

Perspektivní metody bezpečnostních prohlídek osob a zavazadel

Radek Matějka

Bakalářská práce
2008

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav elektrotechniky a měření
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek MATĚJKA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Perspektivní metody bezpečnostních prohlídek osob a zavazadel**

Zásady pro vypracování:

1. Specifikujte problémy v oblasti bezpečnostních prohlídek osob a zavazadel na letištích.
2. Analyzujte současné metody a prostředky bezpečnostní kontroly osob a zavazadel.
3. Charakterizujte bezpečnostní rentgeny pro kontrolu na letištích
4. Popište prostředky pro osobní prohlídku na letištích
5. Navrhněte perspektivní metody osobních prohlídek na letištích.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Johan, Z.--Rotter, R.--Slánský, E. Analýza látek rentgenovými paprsky. Praha : SNTL 1970, ISBN 04-619-70
2. Tureček, J. Dosavadní průběh výzkumu "Rentgenová detekce výbušnin". Bezpečnostní teorie a praxe č. 1/2006, 91 -- 100 str.
3. Tureček, J.: Technické prostředky bezpečnostních služeb II – Detektory pro bezpečnostní prohlídku osob, zavazadel a zásilek. Praha, PA ČR, 1998, ISBN 80-85981-81-5.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Luděk Lukáš, CSc.

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

22. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan


ředitel ústavu

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá perspektivními metodami bezpečnostních prohlídek osob a zavazadel na letištích. Popisuje princip a technologický vývoj detektorů kovů a bezpečnostních rentgenových detektorů. Dále analyzuje nové metody a technologické postupy, které v budoucnu mohou zefektivnit průběh bezpečnostních prohlídek.

Klíčová slova:

detektor kovu, rentgenový detektor, rentgenové záření, Comptonův jev, počítačová tomografie, plynová chromatografie, nukleární magnetická rezonance, hmotnostní spektrometrie

ABSTRACT

This work describes the future advanced methods of safety checks of persons and luggage at the airports. It describes the principle and the technological progression of metal detectors and x-ray screening systems. The work also analyse the new methods and the technological developments which can in the future make security checks more effective.

Keywords:

metal detector, x-ray screening system, x-rays, Compton effect, computed tomography, gas-liquid chromatography, nuclear magnetic resonance, mass spectrography

Poděkování

Velmi rád bych touto formou poděkoval panu doc. Ing. Luďku Lukášovi, CSc za odborné vedení mé bakalářské práce, připomínky, rady a také pomoc, kterou mi poskytl při jejím zpracování a panu Ing. Zdeněku Truhlářovi z Letiště Praha, s. p. za umožnění přístupu k interním materiálům a spolupráci.

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 SPECIFIKACE PROBLÉMŮ BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK NA LETIŠTÍCH.....	12
2 ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD A PROSTŘEDKŮ BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK NA LETIŠTÍCH	16
3 POPIS A ROZDĚLENÍ PROSTŘEDKŮ BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK.....	20
3.1 ROZDĚLENÍ TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ PRO OSOBNÍ PROHLÍDKU	20
3.2 DETEKTORY KOVŮ	23
3.2.1 Základní fyzikální principy využívané u detektorů kovu	24
3.2.2 Rozdělení detektorů kovu podle technologického vývoje	27
3.2.3 Základní pojmy týkající nastavení a obsluhy průchozích rámových detektorů.....	32
3.3 DETEKTORY RADIOAKTIVNÍHO ZÁŘENÍ.....	35
3.4 JADERNÁ KVADRUPÓLOVÁ DETEKCE	35
3.5 MILIVIZE.....	36
3.6 NEUTRONOGRAFIE.....	38
3.7 SKENERY NA BÁZI RF	38
3.8 PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE	39
3.9 DETEKCE ZALOŽENÁ NA SPEKTROMETRII POHYBLIVOSTI IONTŮ.....	42
3.10 Hmotnostní spektrometrie	43
4 CHARAKTERISTIKA BEZPEČNOSTNÍCH RENTGENŮ	44
4.1 HISTORIE OBJEVU RTG ZÁŘENÍ	44
4.2 FYZIKÁLNÍ PODSTATA RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ	46
4.2.1 Interakce záření s materiálem zkoumaného objektu	50
4.3 ROZDĚLENÍ BEZPEČNOSTNÍCH RENTGENŮ	52
4.3.1 Bezpečnostní rentgeny I. generace	52
4.3.2 Bezpečnostní rentgeny II. generace.....	53
4.3.3 Bezpečnostní rentgeny III. generace.....	62
4.3.3.1 Rentgeny s dvojí energií a přídavným kolmým skenováním.....	62
4.3.3.2 Rentgeny s dvojí energií a vícepočetnou druhovou identifikací.....	62
4.3.3.3 Rentgeny s počítačovou tomografií	63
4.3.4 Automatizovaný systém zapsaných zavazadel	65
5 ZHODNOCENÍ A NÁVRH PERSPEKTIVNÍCH METOD KONTROLY OSOB A ZAVAZADEL	67

5.1	KOMPLEXNÍ ZHODNOCENÍ NEDOSTATKŮ POUŽÍVANÝCH SYSTÉMŮ	67
5.2	NÁVRH PERSPEKTIVNÍCH METOD BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK	69
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77

ÚVOD

Nedílnou součástí bouřlivého rozvoje letecké dopravy byl vznik specifických forem a projevů trestné činnosti. V první řadě se jednalo o snahu pašovat různé sledované, či zakázané předměty. Dále předměty jejichž pohyb, či šíření bylo cíleně legislativně regulováno. Jedná se zejména o zbraně, drogy, radioaktivní materiál, alkohol, cennosti, peníze, technologické postupy, nebo informace spojené s mocenským rozdělením světa. Pokusy únosů letadel a v poslední řadě fenomén dnešní doby – terorismus.

Výše uvedené důvody vedly k režimovým opatřením, vynakládání sil a prostředků minimalizace těchto nežádoucích projevů. V první řadě se jednalo o nasazení vycvičeného a kvalifikovaného personálu který prováděl bezpečnostní prohlídky osob a zavazadel, před vlastním vstupem na palubu letadla. Se vzrůstajícím počtem cestujících a množstvím přepravovaného zboží bylo nutné vyvinout technické prostředky, které by urychlily a zefektivnily bezpečnostní prohlídky. I v současné době, kdy se využívají nejrůznější technické prostředky bezpečnostních kontrol hraje lidský faktor roli klíčovou. Jednak člověk tyto technické prostředky ovládá a u plně automatizovaných dozírá na jejich bezvadný chod.

Osobní kontrola je stále nejúčinnějším prostředkem. Bohužel je zdlouhavá a je určitým nezanedbatelným zásahem do lidského soukromí a důstojnosti. Vzhledem k uvedenému bylo zapotřebí vyvinout bezkontaktní technické prostředky bezpečnostních kontrol, jak z důvodu urychlení procedury, tak z důvodu eliminace kontaktu s kontrolovanými osobami. Osobní prohlídka přichází ke slovu je-li na základě technické detekce důvodné podezření na přítomnost zakázaného předmět.

Události z 11. září 2001, se negativně zapsaly do historie lidstva a ukázaly, že terorismus je celosvětovou hrozbou a netýká se pouze středního východu. Jednalo se o sérii koordinovaných teroristických útoků, které se uskutečnily ve Spojených státech amerických. Podle oficiálního vyšetřování 19 mužů spojených s militantní islámskou organizací al-Kájda uneslo 4 letadla letící na komerčních linkách společnosti American Airlines a United Airlines. Dvě z nich narazila do Světového obchodního centra v New Yorku a způsobila jejich zničení. Třetí letadlo narazilo do budovy Pentagonu, sídla Ministerstva obrany Spojených států amerických v hlavním městě USA, Washingtonu. Čtvrté letadlo se zřítilo v neobydlené oblasti v Pensylvánii po souboji mezi teroristy a pasažéry o ovládnutí letadla. Letadlo letělo na Washington a spekuluje se o cíli, jednalo se pravděpodobně o Bílý dům, nebo Kapitol. Při útocích zahynulo celkem 3000 lidí.



Obr. 1. Exploze bezprostředně po nárazu letadla do severní věže Světového obchodního centra v New Yorku

Výše popsané události byly pro celý svět alarmující a ukázaly, že i technologická velmoc jakou jsou bezesporu Spojené státy Americké, neměla dostatečná technická a systémová opatření a účelnou organizaci bezpečnostních kontrol při odbavování cestujících před nástupem na palubu letadel.

Náhlý a překvapivý útok teroristů na cíle ve Spojených státech amerických ponořil na několik měsíců svět do strachu a obav. Američané byli náhle oloupeni o pocit bezpečí a nedotknutelnosti své země. Teroristé v podstatě dosáhli svých cílů: Způsobili obrovské materiální škody a připravili obyvatele USA a turisty cestující tam, byť nenápadně, pravděpodobně navždy o část jejich svobod.

Celý civilizovaný svět začal přijímat výrazná opatření, která měla omezit prostor pro působení teroristů. Zasedaly různé bezpečnostní výbory a porady vlád jednotlivých zemí. Výsledkem tohoto úsilí na mezinárodní scéně byl vznik velkého napětí a obav. Vlády států se nebránily využívat při boji s terorismem i své vlastní armády.

Útoky měly nejvýraznější dopad na bezpečnostní status ve Spojených státech. Administrativa amerického prezidenta George W. Bushe, který nastoupil do úřadu teprve v lednu 2001, přijala rozsáhlý systém opatření a bezpečnostních omezení. Uvedla do praxe pěti bodovou stupnici, podle které jsou občané USA informováni o aktuálním stavu ohrožení. USA postupně přijímaly stále více omezení týkajících se styku se zahraničními návštěvníky. Administrativa začala považovat za nutné na letištích snímat a evidovat otisky prstů, sbírat fotografie příjezdějících turistů a pod. V návaznosti na války v Afghánistánu a Iráku v USA začaly protiteroristické opatření nabírat stále více na svém významu a na své moci zasahovat častokrát velmi nepříjemně do životů mnohých lidí, nevylučuje samotných Američanů.

Bushova administrativa zřídila též Ministerstvo vnitřní bezpečnosti (United States Department of Homeland Security), Centrum shromažďování údajů o hrozbě, Centrum pro monitorování terorismu a Správu pro bezpečnost v dopravě. Federální úřad pro vyšetřování USA (FBI) začal považovat boj s terorismem za nejvyšší prioritu, rozšířil bojové skupiny a také se pokouší zdokonalit komunikaci se CIA.

Výše uvedené skutečnosti pouze potvrzují fakt o zákeřnosti a nevyzpytatelnosti terorismu, kdy jedním z mála účinných ba možná jediným opatřením je prevence. Prevencí je myšlena volba účinných bezpečnostních opatření zavedených, nebo zaváděných do

prostor a objektů jež by se mohla stát cílem teroristických útoků. Jedním z nejrizikovějších míst jsou v tomto ohledu letiště a právě touto problematikou se práce zabývá.

1 SPECIFIKACE PROBLÉMU BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK NA LETIŠTÍCH

Letiště je velmi specifický systém objektů, technologií a služeb. Realizace bezpečnostních opatření, ať už v souvislosti s ostrahou letištních prostor, tak v souvislosti s bezpečnostními prohlídkami osob a zavazadel jsou komplikovány níže uvedenými faktory.

- Velké množství cestujících, které je nutné v určitém omezené časovém úseku, před vlastním odletem odbavit. Provést bezpečnostní prohlídku, jak osob tak jejich příručních zavazadel. Další kapitolou jsou zapsaná zavazadla, která se ukládají do nákladového prostoru letadel. Mylně by se mohlo zdát, že zvýšení účinnosti a zkrácení doby bezpečnostních kontrol je úměrné počtu pracovníků provádějících bezpečnostní kontroly. Limitujícím faktorem je však velikost prostor odbavovacích hal a úměrně se zvyšující nároky na organizaci a koordinaci..
- Jedná se o velké prostory, jak letištní plochy, tak odbavovacích hal, plus další objekty služeb a servisu souvisejícím s provozem letiště. Z tohoto důvodu je nezbytný velký počet zaměstnanců ostrahy objektu, aby došlo k účelnému pokrytí. Taktéž pokrytí prostor systémem CCTV je technicky náročné, náročné na obsluhu a nákladné.
- Technologický vývoj není jen na poli technických prostředků bezpečnostních kontrol, ale vyvíjejí se i zbraně. To souvisí s vývojem nových materiálů na bázi karbonu, keramických hmot, různých polymerů s vynikajícími mechanickými vlastnostmi, miniaturizace rozbušek a odpalovacích obvodů. To vše značnou měrou znesnadňuje jejich odhalení a zvyšuje riziko jejich propašování na palubu letadla, či jeho zavazadlového prostoru.
- Vlastní konstrukce letadla, které je díky vysoké letové hladině doslova "přetlakovou nádobou". Z tohoto důvodu stačí malé množství trhavy k jeho totální destrukci.

Při bezpečnostní kontrole je třeba v zavazadlech odhalit téměř miniaturní výbušné systémy, které jsou dostačující k poškození pláště letadla.

- Letadlo je složitý systém na obsluhu a ovládání, vybavené nejmodernějšími elektronickými systémy a technologiemi. Stačí zranit, či jinak vyřadit pilota, kopilota, nebo palubního inženýra a na palubě není nikdo, kdo by byl schopen stroj ovládat, už vůbec ne přistát na k tomu určené přistávací ploše. K tomu stačí na palubu propašovat drobnou střelnou, bodnou, či sečnou zbraň. Čím menší velikost zbraně, tím je větší riziko, že při bezpečnostní kontrole bude přehlédnuta.

Bezpečnostní prohlídky osob a zavazadel jsou obecně problémem. Bez ohledu na právní a etické otázky je nereálné každou osobu podrobit dokonalé prohlídce (osobní prohlídka pracovníkem, či pracovníci bezpečnostní kontroly). Obsah zavazadla vysypat a jednotlivé věci důkladně vizuálně a hmatem zkontrolovat, bez ohledu na jejich poškození. Nehledě na velké množství kontrolovaných osob na letištních terminálech, či jiných sledovaných objektech by bylo z hlediska organizačního neřešitelné. K zajištění potřebné rychlosti odbavení by bylo potřeba zajistit počty bezpečnostních pracovníků a tomu odpovídající prostory. Dalším faktorem, který je nutno brát v potaz je neúnosná míra rizika v případě výskytu nástražného výbušného systému, případně pro člověka jiných nebezpečných věcí.

Z výše uvedených důvodů byla vyvinuta celá řada technických prostředků, které jednak výrazně zkrátí dobu odbavení osob a minimalizují nutnost osobní prohlídky. Ta samozřejmě přijde ke slovu, kdy je důvodné podezření, že cestující se snaží na palubu letadla vnést zakázaný předmět. Přesto že se osobní prohlídka v dnešní době rapidně se vyvíjejících technologií zdá být anachronismem je stále neúčinnější a je metodou poslední volby.

Bezpečnost provozu letiště zahrnuje souhrn opatření a způsobů zapojení lidských a materiálních zdrojů určených k minimalizaci ztrát na životech, zdraví osob a materiálu působících na území letiště vlivem vlastního provozu letiště a jeho okolí. Prioritu v dané oblasti mají postupy vedoucí k zajištění řádného chodu letiště, v případě vzniku mimořádné události pak postupy související se záchranou životů a zdraví osob.

Na území letiště je využívána integrovaná forma spolupráce letištních i mimo-letištních bezpečnostních a záchranných složek a to jak v běžném provozu, tak v případě vzniku mimořádných událostí. Působnost jednotlivých složek integrovaného bezpečnostního a záchranného systému letiště za běžného stavu vychází z příslušných ustanovení zákonů České republiky. Organizační složky provozovatele letiště se kromě toho řídí interními předpisy (příslušnými organizačními normami a zejména pak organizačním řádem konkrétního letiště). V případě vzniku mimořádných situací v provozu letiště je působnost složek integrovaného systému upravena interním předpisem: Letištním pohotovostním plánem. Výše uvedené předpisy a ustanovení vychází z podmínek pro letištní provoz formulovaných Mezinárodní organizací pro civilní letectví – ICAO.

Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO, International Civil Aviation Organization) je mezivládní organizace přidružená k OSN, která pomáhá regulovat mezinárodní civilní letectví. ICAO vzniklo Chicagskou úmluvou ze dne 7. prosince 1944, kterou podepsalo 52 států, mezi nimi také Československo (vyhlášena jako č. 147/1947 Sb.). Dohoda nabyla právní moci ke dni 4. dubna 1947 po ratifikaci polovinou členů a uložením ve Vládním archivu USA, Washington, D.C. V říjnu téhož roku se ICAO stalo specializovanou organizací Spojených národů.

K základní dohodě o vzniku ICAO se váže od počátku 18 příloh, tzv. annexů, v řadě Annex 1 až Annex 18. Tyto annexy definují standardy mezinárodního civilního leteckého provozu; při svém schválení v ICAO jsou pro členské státy doporučením, které je posléze přebíráno jednotlivými státy jako zákonná norma, tzv. Letecký zákon. V českém zákonodárství tyto annexy tvoří letecké předpisy L1 až L18.

Ostraha letiště bezpečnostního odpovídá za zajištění úkolů souvisejících s ochranou majetku a zdraví osob. Výkon činnosti tohoto útvaru se řídí Plánem střežení letiště, který vychází ze skutečného stavu dislokačního řešení jednotlivých objektů na území letiště a jejich důležitosti pro provoz letiště.

Záchranná požární služba bezpečnostního úseku - odpovídá za zajištění úkolů souvisejících se záchranou osob a majetku ohrožených provozem letiště, zejména vznikem

mimořádných událostí (požár, letecká nehoda, ekologická havárie, ohrožení majetku nebo zdraví osob, součinnost při řešení organizované protiprávní činnosti, apod.).

Bezpečnostní kontrola bezpečnostního úseku letiště (dále jen Bezpečnostní kontrola) –

odpovídá za zajištění bezpečnostní kontroly cestujících a jejich zavazadel před jejich nástupem do odlétajících letadel. Útvar Bezpečnostní kontrola v rámci své běžné činnosti využívá technické prostředky a zařízení detekující možný výskyt předmětů zneužitelných jako zbraní, kovových předmětů, výbušnin všeho typu, halucinogenních látek i radioaktivních materiálů.

2 ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD A PROSTŘEDKŮ BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK NA LETIŠTÍCH

V této kapitole provedeme analýzu metod a prostředků bezpečnostních prohlídek, tak jak se historicky vyvíjely. V průběhu vývoje letecké dopravy doslova exponenciálně v čase rostl počet cestujících přepravovaných tímto způsobem. Začaly do této oblasti pronikat i nejrůznější formy a projevy zločinu. V první řadě se jednalo o snahu pašovat různé sledované, regulované, či zakázané věci. Jednalo se o zbraně, drogy, alkohol, cennosti, peníze, technologické informace spojené s mocnářským rozdělením světa. Pokusy o únosy letadel, tendence přinutit piloty na konkrétním místě, mimo vlastní letovou trasu. A v neposlední řadě terorismus, který je fenoménem poslední doby byť má také svůj dlouhodobý historický vývoj.

Výše uvedené důvody vedly k režimovým opatřením, k vynakládání sil, prostředků a minimalizaci těchto projevů. V první řadě to bylo nasazení vycvičeného a kvalifikovaného personálu, který prováděl bezpečnostní prohlídky osob a zavazadel. I v současné době, kdy se využívají nejrůznější technické prostředky bezpečnostních prohlídek a kontrol hraje lidský faktor roli klíčovou. Jednak člověk ovládá technické prostředky a u plně automatizovaných dozírá na jejich bezvadný chod. V případě podezření na sledovanou, či zakázanou věc u osoby, či v jejím zavazadle přichází ke slovu osobní kontrola. Osobní kontrola je stále nejúčinnějším prostředkem. Bohužel je zdlouhavá a je určitým nezanedbatelným zásahem do lidského soukromí a důstojnosti. Vzhledem k výše uvedenému bylo zapotřebí vyvinout bezkontaktní technické prostředky bezpečnostních prohlídek, jak z důvodu urychlení procedury, tak z důvodu eliminace kontaktních osobních prohlídek. Osobní prohlídka přichází ke slovu jeli na základě technické detekce důvodné podezření na přítomnost zakázaného předmětu.

Technické prostředky bezpečnostních prohlídek a kontrol se vyvíjely souběžně s obecným technologickým vývojem, jemuž byl udáván takt zejména vývojem vojenských technologií za období studené války. Největší boom byl v 70. a 80. letech minulého století s vývojem křemíkových mikroprocesorů a s tím související možností plné automatizace.

Obecně si můžeme jednotlivé technické prostředky bezpečnostních kontrol osob a zavazadel rozdělit dle základních fyzikálních principů, které využívají. Jelikož primárním požadavkem byla rychlá bezkontaktní kontrola u většiny byla využita interakce záření s hmotou. Detektory technických prostředků kontroly osob a zavazadel pracují na různých fyzikálních, chemických, případně kombinovaných principech. Z nejrozšířenějších je třeba se zmínit:

a) Detektory založené na interakci záření různých vlnových délek s materiálem (hmotou) z nichž se sledované předměty skládají. Jedná se o čtyři základní typy interakcí

- absorpce záření
- rozptyl záření
- nukleární magnetická rezonance
- emise gama záření neutronovou aktivací

b) Detektory založené na přímé identifikaci stopových množství sledované látky. Stopy sledované látky jsou odebírány nasátím, nebo stěrem a analyzovány pomocí uvedených chemických či fyzikálních metod

- klasickou chemickou reakcí
- tenkovrstvou chromatografií (PCL)
- plynovou chromatografií
- spektrometrií
- hmotnostní spektrometrií

S identifikací stopových množství sledované látky souvisí tzv. **trace** detekce. Detekci plastických trhavin velkou měrou znesnadňuje fakt, že nad povrchem plastické trhaviny je nízká tense par. Téměř nedochází k sublimaci molekul trhaviny do okolního vzduchu. Proto je koncentrace molekul, popřípadě jednotlivých reagensů příliš nízká pro

přímou detekci sledované látky. Z tohoto důvodu, se na základě mezinárodních úmluv veškeré průmyslově vyráběné plastické trhaviny značkují příměsí definované těkavé látky. Látka je dostatečně těkavá, tense par (koncentrace molekul) nad povrchem trhaviny postačuje pro detekci. Značkovací látka je volena tak, aby se nevyskytovala v běžně používaných věcech a při bezpečnostních kontrolách nedocházelo k falešnému poplachu. [2]

Dalším kritériem rozdělení technických prostředků je jejich vlastní konstrukce. Rozdělujeme je na dva základní typy:

a) ruční technické prostředky

- ruční detektory kovů
- ruční chemické analyzátory

b) pevně nainstalované technické prostředky

- průchozí detektory kovů (rámové)
- průchozí chemické analyzátory
- detekční rentgeny pro kontrolu zavazadel
- detekční rentgeny pro kontrolu osob

Přestože v dnešní době máme, díky rapidně se rozvíjejícím technologiím širokou paletu technických prostředků bezpečnostní kontroly, stále hlavní úlohu hraje lidský faktor. Jde zejména o odbornost a profesionalitu obsluhy technických prostředků bezpečnostní kontroly. Zařízení se sebecitlivější detekční schopností na sledovaný předmět, či látku je bez odborné obsluhy neúčinné. Z tohoto důvodu je nutné klást důraz, nejen na obnovu technických prostředků bezpečnostní kontroly v souladu s technickým pokrokem. Neméně důležitý je výběr vhodných pracovníků bezpečnostní kontroly a neustálé zvyšování odbornosti pravidelným školením.

Pro další analýzu metod a prostředků bezpečnostních kontrol osob a zavazadel na letištních terminálech je nutné zhodnotit míru rizik. Rizik bezprostředně ohrožujících život

a zdraví přepravovaných osob. S tím souvisí rizika propašování zbraní a nástražných výbušných systémů na palubu letadla. V případě zbraní, ať už střelných, bodných či sečných, jedná se o jejich eliminaci při osobní prohlídce před vstupem cestujících na palubu letadla. Netřeba připomínat události ze dne 11. září 2001, kdy teroristy unesená letadla posloužila jako velmi účinná zbraň hromadného ničení.

V případě nástražných výbušných systémů, výbušných systémů s časovačem nebo odpalovaných na dálku i důkladnou kontrolou zapsaných zavazadel přepravovaných v nákladovém prostoru letadla. Vzhledem k tomu, že plášť letadla je de facto přetlakovou nádobou, stačí slabá detonace k jeho porušení. Porušení pláště v letové výšce cca 10km, díky velkému rozdílu tlaku vně a uvnitř letadla vede ve většině případů k naprosté destrukci letadla.

Dále nutno neopomenout rizika spojená s pašováním drog, cenností, chráněných exotických zvířat. Přestože tato rizika bezprostředně neohrožují cestující na palubě letadla, popřípadě osoby na zemi, mají následné negativní důsledky společenské, ekonomické a ekologické.

3 POPIS A ROZDĚLENÍ PROSTŘEDKŮ BEZPEČNOSTNÍCH PROHLÍDEK

Prostředky pro osobní prohlídku na letištích se týkají zejména předletové bezpečnostní kontroly a dále kontroly zaměstnanců letiště, kteří mají přístup do třídního zavazadel, k odstaveným letadlům, případně jiným sledovaným prostorům. Cílem osobní prohlídky je eliminovat možnost vnesení zakázaných předmětů na palubu letadla (střelných, bodných, sečných zbraní, výbušných systémů různé konstrukce), možnost pašování (drogy, ceniny, apod.). Dále kontrola věcí přepravovaných v zavazadlovém prostoru letadla. Přestože k nim během letu nemá cestující přístup, je zde hrozba přítomnosti výbušných systémů různé konstrukce a možnost pašování předmětů (drogy, ceniny, apod.)

3.1 Rozdělení technických prostředků pro osobní prohlídku

1) Detekce založená na interakci elektromagnetického záření a hmoty

- a) Detektory kovů
- b) Bezpečnostní rentgeny
- c) Detektory jaderného záření
- d) Jaderná kvadrupólová detekce
- e) Milivize
- f) Detekce založená na promptní neutronové aktivační analýze
- f) Skenery na bázi RF

2) Detekce založené na analýze stopových částic

- a) Detekce chemickou reakcí
- b) Tenkovrstvá chromatografie
- c) Optická analýza hoření
- d) Plynová chromatografie

e) Spektrometrie pohyblivosti iontů

f) Hmotnostní spektrometrie

3) Detekce radioaktivního záření

Klasické a osvědčené schéma pro osobní prohlídku je kombinace bezpečnostního průchozího detektoru kovu a pásového RTG detektoru. Osoba přistupuje k RTG detektoru, na pásový dopravník RTG detektoru odkládá na vyzvání bezpečnostního pracovníka příruční zavazadla a věci, které má při sobě. Jedná se o mobilní telefony, klíče, psací pera, různé drobné předměty, které mohou být obsahem kapes. Byly zaznamenány případy, kdy v klíčenke byl ukryt nůž s tenkou krátkou čepelí, nebo v maketě mobilního telefonu střelná zbraň.

Příruční zavazadlo s osobními věcmi projíždí RTG detektorem. Obraz obsahu zavazadla sleduje vyškolená obsluha. Díky individuální absorpci látkami předmětů zavazadla vzniká obraz. Obraz normálně sestavený z různých odstínů šedi je díky software dotvořen barevně. Díky různým barvám jsou pro obsluhu čitelnější kontury jednotlivých předmětů. V případě, že se zobrazovaný předmět podobá některému ze zakázaných předmětů je kontrolovaná osoba vyzvána bezpečnostním pracovníkem, aby zavazadlo otevřela. Poté jsou jednotlivé věci postupně vyndány ze zavazadla a pečlivě zkontrolovány.

Osoba po vyndání všech kovových věcí prochází bezpečnostním rámovým detektorem kovu. V případě, že na těle či oděvu nemá žádné kovové předměty projde, aniž by detektor signalizoval jejich přítomnost. Pakliže je i RTG kontrola příručního zavazadla a osobních věcí bezvadná, osoba se svými věcmi odchází. Jelikož RTG detekce, díky lidskému faktoru není 100 % ní, je namátkově podrobena 10 % cestujících osobní prohlídce zavazadla. V případě, že bezpečnostní rám signalizuje přítomnost kovového předmětu na těle, či oděvu osoby je osoba podrobena důkladné kontrole pomocí ručního detektoru kovu. Častou příčinou signalizace jsou kovové přezky pásků kalhot, kovové spony na kravatě, kovové knoflíky oděvu. Pakliže se potvrdí výše uvedené důvody, osoba se svými zavazadly odchází.



Obr. 2. Bezpečnostní rámový detektor kovu s pásovým RTG detektorem

Popsané schéma je nejrozšířenější a nejpoužívanější nejen na letištních terminálech, ale také v budovách soudů, vládních budovách, jaderných elektrárnách, sportovních stadionech, nápravných zařízeních apod.

Je možné k popsané kontrole přiřadit chemický detektor drog a výbušnin, jak v ručním, tak v pevném provedení. Bezpečnostní rámový detektor kovu lze nahradit zatím málo rozšířeným personálním rentgenem. Výše nastíněné schéma způsobu bezpečnostních prohlídek je v současné době nejrozšířenější, ale s technickým pokrokem přicházejí ke slovu nové technologie o kterých se zmíníme později. Cílem kombinace různých technických prostředků je kompenzace nedostatků jednoho technického prostředku druhým.

3.2 Detektory kovů

Velmi rozšířenou a nejdéle používanou skupinou technických prostředků osobní prohlídky jsou detektory kovu. Dlouhou dobu se jednalo o velmi účinné ba téměř univerzální technické prostředky bezpečnostních prohlídek. Donedávna byla konstrukce střelných, sečných, bodných zbraní vázána na přítomnost různých slitin kovu. Stejně tak komponenty nástražných, časovaných či na dálku odpalovaných výbušných zařízení. Přítomnost kovových vodičů k časovači, spínačům, přijímači, roznětce apod. S dnešním nástupem tuhých a pevných materiálu na bázi polymerů, karbonových vláken, keramických materiálů na bázi křemíku se univerzálnost detektorů kovů podstatně snižuje. I přes uvedené, v kombinaci s technickými bezpečnostními prostředky pracujícími na jiném fyzikálním principu mají stále své nezastupitelné místo.

Princip detekce

Všechny detektory kovu pracují na principu fyzikální interakce budícího elektromagnetického pole s kovy, které na rozdíl od ostatních chemických prvků mají specifické fyzikální vlastnosti.

Dle fyzikálního principu detekce je můžeme rozdělit do 3 základních skupin

- detekce na bázi indukce vířivých proudů (detekce neferomagnetických kovů)

- detekce na bázi změn orientací magnetických domén (detekce feromagnetických látek)

- detekce na bázi relativního pohybu magnetu vůči cívce (detekce permanentních magnetů)

Dle způsobu konstrukce rozdělujeme detektory kovů na

- ruční detektory kovů
- průchozí detektory kovů (detekční rámy)

Dle technického vývoje vlastních zařízení se rozdělují na

- detektory I. generace (systémy s útlumem cívky rezonančního obvodu)
- detektory II. generace (frekvenční systémy)
- detektory III generace (pulsně indukční systémy)

3.2.1 Základní fyzikální principy využívané u detektorů kovu**Indukce vířivých proudů**

Budící, časově proměnné elektromagnetické pole detektoru o magnetické indukci \mathbf{B} indukuje v každé pomyslné uzavřené vodivé smyčce kontrolovaného prostoru elektrické napětí dle indukčního zákona. Elektromagnetická indukce je fyzikální jev, ke kterému dochází v nestacionárním (nestálém, měnícím se) magnetickém poli. Toto magnetické pole v cívce vytváří indukované elektrické pole, které charakterizuje indukované elektromotorické napětí. Když je k cívce připojen elektrický obvod, prochází jím indukovaný elektrický proud.

Nestacionární magnetické pole může způsobit:

- a) vodič, který se nepohybuje, ale mění se proud, který jím prochází
- b) pohybující se vodič se proudem (konstantním nebo proměnným)
- c) pohybující se permanentní magnet nebo elektromagnet

Indukované napětí vzniká v libovolné myšlené uzavřené smyčce, elektrický proud může touto smyčkou obíhat protékat jen tehdy, jestliže všechny její části leží ve vodivém prostředí. Velikost tohoto proudu závisí na ohmickém odporu vodivého prostředí. Elektrické proudy nevznikají indukci pouze v drátových smyčkách. Obecně v kovových tělesech nejrůznějších tvarů se indukují proudy vznikající kruhovým pohybem volných elektronů. Tyto proudy se nazývají vířivé proudy, nebo také proudy Foucaultovy.

Vířivé proudy jsou samy zdrojem elektromagnetického pole jež lze registrovat detektorem. Pro toto indukované elektromagnetické pole platí Lenzovo pravidlo: Směr indukovaného pole je vždy takový, že brání změně, která je jeho příčinou.

Velikost indukovaného napětí závisí na velikosti indukčního toku, který projde kovovým předmětem a ploše kovového předmětu kolmé na pomyslné siločáry daného indukčního toku. Z toho vyplývá, že tvar a poloha předmětu vůči siločárám budícího napětí hrají významnou roli při vlastní detekci.

Změny orientací magnetických domén

Tento jev můžeme pozorovat u feromagnetických látek, jejichž nejznámějším zástupcem je železo Fe. Mezi další, méně rozšířené prvky se stejnými fyzikálními vlastnostmi patří kobalt Co, nikl Ni, gadolinium Gd a jejich slitiny.

V atomech všech prvků obíhají elektrony kolem jádra. Mimo pohybu kolem jádra vykonávají “rotační pohyb kolem vlastní osy“ (mají moment hybnosti tzv. spin). U většiny prvků, nebo z nich sestavených molekul se tyto momenty hybnosti skládají se ze spinu elektronů a jejich oběhu kolem jader vzájemně ruší. Výsledný moment je tedy nulový. Tyto látky se nazývají látky **diamagnetické**. Působením vnějšího magnetického pole na diamagnetickou látku vzniká velmi slabý protisměrný moment, tzv. diamagnetismus.

U některých prvků a z nich sestavných molekul nedochází ke vzájemnému vyrušení momentů hybnosti. Takové látky jsou pak **paramagnetické** nebo **feromagnetické**. Úplné vzájemné nevyrušení tzv. dráhových momentů hybnosti elektronů, či spinových momentů elektronů ve vnějších slupkách je příčinou tzv. slabého paramagnetismu. Úplné vzájemné nevyrušení spinových momentů elektronů vnitřních slupek atomu je příčinou silného paramagnetismu, nebo dokonce feromagnetismu. Vložení paramagnetické látky do vnějšího magnetického pole se magnetické momenty atomů (molekul) orientují v jeho směru, tudíž výsledné pole je silnější. Termické pohyby částic (vibrace krystalové mřížky, tendence tepelného pohybu k neuspořádanosti) zcela nedovolují dosáhnout rovnoběžného uspořádání momentů všech částic.

Ve feromagnetických látkách jsou malé oblasti (domény), v nichž jsou magnetické momenty atomů (molekul) uspořádány souhlasně (rovnoběžně). Působením vnějšího pole nastává přesouvání rozhraní mezi doménami ve prospěch domén s větší kladnou složkou magnetizace ve směru pole. I menší změna intenzity vnějšího magnetického pole může u feromagnetické látky vyvolat značnou změnu magnetizace. Při magnetizaci feromagnetických látek střídavým elektromagnetickým polem vznikají značné energetické ztráty. Tyto změny magnetizace, mírně časově opožděné za budícím signálem, jsou podobně jako indukované pole vířivých proudů registrovány detekční cívkou. Pokud je feromagnetikum vodič, indukují se v něm samozřejmě i vířivé proudy, Detekční signál způsobený změnami orientací magnetických domén bývá většinou silnější. Energetické ztráty způsobené magnetizací jsou úměrné frekvenci budícího pole.

Změny orientací magnetických domén budou o poznání silnější, budou-li se jejich magnetické momenty během detekce uspořádávat v dlouhé řadě rovnoběžné se směrem budícího elektromagnetického pole. Tudíž síla výsledného detekovaného signálu závisí jednak na hmotnosti detekovaného předmětu s feromagnetické látky, ale i na jeho tvaru vzdálenosti a poloze vůči udíciému elektromagnetickému poli.

Pohyb magnetu vůči cívce

Některé feromagnetické látky mají značnou zbytkovou magnetizaci a pro její zrušení je zároveň zapotřebí značné intenzity vnějšího elektromagnetického pole. Tyto látky se nazývají látkami feromagneticky tvrdými a běžně v praxi se používají jako tzv. permanentní magnety (ferity). Jejich přemagnetování by si vyžádalo velké energetické nároky a nebylo by to ani účelné. Při tak vysoké intenzitě budícího elektromagnetického pole by docházelo například k znehodnocení záznamovým magnetických médií. Pokud je permanentní magnet zároveň elektricky nevodivý, nezpůsobuje budící elektromagnetické pole žádnou měřitelnou odezvu. Pokud však bude permanentní magnet v takovém relativním pohybu vůči detekční cívce bude se v ní indukovat napětí.

V praxi při detekci kovů dochází ke kombinaci výše uvedených fyzikálních principů. Není možné, aby v reálných podmínkách v budícím elektromagnetickém poli docházelo ke konkrétnímu jedinému. [3]

3.2.2 Rozdělení detektorů kovu podle technologického vývoje

I. generace detektorů kovů

Systém obsahuje jednu cívku. Rezonanční obvod tvořený cívkou, je s pomocí kondenzátoru udržován v rezonanci. V případě, že se do elektromagnetického pole cívky dostane feromagnetická látka, dojde k utlumení cívky a změně charakteristiky rezonančního obvodu. Důvodem interakce je natáčení magnetických domén. V případě neferomagnetických kovů dojde k utlumení cívky v důsledku naindukovaných Foucaultových vířivých proudů. Detektory I. generace se v dnešní době nepoužívají.

II. generace detektorů kovů

System je složen ze dvou cívek, budící a přijímací. U průchozích rámových detektorů jsou budící cívky v jednom vertikálním sloupku a cívky přijímací ve druhém vertikálním sloupku. Budící cívka neustále vysílá elektromagnetické pole sinusového průběhu. V případě, že se mezi cívkami nenachází vodivý předmět, indukuje se v přijímací cívce proud o stejném sinusovém průběhu, jako proud budící.

V případě, že se mezi budící a přijímací cívkou dostane vodivé těleso, dochází v něm k indukci Foucaultových vířivých proudů. Ty způsobují fázový posun indukovaného proudu ve snímání cívce oproti proudu cívky budící. Nevýhodou je to, že aby došlo k indukci vířivého proudu musí se vodivý předmět pohybovat kolmo na rovinu mezi budící a přijímací cívkou.

III. generace detektorů kovů

System je také složen z cívky budící a cívky přijímací, které jsou umístěny na vertikálních sloupcích rámového detektoru. Dochází k rychlému střídání fáze buzení s fází měření odezvy. Budící cívka je po dobu cca 0,5 ms napájena lineárně rostoucím proudem, který je pak náhle snížena na nulu. Následuje fáze, kdy jsou po dobu cca 1,5 ms vyhodnocovány signály z přijímací cívky.

V důsledku náhlého snížení budícího proudu dojde k náhlému snížení intenzity elektromagnetického pole na nulu a tudíž i indukovaného proudu v přijímací cívce. V případě, že se mezi budící a přijímací cívkou nachází vodivé těleso, dochází v něm k indukci Foucaultových vířivých proudů. V důsledku nenulového ohmického odporu vodivého detekovaného předmětu tyto vířivé proudy postupně klesají k nule a proto i intenzita jejich elektromagnetického pole. Toto mění se elektromagnetické pole indukuje v přijímací cívce časové závislé napětí. Rychlost poklesu je závislá na vodivosti tělesa (na jeho složení) a velikosti (ploše kolmé na elektromagnetický tok). I v případě, že se vodivý předmět nebude pohybovat kolmo rovinou mezi cívkami dojde k výše popsaným změnám a následné detekci.

Díky několika párům budících a přijímacích cívek je možná tzv. zónová detekce. K detekci dojde pouze na systému cívek v jejichž rovině se nachází vodivý předmět. To má praktický význam v tom, že obsluha ví na které části těla či oděvu má osoba kovový předmět. Na tohle místo se při kontrole ručním detektorem, případně při osobní prohlídce zaměří. Zařízení funguje tak, že při signalizaci kovového předmětu se na vnější straně vertikálního sloupku rozsvítí led diody, které upozorňují na zónu, ve které se nachází potenciálně nebezpečný předmět. Další možností je zobrazení pomocí LCD displeje, kde jsou graficky vyobrazeny jednotlivé detekované zóny. V případě spuštění poplachu je názorně patrné ve které zóně se sledovaný kovový předmět nachází. V dnešní době jsou na trhu 18 ti i 33 ti zónové průchozí detektory kovu.



Obr. 3. Schéma principu zónové detekce



Obr. 4. 18 ti zónový průchozí detektor kovu. Obrázek napravo ukazuje grafické zobrazení jednotlivých zón na LCD displeji.

U detektorů kovu III. generace je možno rozlišovat v závislosti na vodivosti druh kovu, ze kterého je sledovaný předmět složen a případně jeho velikost. Problémem detektorů kovů je fakt, že lidské tělo je tvořeno z větší části vodivým elektrolytem. To může velkou měrou snížit intenzitu signálu sledovaného předmětu. Z tohoto důvodu je velikost sledovaného předmětu limitním faktorem. Dalším problémem je, že může docházet k tzv. interferenci s okolím. Jejím zdrojem jsou motory, televizory, světelné zdroje apod.

Nejčastějším využitím průchozích rámových detektorů kovů je detekce zbraní. Při ní se citlivost přístroje nastaví tak, aby reagoval i na nejmenší typy zbraní, které chceme detekovat. V běžné praxi se za nejmenší zbraně volí minirevolvery, malé pistole, drobné bodné zbraně.



Obr. 5. Pistole CZ 92, ráže 6.35 mm
Browning

Nastavovat vyšší citlivost není technický problém, ale detektor pak ztrácí na efektivnosti, neboť počet falešných poplachů je vysoký. Ty jsou vyvolávány různými kovovými součástmi oděvů prohlížených osob (manžetové knoflíky, spony kravat, přezky opasku apod.) a různými kovovými předměty v jejich kapsách (klíče, přívěsky apod.). Zřídka jsou všechny druhy kovů a jejich slitiny předmětem zájmu. Běžné zbraně zahrnují přibližně pouze tři. Naprogramováním detekční charakteristiky těchto kovů se minimalizují plané poplasy. Pro detekci zbraní se používají spíše pulsně – indukční systémy, vhodné i pro zabudování do automatických turniketů.

Rámové detektory se většinou používají v kombinaci s pásovým RTG detektorem, kterým se kontroluje obsah příručních zavazadel. Problematika RTG detektorů je předmětem dalšího textu. [5]

3.2.3 Základní pojmy týkající nastavení a obsluhy průchozích rámových detektorů

WTMD – (Walk Through Metal Detektor) průchozí detektor kovu

Citlivost – parametr definující velikost detekovaného předmětu. Vyšší citlivost zajišťuje detekci menšího předmětu.

Rozlišení – schopnost detektoru rozlišit zbraně od drobných předmětů. Míra alarmů detektoru udává rozlišovací schopnost zařízení. Rozlišení je ovlivněno několika faktory, jako například úroveň citlivosti, typy kontrolovaných osob, sezóna (léto/zima) apod.

Nechtěný alarm – alarm, způsobený drobnými kovovými předměty pronášenými skrz detekční rám

Falešný alarm – alarm způsobený vnějšími rušivými vlivy (např. elektrické rušení). Alarmy (chtěné nebo nechtěné), způsobené kovovými předměty, nepovažujeme z tohoto pohledu za falešné

Míra alarmů – množství nechtěných alarmů od drobných kovových předmětů v poměru k celkovému počtu kontrolovaných osob. Míra alarmů je ovlivněna rozlišovací schopností detektoru. Jestliže je rozlišovací schopnost nízká, dochází k velkému množství nechtěných alarmů.

Propustnost – maximální počet osob, které mohou projít detektorem za daný čas bez omezení detekce. Vyjadřuje schopnost detektoru, vrátit se po průchodu osoby zpět do pohotovostního stavu. V praxi je maximální propustnost pouze teoretickou veličinou, neboť skutečná propustnost je omezena rychlostí odbavovací procedury a rychlostí chůze.

Odezva na rychlost předmětu – schopnost detektoru udržet nezměněnou úroveň citlivosti při různé rychlosti průchodu.

Kalibrace – proces nalezení takových hodnot parametrů, při kterých detektor dosahuje optimální detekce ve vztahu k bezpečnostním požadavkům v dané aplikaci. [5]

Práce v těsné blízkosti – dva či více detektorů pracuje v těsném kontaktu, takže se jejich magnetická pole vzájemně ovlivňují. Tento efekt je možné omezit použitím různých pracovních sekvencí.

Pracovní frekvence – frekvence magnetického pole, generovaného detektorem. Detektory mají obvykle několik různých pracovních sekvencí. Při kalibraci je vždy vybírána pracovní frekvence s nejnižší úrovní vnějšího rušení. Některé pracovní frekvence umožňují též práci několika detektorů v těsné blízkosti bez synchronizačních kabelů.

Rovnoměrná detekce – schopnost detektoru udržet stejnou citlivost v celém prostoru detekčního rámu bez ohledu na tvar a polohu kovových předmětů. Rovnoměrná detekce přímo ovlivňuje rozlišovací schopnost detektoru. Citlivost je obvykle nastavena podle nejslabšího místa detekčního prostoru. V případě nerovnoměrnosti to může vést ke zbytečně vysoké citlivosti v jiných částech detekčního prostoru a tím ke značnému snížení rozlišovací schopnosti. Testování rovnoměrnosti detekce by mělo být vždy prováděno se skutečnou zbraní nebo její napodobeninou. Předměty tvaru koule nebo válce nemusejí dát vždy správnou informaci o rovnoměrnosti detekce.

Odolnost proti rušení – provoz detektoru může být ovlivněn elektrickým, nebo mechanickým rušením. Elektrické rušení je obvykle způsobeno jiným elektrickým zařízením v blízkosti detektoru. Elektrické rušení se šíří po síťovém přívodu nebo vyzařováním. Mechanické rušení bývá způsobeno pohybujícími se kovovými předměty v blízkosti detektoru nebo mechanickými vibracemi. Dobrá odolnost proti rušení může být dosažena pouze účinnou hardwarovou a softwarovou filtrací či speciální konstrukcí cívek.

Kritický předmět – předmět ze skupiny hledaných předmětů, který je nejobtížněji detekovatelný. [5]

Ruční detektory kovů

Ruční detektory se používají k vyhledávání, zejména kovových střelných, bodných a sečných zbraní. Principiálně jsou stejné jako průchozí rámové detektory. Síla budícího pole je omezena, jednak velikostí detektoru a jeho zdroje elektrické energie v podobě akumulátoru. Navíc je intenzita budícího pole limitována z bezpečnostních důvodů. Vzhledem k tomu, že kontrola osoby je prováděna v těsné blízkosti nad povrchem jejího těla, je intenzita budícího pole omezena. Jedná se zejména osoby používající kardiostimulátor. Elektromagnetické pole by jej mohlo poškodit, což by pro jeho majitele znamenalo fatální důsledky. Další nevýhodou je relativně malá plocha, kterou je ruční detektor schopný snímat. Šíře snímané plochy je identická s průměrem budící a snímací cívky (kruhová část na konci ručního detektoru). Z toho plyne, aby došlo k bezvadné kontrole povrchu celého těla, je nutné provést detekci systematicky místo vedle místa, což je zdlouhavé.

Z uvedených důvodů jsou ruční detektory doplňkovým způsobem bezpečnostní kontroly. Přichází ke slovu v případech, kdy průchozí rámový detektor signalizuje přítomnost kovového předmětu na těle či oděvu kontrolované osoby. Vzhledem k tomu, že současné průchozí detekční rámy pracují v zónovém režimu, bezpečnostní pracovník se s ručním detektorem zaměří na konkrétní část lidského těla, kde je podezření z přítomnosti kovového předmětu. Tato součinnost mezi průchozím rámovým detektorem a vyškoleným bezpečnostním pracovníkem s ručním detektorem kovu podstatně zvyšuje účinnost bezpečnostní kontroly a zkracuje délku jejího trvání.



Obr. 6. Ruční detektor kovu

3.3 Detektory radioaktivního záření

Detektory radioaktivního záření se používají jako doplněk bezpečnostní prohlídky pro vyhledávání radioaktivního materiálu, ukrytého v zavazadlech. Pracují na principu scintilačních, nebo polovodičových snímačů. Geiger-Müllerův detektor je v dnešní době anachronismem a nepoužívá se, pouze pro potřebu výuky fyziky na vysokých školách.

V rámci automatické kontroly se detektor umísťuje v blízkosti pásu, což nebývá daleko od zdroje záření RTG pásového detektoru. Je nutno brát v potaz možný vznik falešných poplachů, způsobené zpětným rozptylem RTG záření na sledovaných předmětech s nižším protonovým číslem, právě skenovaného zavazadla.

3.4 Jaderná kvadrupólová detekce

Jaderná kvadrupólová rezonance je formou technologie jaderné magnetické rezonance známé např. z medicíny. Při magnetických rezonancích obecně vstupuje do hry mnoho fyzikálních vlastností atomů a molekul. Magnetický moment a moment hybnosti mohou pocházet od jader atomů, od orbitální pohybu elektronů, od spinu elektronů či od pohybujících se nábojů jader během molekulové rotace. Momenty síly pak mohou mít příčinu ve vnějších magnetických polích, v polích magnetických dipólů sousedních jader, atomů nebo molekul nebo v elektrických polích působících na například, jaderný elektrický kvadrupólový moment nebo nesférický mrak atomu. Je známo několik typů rezonance. To který bude dominantní, záleží na více faktorech.

Při jaderné magnetické rezonanci se obecně využívá toho, že každé atomové jádro má svůj spin, tedy vlastní mechanický moment hybnosti. S tím souvisí i existence jejich magnetického dipólového momentu. Kvadrupólová rezonance se obejde bez silného magnetického pole, které by mohlo poškodit některé předměty v kontrolovaném zavazadle. Ačkoliv se uvádí jako forma jaderné magnetické rezonance, je dosti odlišná.

Při jaderné kvadrupólové rezonanci vyšle vysílač do prostoru zavazadla puls rádiových vln o nízké intenzitě. Původní klidová orientace os rotací atomových jader zkoumaných látek je tímto pulsem narušena. Jak se jádra následovně snaží sama sebe zpět srovnat, produkují kolem sebe svůj vlastní charakteristický rádiový signál, jako ozvěnu typickou vždy pro daný druh látky. Tento signál je zachycován přijímačem a bezprostředně analyzován počítačem. Přístroj pátrá po protaženém jádru atomu dusíku N^{14} , který se nachází ve výbušninách či drogách. Vlivem prostředí sousedních atomů dochází k mírnému posunu rezonanční frekvence. Velikost tohoto posunu závisí na typu prostředí. Můžeme z něj usuzovat na typ molekuly a tedy i typ látky. Kvadrupólová rezonance je metodou velice specifickou, protože citlivost závisí na tvaru molekul. Může detekovat látku kdekoli v zavazadle, bez ohledu na orientaci a rozložení. Rozhodující je celkový počet molekul v zavazadle.

Co se týče vlastní kvadrupólové rezonance, obsluha nemusí analyzovat žádný obrazový či zvukový signál, je přímo seznámena s tím, jestli je zkoumaný předmět v pořádku či obsahuje výbušniny, nebo drogy. Analýza nepoškozuje magnetická záznamová média. Kombinace kvadrupólové rezonance a rentgenu v jednom přístroji je ideální. Pomocí kvadrupólové rezonance se totiž samozřejmě nedají vyhledat kovy. Na druhou stranu, rentgenu může zase uniknout výbušnina v malém množství nebo ve formě tenkého plátu. [3]

3.5 Milivize

Milivize umožňuje detekovat u osob i pod několika vrstvami oděvu ukryté zbraně kovové i nekovové, výbušniny, drogy a různý kontraband a to na základě dvourozměrného snímání milimetrového elektromagnetického záření emitovaného lidským tělem a vytvoření odpovídajícího obrazu na TV monitoru (LCD displeji). Předměty ukryté pod oděvem absorbují a odrážejí toto záření a tak je může obsluha na monitoru detekovat jako tmavší oblasti odpovídajících obrysů, podobně jako na rentgenovém obrazu. Jedná se o pasivní detekční metodu.

Milivize nedělá nic jiného než, že převádí obraz tvořený z milimetrových elektromagnetických vln na ní dopadajících na klasický monitor, tedy na elektromagnetické

vlny o délce lidským okem viditelné. Ačkoliv milimetrové vlny odpovídají frekvenci kolem 100 GHz, tedy znatelně vyšší než pracovní frekvenci běžných radiolokátorů, podle konvence se do rádiových vln již řadí. Přitom, vyjma speciální aplikace pro vidění přes zed' milivize nepotřebuje žádný umělý zdroj milimetrových vln.

Látky všech skupenství vyzařují elektromagnetické, tzv. teplotní záření, která má původ v termických pohybech jejich částic. K úplné teorii teplotního záření nedospěla ani kvantová fyzika, ačkoliv mnoho otázek bylo již teoreticky i prakticky zkoumáno. Toto záření je spojité a zahrnuje teoreticky celý spektrální obor, na krajích spektra je však vyzařována energie prakticky nulová. Se zvyšováním teploty stoupá celkové množství vyzářené energie a maximum záření se přesouvá do oboru kratších vlnových délek. Při teplotách nižších než asi 525 °C nezasahuje toto záření do oblasti viditelného záření a označuje se jako tepelné sálání nebo infračervené záření IR. Dnes již populární termovizní prostředky využívají tepelné záření především v pásmech zhruba 2 až 5 μm a 8 až 14 μm. Tepelné záření má dostatečnou intenzitu, milimetrové vlny jsou dobře propouštěny většinou oděvů.

Vlastní konstrukční provedení tohoto fyzikálního principu má dvě modifikace:

- průchozí rámy
- ruční detektory

Protože milivize snímá tepelné záření nejen lidského těla, bude výsledný kontrast závislý i na teplotě okolí. Dále bude záviset na vlastnostech hledaného předmětu (schopnost propouštět a schopnost odrážet) a na vlastnostech oděvu pod nímž jsou sledované předměty ukryty. [3]

3.6 Neutronografie

Využívá se jako doplněk rentgenografie pro detekci látek obsahujících vodík H. Jedná se tedy o metodu určenou pro detekci organických látek (uhlovodíků). Zkoumaný objekt je ozařován proudem neutronů, který je po průchodu objektem snímán a z jeho intensity je pak tvořen výsledný obraz. Metoda je principiálně shodná s principem bezpečnostních rentgenů. K rozptylu neutronů dochází především při srážkách s jádry shodné hmotnosti, tedy H^+ . Kovy prochází neutrony bez problémů, naopak na organických látkách dochází k intenzivní interakci. Problémem je invazivnost letících neutronů a negativní účinky na živé buňky. Praktické využití má tato metoda při hledání výbušnin a drog maskovaných silnou vrstvou kovu. [3]

3.7 Skenery na bázi RF

Průchozí detektory kovů nejsou schopny detekovat přítomnost nekovových zbraní (keramické, karbonové) a organických látek (plastické trhaviny, gelové trhaviny, drogy) a personální rentgeny nemají velkou důvěru veřejnosti z důvodu invazivní povahy RTG záření, vyvíjejí se skenery využívající jinou oblast spektra elektromagnetického vlnění.

Mimo pasivní milivizi se vyvíjejí skenery pracující v jiné oblasti rádiového spektra. Zde patří například RF skenery. Tělo prohlížené osoby je ozařováno radiovým signálem, který se odráží od povrchu těla osoby a také od ukrytých předmětů. Odražené radiové vlny jsou snímány a na základě toho vytvářen výsledný obraz. Bohužel touto metodou nelze rozeznat výbušniny a drogy od ostatních organických látek. [3]

3.8 Plynová chromatografie

Plynová chromatografie je separační metoda pro analýzu složení látek. Jedná se o metodu původně využívanou v analytické chemii. Až automatizace spojená s nasáváním vzorku, jeho odpařením a nástřikem do chromatografické kolony a následná detekce jednotlivých separovaných složek (látek) umožnily její využití i mimo analytickou laboratoř.

Vzorkový materiál je strháván nosným plynem (inertní plyny N₂, He, Ar) a poté vstupuje do vyhřívané separační kolony, jejíž vnitřní stěny jsou pokryty sorbentem. Jednotlivé chemické složky odebraného vzorku se na koloně oddělují na základě svých specifických chemických a fyzikálních vlastností. Na těchto vlastnostech se mimo jiné podílí vazby typu vodíkových můstků, Vandervalsovy síly a jiné. Vlastní kolona se sorbentem je nečastěji skleněná či kovová kapilára o déle i několika metrů. Na konci kolony je vlastní detektor.

Jedná se o detektory pracující na různých fyzikálních principech:

- detektory elektronového záchytu
- chemiluminiscenční detektory
- spektrometr mobility iontů
- hmotnostní spektrometr

Plynová chromatografie slouží k oddělení jednotlivých molekul, aby následná detekce byla jednoznačnější a přesnější.

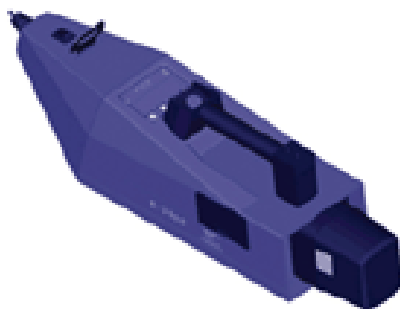
Velmi citlivá metoda se značnou rozlišovací schopností je duální plynová chromatografie s chemiluminiscenční detekcí. Odebraný vzorkový materiál je zahříván a odpařen do plynného skupenství. Plynný vorek je unášen inertním plynem do dvou paralelních separačních kolon, kde se rozdělují na jednotlivé složky dle jejich specifických vlastností. Proces je řízen přesným teplotním cyklem. Na konci kolon je chemiluminiscenční detektor. Před vlastním vstupem do detektoru probíhá pyrolýza při cca 800 °C v pyrolyzační komoře. Teplota je nižší než prahová fragmentace kovalentní vazby

N-N. Proud plynů je přes komoru chemiluminiscenčního detektoru odčerpáván vývěvou. V komoře reaguje oxid dusíku s přidávaným ozónem O_3 na radikál NO_2 , který vzápětí přechází do základního neexcitovaného stavu a přitom dochází k emisi infračerveného záření, které je detektorem registrováno a převáděno na elektrický signál.

Na výše uvedeném principu se konstruuji detektory výbušnin, které mohou být v následujících modifikacích:

- ruční detektor
- pásový tunelový pro osoby
- pásový tunelový pro zavazadla

V praxi rozšířeným a osvědčeným ručním detektorem je detektor pracující na principu duální plynové chromatografie s detekcí elektronového záchytu. Filtr s odebraným vzorkem se vloží do desorpční jednotky. Po zahřátí jsou odpařené částice strhávány proudem vzduchu a membránovým separátorem odděleny od vzduchu. Analyzované částice jsou poté unášeny proudem nosného plynu Ar přes dvě paralelní separační kolony. Kolony mají sorbenty s odlišnými vlastnostmi. Jedna z kolon má sorbent s polárního materiálu, který zpomaluje molekuly výbušnin, přičemž ostatní látky volně prochází. Každá z kolon je zakončena vlastním detektorem elektronového záchytu. V detektoru je nosný plyn bombardován elektrony, což má za následek vznik iontových párů elektronů a kladných argonových iontů. Přítomnost nitridů z výbušnin, které mají všechny vysokou elektronovou afinitu, způsobuje rychlou absorpci volných elektronů poskytovaných nosičem a tímto redukcí proudu detektorem. Proudové posuny na obou detektorech jsou registrovány a srovnávány komparátorem. Při registraci výbušniny je spuštěn vizuální alarm.



Obr. 7. Ruční detektor výbušnin

3.9 Detekce založená na spektrometrii pohyblivosti iontů

Nasávaný vzduch obsahující analyzované stopové částice proudí do komory, kde probíhá ionizace. Ionizace je dosaženo pomocí slabého radioaktivního zářiče. Vznikají tak různé tzv. reakční ionty. Ty reagují z dalšími molekulami detekované látky a vytváří tzv. produkční ionty. Vznikají tak kladně a záporně nabitě fragmenty o různé hmotnosti a pohyblivosti. Vstupu iontu do vlastní driftové trubice brání elektricky nabitá vstupní mřížka. Spektrometry mají dva vstupní módy :

- mód pro záporné ionty výbušnin
- mód pro kladné ionty drog

Vstupní mřížka se otvírá na velmi krátkou dobu (cca 200 μ s), v předem určených intervalech. Při jejím otevření jsou ionty přitahovány silným elektrostatickým polem driftovou oblastí při atmosférickém tlaku proti proudu driftového plynu k elektrodě kolektoru. Při své cestě se však srážejí s molekulami proudícího driftového plynu. Všechny ionty jsou urychlovány stejně silným elektrickým polem. Jelikož mají různé hmotnosti, mají různé rychlosti. Kombinace různých zrychlení a srážek s molekulami driftového plynu má za následek různou rychlost proudění.

Každý iont má svou specifickou iontovou pohyblivost K . Skupiny jednotlivých iontů dosáhnou kolektoru v různých časech. Kolektorový proud je zesilován a jeho velikost jako funkce času odpovídá množství iontů dopadajících na kolektor v daný okamžik. Tato závislost se nazývá plazmagram. [3]

3.10 Hmotnostní spektrometrie

Hmotnostní spektrometrie umožňuje v podmínkách vysokého vakua měřit parciální tlaky zbytkových plynů, které pro potřeby měření nejdříve ionizujeme. Z výsledného hmotnostního spektra můžeme analyzovat látkové složení výchozích vzorků.

Hmotnostní spektrometrie v oblasti detekce výbušnin a drog je dnes nejčastěji založena na kvadrupólových hmotnostních spektrometrech, jejichž základem je kvadrupólový hmotnostní filtr, což je soustava čtyř podlouhlých rovnoběžných elektrod, z nichž na dvě se vkládá stejnosměrné napětí a přes něj se překládá vysokofrekvenční střídavé napětí. Z iontového zdroje vstupují do prostoru mezi elektrodami ionty ve směru rovnoběžném s osou elektrod. Z daného geometrického uspořádání elektrod a průběhu napětí se složitým matematickým výpočtem získají dráhy iontů prolétajících mezi elektrodami. Ty mají obecně oscilační charakter s narůstající amplitudou. Stabilní dráhu mají a hmotnostním filtrem proletí pouze ionty dané hmotnosti (přesněji daného měrného náboje), jejíž hodnota odpovídá charakteristice napětí na elektrodách v daný čas. Získané hmotnostní spektrum, respektive spektra analyzuje výkonný počítač. Základní spektra látek má počítač uložené ve své paměti.

Pro detekci iontů vylétávajících s filtru se používají dynody. Následný proud vyražených elektronů je zesilován kanálkovým násobičem a dopadá na anodu. [3]

4 CHARAKTERISTIKA BEZPEČNOSTNÍCH RENTGENŮ

Rentgenové detektory jsou dlouhou dobu nejrozšířenějším technickým prostředkem pro kontrolu zavazadel, poštovních zásilek, přepravních kontejnerů, osobních i nákladních automobilů. Vzhledem k dlouhé historii jejich praktického využití prodělaly velkou technickou evoluci, byť základní fyzikální princip je neměnný. Trendem budoucnosti jsou tzv. personální rentgeny pro kontrolu osob. To dlouhou dobu nebylo technicky možné díky invazivní povaze RTG záření a jeho negativnímu dopadu na živé buňky.

4.1 Historie objevu RTG záření

Fyzik Johann Wilhelm Hittorf (1824 - 1914) pozoroval vakuovou trubici vyzařující záření na záporné elektrodě. Toto záření způsobovalo při dopadu na stěnu trubice světélkování. Roku 1876 Eugene Goldstein tento jev pojmenoval katodovým zářením. Později anglický fyzik William Crookes studoval výboje v řídkých plynech a zkonstruoval tzv. Crookesovu trubici. Jednalo se o skleněnou trubici s elektrodami, naplněnou zředěným plynem, v němž při zavedení vysokého stejnosměrného napětí dojde k výboji doprovázenému zářením. Když umístil neexponované fotografické desky nedaleko trubice, na desce se objevily šmouhy. Roku 1892 Heinrich Hertz demonstroval, že katodové záření může procházet velmi slabou kovovou překážkou (jako je hliníková destička).

V dubnu 1887 Nikola Tesla začal zkoumat záření pomocí vysokého napětí, Crookesových trubic a vakuových trubic vlastní konstrukce. Z jeho technické dokumentace plyne, že vymyslel a vyrobil trubici s jedinou elektrodou, ostatní trubice na zkoumání rentgenového záření měly dvě elektrody. Roku 1897 výsledky shrnul ve své přednášce pro New York Academy of Sciences. Umožňuje to jev dnes známý jako brzdné záření, kdy při průchodu nabitých částic (nejčastěji elektronů) látkou vzniká druhotné rentgenové záření. Okolo roku 1892 Tesla provedl několik podobných experimentů, ale nezatřídil vzniklé produkty jako to, co dnes zvine rentgenové záření, namísto toho označil celý jev jako zářivou energii. Tesla své výsledky nezveřejnil. Jeho další experimenty ho vedly k varování vědecké komunity před biologickými riziky rentgenového záření.

Hermann von Helmholtz formuloval matematický popis rentgenového záření. Předpověděl disperzní teorii dříve než Röntgen provedl a zveřejnil své pokusy. Byla formulována na základě teorie o elektromagnetické povaze světla.

8. listopadu 1895 Wilhelm Conrad Röntgen, německý vědec, začal provádět a zaznamenávat experimenty se zářením ve vakuové trubici. Röntgen 28. prosince 1895 napsal předběžnou zprávu „O novém druhu paprsků“. Poslal ji do žurnálu Würzburgské lékařské společnosti. Toto je první formální a veřejně známá kategorizace rentgenového záření. Röntgen o záření psal jako o paprscích X (rozdíl mezi slovy paprsek a záření je dán rozdílnými vlastnostmi světla), neboť šlo o doposud neznámé záření, avšak mnoho kolegů se domnívalo, že by se mělo jmenovat po Röntgenovi. Tak se stalo v mnoha jazycích, například češtině, dánštině (Røntgenstråling) či němčině (Röntgenstrahlen). Röntgen za své objevy obdržel vůbec první Nobelovu cenu za fyziku.



Obr. 8. Snímek ruky
Berthy Röntgenové

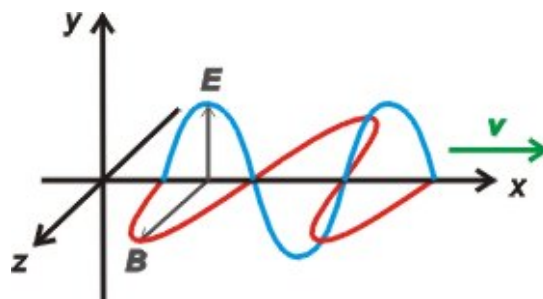
Roku 1895 Thomas Alva Edison zkoumal schopnost materiálů fluoreskovat, když jsou vystaveny rentgenovému záření, a zjistil, že nejlépe se osvědčil wolframán vápníku. Asi v březnu 1896 se fluoroskop, který vyvinul, stal standardem lékařských vyšetření rentgenovým zářením. Přesto Edison ukončil výzkum záření roku 1903, potom, co zemřel Clarence Madison Dally, jeden z jeho foukačů skla. Dally zkoušel trubice na své ruce, čímž si přivodil jejich rakovinu. Obě ruce mu byly amputovány v marné snaze ho zachránit.

Roku 1906 fyzik Charles Glover Barkla objevil rozptyl rentgenového záření v plynech a využil ho při zkoumání vlastností látek. Určil tak například počet elektronů v atomu uhlíku. Rovněž dokázal polarizovat rentgenové záření, čímž potvrdil, že má stejné vlastnosti jako viditelné světlo. Za své objevy získal roku 1917 Nobelovu cenu za fyziku.

4.2 Fyzikální podstata rentgenového záření

Rentgenovým záření nazýváme elektromagnetické záření o vlnové délce řádově 10^{10} m. Vzniká při prudkém zabrzdění rychlého toku elektronů na hmotné překážce. Jejich primárním zdrojem je Roentgenova trubice, jež obsahuje dvě elektrody, mezi nimiž je udržován vysoký potenciálový rozdíl, odpovídající řádově desítkám tisíc voltů. Elektrony uvedené mezi elektrody dopadají v důsledku svého negativního náboje na pozitivní elektrodu a jedním z důsledků této srážky je vznik rentgenového záření.

Každá elektromagnetická vlna má dvě složky: elektrickou složku, kterou představuje vektor intenzity elektrického pole E , a magnetickou složku, kterou tvoří vektor magnetické indukce B . Obě složky jsou na sebe navzájem kolmé a ještě navíc jsou obě kolmé na směr šíření vlnění. To znamená, že každé elektromagnetické vlnění je příčné vlnění. Na obrázku č. 9 se elektromagnetická vlna šíří v kladném směru osy x , vektor intenzity elektrického pole se promítá do osy y a vektor magnetické indukce do osy z . Navíc platí, že u postupné vlny jsou oba vektory ve fázi – obě veličiny nabývají svých maximálních hodnot ve stejném okamžiku.



Obr. 9. Popis složek elektromagnetického vlnění

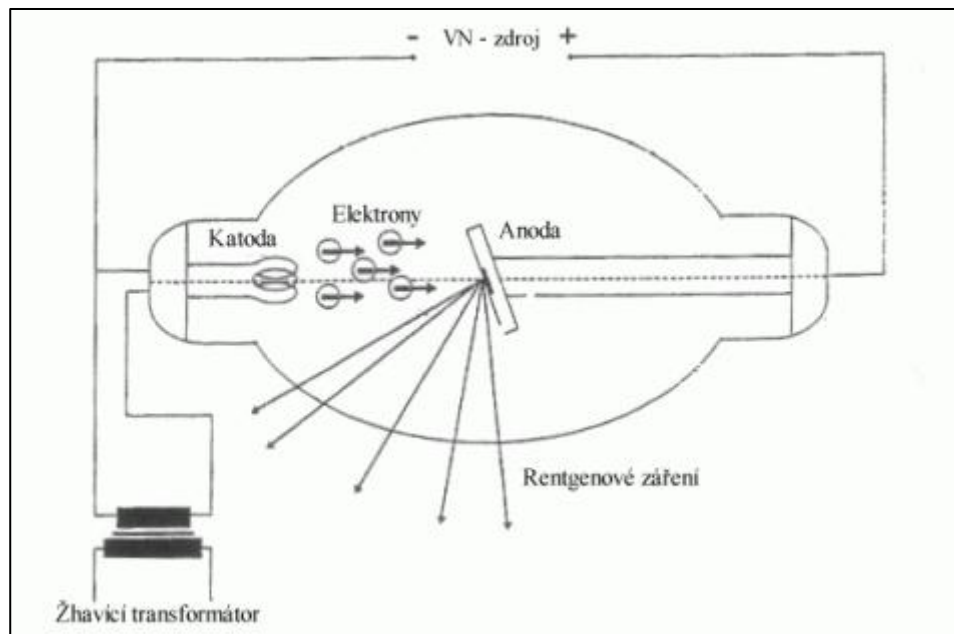
Jako na ostatní druhy elektromagnetického záření, tak i na rentgenovo záření je možný dvojí pohled. Lze o nich uvažovat buď jako o vlněních určité vlnové délky λ , nebo jako o toku fotonů šířících se rychlostí světla, jejichž energie je rovna známému součinu $h \cdot \nu$ (h je Planckova konstanta a ν je frekvence záření). Dle výše popsaného je patrné, že rentgenové záření má duální charakter, tzv. vlnově – korpuskulární.

Při studiu spektrálního složení rentgenového záření přicházejí v úvahu hlavně vlastnosti vyplývající z jeho vlnové povahy. Spektrum rentgenových paprsků je tvořeno v podstatě dvěma složkami – spojitým zářením a zářením charakteristickým.

Jedním z příkladů je tzv. brzdné záření vznikající při průchodu urychlené nabitě částice hmotným prostředím, které snižuje její energii. Základní charakteristikou brzdného záření je spojitě spektrum nezávislé na typu brzdícího prostředí. Má-li však brzděná částice dostatečnou energii, objevují se ve spektru diskrétní spektrální čáry, jejichž charakter a poloha jsou naopak pro složení brzdícího prostředí charakteristické. Studium vlastností diskrétních RTG spekter prvků je významným prostředkem pro studium struktury atomů. Sekundární RTG záření vzniká rovněž při ozařování látky vhodným (primárním) RTG zářením. Tento jev se nazývá rentgenová fluorescence.

Njčastěji užívaným zdrojem RTG záření je rentgenová trubice (rentgenka). V klasickém provedení je rentgenka tvořena vakuovanou baňkou, v níž jsou umístěny dvě elektrody –

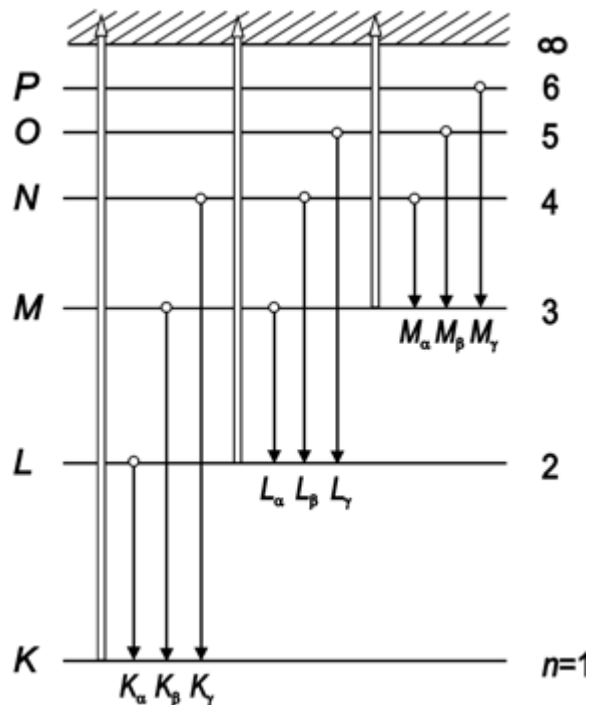
katoda a anoda (viz obr. 9). Elektrony emitované z katody žhavené elektrickým proudem jsou urychlovány anodovým napětím o řádové velikosti desítek až stovek **kV**. Katoda je obklopena dutým (Wehneltovým) válcem, vodivě spojeným s katodou, který tvoří fokusační elektrodu soustřeďující elektronový svazek do malé oblasti na povrchu anody. V místě dopadu elektronů na anodu vzniká RTG záření. V daném uspořádání může rentgenka tvořit téměř bodový zdroj spojitěho brzdného záření a při vhodných hodnotách urychlovacího napětí elektronů také zdroj charakteristického záření s diskrétním spektrem, odpovídajícím materiálu anody.



Obr. 10. Schéma rentgenové výbojky

Brzdné záření, jak bylo již řečeno, vzniká při průchodu urychleného elektronu materiálem anody. Elektron interaguje s lokálními poli v látkovém prostředí a díky této interakci postupně ztrácí kinetickou energii za současné emise fotonů. Jelikož konečným stavem brzdícího procesu jsou s velkou pravděpodobností volné elektrony se spojitým energetickým spektrem, je i spektrum brzdného záření spojité.

Charakteristické záření při dostatečně vysokých energiích elektronů emituje anoda rentgenky. Typickým pro charakteristické záření je čárové spektrum. Se vzrůstající energií elektronů intenzita a počet čar vzrůstá. V konečném tvaru však spektrum sestává z nevelkého počtu čar, které se podobně jako optická atomová spektra sdružují do sérií, přičemž polohy jednotlivých čar ve spektru závisí na materiálu anody. Na rozdíl od optických spekter se na vzniku rentgenových spekter podílejí elektrony vnitřních vrstev elektronového obalu atomu. Při nepružné srážce atomu s dostatečně rychlým elektronem může dojít k vytržení elektronu například ze slupky **K**. Volné místo pak může být zaplněno elektronem z některé ze slupek **L**, **M**, **N**,..., čímž vzniká celá série spektrálních čar **K** a následně další série **L**, **M**,..., jak ukazuje schématický obrázek.



Obr. 11. Schéma vzniku čárového spektra charakteristického RTG záření

4.2.1 Interakce záření s materiálem zkoumaného objektu

Rentgenové záření je vysoce pronikavé, původní intenzita dopadajícího záření I_0 [Wm^2] klesne po průchodu látkou tloušťky d [m] podle přibližného empirického vztahu na hodnotu $I=I_0e^{-md}$, kde m [m^{-1}] je celkový lineární koeficient zeslabení. Ten je dán součtem: $m=m_f+m_c+m_p$, kde m_f je koeficient zeslabení daný fotoelektrickým jevem, m_c Comptonovým rozptylem a m_p tvorbou elektronového páru. [1]

Druhy interakcí:

a) Fotoelektrický jev

Při fotoelektrickém jevu předá dopadající RTG foton veškerou svou energii elektronu z obalu atomu (molekuly). Uvolněný elektron se nazývá fotoelektron a jedná se o absorpční interakci (RTG foton zanikne).

b) Comptonův rozptyl

Při Comptonově rozptylu naráží foton na nízkoenergetický obalový elektron, zpravidla z vnější hladiny, který se při srážce chová téměř jako volný. Foton v důsledku srážky změni směr pohybu a ztratí část své energie, kterou předal elektronu.

c) Tvorba elektronového páru

Při tvorbě elektronového páru, absorpční interakci, se foton při svém těsném průchodu kolem atomového jádra mění v silném elektrickém poli tohoto jádra na elektronový pár (negatron a pozitron). Děj je podmíněný prahovou hodnotou energie fotonu $E=1,02$ MeV. Při vyšší energii fotonu se její přebytek mění na kinetickou energii negatronu a pozitronu.

d) Rayleighův rozptyl

Další možnou interakcí, hlavně u těžších prvků, je pružná srážka zvaná Rayleighův rozptyl. Energie fotonu před a po srážce je stejná, směrová odchylka malá. K Rayleighově rozptylu dochází však pouze při malé energii dopadajícího fotonu ($E=0,1 \text{ MeV}$).

Pro další výklad činnosti rentgenů je důležité, že rozptýlené Comptonovo záření se šíří ze zkoumaného objektu všemi směry. Při fotoefektu či tvorbě elektronového páru foton zanikne a fotony, které nevykonaly žádnou interakci, pokračují dále ve svém přímočarém pohybu a vytvářejí základní RTG obraz. Menší rentgeny prosvěćují zkoumaný objekt najednou. Na daný bod detekční plochy dopadá tedy nejen příslušně zeslabený paprsek z přímého směru od zdroje, ale i z celého objektu přicházející Comptonovo záření (podstatně slabší). Pásové rentgeny prosvěćují zkoumaný objekt postupně, a to v daný okamžik pouze v rovině kolmé na směr pohybu objektu

Způsoby detekce RTG záření

Detektor převádí ve většině případů dopadající RTG záření na elektrický signál. Z něj se pak po počítačovém zpracování vytváří obraz na příslušném zobrazovacím zařízení. Detektory se dělí na polovodičové, scintilační a fotodiodové. U polovodičových detektorů produkují dopadající fotony pár elektron – díra, čímž dochází k vedení elektrického proudu.

U scintilačních detektorů způsobuje absorpce RTG záření excitací elektronů ve svrchních sférách obalu atomu. Při jejich návratu na nižší energetickou hladinu dochází k vyzáření energie ve formě světla. To je detekováno fotodiodami, popřípadě využitím optických vláken pro vedení světla se docílí ostřejšího obrazu. Detekční část je tvořena soustavou detekčních elementů, kdy každý z nich poskytuje oddělený signál. Tato detekční soustava tvoří u rentgenů s nehybným zkoumaným objektem obdélníkovou plochu. U pásových rentgenů jsou detekční elementy uspořádané do sloupce, případně do svislé řady lomené ve tvaru obráceného písmene L, aby nedošlo k "uřezávání rohů" u většiny objektů. RTG záření z rentgenky je usměrněno olověným stíněním se svislou podlouhlou štěrbinou, která se nachází na straně pásu proti řadě detekčních elementů. Skenování ve

vodorovném směru zajišťuje rovnoměrný přímočarý pohyb pásového dopravníku pohybujícího zkoumaným objektem. [3]

4.3 Rozdělení bezpečnostních rentgenů

Podle technologického vývoje a složitosti konstrukce bezpečnostní rentgeny rozdělujeme do tří generací.

4.3.1 Bezpečnostní rentgeny I. generace

Za rentgeny I. generace lze považovat všechny rentgeny, které ani orientačně neurčují druhy látek prohlížených předmětů, jak je tomu u rentgenů II. a III. generace. Mezi rentgeny I. generace patří některé cenově dostupné pásové rentgeny, všechny rentgeny stolní pro kontrolu listovních zásilek, nebo rentgeny pro ruční manipulaci.

Rentgeny s pásovým dopravníkem umožňují využít systém skenování, který odstraňuje deformace ve vodorovném směru. Toto skenování zároveň zvyšuje kvalitu obrazu, jelikož na detekční segment dopadá v daný okamžik pouze záření prošlé ve svislé rovině a ne současně část Comptnova záření z celého tělesa, které je orientováno k rovině detekční soustavy.

Pravděpodobně nejrozšířenější modifikace bezpečnostního rentgenu je s pásovým dopravníkem. To má praktický význam při prohlídce většího množství zavazadel, čímž je usnadněna práce obsluhy.

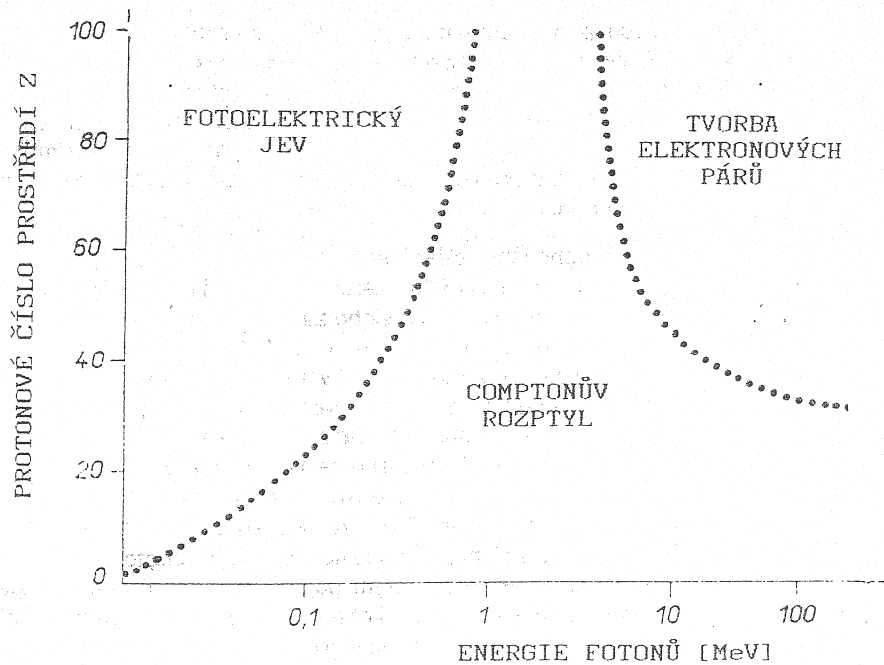
4.3.2 Bezpečnostní rentgeny II. generace

Rozšířeným způsobem, zvyšujícím schopnost rentgenů při vyhledávání zájmových předmětů, je využití principu dvojí energie (**dual-energy**). Zda při interakci rentgenova fotonu s materiálem zkoumaného objektu bude převládat fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl či tvorba elektronových párů, závisí na energii dopadajících fotonů E_g a protonovém čísle prostředí Z detekovaného materiálu. Z této závislosti je patrné, že u látek s nižším protonovým číslem je převládajícím mechanismem Comptonův rozptyl, a to i pro poměrně malé energie fotonů. U látek s vyšším protonovým číslem bude pro nízkoenergetické záření převládat zase fotoelektrický jev. Viz. grafy. Uvedená závislost je zobrazena na obr. 12.

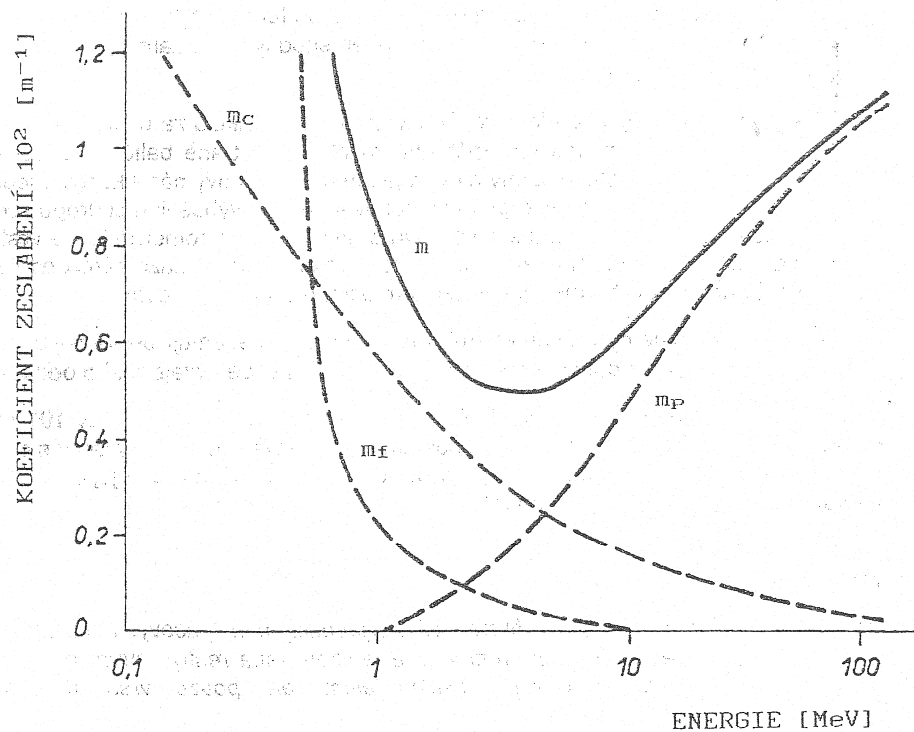
Obecně řečeno, látkami s vysokým protonovým číslem (tj. kovy) nízkoenergetické RTG záření téměř neprojde. Látkami s nízkým protonovým číslem RTG záření prochází. Látkami s nízkým protonovým číslem se rozumí sloučeniny zejména na bázi uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku, křemíku. V praxi se jedná o sledované látky jako výbušniny, drogy, plasty, apod. Pro vyšší energii rentgenova záření nebude tento rozdíl tak velký. Získáme-li rentgenové obrazy pro dvě různé úrovně energií, jsme schopni po jejich srovnání usuzovat, jaké látky (s jakým protonovým číslem), způsobují zeslabení RTG záření. Na uvedeném principu je založena metoda dvojí energie (**dual-energy**), případně metoda (**multi-energy**), využívané u moderních pásových rentgenů. Ty mají vícenásobný počet detekčních elementů oproti rentgenům I. generace. Každý detekční element díky energetickým filtrům snímá RTG záření spadající do daného energetického rozsahu.

Energetické filtry **RTG** záření jsou založeny na různých účinných průřezech jednoho druhu materiálu pro různé hodnoty energie RTG fotonů. Jestliže necháme RTG záření o energii fotonů E_1 procházet deskou určitého materiálu tloušťky d , zeslabí se intenzita záření z původní hodnoty I_0 na hodnotu I .

Graf A: Vliv absorbující látky a energie záření na charakter interakčního děje



Graf B: Závislost koeficientu zeslabení na energii záření.



Obr. 12. Graf A - závislosti charakteru interakčního děje na protonovém čísle absorbující látky a energii záření [3, s. 29]

Graf B – závislost koeficientu zeslabení na energii záření [3, s. 29]

Další možností jak zvýšit schopnosti rentgenů pro prohlídku zavazadel je využití zpětného rozptylu (Comptonův rozptyl nebo tzv. **backscatter**). Pro látky s nízkým protonovým číslem je převládající Comptonův jev. Na obraze ze zpětně rozptýleného záření budou tedy látky s nízkým protonovým číslem (drogy, výbušniny, papír, kůže) zobrazeny vůči látkám vyšším (jako jsou kovy) daleko intenzivněji, než je tomu u klasického zobrazení prošlého záření.

Při zobrazování prošlého RTG záření se s Comptonovým rozptylem počítá pouze jako s jedním druhem zeslabení procházejícího záření. Comptonovo záření dopadající na detekční soustavu je vzhledem k velikosti přímo prošlého záření zanedbatelné. Comptonovo záření se od částice, na níž k rozptylu došlo šíří všemi směry a na detekční soustavu dopadá pouze jeho část. Pokud však umístíme detekční soustavu na stranu zdroje, bude na ní dopadat pouze Comptonovo záření, i když také nízké intenzity. Na každý bod detekční plochy bude však současně dopadat zpětně rozptýlené záření z každé ozářené části prohlíženého objektu. Záření bude zeslabené interakcemi v materiálu objektu během své zpětné cesty. Pro získání obrazu je nezbytné v daný okamžik ozařovat zkoumaný objekt pouze tenkým paprskem. Celková detekovaná intenzita zpětně rozptýleného záření odpovídá intenzitě Comptonova rozptylu materiálu objektu prozařovanému v daný okamžik úzkým paprskem. V praxi mají rentgeny vždy dvě detekční soustavy. Jednu pro vytváření klasického obrazu z prošlých rentgenových paprsků a druhou pro vytváření obrazu z Comptonova rozptylu. Záření emitované rentgenovou trubicí je usměrňováno kombinací dlouhé svislé stacionární štěrbiny a rotačního kola se čtyřmi štěrbinami. Toto zajišťuje skenování objektu ve směru svislém. Skenování objektu ve směru vodorovném zajišťuje pohyb objektu na pásu. Pro získání zobrazení zpětně rozptýleného záření i z druhé strany objektu při jediném průjezdu rentgenem se na druhou stranu pásu (o kousek dále) umísťuje ještě jeden shodný zdroj záření s příslušnou detekční soustavou pro rozptyl.

Výhodou oproti metodě dvojí energie je, že i v případě kdy bude například za balíčkem výbušniny silnější kovová deska, systém detekce zpětného rozptylu na straně balíčku výbušninu kvalitně zobrazí. Naproti tomu u systémů z dvojí energií může kovová deska výbušninu zcela zamaskovat, bez ohledu na pořadí balíčku a desky. Na stranu druhou i poměrně tenká vrstva kovu, pokud se bude nacházet z obou stran zájmové organické položky, může zpětně rozptýlené záření blokovat a tak ji ve výsledném zobrazení zcela eliminovat.



Obr. 13. Rapiscan MVXR5000 (Multi View)

Rapiscan MVXR5000 (Multi View) se systémem Dual Energy nabízí 5 různých pohledů na kontrolovaný předmět, čímž zvyšuje schopnost operátora identifikovat objekt. Těchto 5 pohledů zajišťují komplexní zobrazení zásilek bez ohledu na jejich orientaci. Technologie Multi View eliminuje případy, kdy operátor potřebuje měnit polohu zásilky a podruhé ji kontrolovat. Zobrazování systémem Dual Energy umožňuje automatické přiřazení různých barev materiálům s různými atomovými čísly, takže obsluha rentgenu může snadno identifikovat objekty v zásilce.

Další variantou bezpečnostních rentgenů využívajících zpětného rozptylu jsou tzv. personální rentgeny. Rentgen na lidi není pásový. Kontrolovaná osoba se postaví nejdříve čelem k rentgenu a je skenována rentgenovým paprskem. Paprsek má tak slabou intenzitu, že neproniká lidským tělem, ale pouze vrstvami oděvu. Na monitoru je pak zobrazováno zpětné rozptýlené záření. Podruhé je osoba skenována zezadu. Zobrazovány jsou předměty ukryté na těle pod oděvem, nebo v oděvu. Bohužel veřejnost se k této technologii staví velmi negativně v obavě z invazivnosti a negativních účinků RTG záření na živé buňky.

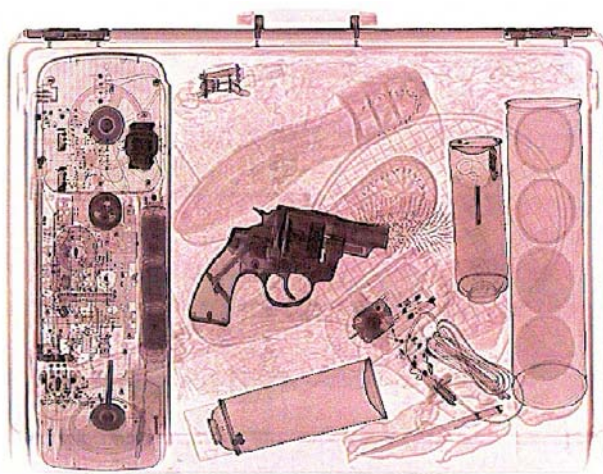


Obr. 14. Personální rentgen Rapiscan
Secure 1000

Zpracování obrazu

Softwarové zpracování obrazu umožňuje obsluze volit nejrůznější druhy zobrazení a tak jí v co nejlepší formě podat informace získané zrentgenováním zkoumaného objektu. Jednotlivé obrazy si lze často uložit do paměti.

Černobílé zobrazení – ukazuje jednotlivé předměty v různých odstínech šedi. Míra tmavosti odstínu obrazu předmětu je úměrná jeho schopnosti pohlcovat RTG záření.



Obr. 15. Černobílé zobrazení

Předměty, které mají vyšší schopnost absorbovat RTG záření, jsou zobrazovány tmavě nebo černě. Jedná se o předměty z materiálu o vysoké hustotě (ocel, olovo), nebo předměty z látek menší hustoty, ale v silnější vrstvě. Méně záření pohlcující předměty jsou zobrazeny světle. Jedná se o předměty z látek nízké hustoty, nebo v tenké vrstvě (papír, textil).

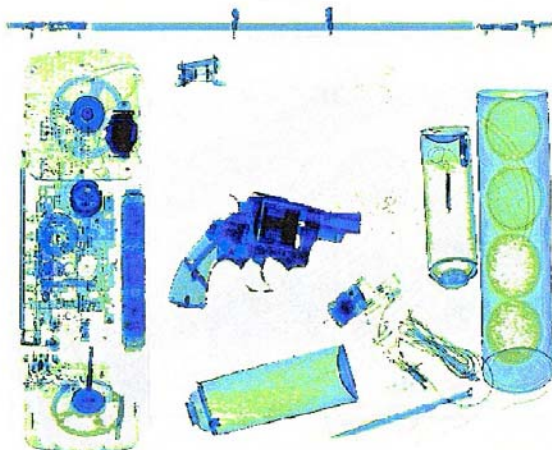
System HI-MAT rozpoznávání látek – na rozdíl od černobílého zobrazení, kde k rozlišení předmětů sloužily jen odstíny šedi, zobrazuje tento systém předměty pomocí tří barev a jejich odstínů. Jednotlivé barvy jsou charakteristické pro konkrétní typy materiálů sledovaných předmětů.



Obr. 16. Zobrazení HI – MAT, rozpoznávání látek

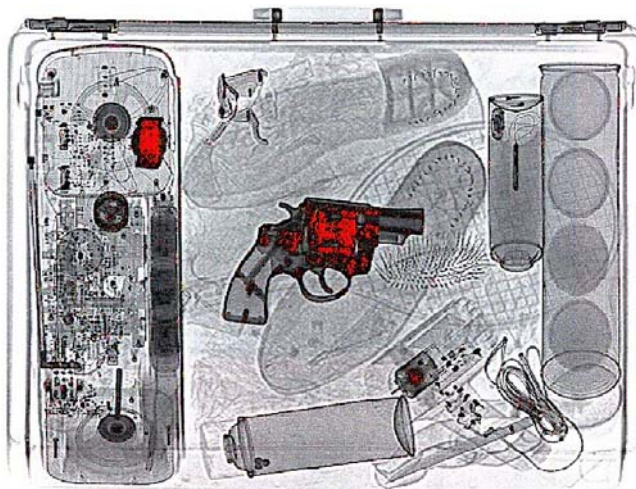
Materiály, ze kterých jsou předměty vyrobeny, jsou rozděleny do tří skupin dle jejich efektivní atomové hmotnosti. Tyto skupiny jsou zobrazovány oranžovou, modrou a zelenou barvou. Rozdělení je prováděno na základě stupně absorpce záření při různých vlnových délkách. Výpočet určí efektivní atomové číslo Z_{ef} , které vychází ze zastoupení jednotlivých prvků v materiálu. Barva tedy ukazuje druh materiálu a její sytost tloušťku předmětu. Materiály, které nemohou být rozpoznány kvůli příliš vysoké nebo nízké míře absorpce záření jsou zobrazeny na škále odstínů šedé.

Organic Stripping – funkce díky které se omezí zobrazování na anorganické látky z materiálů o vyšší hustotě, které se zobrazují zeleně a modře. Organické látky jsou zobrazeny světle šedou barvou.



Obr. 17. Zobrazení organic stripping

Černobílé zobrazení HI-CAT – zobrazení se liší od klasického černobílého zobrazení tím, že látky s největší absorpcí RTG záření jsou zobrazeny červeně.



Obr. 18. Černobílé zobrazení HI-CAT

Software umožňuje nepřeborné množství zobrazení, která napomáhají obsluze sledující monitor bezpečnostního rentgenu snížit riziko přehlédnutí nebezpečných předmětů. Standardní je možnost zvyšování kontrastu, zvýraznění hran jak při černobílém tak barevném obrazu, nebo funkce **zoom**. I přes celou řadu funkcí napomáhajících odhalení sledovaných předmětů je klíčovým lidský faktor. Obsluha rentgenu rozhoduje o tom, jestli se jedná o nebezpečný předmět, nebo jestli se jedná o předmět jehož kontury se nebezpečnému předmětu pouze podobají.

Při velkém množství kontrolovaných zavazadel klesá pozornost obsluhy a zvyšuje se pravděpodobnost, že sledovaný nebezpečný předmět projde pásovým rentgenem bez povšimnutí. Z tohoto důvodu je dnešním trendem zavést plně automatizovanou kontrolu. Principiálně se jedná o softwarové zpracování obrazu. V praxi automatická detekce rentgenů III. generace vyhodnotí bez rozhodování obsluhy cca 80 % sledovaných zavazadel jako bezvadný, bez podezření na přítomnost nebezpečných předmětů (zbraně, výbušniny, drogy). U zbývajících 20 % je obrazový výstup s rentgenu podroben vizuální kontrole obsluhy.

Automatická detekce se začala využívat se systémem skenování typu dual energy. S využitím zpětného Comptonova rozptylu se ještě více rozšířila a zdokonalila. Princip spočívá v softwarovém vyhodnocení faktorů jakými jsou plocha zobrazeného předmětu, míra ztmavnutí dané plochy. Míra ztmavnutí je dána jednak fyzikálními vlastnostmi daného materiálu a jednak jeho tloušťkou. Zařízení je nastavené na předem dané úrovni těchto sledovaných faktorů, při jejímž překročení je obsluha upozorněna na zvýšené riziko výskytu nebezpečného sledovaného předmětu. Poté přichází ke slovu vyhodnocení obrazu obsluhou. Úroveň těchto limitních hodnot si může nastavit přímo obsluha. Při vysokých úrovních hodnot sledovaných faktorů se zvyšuje pravděpodobnost situace, že nebezpečný předmět v zavazadle projde přes pásový rentgen bez povšimnutí. Při nízkých úrovních hodnot sledovaných faktorů se pak zvýší počet kontrol obsluhou zařízení, jelikož bude větší počet zavazadel automaticky vyhodnocen za rizikové.

4.3.3 Bezpečnostní rentgeny III. generace

Rentgeny II. generace se systémem dvojí energie či zpětného Comptonova rozptylu jsou schopny detekovat pouze tři kategorie materiálů (kovové, organické, popřípadě anorganické). To bohužel pro zavádění automatické detekce není dostačující. Tento problém řeší rentgeny III. generace díky zdokonalenému principu snímání dvojí energie, nebo kontrolou sledovaného objektu z více stran.

4.3.3.1 *Rentgeny s dvojí energií a přidavným kolmým skenováním*

Jeden způsob zdokonalení tkví v pořízení RTG obrazů sledovaného objektu metodou dvojí energie ze dvou navzájem kolmých rovin. Tyto rentgeny mají dva zdroje RTG záření a jim protilehlé detekční segmenty. Oba zdroje RTG záření mají shodné pracovní napětí, různé velikosti RTG záření se docílují pomocí speciálních filtrů. Tato modifikace poskytuje větší množství informací o sledovaném předmětu. Informace jsou softwarově zpracovány v 3D model, čímž je umožněna automatická identifikace nebezpečných sledovaných předmětů.

Tento typ rentgenů umožňuje automatickou detekci, výbušnin a drog. V případě pozitivní automatické detekce obsluha zkoumá dva vzájemně kolmé snímky s označenou oblastí s možným výskytem barevně rozlišeného nebezpečného předmětu.

4.3.3.2 *Rentgeny s dvojí energií a vícečetnou druhovou identifikací*

Tento systém je založen na přesném a stabilním zdroji RTG záření o dvou různých energiích (true dual energy) na rychlém zpracování velkého množství dat ze snímacích prvků. Tento systém má buď dva na sobě nezávislé zdroje RTG záření, nebo jeden pracující pulsně. Pulsní zdroj vytváří střídavě záření o různé energii. Výkonná výpočetní technika pak identifikuje nebezpečné předměty na základě hodnoty protonového čísla materiálu, velikosti, hustoty.

Tyto rentgeny jsou schopny vzájemně odlišit několik druhů organických látek. Samy identifikují výbušniny, případně i dogy a barevně je odlišují nejenom od kovů, ale i od ostatních materiálů jako např. textil, kůže a podobně. Jsou schopny identifikovat tyto zájmové položky, i když jsou uzavřeny v přeplněném zavazadle a stíněny jinými předměty z různých materiálů.

Pulsní zdroj s měnící se hodnotou energie záření používají rentgeny společnosti Vivid Technologies, dva na sobě nezávislé zdroje RTG záření rentgeny společnosti HI - SCAN a Heiman Systems.

Existují rentgeny s dvojí energií a vícečetnou druhovou identifikací doplněné o hardwarový a softwarový modul využívající zpětně rozptýlené Comptonovo záření z již existujícího zdroje. To zvyšuje citlivost systému na tenké předměty zájmových materiálů, aniž by to zvyšoval dobu skenování pásovým rentgenem.

4.3.3.3 Rentgeny s počítačovou tomografií

Rentgenový obraz zkoumaného objektu snímáný pouze v jedné rovině neposkytuje obsluze vždy potřebné informace. Proto některé rentgeny pořizují již při jednom průchodu objektu jeho RTG obrazy ve dvou vzájemně kolmých rovinách, což vyžaduje dva RTG zdroje a dvě detekční soustavy.

Bezpečnostní rentgeny s počítačovou tomografií (computer tomographic CT), vyvinuté z rentgenů pro lékařské účely, jsou daleko dále a pořizují RTG obrazy objektu z více různých směrů (můžou objekt skenovat 360° po jeho obvodu) a ty jsou softwarově zpracovávány. Na základě tohoto porovnávání lze určovat útlum RTG záření v jednotlivých plošných vrstvách sledovaných předmětů. Je-li tato vrstva dostatečně tenká, můžeme považovat materiál v této vrstvě za homogenní ve směru kolmém na vrstvu. Můžeme tedy odhadovat materiálovou hustotu v tomto případě označovanou jako CT hustota. Zájmové látky, výbušniny či drogy pak rentgen určuje právě na základě jejich CT hustoty.

Kromě klasického obrazu, obrazu jednotlivých vrstev s barevným rozlišením různých materiálů mohou bezpečnostní rentgeny s CT zobrazovat virtuální 3D obraz zkoumaného objektu s barevným odlišením zájmových materiálů.

Co se týče konstrukčního uspořádání snímací části, tak v samotném rentgenu se zkoumaný objekt pohybuje po dopravníkovém pásu. Vlastní skenovací část tedy RTG zdroj a detekční soustava rotuje kolem objektu, kolem osy rovnoběžné s dopravním pásem. Co největší pronikavosti záření se v případě potřeby docíluje stejně jako u jiných rentgenů, přechodem na více energetické záření, na elektrody trubice se přivádí vysoké napětí, řádově 100 kV.

Kontrola objektu probíhá ve třech fázích:

1. fáze - přístroj pořídí a analyzuje konvenční RTG obraz, aby mohl určit polohu CT řezu. Tu volí na základě přítomnosti a velikosti položek v konvenčním obraze

2. fáze - přístroj pořídí a analyzuje několik příčných CT obrazů, aby zjistil přítomnost položek ze zájmové oblasti CT hustoty. Jestliže tam nějaká položka spadá, přístroj odhadne její hmotnost. Jestliže tato hmotnost překročí alarmován práh, přístroj na to upozorní a ukazuje obsluze jednotlivé obrazy, zatímco podezřelý objekt zůstává uvnitř rentgenu. Jestliže pro žádnou položku nespadá její CT hustota do zájmové oblasti, zavazadlo pokračuje automaticky po pásu dále.

3. fáze - obsluha zkoumá konvenční CT rentgenové obrazy, na kterých je podezřelá položka odlišena. Obsluha si může provést další řezy či vytvořit virtuální 3D obraz.

Rentgeny s počítačovou tomografií dokážou ve zkoumaném objektu odhalit nejvíce. Soubor obrazů předkládaných obsluze je vzhledem k jiným rentgenům nejrozsáhlejší a poskytuje nejvíce informací v nejlepší podobě. Minimální množství výbušniny, či drogy zachytitelné automatickou CT detekcí se blíží stovce gramů. Pomocí CT je možno zajistit zájmové látky i různé důmyslně ukryté v přeplněných zavazadlech. [3]

4.3.4 Automatizovaný systém zapsaných zavazadel

Zavazadla v rámci bezpečnostní prohlídky putují po systému pásových dopravníků s automatickými vyhybkami, který se využívá i pro třídění zavazadel pro jednotlivé lety. Zavazadla jsou identifikována automatickými laserovými čtečkami čárových kódů. Na zavazadla jsou připnuty plastové pásy na kterých jsou natištěny čarové kódy z obou stran pásu, pod různými úhly. Díky tomu je docíleno bezvadné načtení kódu laserovou čtečkou. Vlastní bezpečnostní kontrola zapsaných zavazadel probíhá v několika stupních.

První stupeň kontroly zavazadel tvoří automatická detekce rentgenem, nejvhodnější je některý ze systémů rentgenů III. generace. Rentgeny s počítačovou tomografií se pro první stupeň prohlídky nehodí pro delší dobu detekce. V praxi cca 80 % zavazadel projde prvním stupněm kontroly. Automatická detekce u nich dost spolehlivě zjistí, že nemohou obsahovat větší množství výbušniny. Spolehlivost a rychlost detekce jsou klíčovými faktory volby rentgenů III. generace. Zbývajících cca 20 % zavazadel je podrobena druhému stupni. Uvážíme-li, že prakticky u všech těchto zavazadel se jedná o planý poplach, je počet planých poplachů velký. Tento nedostatek je řešen ve druhém stupni.

Ve druhém stupni kontroly zavazadel operátoři vizuálně kontrolují různě softwarově zpracované obrazy pořízené při prvním stupni. Touto kontrolou se cca 19 % zavazadel vyhodnotí za nezávadné. Popřípadě jsou do systému zařazeny rentgeny s CT vyhodnocením obrazu.

Třetí stupeň prohlídky bývá ruční odběr stopových částic nasáváním či stěrem pro některý z detektorů stopových částic.

Ve čtvrtém stupni je přivolán majitel zavazadla, kdy se prohlídkou obsahu potvrdí či vyvrátí podezření na přítomnost výbušniny či drog, popřípadě nastupuje tým pyrotechniků.



Obr. 19. Automatický systém kontroly zapsaných zavazadel

5 ZHODNOCENÍ A NÁVRH PERSPEKTIVNÍCH METOD KONTROLY OSOB A ZAVAZADEL

5.1 Komplexní zhodnocení nedostatků používaných systémů

Současné bezpečnostní prohlídky osob a jejich příručních zavazadel se většinou skládají z použití průchozího detektoru kovů, rentgenu, ručního detektoru kovů a někdy z detektoru stopových částic výbušnin. Průchozí detektor kovů vydává zvukový a optický signál při přítomnosti kovového předmětu větších rozměrů u kontrolované osoby. To slouží především pro vyhledávání střelných zbraní a větších zbraní chladných. Při vyšší nastavené citlivosti lze vyhledávat i elektrické zdroje roznětných částí výbušných systémů. Detekce kovových plášťů rozbušek by vyžadovala vyloučení většího množství kovových částí oděvu kontrolované osoby (jejich odložení a prověření, což je časově náročné).

U modernějších přístrojů optický signál zároveň indikuje přibližnou výši polohy detekovaného předmětu, případně i stranu či střed těla (zónová detekce rámových detektorů kovu). Osoba, u které detektor při průchodu vydá signál, je vyzvána obsluhou, aby se pokusila dotyčný kovový předmět nalézt, vyndat a položit do košíku na pás rentgenu. Pokud se to nedaří a detektor kovů vydává signál i po opakovaném průchodu osoby, pak teprve přichází ke slovu ruční detektor kovu pro přesné dohledání příčiny signálu.

Většina moderních rámových detektorů kovu je standardně nastavena tak, že i v případě negativní detekce náhodně v 10 % kontrolovaných osob spustí alarm. Tyto osoby jsou podrobeny systematické kontrole ručním detektorem kovu, případně vyzvány aby si odložily kabát, bundu, sako, apod. Náhodný výběr 10% kontrolovaných osob je záměrně ponechán na přístroji, protože na rozdíl od člověka zde nepřichází v úvahu sympatie, či antipatie bezpečnostních pracovníků. Je dokázáno, že po událostech z 11. září 2001 v USA, bezpečnostní pracovníci cíleně kontrolovaly mladé muže arabské národnosti ve věku cca 20 – 30 let. Na ostatní kontrolované osoby se nezaměřovali. Tento podvědomý cílený výběr by se mohl stát v budoucnu osudným. Nikde není psáno, že by na palubu letadla nemohla vnést výbušný systém, zbraň z kompozitního materiálu, či keramiky atraktivní a svým vystupováním velmi příjemná blondýna.

Pro kontrolu příručních zavazadel a předmětů odložených kontrolovanou osobou se používá pásový rentgen. Rentgenový snímek je vyhodnocován obsluhou. Ačkoliv se v poslední době pro tento účel konečně stává standardem rentgen s dvojitou energií (systém Dual Energy), umožňují tyto přístroje stále jenom barevné rozlišování organických, anorganických a kovových materiálů. Málokdy se setkáme s tím, že by i pro kontrolu příručních zavazadel byl použit rentgen schopný pomocí dvojité energie rentgenového záření nebo metody počítačové tomografie přesněji určovat hustotu a průměrné protonové číslo materiálů v kontrolovaných zavazadlech a automaticky tak vyhledávat a na monitoru vyznačovat látky, které těmito vlastnostmi odpovídají výbušninám. I potom se ještě musí počítat s poměrně velkým počtem falešných poplachů. Existuje totiž značné množství druhů průmyslových a vojenských výbušnin, které mají logicky různé hustoty a protonová čísla, a vždy se najde spousta látek, především organického původu, jejichž hustota a průměrné protonové číslo se budou shodovat s nějakým druhem výbušniny. Navíc na rentgenu musí být pro automatickou detekci nastavena hustota daného druhu plastické výbušniny s určitou tolerancí, neboť i modelováním plastické výbušniny se mění její hustota.

Při automatických prohlídkách zavazadel nakládáných do zavazadlových prostorů letadel se počet falešných poplachů pohybuje kolem 20 % z celkového počtu zavazadel. I to by byla pro většinu prohlídek příručních zavazadel obrovská pomoc, neboť u zbývajících 80 % zavazadel se dá s docela přijatelnou pravděpodobností předpokládat, že neobsahují větší množství výbušnin.

Na rozdíl od detektorů kovů a rentgenů ještě zdaleka není standardem, aby u každé prohlídky cestujících a jejich příručních zavazadel byl nějaký detektor stopových částic. Zahrnutí detektoru stopových částic do všech přístrojových sestav pro bezpečnostní prohlídky by bylo vhodné i v případech, kdy se nepředpokládá pracný ruční odběr vzorků od každého cestujícího a od každého zavazadla. Musí se totiž vzít v úvahu časová náročnost této kontroly (20-30 sekund na položku).

Tolik tedy zhodnocení bezpečnostní prohlídek a v současné době používaného technického vybavení, které již nevyhovuje současným nárokům.

Další rozsáhlou a samostatnou kapitolou je odborně vyškolený personál obsluhující techniku bezpečnostních systémů a jeho vhodný výběr. Například mezi operátory sledujícími na monitorech obraz obsahu kontrolovaných zavazadel je velký kvalitativní rozdíl. Jednak zde hrají roli přirozené pozorovací vlohy dané geneticky. Dále zde hraje velkou roli praxe, kvalitní operátor bezpečnostního rentgenu získává potřebné rutinní zkušenosti po cca 2 letech.

Dalším faktorem je faktor únavy, schopnost udržet si optimální míru pozornosti v závislosti na čase klesá. Tolik závěrem téhle kapitoly, personální a organizační otázka není náplní a předmětem této práce. Přesto bylo nutné se o ní zmínit protože stejně jako ve všech oborech lidské činnosti je lidský faktor klíčový.

5.2 Návrh perspektivních metod bezpečnostních prohlídek

Zatím byly pojmenovány pouze některé nedostatky vyskytující se v použití současné techniky. Existují ovšem také principiální nedostatky současných typických sestav detekční techniky.

Detektory kovů nedetekují vůbec elektricky nevodivé a nemagnetické předměty. Nedetekují tedy chladné ruční zbraně vyrobené z polymerů a kompozitních materiálů. A těch je dnes dostupný široký sortiment. Nedetekují ani výbušniny. Vývoj keramických střelných zbraní je do budoucna taktéž neopominutelnou hrozbou. Velké principiální nedostatky má i bezpečnostní prohlídka příručních zavazadel. Rentgeny bez automatické detekce látek odpovídajících výbušninám jsou, jak již bylo řečeno, pro solidní detekci výbušnin nedostatečné. Ale ani většina rentgenů s automatickou detekcí výbušnin na principu dvojí energie nezaregistruje tenký plát výbušniny, zvláště pokud je zakryt alespoň menším množstvím kovového materiálu apod. Tento nedostatek nemají rentgeny s počítačovou tomografií. Operátor ale musí na základě obvyčejného rentgenového snímku zvolit alespoň jednu rovinu řezu tak, aby procházela výbušninou. Pokud zvolí více rovin řezu, doba skenování jednoho zavazadla se úměrně prodlouží a tato metoda se stává méně vhodnou pro první stupeň prohlídky, který vyžaduje vysoký počet zkontrolovaných

zavazadel za jednotku času. Navíc tyto rentgenové metody předpokládají určitou hustotu a průměrné protonové číslo výbušnin

Detektory stopových částic při bezpečnostní prohlídce osob i jejich příručních zavazadel, a to jak při odběru vzorků nasáváním okolních par, tak i stěrem, neodhalí výbušniny dostatečně izolované od okolí nějakým obalem, který má minimální koeficient difúze pro částice výbušniny a jehož povrch je dobře očištěn. Takto zabalenou výbušninu nemá naději ucítit ani výborně vycvičený pes.

Pro řešení jednoho z výše uvedených nedostatků, vyhledávání nekovových zbraní u osob je již dnes na trhu dostupná odpovídající technika. Protože obzvláště chladné zbraně mohou být vyrobeny z nejrůznějších materiálů, nelze je automaticky vyhledávat na základě fyzikální detekce na bázi specifických vlastností daného materiálu. Druh anebo množství materiálu těchto zbraní se bude prakticky vždy dostatečně odlišovat od krycí vrstvy oděvu. Lze tedy omezit na minimum nepříjemné, obtěžující, zdlouhavé, pracné a ne vždy spolehlivé osobní prohlídky.

Řešení nabízejí již delší dobu známé a na trhu nabízené personální rentgeny. Ty samozřejmě splňují předpoklad co nejmenšího ozáření kontrolované osoby. Některé rentgeny osobu prozařují a dávka jejího ozáření při prohlídce je pak pod $2,5 \mu\text{S}$. Stejnou dávku obdrží cestující od slunce za dvě hodiny letu ve výšce kolem 10 km. Prozáření osoby je nutné k vyhledávání kontrabandu ukrytého v tělních dutinách. Pro vyhledávání zbraní a kontrabandu ukrytých pod oděvem stačí rentgeny skenující povrch osoby úzkým a slabým rentgenovým paprskem a zobrazující zpětně rozptýlené Comptonovo záření. Toto záření tělem osoby neprochází a dávka ozáření je jen $0,05 \mu\text{S}$. Přesto se veřejnost často dívá na jakékoliv „zbytečné“ ozáření nevraživě, aniž by vůbec měla snahu posoudit jeho velikost, která je často zcela zanedbatelná vůči rozdílům přirozených dávek v různých prostředích.

Kontrolovanou osobu je logicky nutno osnímkovat zepředu i zezadu. Druhou možností zobrazování zbraní a kontrabandu ukrytého pod oděvem kontrolovaných osob je pasivní zobrazování elektromagnetického vlnění - tepelného sálání těles, především lidského těla, v oblasti vlnových délek na rozhraní infračerveného záření a rádiových vln - kolem 3 mm. Toto zobrazování se označuje jako milivize. Pro bezpečnostní prohlídku osob je nejvhodnější provedení milivize jako „brány“, kdy se před její kamerovou částí

kontrolovaná osoba zastaví, pořídí se její obraz zepředu a pak se, podobně jako u personálního rentgenu, otočí pro zobrazení zezadu.

Je ale i možné provedení milivize jako pozorovací a monitorovací kamery umístěné na motorické hlavě pro kontrolu osob pohybujících se v okolí (i přes 30 m), například v prostorách letiště. Toto provedení se může použít i pro prohlídku prakticky plynule za sebou jdoucích osob, spolehlivost prohlídky pak bude ale menší. Lze namítnout, že doopravdy drobné chladné zbraně nelze dobře rozlišit od malých součástí oděvů. Tyto drobné zbraně však nejsou příliš nebezpečné z hlediska ohrožení celého letadla, zvláště pokud předpokládáme další, dnes již běžně dostupná a nepříliš ekonomicky náročná bezpečnostní opatření.

Dnes je samozřejmostí pilotní kabina opatřená neprůstřelnou bezpečnostní přepážkou s biometrickou identifikací, CCTV, tísňové hlásiče a utajený bezpečnostní pracovník vybavený elektrickým vystřelovacím paralyzérem v prostoru pro cestující atd.

U keramických střelných zbraní lze předpokládat, kromě obtížné dostupnosti, i horší parametry (počet ran, přesnost, spolehlivost) a hlavně dosti vysokou hustotu materiálu, výrazněji absorbujícího jak milimetrové vlny, tak rentgenové záření. Protože lze u nich předpokládat i nezanedbatelné rozměry, půjde zřejmě pro jejich zobrazení na pozadí lidského těla nastavit jednoduchý pomocný alarm pro obsluhu na základě počítačového zpracování obrazu.

Vyhledávání výbušnin u osob nemůže plně vyřešit pouze milivize či personální rentgeny. U omezeného počtu kontrolovaných osob je sice možný pracný ruční odběr stopových částic nasáváním okolních par nebo otěrem oblečení a pokožky kontrolované osoby, není to ale vhodná metoda pro kontrolu všech osob. Pro tento účel jsou vhodné průchozí kabinkové detektory stopových částic s automatickým odběrem vzorků. V nich jsou kontrolované osoby buďto ovívány proudem vzduchu, který je pak sbírán k analýze, nebo je využíváno přirozeného proudění par kolem lidského těla vzhůru. V těchto kabinkách může být zabudován detektor kovů.

Kabinkové detektory výbušnin u osob s automatickým odběrem stopových částic zaregistrují výbušniny s vysokou tenzí par (např. TNT) či značkovače u nověji vyrobených plastických výbušnin obsahujících pentrit nebo hexogen. Zřídka však detekují neoznačené plastické výbušniny a také opět nedetekují, stejně jako detektory stopových částic při kontrole stěrem, výbušniny dostatečně izolované od okolí nějakým vhodným obalem. Výbušnina je přitom velmi nebezpečná položka, která se nesmí dostat na palubu letadla ani v poměrně malém množství. Proto by bylo vhodné zobrazování kontrolovaných osob v milimetrovém pásmu elektromagnetických vln a kabinkový detektor stopových částic u osob doplnit ještě o nějaký jiný fyzikální princip, který by automaticky detekoval výbušniny u kontrolovaných osob.

Zde se nabízí jaderná kvadrupolová rezonance. Pomocí této metody můžeme prostřednictvím elektromagnetických polí v oblasti rádiových vln zjišťovat zastoupení některých atomových jader nacházejících se v daných chemických vazbách, a to bez ohledu na jejich rozložení v tomto prostoru. Při detekci výbušnin se vyhledávají jádra dusíku nacházející se v chemických vazbách například pentritu, hexogenu nebo TNT.

Pro vyhledávání zbraní v příručních zavazadlech jsou principiálně dobré i současné rentgeny. Zlepšovat by se měla především kvalita zobrazení, aby bylo možno rozeznat zbraně maskované jako tužky, hřebeny apod. Pro podrobnější zkoumání takovýchto podezřelých položek jsou výborné rentgeny s počítačovou tomografií, i když jsou poněkud pomalejší a především drahé.

Podstatné zlepšení si žádá vyhledávání výbušnin v příručních zavazadlech. Jednou z možností řešení jsou rentgeny s počítačovou tomografií. Tyto přístroje se v současnosti zavádějí pro prohlídku velkých zavazadel určených do nákladových prostorů letadel. Pro prohlídku příručních zavazadel by se musely zmenšit a zlevnit. Vzhledem k jednoduššímu obsahu příručních zavazadel by byly vhodné, neboť je menší pravděpodobnost, že na prvním pomocném zobrazení operátor přehlédne podezřelou položku a nezvolí alespoň jednu rovinu řezu skrz tuto položku.

Dále by se určitě měla využívat i jaderná kvadrupólová rezonance v pásovém tunelovém provedení, která se zatím využívá spíše jen pro prohlídku velkých zavazadel určených do nákladových prostorů letadla. Její předností je automatická a poměrně spolehlivá detekce určitého sortimentu výbušnin bez ohledu na jejich tvarování (včetně tenkých pláství), pozměněnou hustotu nebo průměrné protonové číslo. Navíc příruční zavazadla neobsahují většinou větší množství kovových materiálů, které by mohly výbušninu odstínit. Značný počet druhů obalů izolujících výbušninu před detektory stopových částic nebude stínit výbušninu před detekcí kvadrupólovou rezonancí. Kvadrupólová rezonance je nutnou součástí spolehlivé přístrojové sestavy bezpečnostní prohlídky příručních zavazadel, nikoliv však postačující.

Důležitým prostředkem při vyhledávání výbušnin u osob a v příručních zavazadlech zůstanou detektory stopových částic s ručním odběrem vzorků. Měly by se ale používat až pro vyšší stupně prohlídky, pro důkladnější kontrolu podezřelé položky. Pro automatizovanou kontrolu zavazadel pohybujících se po pásu se výborně hodí vyvíjený pásový tunelový detektor povrchových stopových částic pracující na principu optické analýzy hoření vybuzeného skenovacím laserovým paprskem. Laserový paprsek skenuje povrch kontrolovaného zavazadla a stačí ohřát pouze povrchové mikročástice. Ty, pokud jsou hořlavé, shoří (mikrohořením). Optické senzory pak registrují světelné záblesky. U mikročástiček výbušnin je při dané intenzitě záblesku jeho trvání podstatně kratší než u ostatních hořlavých mikročástiček.

Tato metoda je vhodná i pro detekci částiček plastických výbušnin ulpívajících na povrchu kontrolovaného zavazadla, je plně automatizovaná a nedochází ke ztrátám mikročástic cestou do vlastní analyzační části, jak je tomu u ostatních detektorů stopových částic.

Jako perspektivní se jeví "pro prohlídku velkých zavazadel komerčně nabízená metoda zvaná rentgenová difrakce. Při ní je operátorem na základě klasických rentgenových metod v kontrolovaném zavazadle vytipována a označena podezřelá položka. Nad ní pak najede zdroj tenkého svislého rentgenového paprsku a pod ní detekční soustava se zaslepeným středem, kam dopadá zeslabený svislý paprsek. Detekovány jsou pak difrakční kroužky. Úhel difrakce je závislý na vlnové délce rentgenového paprsku a vzájemné vzdálenosti meziatomárních rovin materiálu zkoumané položky. Rentgenovou

difrakcí můžeme tedy rozlišovat druhy materiálů. Nevýhodou dosavadního pojetí je přece jenom delší doba, a přitom pouze bodové ověření druhu materiálu.

Technologie rentgenů má vůbec rezervy. U detekčních soustav je třeba zvýšit hustotu detekčních elementů při současném zlepšení jejich parametrů. Obrovským přínosem pro zdrojovou část by byly rentgenové lasery. Při dostupnosti takovýchto technologií by se rentgenové metody mohly zásadně zdokonalit.

Opomenuta by neměla být ani detekce radioaktivních materiálů. Ta je již dnes často řešena na celkem přijatelné úrovni. Vychází se při ní z předpokladu, že radioaktivní materiál je zdrojem charakteristického radioaktivního záření, které je dostatečně pronikavé a stačí ho pasivně registrovat na známých, poměrně jednoduchých principech. Detektory by se ale měly umisťovat dále od rentgenů, neboť pokud rentgenem právě kontrolované zavazadlo obsahuje velké množství materiálu s nízkým průměrným protonovým číslem (voda apod.), je tento materiál silným zdrojem rentgenového Comptonova záření, které se šíří všemi směry a může u detektorů radioaktivních materiálů vyvolávat falešné poplachy. Zdrojem falešných poplachů bývají též osoby, které nedlouho před bezpečnostní prohlídkou prodělaly lékařské vyšetření využívající radioizotopy.

ZÁVĚR

Touto prací jsem se pokusil komplexně zhodnotit jednotlivé metody a prostředky používané v současné praxi bezpečnostních kontrol osob a zavazadel na letištích. Největší část práce je věnována v současnosti nejrozšířenějším a prakticky nejpoužívanějším technickým prostředkům bezpečnostních kontrol, kterými jsou detektory kovů a bezpečnostní rentgeny. Zejména u bezpečnostních rentgenů, přesto že se jedná o technologii používanou přibližně 35 let bylo nutno popsat jejich technologický a konstrukční vývoj. I v současné době se tato zařízení vyvíjejí a to zejména v oblasti softwarového zpracování obrazu z několika detekčních rovin. Cílem je vytvořit co nejvěrnější 3D obraz sledovaného obsahu zavazadel, pro účinnější odhalení nebezpečných předmětů.

Dalším cílem je kontroly plně, nebo částečně automatizovat, aby se výrazně snížila doba jejich trvání, nikoliv však na úkor účinnosti kontrol.

Zdá se, že budoucností téhle problematiky je hromadné skenování odbavovaných osob. Ať už se bude jednat o aplikaci milivize, jaderné kvadrupólové detekce, skenerů na bázi RF, či jiných metod, popřípadě jejich kombinací. Cílem je určitá forma prvotní hromadné selekce osob, která vyčlení ty u nichž je pravděpodobnost přítomnosti nebezpečných předmětů přijatelně nízká. Zbývající osoby a jejich zavazadla, by se podrobila klasické bezpečnostní kontrole, pomocí technických prostředků popsanych v téhle práci

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JOHAN, Z., ROTTER, R., SLÁNSKÝ, E. *Analýza látek rentgenovými paprsky*. Praha: SNTL 1970, ISBN 04-619-70.
- [2] TUREČEK, J. *Dosavadní průběh výzkumu "Rentgenová detekce výbušnin". Bezpečností teorie a praxe č. 1/2006, 91-100 str.*
- [3] TUREČEK, J. *Technické prostředky bezpečnostních služeb II – Detektory pro bezpečnostní prohlídku osob, zavazadel a zásilek*. Praha: PA ČR, 1998, ISBN 80-85981-81-5.
- [4] CIGÁNIK, L., HRAZDÍRA, I. *Policejní pyrotechnika I. Výbušniny, výbušné systémy*. Praha 1998, ISBN 80-80562-84-1.
- [5] *Technický a provozní manuál rámového detektoru kovu METOR 200*

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Exploze bezprostředně po nárazu letadla do severní věže Světového obchodního centra v New Yorku

Obr. 2. Bezpečnostní rámový detektor kovu s pásovým RTG detektorem

Obr. 3. Schéma principu zónové detekce

Obr. 4. 18 ti zónový průchozí detektor kovu. Obrázek napravo ukazuje grafické zobrazení jednotlivých zón na LCD displeji.

Obr. 5. Pistole CZ 92, ráže 6.35 mm Browning

Obr. 6. Ruční detektor kovu

Obr. 7. Ruční detektor výbušnin

Obr. 8. Snímek ruky Berthy Röntgenové

Obr. 9. Popis složek elektromagnetického vlnění

Obr. 10. Schéma rentgenové výbojky

Obr. 11. Schéma vzniku čárového spektra charakteristického RTG záření

Obr. 12. Graf A – závislosti charakteru interakčního děje na protonovém čísle absorbující látky a energii záření

Graf B – závislost koeficientu zeslabení na energii záření

Obr. 13. Rapiscan MVXR5000 (Multi View)

Obr. 14. Personální rentgen Rapiscan Secure 1000

Obr. 15. Černobílé zobrazení

Obr. 16. Zobrazení HI – MAT, rozpoznávání látek

Obr. 17. Zobrazení organic stripping

Obr. 18. Černobílé zobrazení HI-CAT

Obr. 19. Automatický systém kontroly zapsaných zavazadel