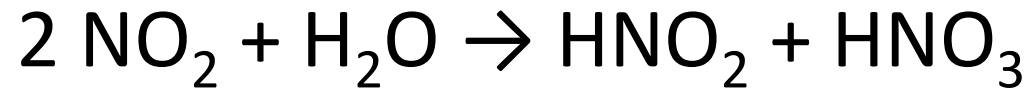
<https://cool.culturalheritage.org/cool/aic/sg/bpg/annual/v04/bp04-04.html>

Amoniak NH₃

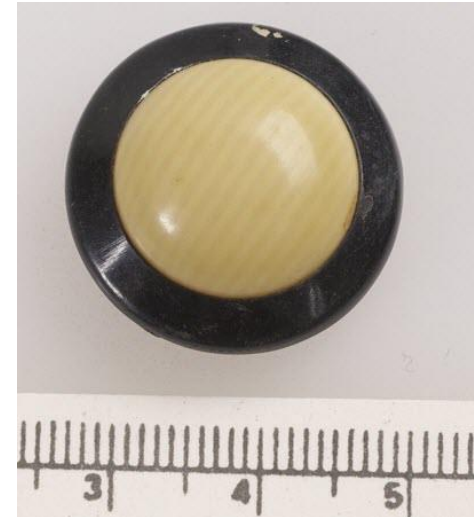
- **Vnější zdroje** – hnilobný produkt mikroorganismů, průmysl, hnojiva
- **Vnitřní zdroje** – hnojiva na květiny, rozkladný produkt močoviny, čisticí prostředky
- Reaguje s H₂SO₄ (vzniklé sorpcí SO_x)
$$2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$$
- (NH₄)₂SO₄ – hygroskopická sůl
- **Způsobuje** matnění laků
- Může vznikat i NH₄HSO₄ – téměř celý silně kyselý podíl aerosolu v ovzduší

Oxidy dusíku NO_x

- **Vnější zdroje** – spalování fosilních paliv (doprava, průmysl), přírodní jevy
- **Vnitřní zdroje** – plynová kamna, vařiče, degradační produkty nitrocelulózy
- NO₂ reaguje se vzdušnou vlhkostí

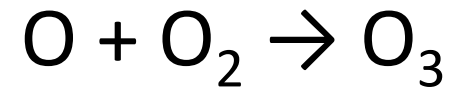
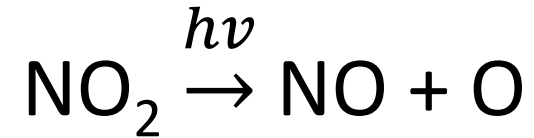


- **HNO₃ způsobuje**
 - Korozi kovů
 - Hydrolýzu celulózy, tříslučiněných usní
 - Rouzpouští vápenaté materiály
 - Nebezpečný především pro fotomateriály s želatinovou vrstvou
- Přípustná koncentrace $\leq 5 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$



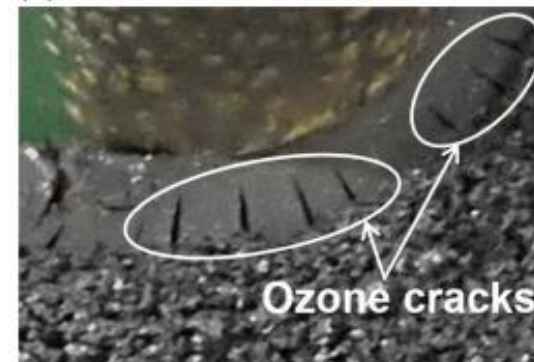
Ozón O₃

- **Vnější zdroje** – vzniká reakcí NO_x, VOC a slunečního záření

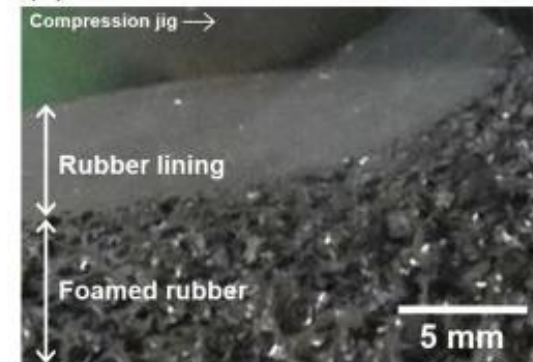


- **Vnitřní zdroje** – rtuťové výbojky, kopírovací a skenovací zařízení, laserové tiskárny, elektrické lapače hmyzu, elektrostatické výboje
- Silné oxidační činidlo
 - Reaguje s dvojnými vazbami C=C nenasycených org. látek, způsobuje jejich síťování, oxidaci
 - Katalyzuje korozi některých kovů
- Přípustná koncentrace $\leq 10 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$

(a) Ozone at 40 °C under 80 %RH



(b) Ozone at 80 °C under 20 %RH



Kyslík O₂

- Přispívá k degradaci organických i anorganických materiálů – způsobuje oxidaci
- Ideální prostředí – bezkyslíkatá atmosféra, O₂ < 0,5 %
- Absorbéry O₂
- Výplach vzduchotěsného obalu inertním plynem (N, Ar)

Chloridy Cl⁻

- Zdroje
 - V ovzduší především v přímořských oblastech
 - U nás v ovzduší především v zimním období
 - LiCl (občasné vysoušedlo), starší druhy PVC, čisticí prostředky (Savo)
- Způsobuje korozi kovů, především Fe
- Přípustná koncentrace $\leq 5 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$



<https://www.researchgate.net/publication/261360828> A new arrangement of galvanic anodes for the repair of reinforced concrete structures/figures

Těkavé organické látky VOC (volatile organic compounds)

Kyselina octová CH_3COOH

- Zdroj
 - tvrdé dřevo (dubové), vinylacetátové nátěry (latexy), filmové nosiče (acetáty celulózy), dřevotříska (acetátové a formaldehydové pryskyřice), silikon, textilní apretury
- Způsobuje
 - rozklad vápenatých materiálů CaCO_3 (minerály, mušle), historického skla a smaltů, některých kovů (Pb, Zn, Cu, bronzy)

Acetaldehyd

- Zdroj
 - nátěry, lepidla a tmely na bázi PVAc a z tvrdého dřeva

Formaldehyd HCHO

- Zdroj
 - dřevotřísky pojené fenolformaldehydovými a melaminformaldehydovými pryskyřicemi, sbírkové předměty a prostředky pro jejich dřívější desinfekci
- Způsobuje
 - poškození skla, keramiky, kovů
- **Karcinogen skupiny 1!**

VOC

- Nejvyšší koncentrace – v uzavřených prostorách s nízkou cirkulací vzduchu (vitríny, depozitáře, obaly)
- Koncentrace jednotlivých VOC v prostředí
 - Aldehydy > CH_3COOH > HCOOH
- Koncentrace aldehydů klesá v pořadí
 - Obal/vitrína/skříň > místnost > budova > vnější prostředí





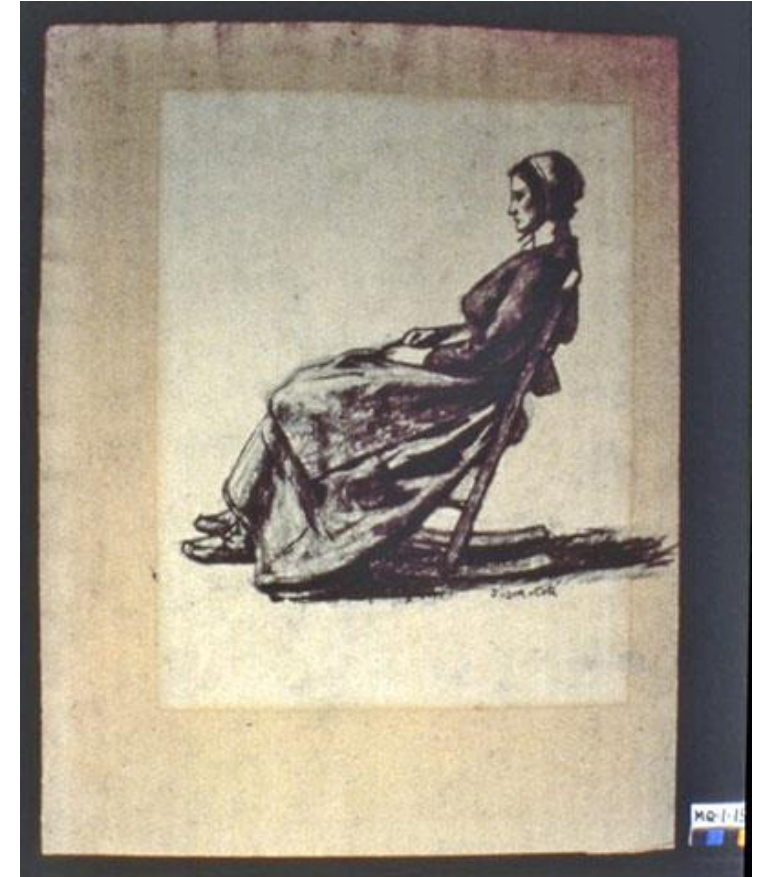
<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/photographic-materials.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/paper-objects.html>

Další nebezpečné látky

Lidský pot

- Obsahuje ionty (např. Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , K^+), glukózu, mastné kyseliny, močovinu, amoniak, vodu, minerály
- pH 4,8–5,8
- Riziko pro kovy, sklo

Těkavé inhibitory koroze

- Určeny pro ochranu materiálů v uzavřených systémech
- Obsahují sloučenin (např. organické aminy), které mohou mít negativní vliv např. na barevné vrstvy



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects.html>



<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/textiles-costumes.html>

Tabulka č. 5.: Skupiny polutantů a jejich zdroje

Polutant	Venkovní zdroje	Vnitřní zdroje
Oxidy dusíku (NO, NO ₂)	Doprava, průmysl, přírodní jevy	Plynová kamna, vařiče, degradační produkty nitrocelulózy obsažené v lacích a lepidlech
Oxid siřičitý (SO ₂)	Spalování fosilních paliv, průmysl	Stavební materiál, barviva, vulkanizovaná guma, mikroorganismy
Sulfan (H ₂ S)	Hnilobný produkt, (mikroorganismy), průmysl	Stavební materiál, vlna a vlákna obsahující keratin, barviva, mikroorganismy
Ozón (O ₃)	Doprava, přírodní jevy	Zdroje světla (UV), kopírovací a skenovací zařízení (UV), elektrické lapače hmyzu, elektrostatické výboje
Amoniak (NH ₃) Hydroxid amonný (NH ₄ OH)	Hnilobný produkt (mikroorganismy), průmysl, zemědělství (hnojiva)	Čistící prostředky, hnojiva na květiny, rozkladný produkt močoviny (kanalizace)
Kyselina octová (CH ₃ COOH) Kyselina mravenčí (CHCOOH)	Degradační produkty aldehydů a ketonů, průmysl, produkty kvašení, hmyz	Stavební a konstrukční materiál, tvrdé dřevo (dub), nátěry (vinylacetáty), filmové nosiče (acetáty celulózy), dřevotříska (acetátové a formaldehydové pryskyřice), silikony
Acetaldehyd	Zemědělství (pesticidy), průmysl	Stavební a konstrukční materiál (acetátové a formaldehydové pryskyřice)
Formaldehyd (HCHO)	Spalování alkoholu, průmysl	Stavební a konstrukční materiál, lamináty (formaldehydové pryskyřice), textilní barviva
Prachové a aerosolové částice	Spalovací motory, průmysl, doprava, pyl, zemědělství	Návštěvníci, interiér (omítka), nevhodná klimatizace a větrání, cigaretový dým (dehet)

Materiál	Polutant	Druh poškození
Kovy obecně	Chloridy, SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , ozón, organické kyseliny, aldehydy	Koroze, matnění povrchu
Měď	SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , ozón, chloridy, organické kyseliny	Koroze, ztráta lesku
Stříbro	H ₂ S, sírany, chloridy	Koroze, ztráta lesku, černání povrchu
Olovo	H ₂ S, organické kyseliny, aldehydy	Koroze
Železo	Sírany, chloridy, SO ₂ , H ₂ S, ozón	Koroze
Hliník	Chloridy, NH ₃	Koroze
Fotografie	H ₂ S, NO ₂ , ozón	Praskání povrchové vrstvy, sulfidizace – hnědnutí, rozpad podložky
Papír	SO ₂ , kyselé prostředí, ozón	Hydrolyza, křehnutí, změna barevnosti – žloutnutí
Pigmenty a barevné vrstvy	SO ₂ , H ₂ S, alkalické prachové částice	Změna barevnosti, tmavnutí
Useň	SO ₂ , ozón	Křehnutí, tzv. červený rozpad
Keramika, sklo	HCHO, kyselé polutanty, prachové částice, vodorozpustné soli	Praskání, matnění, abraze
Textil	SO ₂ , NO ₂ , kyselé polutanty, ozón	Narušení vlákna, snížení pevnosti, skvrny a barevné změny
Mineralogické sbírky	Kyselé polutanty, vodorozpustné soli	Výkvěty na vápenatých materiálech a jejich rozpouštění, praskání

Korozní působení různých materiálů na Pb a Ag (4 týdny,
100% RH, 60 °C) (Mourey 1981)

Druh dřeva	Koroze (0; 1; 2)	Rozšíření koroze (%)
Dub čerstvý	2	19
Dub po 10 letech	1	7
Buk	1	6
Jasan	1	8
Mahagon	0	1
Modřín	2	9
Olše	1	8
Teak	2	17
Dřevotříska	2	51

Materiál	Ag (0; 1; 2)	Pb (0; 1; 2)	Materiál	Ag (0; 1; 2)	Pb (0; 1; 2)
Bavlna	2	1	Acetát celulózy	0	2
Vlna	2	0	Nitrocelulózový lak	0	0
Kaučuk	2	–	PE	0	0
Useň	2	–	PAD	0	0
Pergamen	2	–	PVAc	0	2
			PMMA	0	0

Polutant	Pracovní prostředí PEL ^a [mg.m ⁻³]	Pobytové místnosti ^c [μg.m ⁻³]	Doporučení pro ukládání archivních a knihovních dokumentů ^d [μg.m ⁻³]	Doporučení pro muzea a galerie ^e [μg.m ⁻³]	Doporučení pro muzea a galerie pro dlouhodobou ochranu ^f [μg.m ⁻³]
Oxidy dusíku (NO ₂)	2	100	9–19	4–19	0,1
Oxid siřičitý (SO ₂)	1,5	—	14–26	1–5	0,1
Sirovodík (H ₂ S)	7	—	—	< 0,1	0,01
Ozón (O ₃)	0,1	100	20–40	1–10	0,1
Kyselina mravenčí (CHCOOH)	9	—	—	6–25	—
Kyselina octová (CH ₃ COOH)	25	—	< 25	< 10	100
Formaldehyd (HCHO)	0,5	60	< 6	< 0,1–6	—
Acetaldehyd (CH ₃ CHO)	50	—	—	2–36	—
Amoniak (NH ₃)	14	200	—	—	—
Prachové a aerosolové částice	Frakce prachu ^b PM ₁₀ – 40 PM _{2,5} – 25 μg.m ⁻³	Frakce prachu ^c PM ₁₀ – 150 PM _{2,5} – 80 μg.m ⁻³	Prachové částice včetně spór plísní ^d – 50 μg.m ⁻³	—	Frakce prachu ^g PM _{2,5} – 1 až 10 μg.m ⁻³

Monitoring polutantů

Jednodušší laboratorní zkoušky

- Jednoduché korozní zkoušky
- Testovací proužky
- Difuzní trubičky
- Pasivní dozimetry
- Testovací kupony

Smyslové pozorování – čich, zrak

• Způsob odběru vzorků

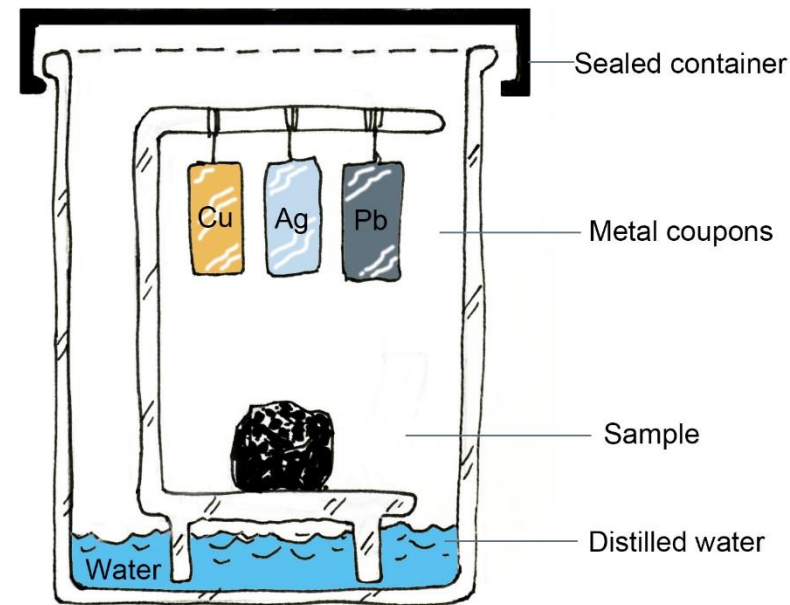
- Adsorpce a absorpce plyných polutantů na pevné či gelové médium
- Přímý odběr plynu, kapaliny, pevných částic
- **Aktivní** – odběr vzduchu přes pumpu
- **Pasivní** – umístění sorbentu do prostoru, sorpce látek na základě přirozené difúze

Náročnější analytické metody

- Stacionární stanice ČHMÚ, Zdravotní ústav
- Mobilní stanice – HORIBA
<https://www.horiba.com/cz/publications/readout/article/organic-pollutant-monitor-opsa-150-127/>
- Instrumenetální analytické metody – chemiluminiscence, GC-MS, HPLC, gravimetrie, ICP-MS

Oddyho test na přítomnost polutantů

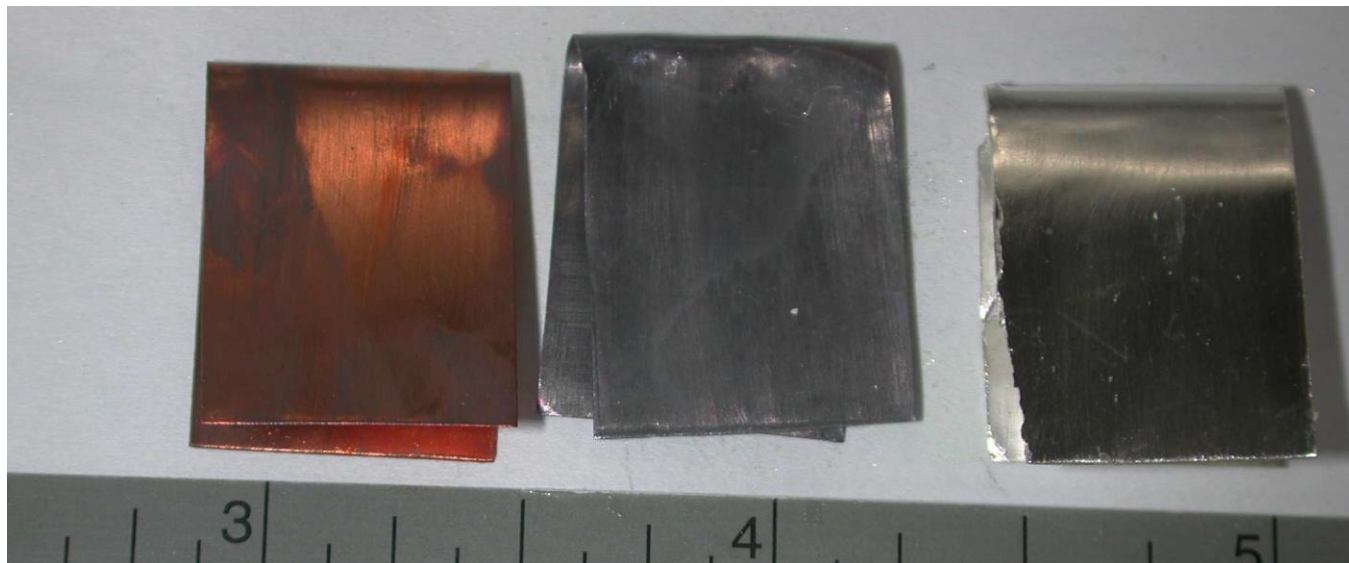
- Testování různých materiálů
 - Materiály pro vitríny, obaly, úložný mobiliář,...
- Detekce – VOC, HCl, H₂S
- Podmínky zkoušky
 - Vzduchotěsně uzavřená nádoba
 - 100% RV
 - 60 °C
 - Po dobu 28 dnů



<https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Oddy-test-color.jpg>

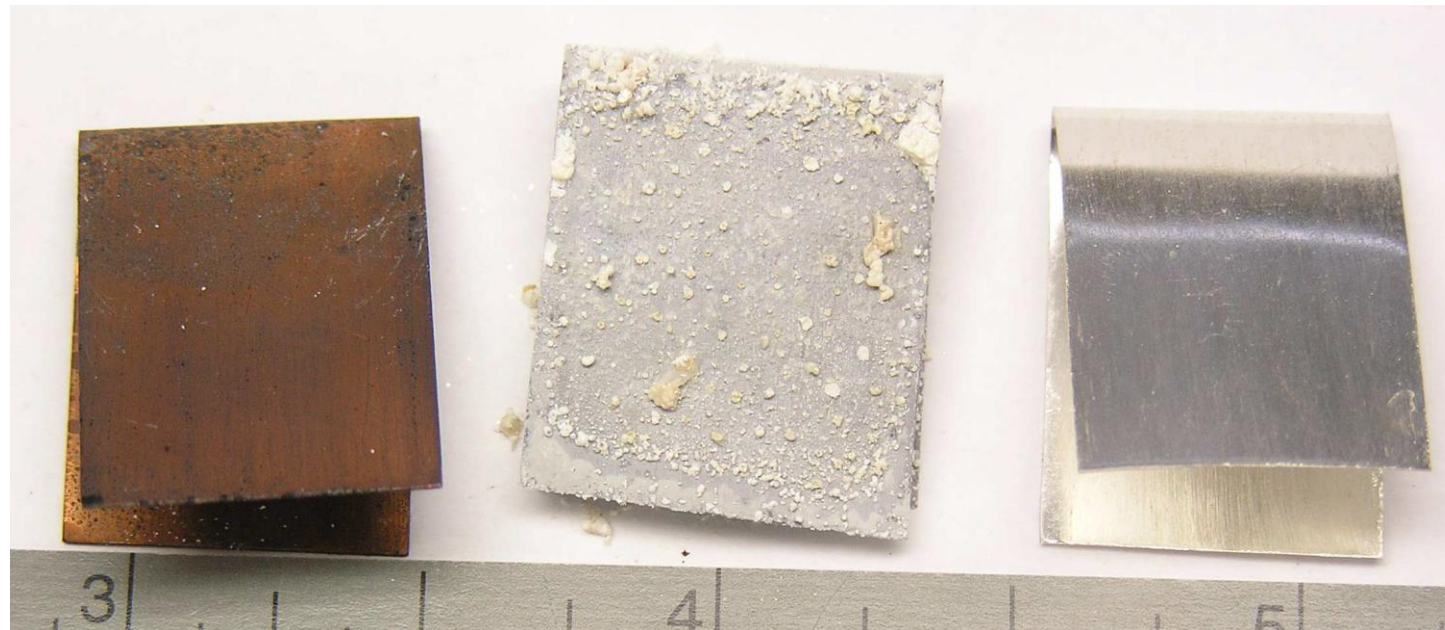
- [http://www.conservation-wiki.com/w/index.php?title=Oddy Test Protocols&oldid=4830](http://www.conservation-wiki.com/w/index.php?title=Oddy_Test_Protocols&oldid=4830)

	H ₂ S	VOC (CH ₃ COOH)	HCl
Ag	černá	X	zašednutí
Cu	zelená měděnka	šedo-černá	
Pb	černá	bílá	šedočerná



Referenční kovové kupóny

Kupóny po expozici VOC z překližky



Beilsteinův test na přítomnost Cl^- v plastech

- Reakce Cl^- s Cu v plameni
- Je-li přítomen Cl^- zbarví se plamen modro-zeleně

https://www.youtube.com/watch?v=iR4q3A_V5k

<https://www.youtube.com/watch?v=PgVLjWXIfj4>

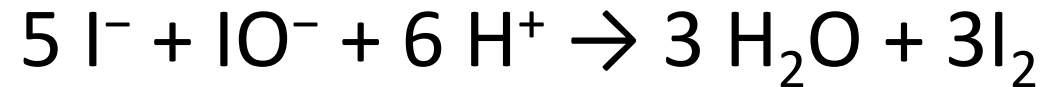
<https://www.youtube.com/watch?v=NtN-3s6wJ7g>

<https://www.youtube.com/watch?v=4BHvUxQMPzU>



Jodidovo-jodičnanový test

- Detekce **těkavých kyselin** (octová, mravenčí)
- Jodidovo-jodičnanový roztok reaguje v kyselém prostředí (těkavé kyselina) za vzniku vody a elementárního jódu. Jód se detekuje škrobem, který zbarví roztok modrofialově



Chromotropový test

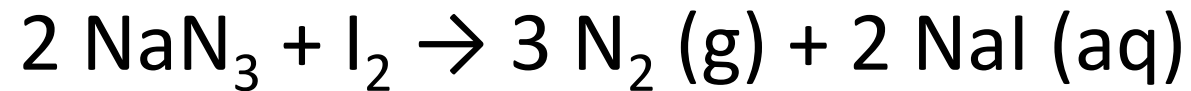
- Detekce **aldehydů** (formaldehyd)
- Aldehydy reagují s reagenčním roztokem (k. chromotropová v koncentrované k. sírové) za vzniku fialovo modrého zbarvení.

Provedení

- Testovací roztok je uložen nad testovaným materiálem
- Těkavost lze zvýšit zahříváním na 60 °C
- Cca do 30 min změna barvy

Azidový test

- Detekce **síry**
- Ag a Cu předměty reagují se sloučeninami síry (H₂S, COS) - matnění a ztráta lesku



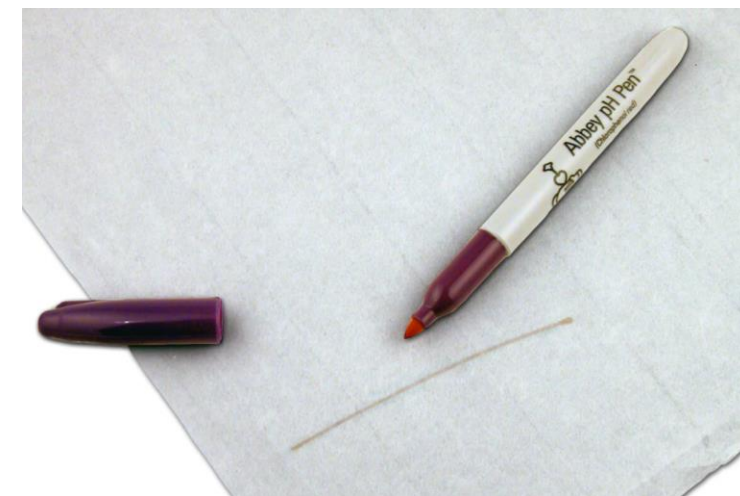
- Negativní reakce = není-li pozorován únik bublinek – materiál neobsahuje sloučeniny S

Důkaz nitrocelulózy

- Nitroskupina reaguje s difenylaminem za vzniku modrého zbarvení

Měření pH materiálů

- Hodnota pH je důležitá především z hlediska dlouhodobého uložení
 - pH fixa (pH testing pen) – pouze orientační kyselé-zásadité
 - pH papírky – různá citlivost; lze i pH plyných polutantů ovlhčeným pH papírkem
 - pH elektroda – nejpřesnější; ponorná (výluh), dotyková (povrch)

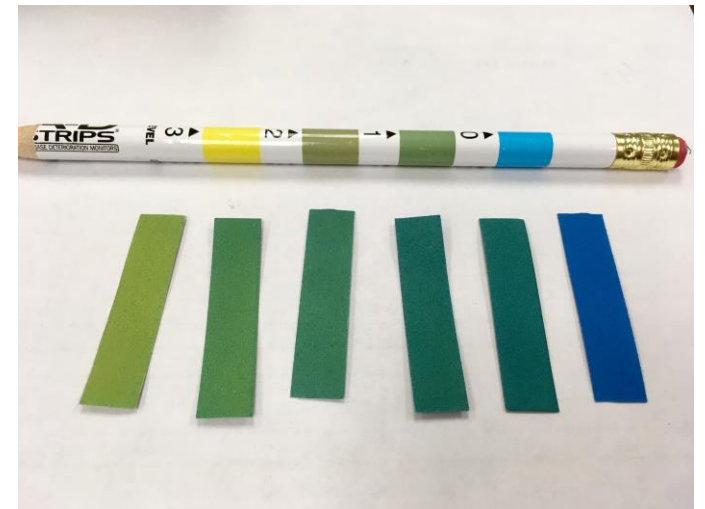


A-D strips/Dancheke acid detection test strips

- VOC
- Expozice 1 den až 3 týdny
- Zbarvení škály = stupeň agresivity
- Vhodné např. pro acetátové filmy



pH 6,0	Kein Geruch - Level 0 Frischer Film
pH 5,5	Kein Geruch - Level 0 Beginnende Zersetzung
pH 5,0	Kein Geruch - Level 1 Zersetzung nimmt zu
pH 4,8	Leichter Geruch - Level 1 Zersetzung nimmt weiter zu
pH 4,6	Leichter Geruch - Level 2 Autokatalytischer Punkt
pH 4,4	Stärkerer Geruch - Level 3 Kopieren empfohlen
pH 4,2	Starker Geruch - Level 3 Kopie anfertigen



Detekční trubičky (Gastec)

- Skleněné detekční trubičky s tištěnou stupnicí – přímý odečet koncentrace sledované látky
- Okamžité kvantitativní stanovení
- Např. formaldehyd, aceton, ozon, CO, NH₃, HCl a jiné
- <https://www.chromservis.eu/kat/1064-detekcni-trubicky?lang=CZ>



Model GV-100

● High quality glass tube

● Calibration scale (in ppm, mg/m³, mg/L or % depending on the substance to be measured and its concentration).
Printed in an ink that permits high legibility against the colour change layer.
The scale is determined for each production lot that has passed Gastec's exacting qualification tests.

Standard number of pump strokes (n).
The number of pump strokes required to collect the standard volume of sample air for this tube.

Quality control number (QC No.). Gastec's quality assurance number is printed on every Gastec detector tube. Detector tubes of the same production lot have the same QC No. When a QC No. is registered, sample tubes with that QC No. will be kept and monitored periodically to verify the quality.



● Distinct Layer of colour change

● Reliable detecting reagents that comply with the Gastec's stringent quality standards (regarding the length of colour change layer, the clearness of demarcation, and the tone and brightness of colour change).

● Chemical formula of the substance to be measured. An abbreviation is used for a long formula.

● Detector tube number. The numeral represents the kind of substance the tube can measure, and the letter specifies the level of concentrations the tube can determine. For Example, H, M and L respectively indicate high, middle, and low level concentrations.

Pasivní dozimetry

- Stanovení koncentrace jednotlivých polutantů
- Složené z membrány, která selektivně absorbuje polutanty, např. SO_2 , NO_2 , HCOOH , CH_3COOH ,...
- Vyhodnocení pouze na specializovaném pracovišti

<https://www.chromservis.eu/kat/84-pasivni-dozimetry?lang=CZ>

http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1998_10_784-788.pdf



Nefelometry

- Měření obsahu pevných polutantů v prostředí
- Koncentrace prachových částic se stanovuje na základě měření rozptylu záření, ke kterému dojde při interakci laserového paprsku s nasávanými prachovými částicemi
- Lze stanovit
 - Vápenec
 - Popílek
 - Obecně prach ve vzduchu



Testovací kupony Purafil

- Pasivní monitoring
- Skleněné pásky potažené Ag a Cu
- Sledování prostředí 30 – 60 dnů
- Polutanty vytvoří na povrchu vrstvu korozních produktů
- Exponované kupony se vyhodnotí ve specializované laboratoři

Článek: korozní monitoring v rukách restaurátorů

<http://www.technopark-kralupy.cz/files/uzel/0025602/MzlwNFLwzi8tysxR0HDMLHLOLy rSUfD299UEAA.pdf?redirected>

https://www.purafil.com/wp-content/uploads/2014/12/PurafilLit_CCC.pdf



Klasifikace korozivnosti prostředí přístrojem OnGuard

- Aktivní monitoring
 - Měří okamžité hodnoty korozivnosti prostředí
 - Vyhodnocení v PC
 - Výstupem je závislost T, RH, koroze Ag a Cu na čase
-
- <https://www.purafil.com/products/monitoring/active-monitoring/onguard-smart/>
 - <https://www.purafil.com/products/monitoring/active-monitoring/onguard-lite/>



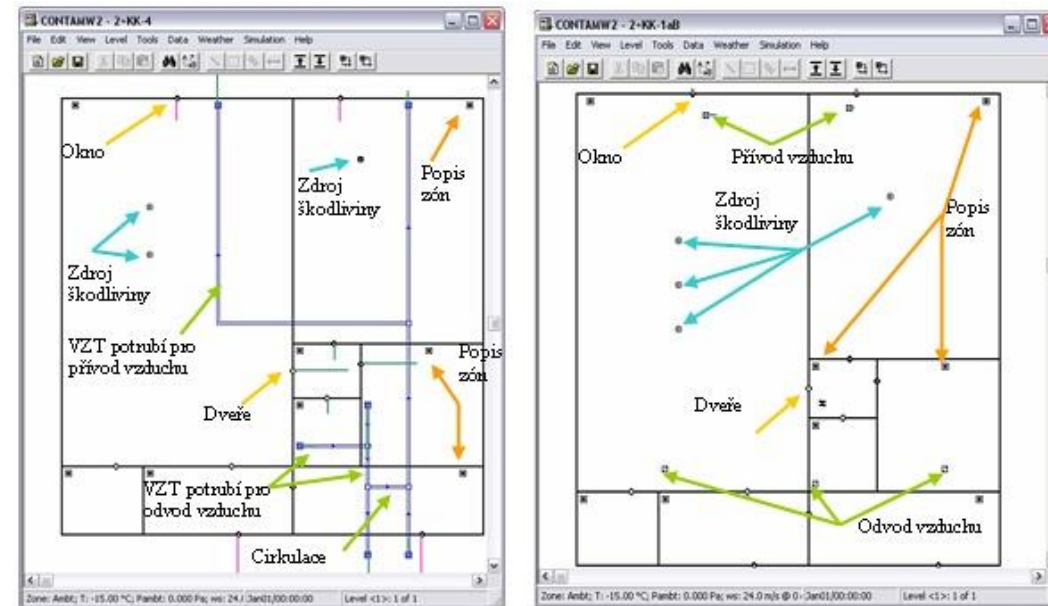
Systemy ke sledování rozdílné koncentrace vně a uvnitř budovy

- **Contam 2.4**

- Software k modelování vnitřního prostředí budov, větrání a koncentrací škodlivin
- <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/6423-program-contam-2-4>
- Analýza proudění vzduchu, větrání, koncentrace škodlivin, kvalita vnitřního vzduchu, multizónová analýza, regulace

- **IMPACT**

- Modelování vnitřní koncentrace škodlivin



Optimalizace podmínek prostředí pro dlouhodobé uchování

- Eliminace vnějších zdrojů
- Zamezení infiltrace vnějších škodlivin
- Eliminace vnitřních zdrojů
- Ochranné obaly a sorpční materiály
- Regulace ostatních parametrů prostředí
- Pravidelný monitoring stavu
- Snížení času vystavení předmětů nevhodným podmínkám

Ochrana před polutanty

Ochrana před pevnými polutanty

- Prachotěsné vitríny
- Uzavřené skříně a obaly
- Filtrace vzduchu

Ochrana před plynnými polutanty

- Cirkulace a filtrace vzduchu – uhlíkové filtry, selektivní polymerní sorbenty, molekulová síta
- Vhodné materiály úložného mobiliáře
- Bariérové materiály (Al)

<https://lifa.eu/films-and-pouches/barrier-films.html>

- Vhodná materiálová skladba uvnitř vitríny
- Pravidelná revize stavu
- Volba stavebních materiálů

<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants/video-commercial-paints.html>

Čištění vzduchu

Suché filtry

- Vlákna, pěnové materiály a sorbenty
- Odfiltrují 95-97 % prachových částic

Vodní filtry

- Prachové i plynné částice
- Pravidelná výměna vody
- Odfiltrují 95-97 % SO_2 , slabě alkalické roztoky (pH 8,6-9) jsou téměř 100%
- I jako zvlhčovače



Čištění vzduchu ve vitrínách

- Klasické filtry s aktivním uhlím a impregnací
- Filtry ze syntetických a skleněných vláken
- APC filtr – obsahuje aktivní uhlí, zajišťuje recirkulaci, výměna filtru po 12 měsících
- Filtrační jednotka s Corrosion Intercept pěnou – výměna filtru cca po 6 měsících



<https://www.purafil.com/products/chemical-filtration/filtration/purafilter/>

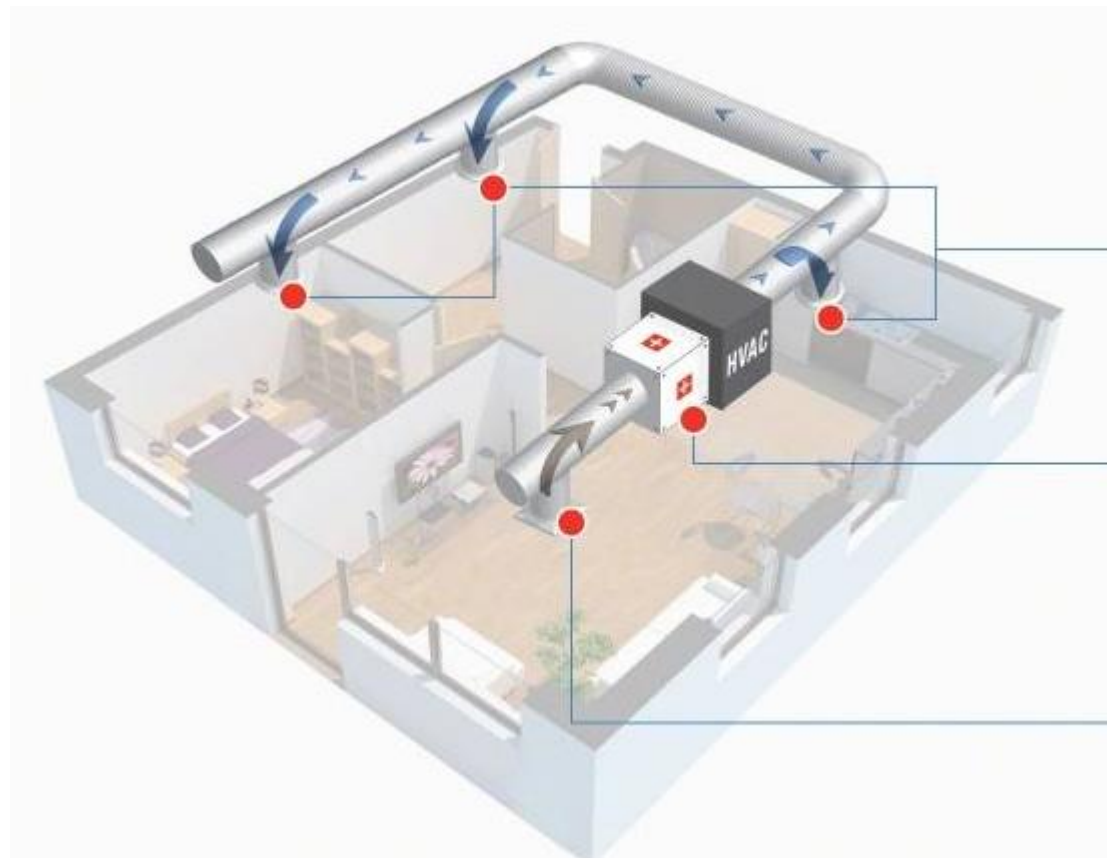
<https://llfa.eu/conservation/pollutant-protection.html?p=2>

Systemy schopné kontrolovat klima a polutanty ve vitrínách i prostoru



<https://www.sehner.de/eng/>

HVAC systém – Heat, Ventilation and Air Conditioning system



<https://www.iqair.com/whole-house-air-purifiers/perfect16>

Table 4. Summary of pollution control measures, with advantages and disadvantages.

Measure	Advantages	Disadvantages
Reduce air infiltration <ul style="list-style-type: none"> – seal doors and windows – introduce draft lobbies – place objects in enclosures such as display cases and cupboards 	Relatively easy and cheap to seal doors, windows and cracks in the building fabric from outside, and introduce internal doors, which are kept closed. Passive, low maintenance solution. Suitable for air conditioned and naturally ventilated buildings.	Not suitable if the ventilation rate necessary to achieve effective control of outdoor pollutants proves to be less than that required for human occupancy or the dispersal of internally-generated pollution. New internal doors may disrupt movement through the building and may then be propped open.
Appropriate location of air inlets <ul style="list-style-type: none"> – with air conditioning and mechanical ventilation, site inlets away from busy roads, car parks, and loading bays. – in naturally ventilated buildings, try to seal windows/doors on busy roadside against air infiltration 	Low cost, low maintenance solution. Can be applied to both naturally ventilated and air conditioned buildings.	May prevent cross-ventilation in naturally ventilated buildings. With existing air conditioning and mechanical ventilation systems, it may be difficult to modify inlet locations.
Intelligent control of ventilation <ul style="list-style-type: none"> – automatic CO₂ sensor or timer control of ventilation – Occupant control of natural ventilation 	Ventilation kept to minimum necessary for comfortable human occupancy. Can lead to good energy savings.	When human occupancy is high, more pollution is brought in to the building. May be ineffective if installed in a leaky building. Needs effective commissioning, regular checking and calibration.

<p>Increase surface area</p> <ul style="list-style-type: none"> – Store or display in smaller rooms – Change building layout to include more smaller rooms or add screens etc. 	<p>Passive, low maintenance solution.</p>	<p>Change in room plan could be difficult and expensive. Introduction of many small rooms instead of larger open spaces may be inconvenient for display purposes and space use efficiency.</p>
<p>Introduce more absorbent surface finishes</p>	<p>Passive, low maintenance solution. Can be made to work with existing building layout. Brick and plaster commonly used as indoor surfaces. Other wall coverings, such as carbon-impregnated cloth can be introduced relatively cheaply. This approach could be designed in to new buildings.</p>	<p>Materials needed may not fit in with gallery design and ‘look’. Changing existing wall surfaces in historic buildings may be difficult or unacceptable.</p>
<p>Portable filtration unit</p>	<p>Highly effective for small spaces such as temporary exhibition galleries, storerooms.</p>	<p>Equipment must be physically present in the gallery or storeroom; check size and noise in operation</p>
<p>Local gallery filtration</p>	<p>Cost-effective way of providing air conditioning and filtration for the most vulnerable objects in a collection. May be easier to install in an older building than a full system. Less capital, maintenance and energy costs than a full system.</p>	<p>Requires objects of same type to be displayed/stored together – may not be best context in which to display them. Conditioned gallery will need to be zoned off from the rest of the building.</p>
<p>Full air conditioning with carbon filtration</p>	<p>If correctly installed and maintained, enables close control of all zones in a building.</p>	<p>Very expensive in terms of capital, maintenance and energy costs.</p>

- Guidelines on efficient pollution control in heritage buildings

Látky aktivně zachycující polutanty

- Aktivní uhlí
- Molekulová síta
- Alkalické pufry
- Produkty obsahující tyto látky

- <http://www.silcarbon.eu/tschechisch/produkty/molekulova-sita/index.html>
- http://www.conservationresources.com/Main/section_21/section21_23.htm

Aktivní uhlí

- Fyzikální adsorpce
- Nevážou NO_x

Aktivní uhlí z kokosových skořápek

- Fyzikální sorpce
- Rychlejší sorpce
- Při dlouhodobé aplikaci se za zvýšené RH uvolňují polutanty – nezbytná průběžná výměna



<https://www.resorbent.cz/aktivni-uhli>

Impregnované aktivní uhlí

- Chemisorpce
- Pomalejší sorpce
- Vhodné na dlouhodobé aplikace – pevnější chemická vazba – polutanty se neuvolňují



Textilie z aktivního uhlí

- Záchyt polutantů i mikroorganismů
- Vhodné na balení
- Možnost alkalické rezervy



<https://lfa.eu/activated-carbon-cloth.html>



<https://www.ekofiltr.cz/kategorie/uhlikove-filtry>

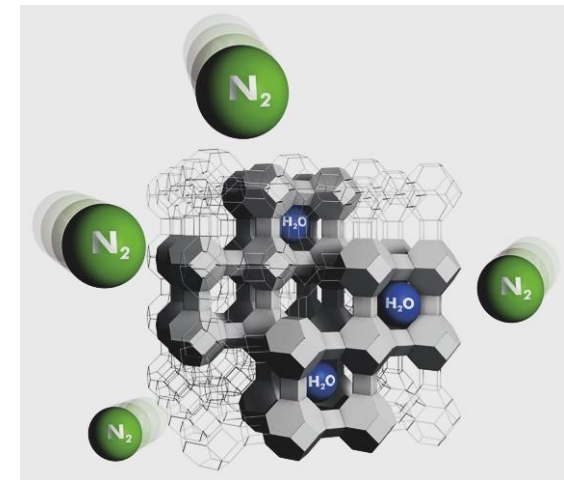
Molekulová síta = zeolity

- Krystalické aluminosilikáty nebo aluminofosfáty s mikroporézní strukturou
- K zachycení polutantů, které se nevážou na aktivní uhlí
- Nelze v prostředí s vysokou RV a v kontaktu s některými kyselinami, regenerace vysušením při 200–300 °C
- Velikost pórů je definována – selektivní absorpce
- MicroChamber Emulsion

http://www.conservationresources.com/Main/section_21/section21_23.htm

Molekula	Průměr (Å)	Molekula	Průměr (Å)	Molekula	Průměr (Å)
Helium	2,0	Dusík	3,0	Ethylakohol	4,4
Acetylen	2,4	Amoniak	3,6	Propan	4,9
Vodík	2,4	Sirovodík	3,6	n-Butan	4,9
Voda	2,8	Argon	3,8	Propylen	5,0
Kyslík	2,8	Methan	4,0	Cyklohexan	6,1
Oxid uhelnatý	2,8	Ethylen	4,2	Benzen	6,8
Oxid uhličitý	2,8	Ethan	4,4	o-Xylen	7,4

https://www.p-lab.cz/katalog/molekulova-sita_3805p

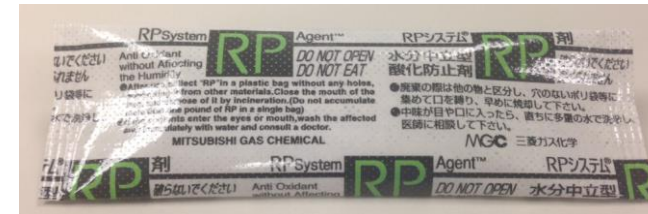


<http://www.jmp-glas.cz/aktuality/levne-molekulove-sito-neni-alternativa>



Absorbéry kyslíku

- Zpomalení koroze kovů, preventivní konzervace materiálů citlivých na kyslík
- Ageless Oxygen:
- RP Systém:
- ATCO



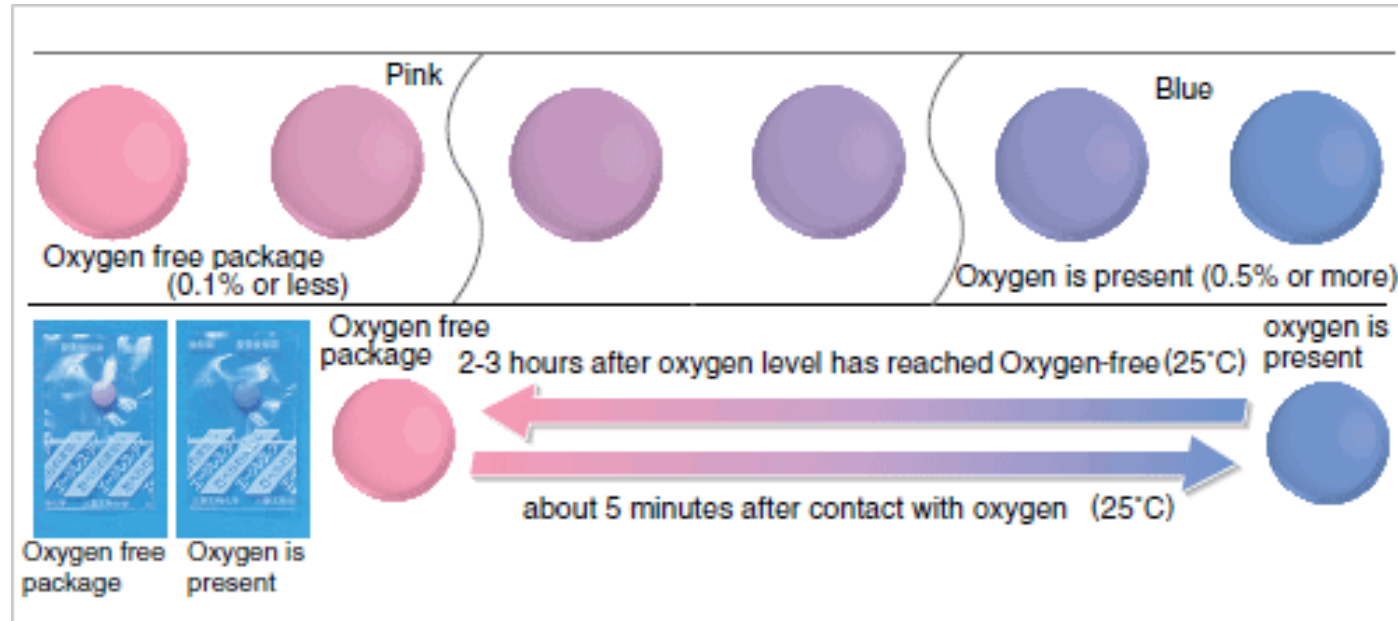
<https://lifa.eu/conservation/oxygen-free-packaging/oxygen-absorber-indicator.html>

<http://ageless.mgc-a.com/>

Indikatory kyslíku

- Ageless-eye oxygen indicator

<https://www.mgc.co.jp/eng/products/sc/ageless-eye.html>



- Oxy-eye oxygen indicator

<https://llfa.eu/oxy-eye-oxygen-indicator.html>



Speciální obaly k ochraně kovů

- „Pacific“ Silvercloth – textilie s koloidním Ag – k ochraně Ag a Cu předmětů



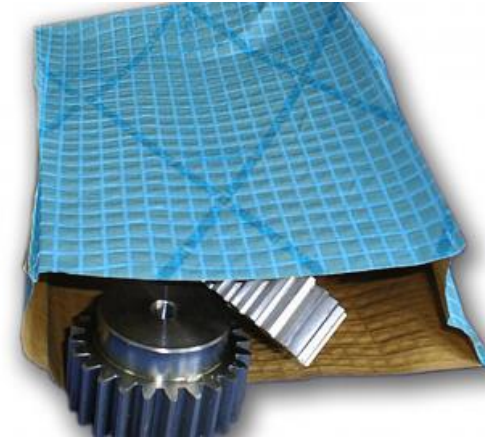
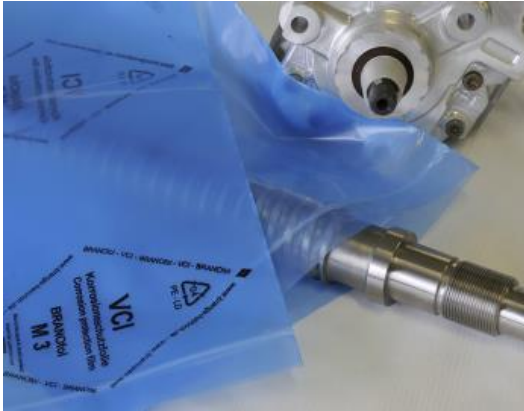
- Granule ZnO – sorpce H_2S – k ochraně Ag předmětů



- Fólie a obaly s inhibitory koroze

- Různé druhy aktivních povrchů

<https://www.branopac-antalis.cz/ochrana-proti-korozi>



- Bariérová fólie – bariérové balení proti klimatickým vlivům, dlouhodobé uložení

- Marvelseal 360

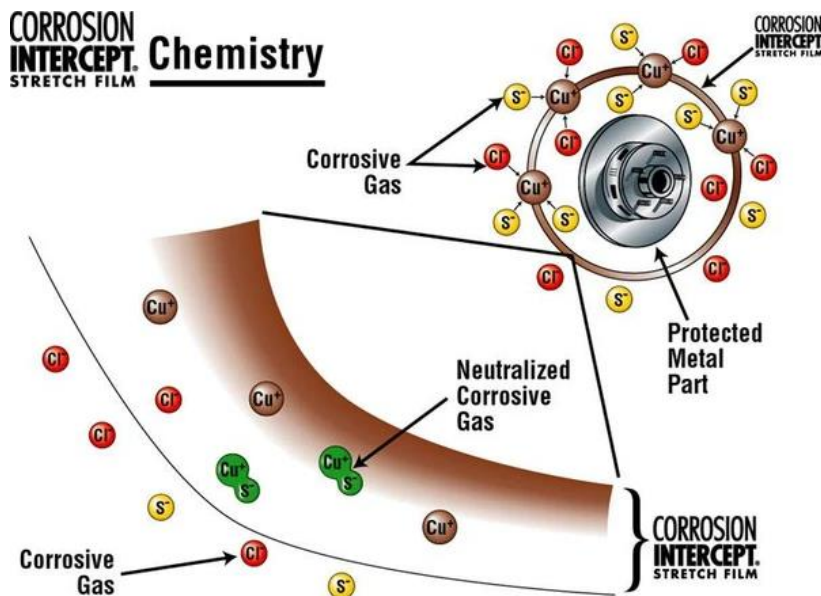
- Al fólie k nažehlení na dřevotřískové desky
- <https://www.youtube.com/watch?v=C2u7MiOp7jI>



<https://llfa.eu/conservation/pollutant-protection.html>

Bariérové fólie

- Corrosion Intercept – reaktivní částice Cu v PE folii
 - Cu reaguje s H_2S , SO_x , O_3 , Cl sloučeninami i org. kyselinami
 - Chrání před atmosférickou korozí, vhodný pro Cu, Ag, mosaz, Fe, neželezné kovy, fotografie, filmy, textilie, datová média, obrazy



<https://interceptjewelrycare.com/pages/how-it-works-and-why-its-better>

<https://lfa.eu/conservation/pollutant-protection.html>

Další obalové materiály

- Tyvek (HDPE)
- Melinex (PES)
- Mirelon (PE)
- Kartonplast (PP)

https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/11/vhodnost_materialu_3.pdf



<https://eshop.ceiba.cz/>



<http://www.mirelon.com/>

- Nebělená bavlna
- Nekyselý papír
- Alkalická lepenka
- Umělohmotné uzavíratelné krabice (PP, PET, PAD, PMMA)
 - Nepoužívat nitráty a acetáty celulózy
- Nanotextilie ??
- Vakuové balení



<http://www.fillpack.cz/obalove-materialy/kartonplast>

Limity a legislativa

- Neexistuje závazná legislativa
- Vychází ze zákonů o ochranně zdraví

- ČSN ISO 11 799 - Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů
 - Udává maximální přípustné hodnoty

Literatura a zdroje

- Guidelines on pollution control in heritage buildings <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/2443/1/2443.pdf>
- Canadian Conservation Institute <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>
- <https://llfa.eu/>
- Indoor Air Pollution Working Group <http://iaq.dk/iap.htm>
- Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy, TMB [https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika WEB final.pdf](https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika_WEB_final.pdf)
- Jednoduché metody identifikace polymerů v muzejní praxi <https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Polymery.pdf>
- Vhodnost materiálů pro použití v muzejní praxi
- [https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/11/vhodnost materialu 3.pdf](https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/11/vhodnost_materialu_3.pdf)
- Závěrečné práce studentů
 - B. Kulhavá – Materiály používané v muzejních podmínkách z hlediska korozní odolnosti kovů (2007) https://is.muni.cz/auth/th/svpyk/cel_Bc.pdf
 - L. Foret – Řízení mikroklimatických podmínek během uložení a vystavování kovových aretfaktů (2012) [https://is.muni.cz/auth/th/w6tt7/Bakarska prace.pdf](https://is.muni.cz/auth/th/w6tt7/Bakarska_prace.pdf)
 - K. Jánešová – Klasifikace korozní agresivity atmosféry brněnské aglomerace (2019) [https://is.muni.cz/auth/th/cm41c/BC prace 451844 final.pdf](https://is.muni.cz/auth/th/cm41c/BC_prace_451844_final.pdf)