

# Detekce nežádoucích předmětů a látek

---

Doc. Ing. Karel Burda, CSc.



## Program

### Detekce nežádoucích předmětů a látek

1. Úvod
2. Detektory kovů
3. Rentgeny a skenery
4. Detektory radioaktivního záření
5. Spektrometrické detektory
6. Detekce skrytých osob
7. Detektory plynů
8. Závěr

# 1. Úvod

## Úvod

- Často je zapotřebí omezit v kontrolovaném prostoru výskyt **osob se zbraněmi** a výskyt nežádoucích látek, jako jsou například **výbušniny** a **drogy**.
- K detekci osob se **zbraní** se využívají:
  - **detektory kovů** (detekují kovové zbraně),
  - **skenery** (zobrazují předměty pod oděvem osob),
  - **rentgeny** (zobrazují předměty v zavazadlech osob).
- K detekci nežádoucích **látek** se používají:
  - detektory **radioaktivního záření** (detekují radioaktivní látky),
  - **spektrometrické** detektory (detekují obvykle výbušniny a drogy),
  - detektory **plynů** (detekují nebezpečné plyny).



## 2. Detektory kovů

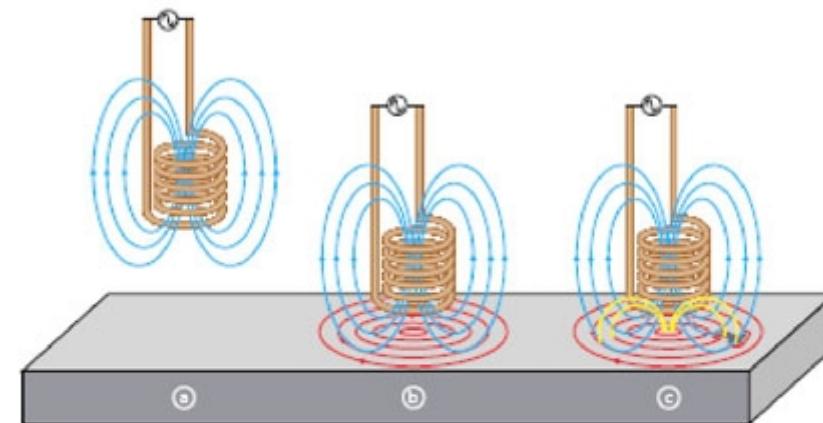
## Detektory kovů

- Detektory kovů využívají k detekci kovů **budící** magnetické pole.
  - Do kontrolovaného prostoru je **generováno budící** magnetické pole. To je případnou přítomností kovu ovlivňováno a tak lze analýzou parametrů pole v daném prostoru přítomnost kovu prokázat.
  - Detektory kovů využívají následující fyzikální jevy:
    - **indukce** vířivých proudů. Protože **všechny** kovy jsou vodiče, tak tento jev umožňuje detekovat veškeré kovy. Používá se proto **nejčastěji**.
    - změny způsobené **magnetizací**. Tento jev se uplatňuje u **feromagnetických** kovů (železo, nikl, kobalt) a u magneticky **měkkých feritů**.
- Pozn.: **Ferity** jsou keramické **směsi** obsahující oxid železitý s dalšími kovy. Protože jsou **nevodivé**, tak je nelze metodou vířivých proudů detekovat.
- **pohyb** magnetu vůči cívce. Tento jev umožňuje detekovat i magneticky **tvrdé** ferity.



## Vířivé proudy

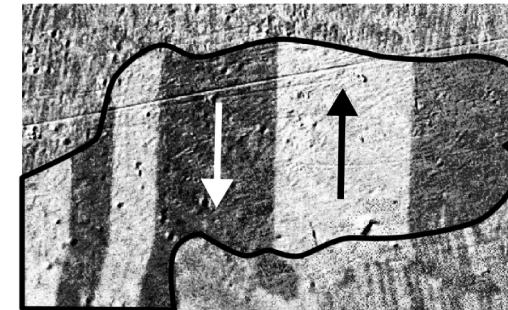
- Vířivé proudy jsou proudy, které jsou **kruhovými** pohyby volných elektronů v kovových tělesech.
- Vznikají v důsledku proměnného budícího magnetického pole a podle Lenzova zákona působí **proti** změně, jež je vyvolala. Budící magnetické pole se pak skládá s polem vířivých proudů, čímž dochází ke **zmenšení** intenzity výsledného magnetického pole v okolí tělesa. Tento pokles indikuje přítomnost kovového tělesa v kontrolované oblasti.
- Vířivé proudy vznikají jen u kovů, tj. nelze je využít u nevodivých feritů.



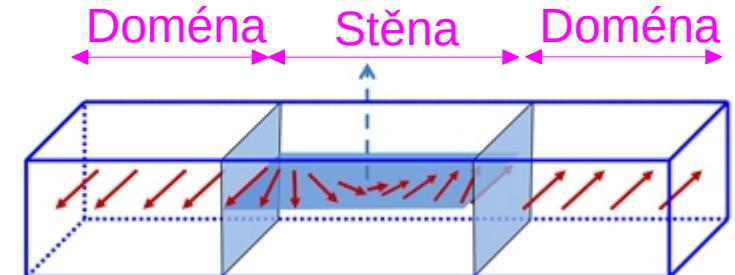
- a) Buzení proměnného magnetického pole (modře).
- b) Indukce vířivých proudů (červeně).
- c) Vznik opačného magnetického pole (žlutě).

## Změny způsobené magnetizací (1/2)

- Změny způsobené magnetizací lze pozorovat pouze u **feromagnetik**.
- Feromagnetické látky sestávají ze zrn (barevné skvrny na obr. vlevo), v nichž existují tzv. **magnetické domény** (pruhým na obr. uprostřed). Jedná se o oblasti, kde všechny atomy mají stejný magnetický moment. Tyto domény jsou odděleny tzv. mezidoménovými stěnami (obr. vpravo)
- Zpočátku jsou magnetické momenty jednotlivých domén uspořádány náhodně a tak výsledné magnetické pole látky je **nulové**.
- Působením střídavého budícího magnetického pole na feromagnetický materiál se cyklicky mění velikost domén a stěny mezi doménami se **posouvají**. Tyto procesy působí proti změně, která je vyvolala, tj. působí proti budícímu poli. Navíc se domény v důsledku své mechanické **setrvačnosti** natáčejí v reakci na budící pole **opožděně**.
- Pokud tedy do střídavého budícího pole vložíme feromagnetický materiál, tak ten generuje vlastní pole, které působí **s mírným zpožděním proti** budícímu poli.

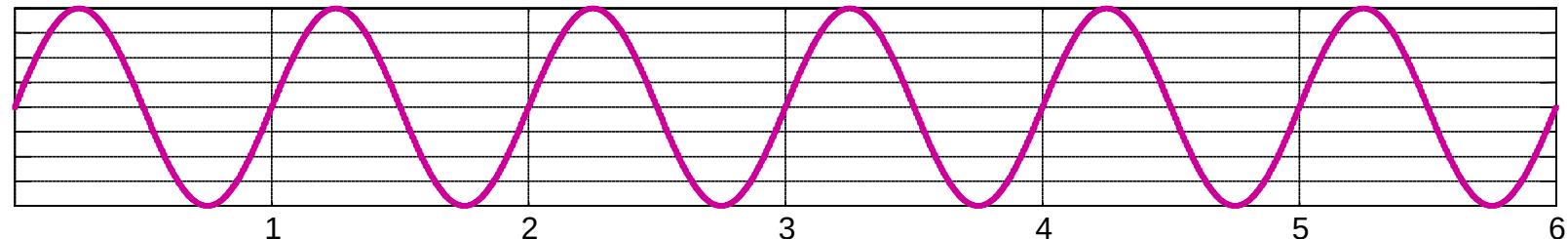


1 až  
100 µm



## Změny způsobené magnetizací (2/2)

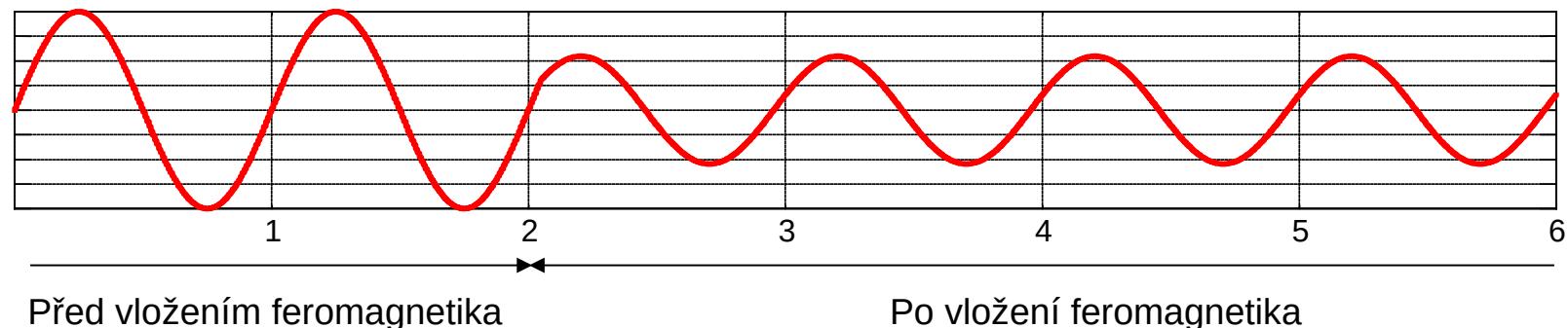
- Budící střídavé magnetické pole.



- Vliv feromagnetika. Protifáze reprezentuje působení domén feromagnetika proti budícímu poli. Zpoždění reprezentuje mechanickou **setrvačnost** domén.

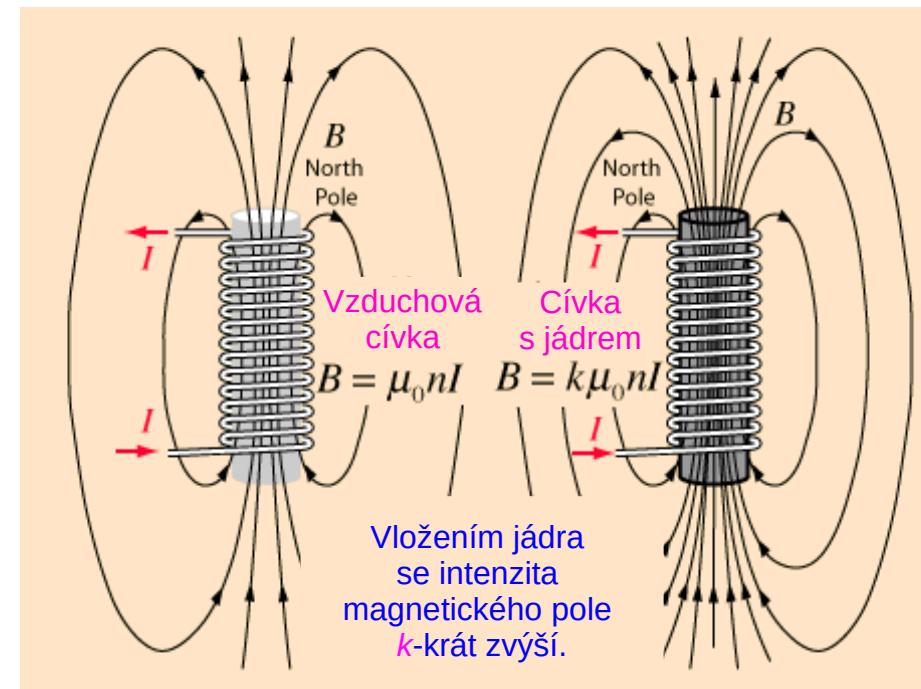


- Výsledné magnetické pole.



## Detekce pohybem vůči cívce

- Technika pohybu vůči cívce se používá k detekci **tvrdých nevodivých feromagnetik** (tvrdé ferity).
- U těchto materiálů je zapotřebí k jejich přemagnetování velkých energetických výdajů. Když je tato feromagnetická látka navíc ještě elektricky nevodivá, nezpůsobuje u ní detektor svým budícím polem žádnou **měřitelnou** odezvu.
- Pokud se však tato feromagnetická látka **pohybuje** vůči detekční cívce, tak **velikost indukčního toku** protékající cívkou se s časem mění a tak lze toto tvrdé feromagnetikum detektovat.

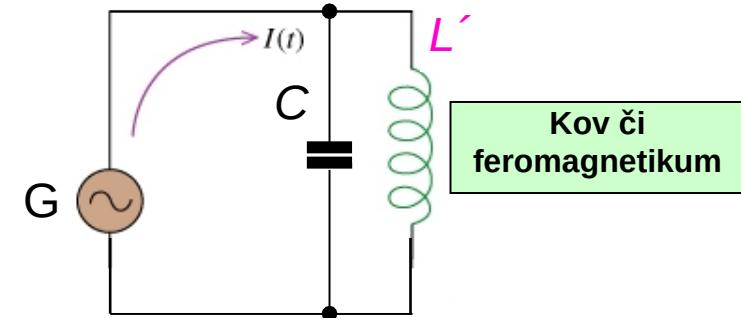
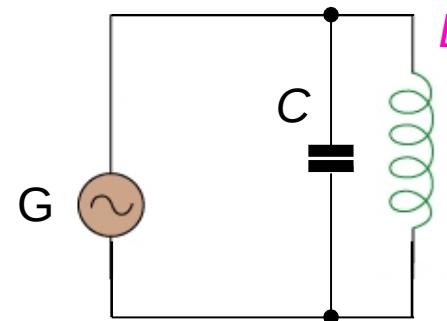


## Systémy detekce kovů

- Výše vysvětlené principy detekce (tj. **vířivé proudy**, **magnetizační změny** a **pohyb vůči cívce**) se v praxi obvykle využívají ve vhodné **kombinaci**.
- V praxi se používají následující systémy k detekci kovových předmětů:
  - systémy **s útlumem cívky** rezonančního obvodu,
  - **frekvenční** systémy,
  - **pulzně-indukční** systémy (v bezpečnostních aplikacích nejčastější).

## Systém s rezonančním obvodem

- U systémů s útlumem cívky rezonančního obvodu se využívá detekční cívka s indukčností  $L$  a s kondenzátorem o kapacitě  $C$ . Ty jsou zapojeny jako paralelní **rezonanční obvod** s rezonančním kmitočtem  $f$ . Rezonanční obvod je napájen z generátoru G, který generuje harmonický signál o kmitočtu  $f$ . V důsledku rezonance je proudový odběr LC obvodu prakticky **nulový**.
- Jestliže se v kontrolovaném prostoru (tj. v magnetickém poli cívky) ocitne kov či feromagnetická látka, cívka změní svoji **indukčnost** z hodnoty  $L$  na hodnotu  $L'$ . Rezonanční obvod se tak **rozladí** a tím se **zvýší** proudový odběr rezonančního obvodu. To je **příznakem** výskytu kovu.
- V případě **kovu** je změna indukčnosti cívky způsobena vznikem **vířivých proudů**. V případě **feromagnetika** je změna indukčnosti způsobena změnou **magnetického odporu** v okolí cívky. Popsaný systém je nestabilní a většinou jej využívají hledači kovů.



## Frekvenční systémy

- Frekvenční systémy mají na jedné straně **vysílací** cívku, která vytváří v prostoru kontroly harmonické magnetické pole. Na druhé straně je **přijímací** cívka, která magnetické pole v kontrolovaném prostoru snímá.
- V klidovém stavu snímá přijímací cívka magnetické pole **sinusového** průběhu, tj. původní budící signál.
- V případě výskytu **vodivého** (tj. kovového) tělesa v kontrolované oblasti vzniknou v tomto tělese vřívě proudy, které způsobí vznik opačného a **fázově posunutého** pole.
- U magneticky **měkkých feritů** způsobují změny orientací magnetických domén **zeslabení** budícího pole a opět **vznik fázově posunutého** pole.
- V případě magneticky **tvrdých feritů** je zapotřebí zajistit jejich **pohyb** vůči přijímací cívce. Potom časové **změny** magnetického odporu v blízkosti přijímací cívky způsobí změny intenzity měřeného pole.
- Popsaná kombinace detekčních technik se nejčastěji využívá v **průchozích rámových** detektorech.

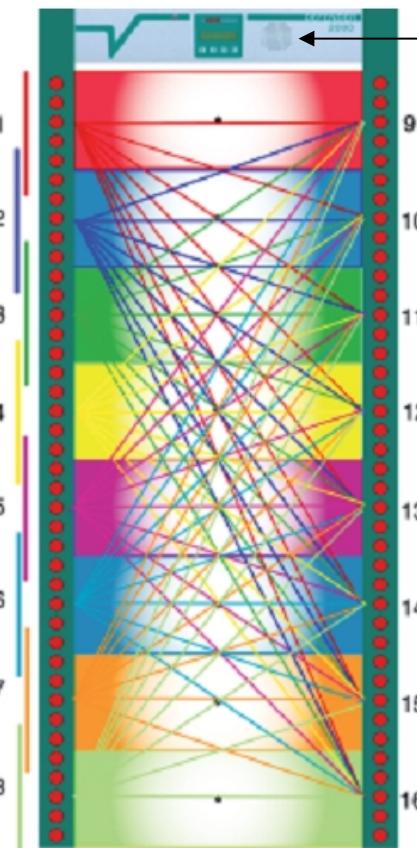


## Moderní rámový detektor kovů

- Moderní rámové detektory kovů obsahují více vysílacích a přijímacích cívek. Použitím signálových **procesorů**, kdy se měří a porovnávají odezvy z více přijímacích cívek, pak lze dosáhnout vyšší spolehlivosti a přesnosti detekce.



1. Vysílací cívky 1 – 8 postupně generují pulzy v tom pořadí jak jsou očíslovány.



2. Přijímací cívky 9 - 16 generované pulzy zachycují.  
3. Procesor informace o pulzech zpracovává.  
4. Lze pak určit, ve které části rámu byl pronásen kovový předmět.

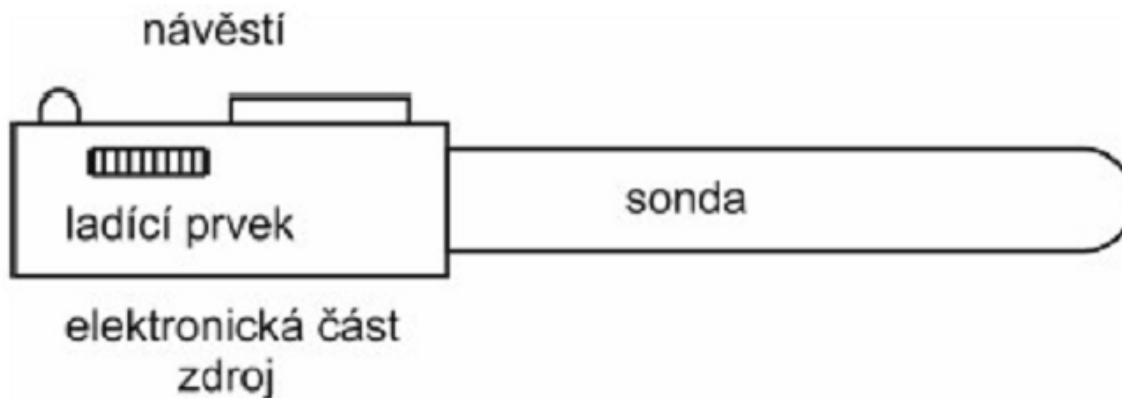


## Pulzně-indukční systémy

- Pulzně-indukční systémy jsou výhodné pro **ruční detektory** kovů, neboť používají pro vysílání i příjem společnou cívku.
- Vysílač napájí cívku elektrickými impulzy. Každým impulzem je generováno magnetické pole a poté následuje interval detekce, kdy cívka není buzena. Uvedená postupnost se cyklicky opakuje.
- Nepřítomnost kovu se zjistí prakticky **okamžitým zánikem** magnetického pole po skončení impulzu.
- Přítomnost kovu je indikována **zanikajícím** magnetickým polem (řádově  $\mu\text{s}$ ), což je způsobeno indukovanými vířivými proudy v kovu.
- V případě **nevodivých, magneticky měkkých** feromagnetických látek se využívá toho, že magnetické domény se po zániku budícího pole konečnou rychlostí vracejí k původní magnetické orientaci. Magnetické pole tedy ani v tomto případě **nezmizí** okamžitě.
- U **nevodivých, magneticky tvrdých** feromagnetických látek je opět detekce materiálu možná jen na základě jeho pohybu vůči cívce.

## Použití detektorů

- Podle způsobu použití rozeznáváme:
  - **ruční** detektory (osobní prohlídky),
  - průchozí **rámové** detektory (nejčastější u osob),
  - **stolní** detektory (nejčastější u zásilek),
  - detektory k detekci kovů v **tělních** dutinách.
- **Ruční detektor kovů:**



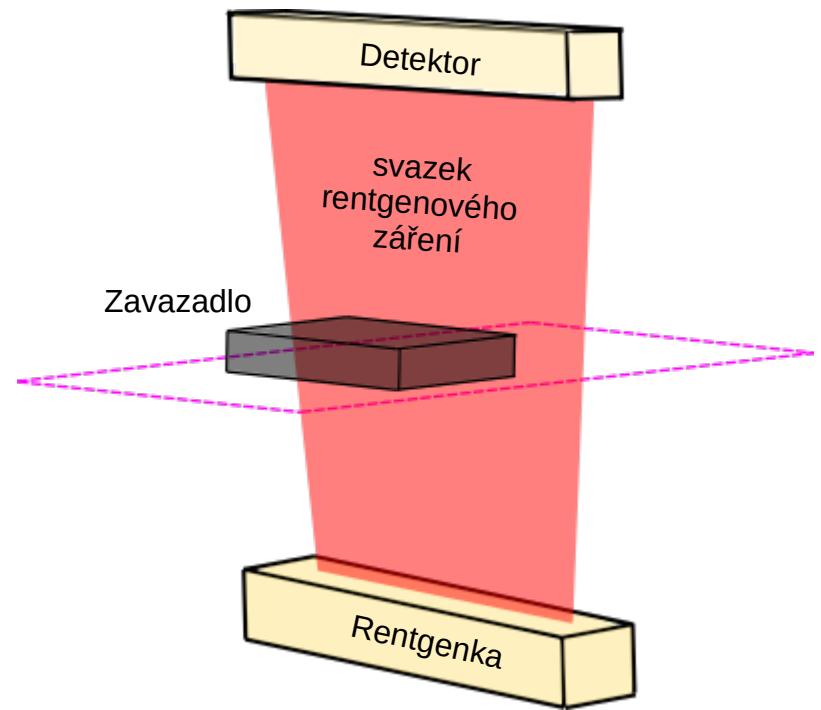
### 3. Rentgeny a skenery

## Rentgeny

- Rentgeny slouží k detekci **skrytých** předmětů. Často se používají na vstupech do chráněných objektů ke zjištění obsahu zavazadel kontrolovaných osob, nebo ke zjištění nákladu na korbě kontrolovaného vozidla.



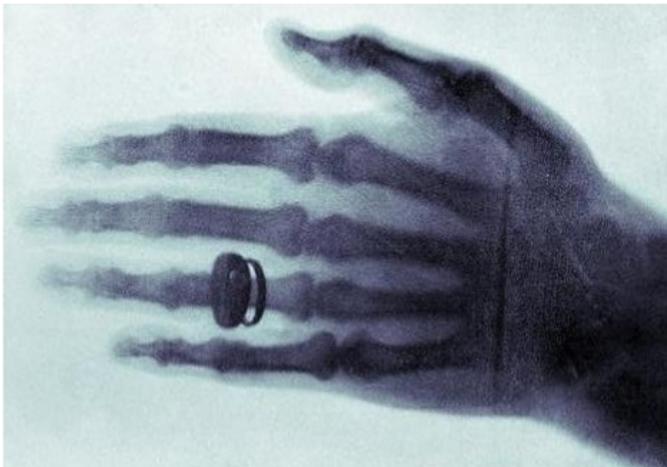
Rentgen ke kontrole zavazadel



Vnitřní uspořádání rentgenu ke kontrole zavazadel

## Prvky rentgenu

- Rentgenové záření je elektromagnetické záření má vlnovou délku od **10 do 0,01 nm**, což odpovídá kmitočtům v rozsahu 30 až 30 000 PHz (P = peta), kde  $1 \text{ PHz} = 10^{15} \text{ Hz}$ .
- Rentgeny jsou založeny na skutečnosti, že rentgenové záření procházející objektem je různými materiály **různě pohlcováno**. Měřením intenzity vystupujícího záření lze odvodit strukturu materiálů uvnitř daného objektu.
- Rentgeny sestávají:
  - ze **zdroje** rentgenového záření,
  - z **detektoru** rentgenového záření,
  - ze **zobrazovací** jednotky.



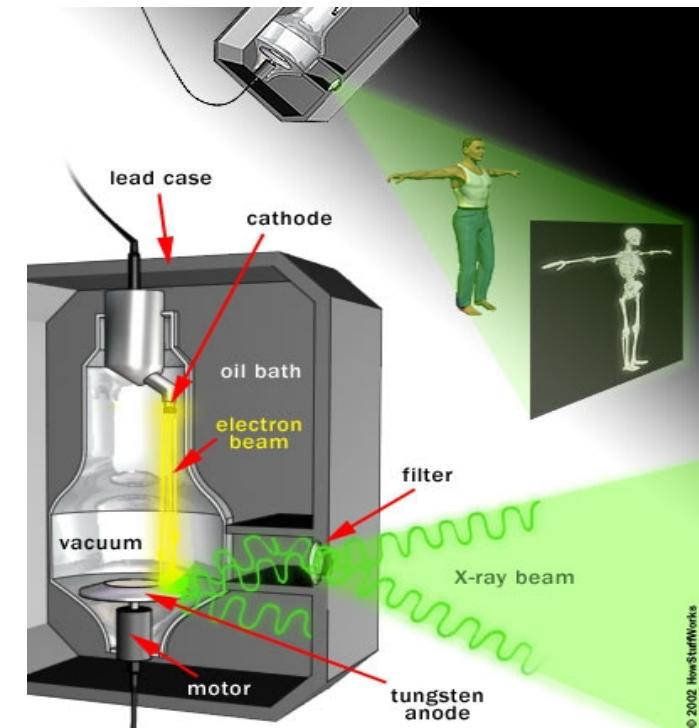
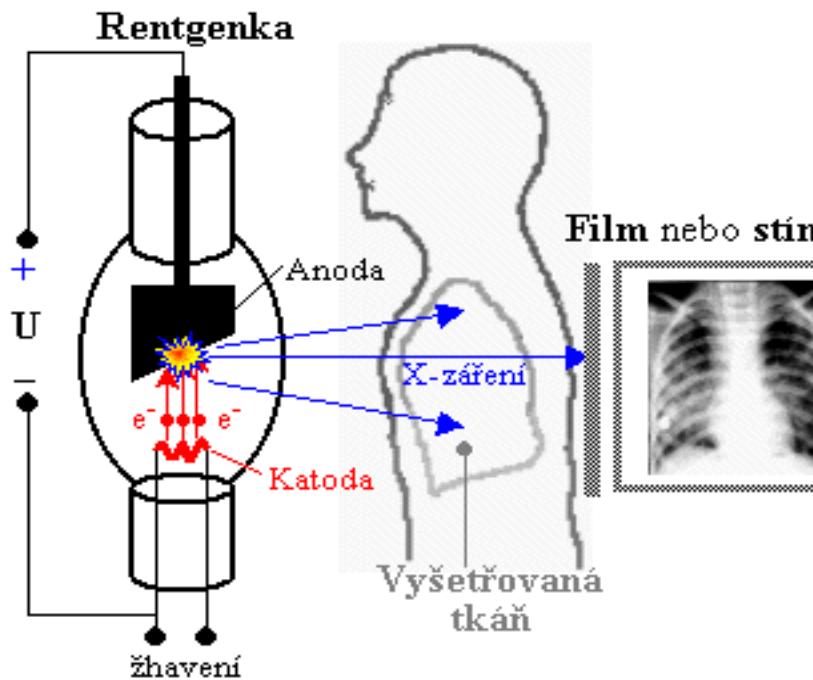
Snímek ruky Röntgenovy manželky



Wilhelm Conrad Röntgen

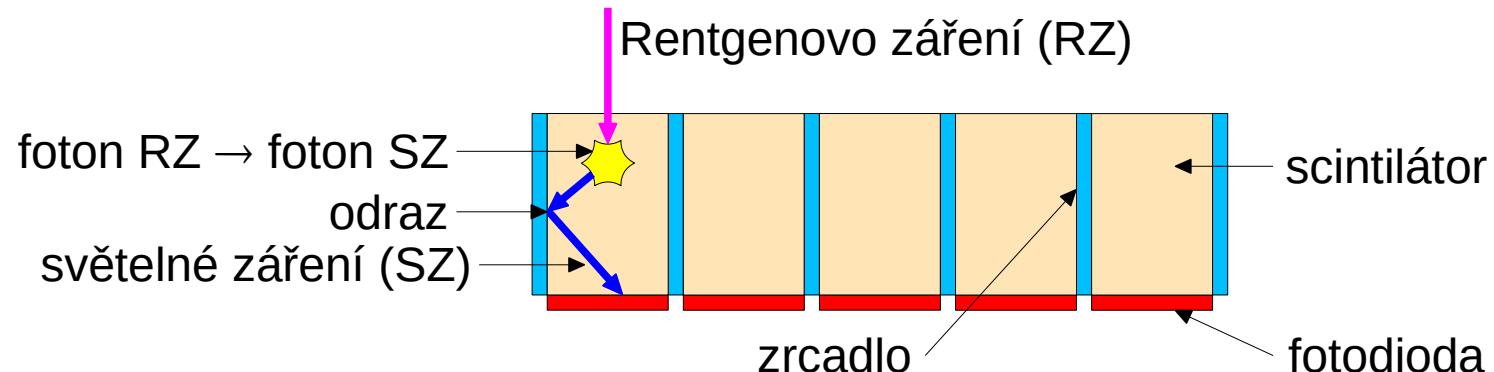
## Rentgenka

- Jako zdroj záření se u rentgenů používají tzv. **rentgenky**, což jsou speciální elektronky obsahující dvě elektrody – **žhavenou katodu** a **chlazenou anodu**.
- Z katody emitované elektrony jsou urychleny silným elektrickým polem a tak vysokou rychlostí dopadají na chlazenou anodu. Při dopadu části elektronů se jejich kinetická energie přemění na vysokoenergetické kvantum záření - na tzv. **rentgenovský foton**.



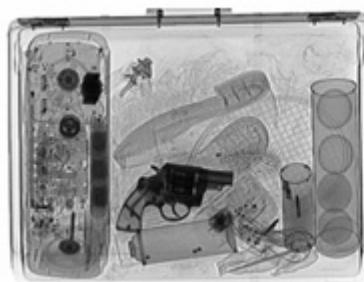
## Detekční jednotka rentgenu

- Ke snímání obrazu způsobeného rentgenovým zářením se obvykle využívají optické snímače. Tyto **matice fotodiod** známe z přednášky o kamerách (viz Dohledové videosystémy). Odlišnost spočívá v tom, že pixely jsou zde mnohem větší (řádově mm).
- Protože Rentgenovo záření by takovýmito strukturami snadno procházelo (tj. byla by absorbována jen malá část záření), tak se nad fotodiody umisťuje ještě vrstva **scintilačního materiálu** (viz obrázek).
- Scintilátor** je látka, jejíž elektrony se po dopadu fotonů záření (v našem případě Rentgenova) dostávají na energeticky **vyšší** hladinu. Po krátké době se však vrátí na původní hladinu a přitom **vyzáří** foton viditelného, nebo infračerveného světla. Tyto fotony pak dopadají na fotodiodu pod nimi, kde v důsledku fotoelektrického jevu generují elektrický náboj. Ten se měří a z jeho velikosti se odvozuje množství Rentgenových fotonů, které na daný pixel dopadly.



## Zobrazovací jednotka

- Zobrazovací jednotka provádí **zpracování obrazu** získaného z detektoru záření.
- Zpravidla se jedná o počítač, který provádí **standardní grafické operace**, jako je:
  - standardní černobílé zpracování,
  - černobílé reverzní zpracování,
  - zvýraznění hran,
  - zvýraznění kontrastu,
  - zoom apod.
- Často se obraz **podle intenzity** zachyceného záření barevně odlišuje ve škále **oranžová – zelená – modrá**, což zhruba odpovídá přiřazení **organický – anorganický – kovový** materiál.



Černobílý obraz.



Obraz s barevným odlišením.



Číňanka, která se při kontrole zavazadel před nástupem do vlaku nechtěla odloučit od svého zavazadla a naskočila spolu s ním na dopravníkový pás rentgenu.

## Klasifikace rentgenů

- Klasifikace rentgenů:
  - mobilní,
  - komorové,
  - pásové,
  - pro osoby.



## Rentgeny pro osoby

- Rentgeny pro osoby (tzv. Backscatter X-ray) na rozdíl od ostatních rentgenů nevyužívají absorpci záření, ale jeho **rozptyl**. Příkladem tohoto typu rozptylu je duha.
- Osoba je ozařována rentgenovým zářením o nízké intenzitě a vyhodnocuje se rozptýlené záření.
- Materiály tvořené atomy s **velkým atomovým číslem** (kovy, keramika) rentgenové záření spíše pohlcují než-li rozptylují. Naopak materiály tvořené atomy s **nízkým atomovým číslem** (organické materiály, drogy, výbušniny) rentgenové záření významně rozptylují (tzv. Comptonův jev).

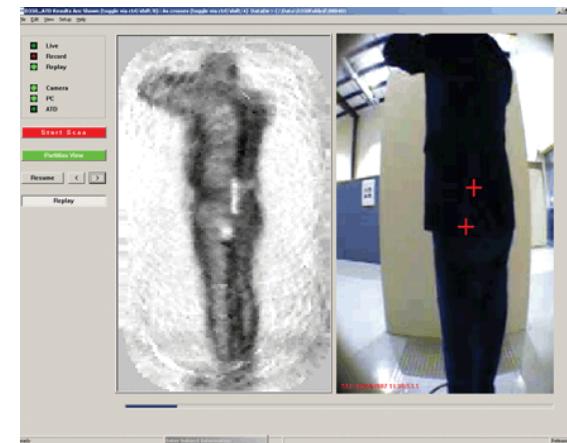


Průchozí rentgen pro osoby.

Susan Hallowellová (ředitelka výzkumné laboratoře Transportation Security Administration).

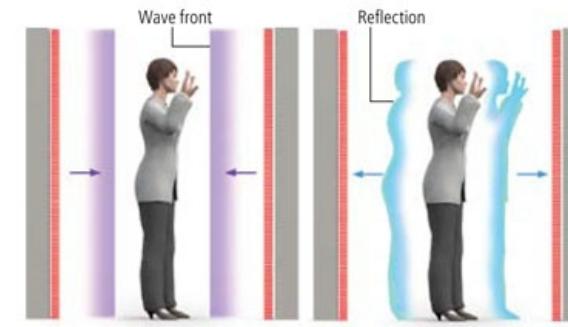
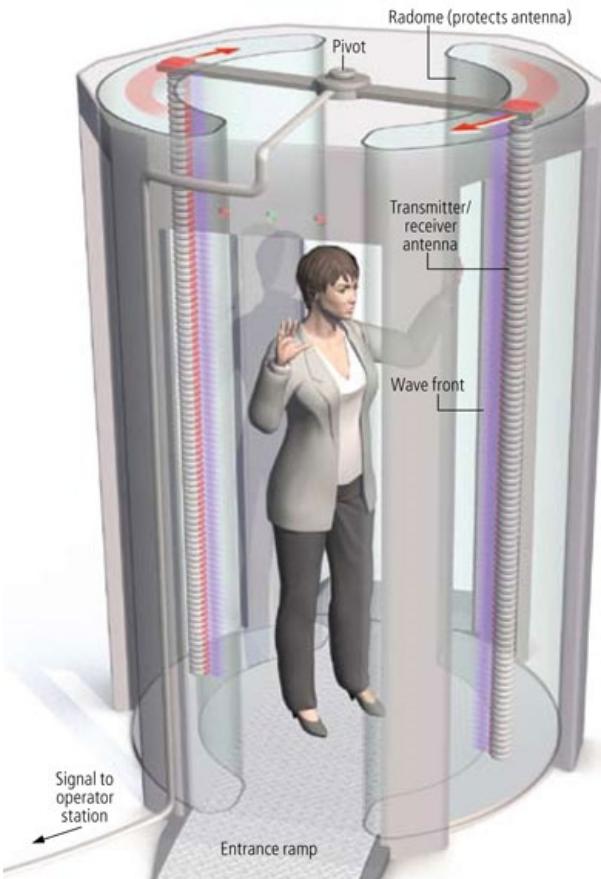
## EFH skenery (1/2)

- **EFH** (Extremely High Frequency) pásmo: pásmo elektromagnetických vln od **30 do 300 GHz** (tzv. milimetrové pásmo). Je to pásmo na pomezí rádiových vln a infračerveného záření.
- Zdrojem EFH záření je i lidské **tělo**. EFH záření relativně snadno proniká **oděvem**.
- Typy EFH skenerů:
  - pasivní,
  - aktivní.
- **Pasivní** EFH skener: přijímač zachytává EFH záření generované lidským tělem. Předměty, které má osoba pod oděvem se jeví tmavší, protože nejsou zdrojem EFH záření.



## EFH skenery (2/2)

- **Aktivní** EFH skener: vysílač generuje EFH záření a přijímač zachytává odraženou část záření. Sestrojí se 3D obraz lidského těla, na kterém se pak vyhledávají případné předměty skryté pod oděvem.



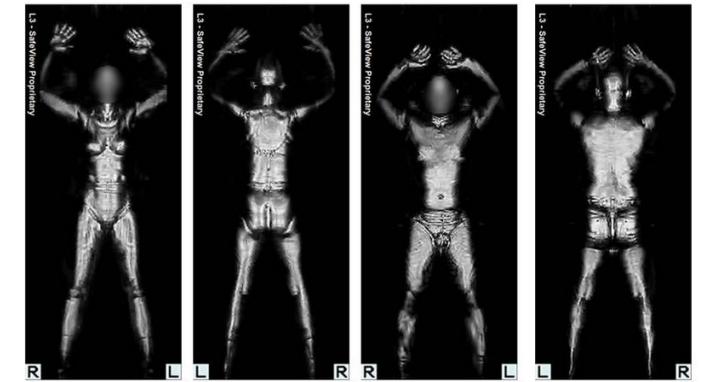
### MILLIMETER-WAVE IMAGING

A passenger steps inside. Two vertical banks of transmitter/receivers pivot in tandem, each emitting a wave front that penetrates clothing and reflects off the person's body and any concealed objects. For privacy, the security operator viewing the resulting image sits at a remote location.

Scan time = 10 seconds

Beam frequency = 24–30 GHz

Beam power density =  $6 \times 10^{-6}$  mW/cm<sup>2</sup>



## Terahertzové skenery

- **Terahertzové** záření (T-rays): elektromagnetické záření v pásmu 300 GHz – 3 THz.
- Terahertzové skenery pracují analogicky jako EFH skenery.
- Na trhu jsou v současné době pouze skenery **pasivního** typu, tj. skenery využívající terahertzové záření generované lidským tělem.



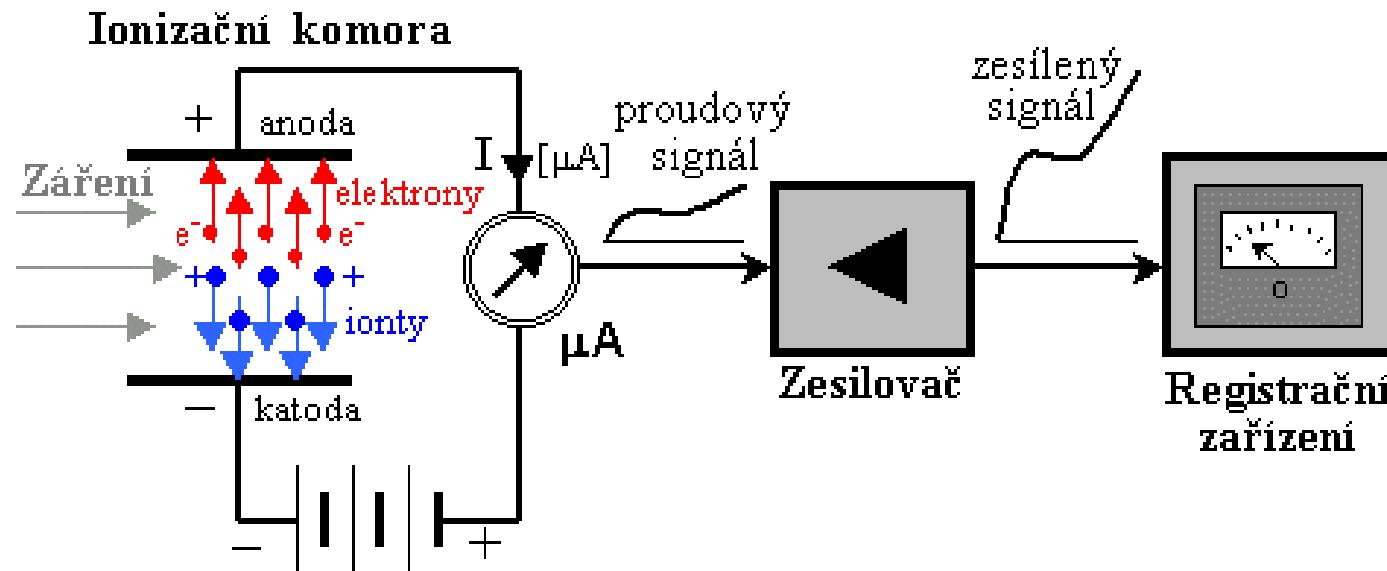
## 4. Detektory radioaktivního záření

## Detekce radioaktivních látek

- Radioaktivní látky **ohrožují** lidské zdraví a lze s nimi sestrojit velmi výkonné **zbraně**. Proto podléhají velice přísné regulaci.
- Detektory radioaktivních látek se většinou **umisťují** v blízkosti pásových rentgenů jako doplněk bezpečnostní prohlídky.
- K detekci radioaktivních látek se využívá jejich **radioaktivní záření**.
- Druhy radioaktivního záření jsou záření  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ .
- Záření  $\alpha$  je proud jader helia ( $\alpha$ -částic) a nese kladný elektrický náboj, má nejkratší dosah (lze ho zastavit např. i listem papíru).
- Záření  $\beta$  je proud záporně nabitéch elektronů. Lze ho zachytit 1 cm plexiskla nebo 1 mm olova.
- Záření  $\gamma$  je elektromagnetické záření vysoké frekvence, neboli proud velmi energetických fotonů. Nemá elektrický náboj, a proto nereaguje na elektrické pole. Na polovinu ho zeslabí 1 cm olova, nebo 6 cm betonu.

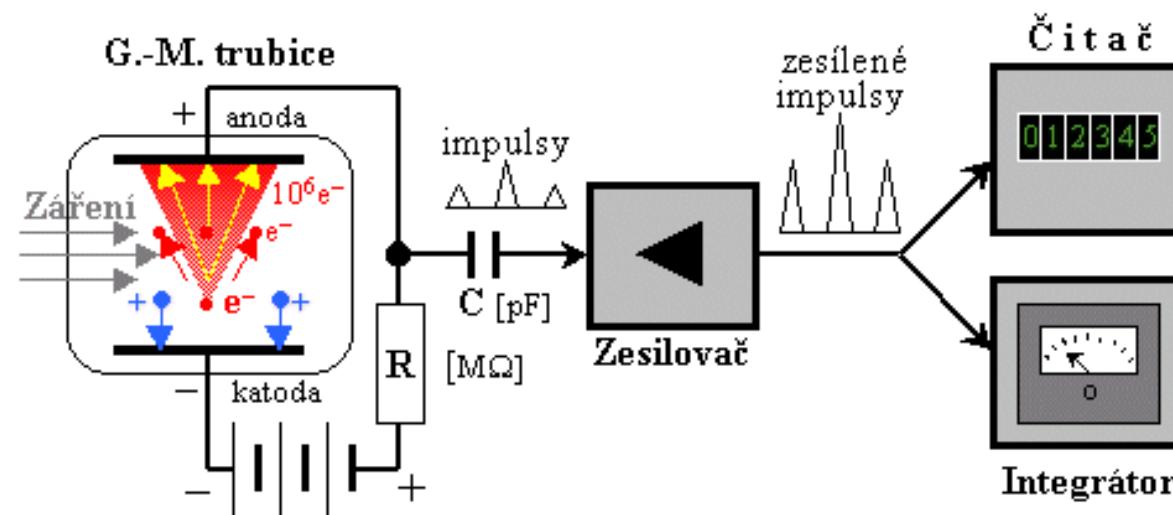
## Ionizační komora

- K detekci radioaktivního záření se nejčastěji používají **ionizační komory**, nebo **Geiger-Müllerovy trubice**.
- **Ionizační komora**: záření ionizuje plyn v ionizační komoře. Volné elektrony přitahuje anoda a kladné ionty přitahuje katoda. Mezi elektrodami komory tak začne protékat proud (cca  $10^{-16}$  až  $10^{-9}$  A), který indikuje radioaktivní záření. Tento princip již známe z přednášky o EPS (ionizační detektory kouře).



## Geiger-Müllerova trubice

- **Geiger-Müllerova trubice**: kvanta záření ionizují plyn v trubici. Plyn je zředěný a napětí na elektrodách dostatečně vysoké a tak je střední volná dráha každého elektronu natolik dlouhá, aby získal kinetickou energii k **vyrážení** dalších elektronů z atomů plynu. Takto uvolněné elektrony pak vyrážejí další elektrony atd. Dochází tak k **lavinovému** růstu intenzity elektrického proudu. Ten indikuje přítomnost kvant záření.
- Lavinový proces se musí **omezovat** velkým odporem R a zhášecí příměsí v ionizovaném plynu (např. páry bromu).



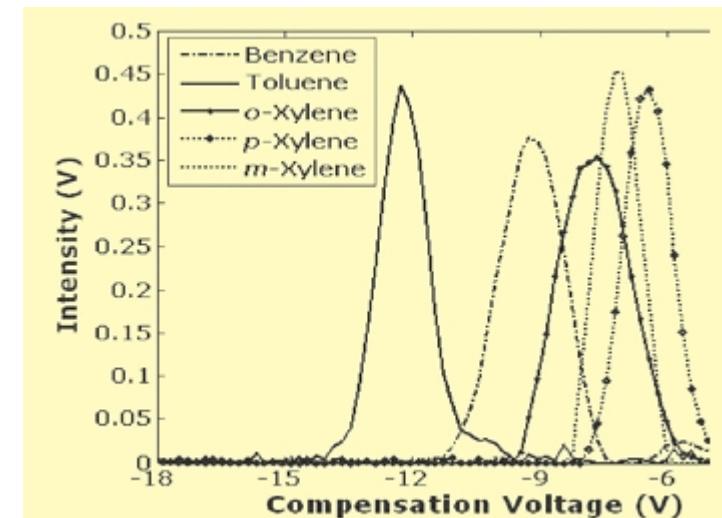
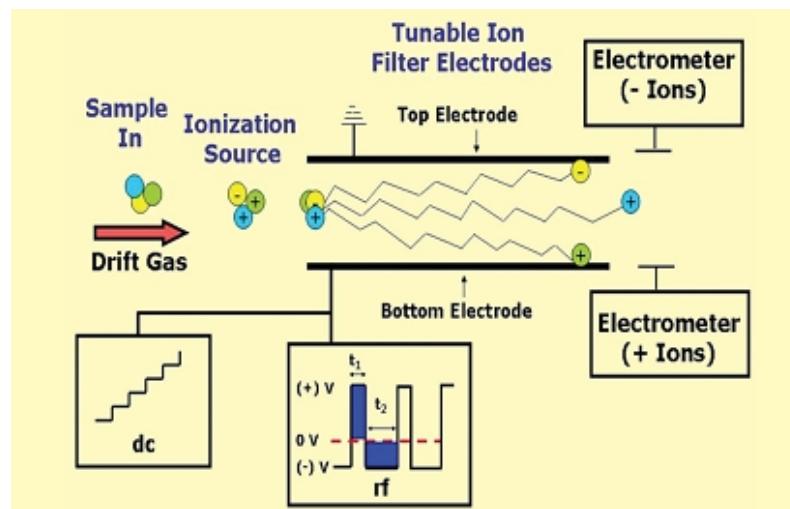
## 5. Spektrometrické detektory

## Detekce nebezpečných látok

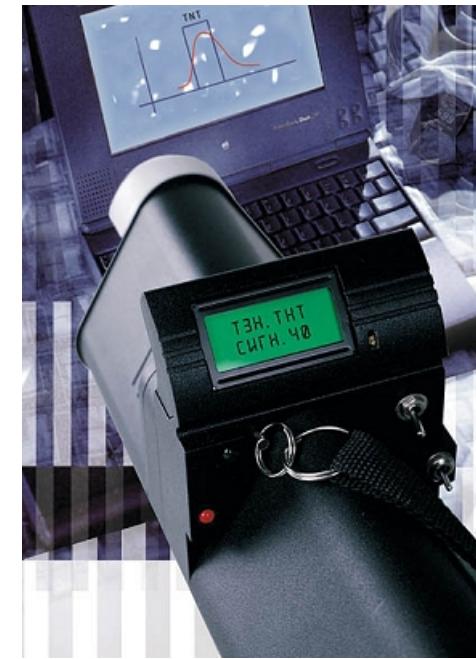
- Nebezpečné látky:
  - výbušniny,
  - drogy,
  - otravné látky.
- Princip detekce: odsáním vzduchu z okolí nebo střem z předmětu se získá vzorek, který se analyzuje a testuje se přítomnost charakteristických látok.
- K detekci se používají:
  - pes,
  - strojové analyzátoru.
- Ze strojových technologií se nejčastěji používá:
  - iontová spektroskopie,
  - Ramanova spektroskopie.

## Iontová (hmotnostní) spektroskopie

- Princip: využívá se různá **pohyblivost iontů** v elektrickém poli.
- Vzorek se ionizuje beta zářičem a je veden do komory se dvěma elektrodami. Jedna elektroda je uzemněna a na druhou se přivádí nesymetrické **střídavé elektrické napětí U**.
- Na konec komory, kde je iontový detektor, se dostanou pouze ionty které jsou pro daný průběh napětí U **jedinečné**. Tím je možné ionty klasifikovat.

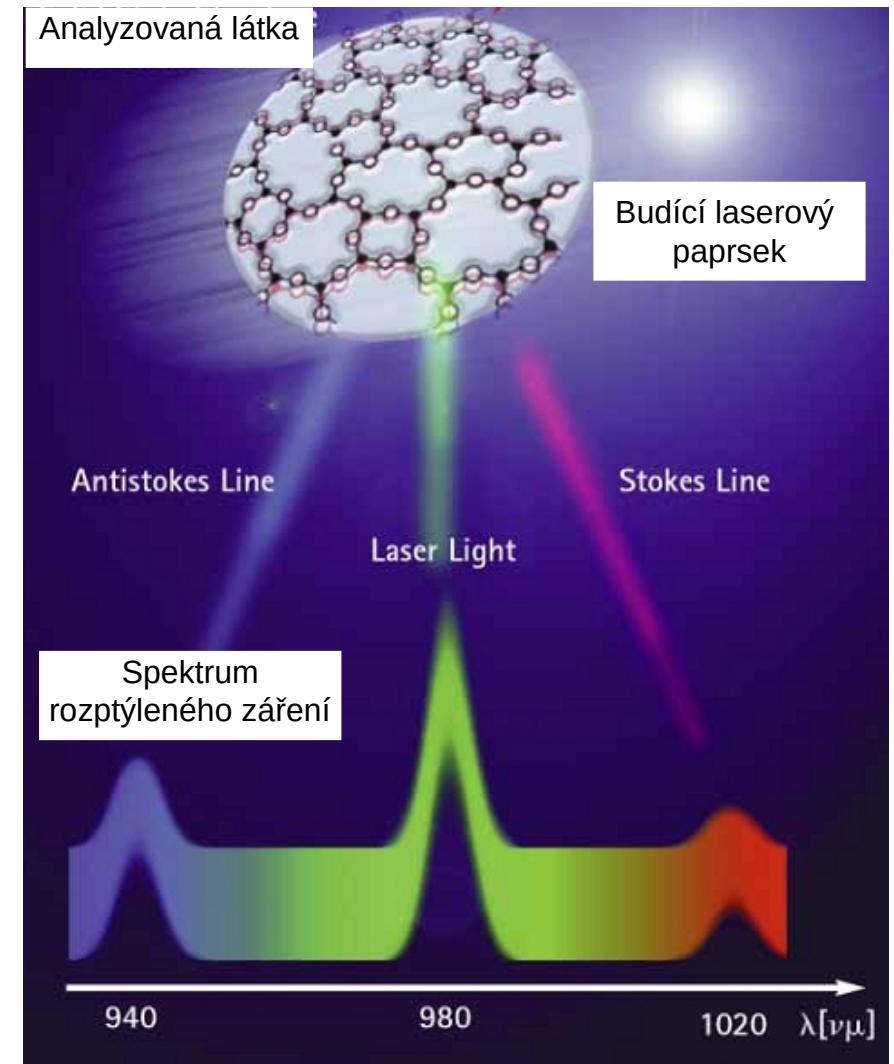


## Detektor výbušnin založený na iontové spektroskopii



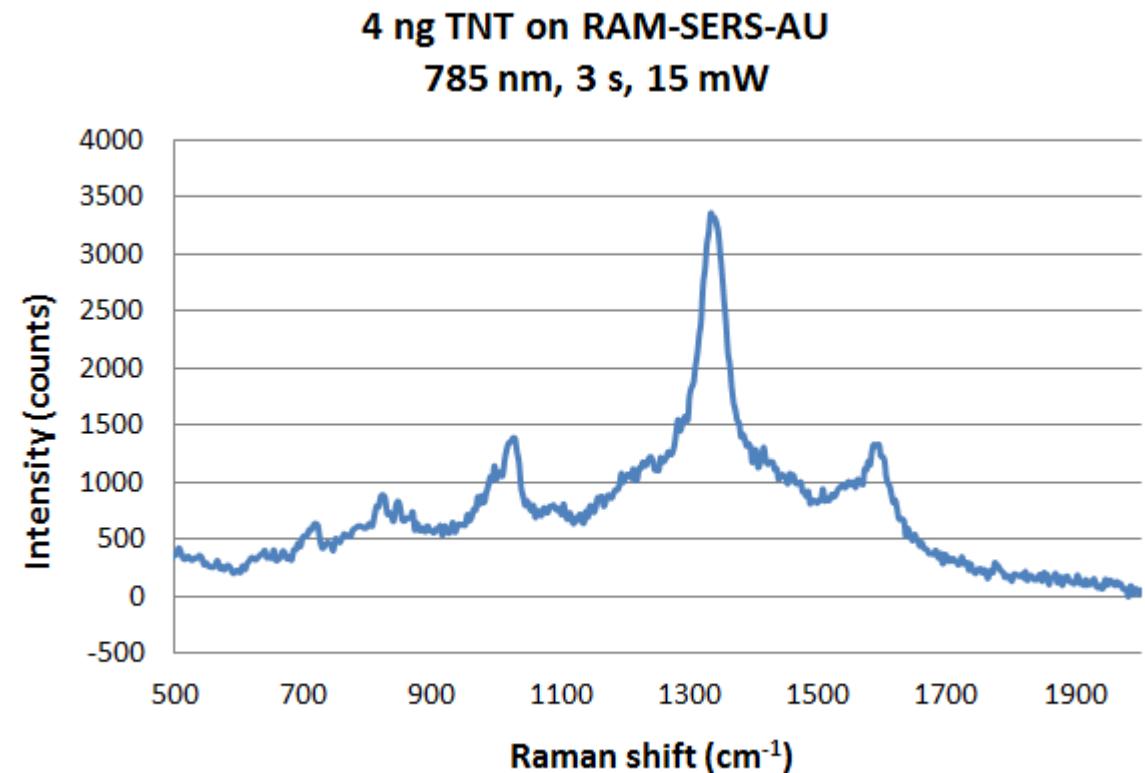
## Ramanův jev

- **Ramanův jev** (rozptyl): s tímto jevem jsme se již setkali u optovláknových detektorů EPS.
- Ramanův jev vzniká při **excitaci** elektronů pomocí fotonů dopadajícího světla.
- Návratem elektronů z excitovaného stavu do základního vznikají fotony s **jinou** vlnovou délkou než má dopadající záření a s různými směry šíření (tzv. rozptylené záření) .
- K detekci látok na základě Ramanova záření se využívá skutečnost, že spektrum rozptyleného záření **závisí také na chemickém složení látky**.



## Ramanova spektroskopie

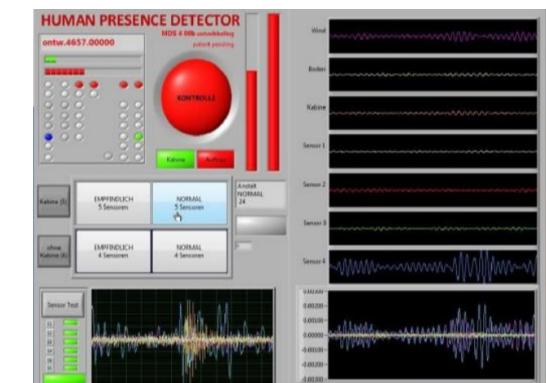
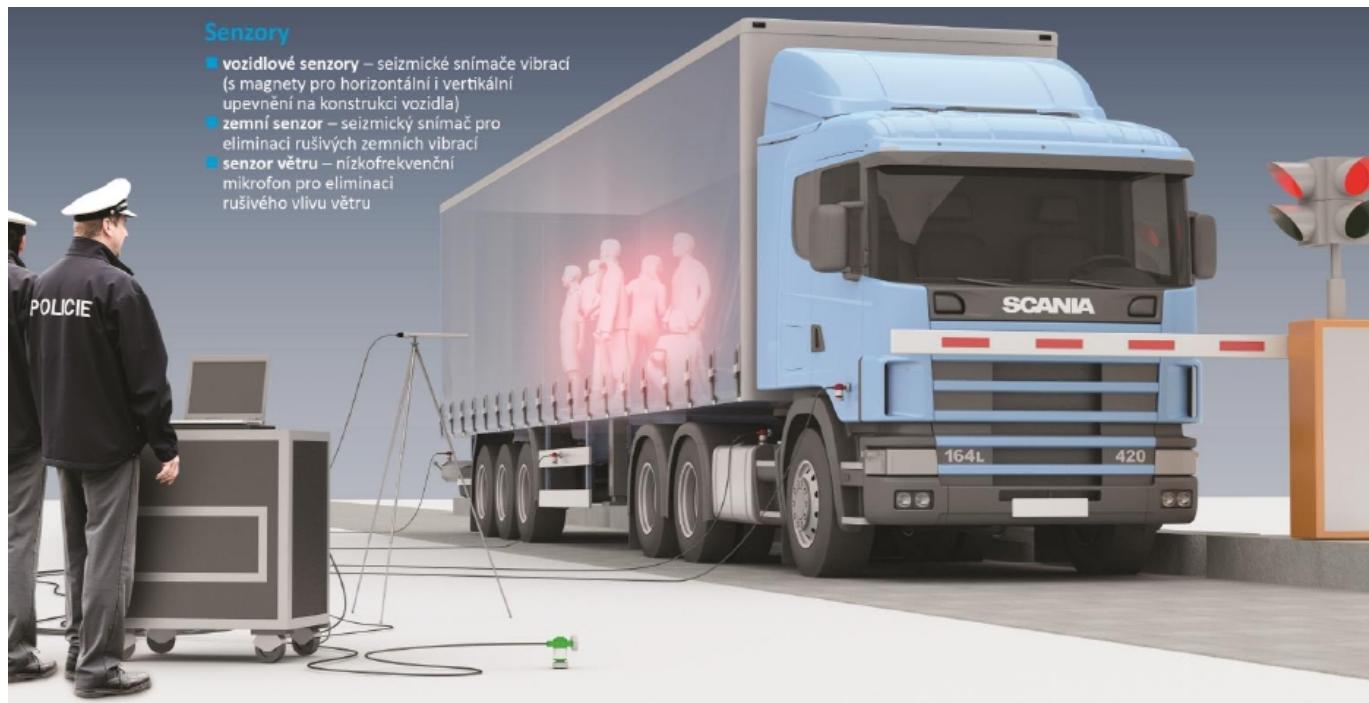
- Zkoumaná látka se Ramanovým **spektrometrem** (obr. vlevo) ozařuje, zachytává se rozptýlené Ramanovo záření a jeho spektrum se analyzuje.
- Každá látka má své **charakteristické** spektrum, podle něhož ji lze detektovat. Na obrázku vpravo je Ramanovo spektrum trhaviny **TNT** (Trinitrotoluen).



## 6. Detekce skrytých osob

## Detekce osob skrytých v dopravním prostředku

- V souvislosti s útoky teroristů a s nelegální migrací se začaly používat prostředky, které umožňují detektovat **osoby skrývající se** v dopravním **prostředku**, či za **zdí**.
- K detekci osob v dopravních prostředcích se nejčastěji používají **snímače otřesů**, které se magneticky přichytí k vozidlu. Signály z několika takovýchto snímačů se softwarově vyhodnocují, přičemž se obvykle vyhledává signál odpovídající tlukotu srdce („heartbeat detector“).



## Detekce osob skrytých za zdí

- K detekci osob skrytých za zdí se obvykle využívá **Dopplerův radar** pracující v gigahertzovém pásmu.
- Dopplerův jev známe z mikrovlnných detektorů, kdy přibližováním, resp. vzdalováním objektu dochází ke **změně** kmitočtu **odražených** vln.
- Citlivost detektorů dovoluje detekovat nejen **pohyb** osob v místnosti za zdí, ale dovoluje detekovat i **nepohybující** se osoby na základě pohybu jejich srdce a plic.



## 7. Detektory plynů

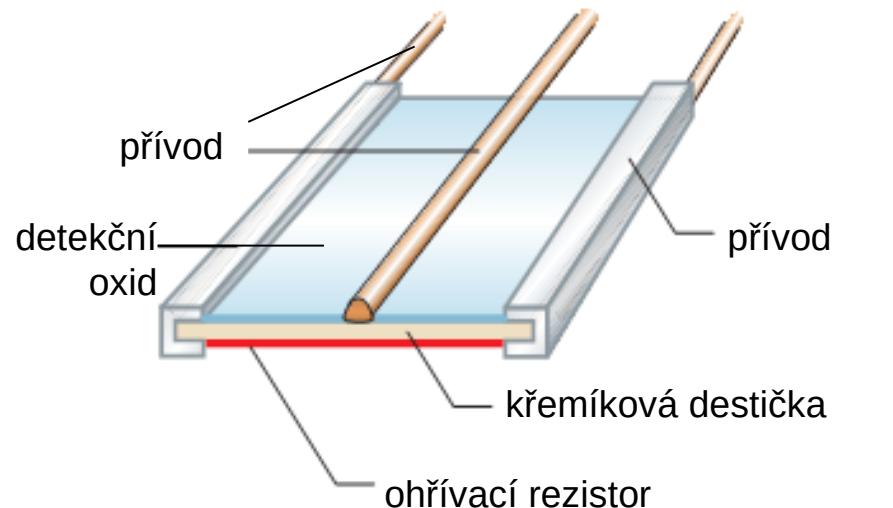
## Senzory plynů

- **Senzory plynů** detekují nebezpečnou koncentraci vybraných druhů plynů jako je svítiplyn, zemní plyn, LPG, nebo oxid uhelnatý. Používají se zejména pro domácnosti a garáže.
- Typy:
  - polovodičové,
  - infračervené,
  - elektrochemické.



## Pоловodičové senzory plynů (1/2)

- **Princip:** v případě výskytu plynu se změní **vodivost** detekčního materiálu. Detekčním materiélem bývá oxid některého z přechodných kovů (např. cín nebo hliník).
- **Uspořádání:** na destičce křemíku je nanесена tenká vrstva oxidu přechodného kovu. Detekční obvody měří elektrickou vodivost v této vrstvě. Destička je **zahřívána** na vysokou teplotu a v případě výskytu sledovaného plynu dojde na vrstvě oxidu k rozštěpení molekul plynu na ionty a volné elektrony. Tyto elektrony zvýší vodivost vrstvy oxidu a tím je plyn detekován.



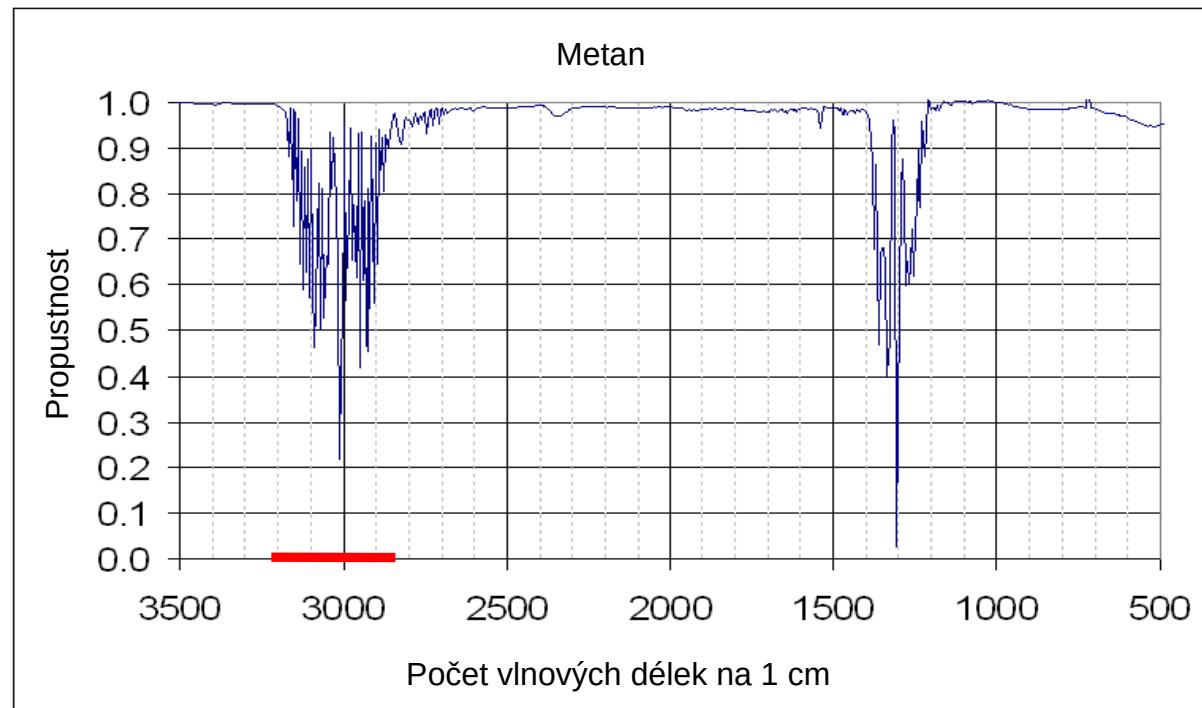
## Plovodičové senzory plynů (2/2)

- **Vlastnosti:**
  - detekuje velmi široké spektrum plynů.
  - dobrá citlivost,
  - rychlá reakce (desítky sekund),
  - pracovní teploty: -20 až +50 °C,
  - dlouhá životnost (cca 10 let).
- Pozn.: Druh detekovaného plynu se **nastavuje** volbou teploty a případně volbou oxidu.



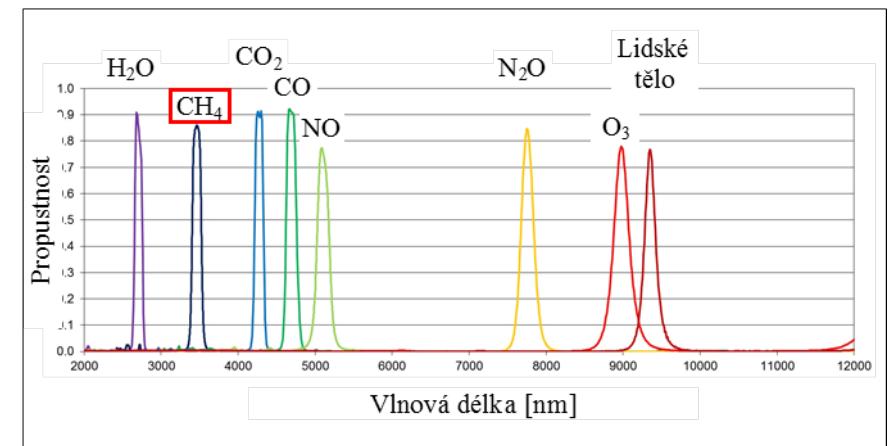
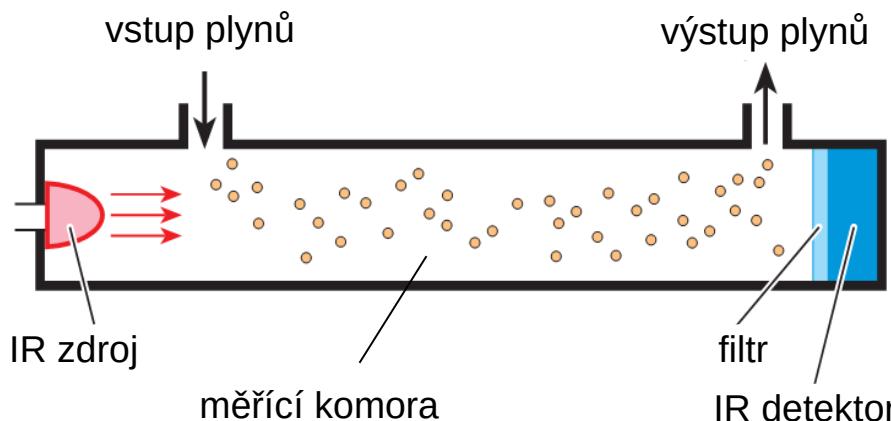
## Infračervené senzory plynů (1/3)

- **Princip:** průchodem infračerveného záření plynem jsou některé části IR spektra absorbovány. Absorbované kmitočty závisí na druhu plynu.
- **IR spektrogram metanu:**



## Infračervené senzory plynů (2/3)

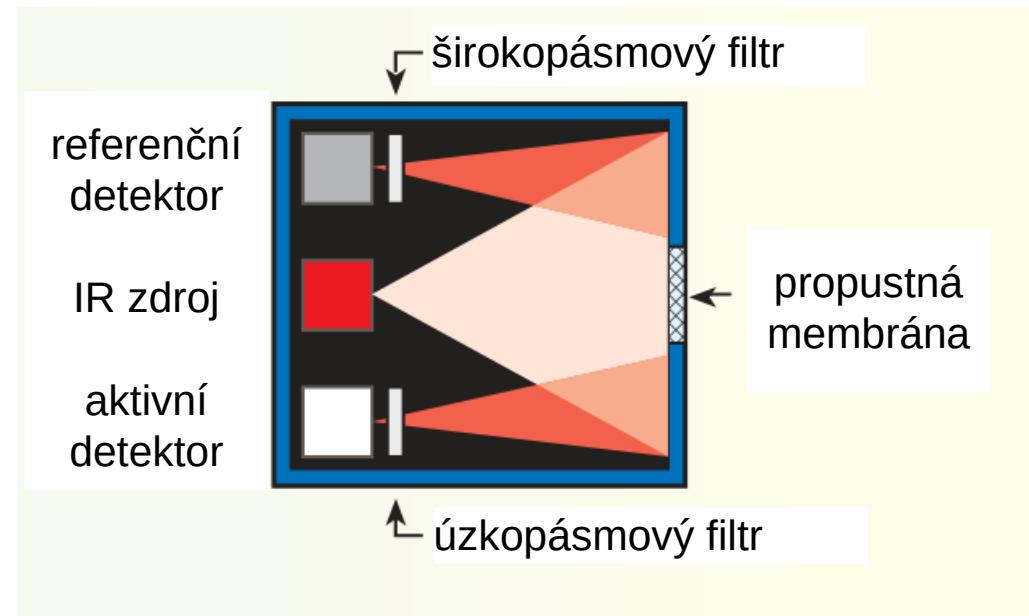
- Uspořádání IR senzoru plynů (obr. vlevo):
  - **zdroj IR záření**: generuje IR záření s velkou šířkou spektra (zpravidla IR dioda).
  - **měřící komora**: prostor měření plynu. Plyn se do komory vhání pod tlakem, nebo volně vstupuje propustnou membránou.
  - **IR filtr**: propouští pouze tu část spektra, ve které je sledovaný plyn absorbován. Obrázek vpravo ilustruje dostupné filtry pro různé plyny a pro lidské tělo.
  - **detektor IR záření**: měří intenzitu dopadajícího IR záření (zpravidla pyroelektrický detektor). Pokud se intenzita sníží, tak se v komoře nachází plyn, který absorbuje fotony, pro které je filtr nastaven.



Zkratky zleva doprava: vodní páry, metan, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxid dusný, oxid dusičitý, ozón.

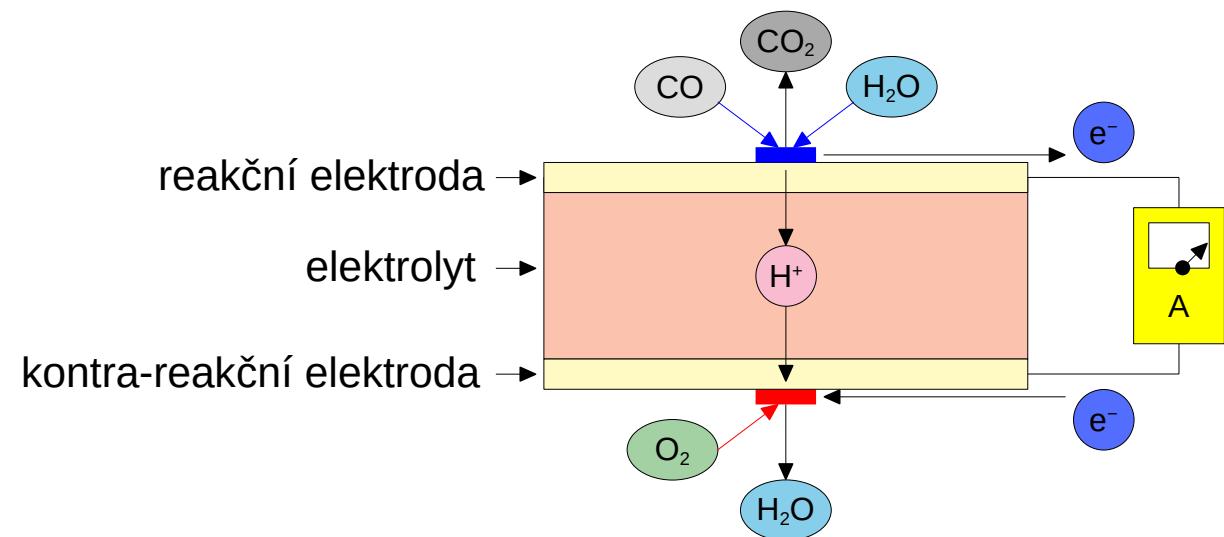
## Infračervené senzory plynů (3/3)

- **Vlastnosti:**
  - detekuje široké spektrum plynů.
  - dobrá citlivost,
  - rychlá reakce (do 1 minuty),
  - pracovní teploty: -20 až +50°C,
  - dlouhá životnost (cca 10 let).
- Pozn.: Druh detekovaného plynu se **nastavuje** volbou filtru před aktivním detektorem IR záření.



## Elektrochemické senzory plynů (1/2)

- Tento typ senzoru je prakticky **galvanický článek**, kde spouštěčem elektrochemické reakce je sledovaný plyn. Fungování senzoru si vysvětlíme na případu oxidu uhelnatého.
- Senzor k detekci oxidu uhelnatého (obr. vlevo) sestává z **reakční** a **kontra-reakční** elektrody, mezi nimiž je **elektrolyt** (obr. vpravo). Kontra-reakční elektroda je uzemněna.
- Když se oxid uhelnatý CO dostane do kontaktu s reakční elektrodou, dojde na ní k oxidaci CO molekulami vody ze vzduchu:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ . Vzniklé **volné nosiče nábojů** putují k uzemnění, tj. k opačné elektrodě. Elektrony  $\text{e}^-$  přes vnější měřící obvod a protony  $\text{H}^+$  přes elektrolyt. Na kontra-reakční elektrodě pak dochází k reakci se vzdušným kyslíkem:  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , čímž volné nosiče nábojů zanikají. Tok elektronů vnějším obvodem však přítomnost sledovaného plynu **prokazuje**.



## Elektrochemické senzory plynů (2/2)

- **Vlastnosti:**
  - detekuje poměrně široké spektrum plynů.
  - dobrá citlivost,
  - rychlá reakce (do 1 minuty),
  - pracovní teploty: -40 až +45 °C,
  - střední životnost (cca 2 roky).

- **Pozn.:**

Druh detekovaného plynu se **určuje** materiélem elektrod.



## 8. Závěr

## Závěr

- Detektory **kovů**: založeny na elektromagnetických jevech v blízkosti cívky.
- **Skenery**: zobrazují předměty pod oděvem osob.
- **Rentgeny**: zobrazují obsah zavazadel a vozidel, případně i předměty pod oděvem osob.
- Detektory **radioaktivního záření**: založeny na detekci ionizace,
- **Spektrometrické** detektory: založeny na specifické interakci budícího záření a hledaného materiálu.
- Detektory **plynů**: umožňují detektovat nebezpečné plyny.
  
- Každý z detektorů má svoji doménu použití, své **výhody**, ale i **slabiny**.
- Vývoj proto směřuje k **integraci** různých typů detektorů.
  
- Otázka ke zkoušce: není.