



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

MATOUŠ VONDRÁK

VYUŽITÍ CT ZAŘÍZENÍ V PROCESU
BEZPEČNOSTNÍCH KONTROL NA LETIŠTÍCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Matouš Vondrák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Využití CT zařízení v procesu bezpečnostních kontrol na letištích**

Název tématu (anglicky): Usage of CT Devices in Airport Security Screening Process

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vyhodnocení současného stavu používaných zařízení určených pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů na stanovištích bezpečnostní kontroly se zaměřením na využití CT zařízení
- Technologický vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů
- Současný stav a očekávaný vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů
- Procesy spojené s kontrolou zavazadel a jiných předmětů
- Implementace CT zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Airport Planning & Management, Seth B. Young, Alexander T. Wells
L 17 - Bezpečnost - Ochrana mezinárodního civilního letectví před protiprávními činy
ACRP Report 25: Airport Passenger Terminal Planning and Design VOL1

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Vokáč, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Matouš Vondrák
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

Poděkování

Srdečně děkuji mému vedoucímu práce Romanu Vokáčovi za vedení práce, cenné rady a pomoc. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za pevnou a neochvějnou podporu při mém studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 3. srpna 2020



Matouš Vondrák

Autor: Matouš Vondrák
Název: Využití CT zařízení v procesu bezpečnostních kontrol na letištích
Instituce: České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta dopravní
Obor: Letecká doprava
Rok: 2020

Abstrakt:

Práce se zabývá detekční technikou bezpečnostních kontrol na letištích určenou pro kontrolu zavazadel a dalších vnášených předmětů do vyhrazeného bezpečnostního prostoru. Je popsán historický vývoj zařízení v kontextu vývoje bezpečnostních hrozeb a rozvoje technologií, současný stav a předpokládaný vývoj zařízení. V oblasti budoucího rozvoje je práce zaměřena na CT zařízení a jejich možnou implementaci do stávajících tratí bezpečnostní kontroly.

Klíčová slova:

Letiště, bezpečnostní kontrola, CT zařízení, screening kabinových zavazadel, RTG zařízení

Author: Matouš Vondrák
Title: Usage of CT devices in process of security screening at the airports
Institution: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences
Study Program: Air Transport
Academic year: 2020

Abstract:

The thesis is focused on detection equipment of security control at the airports intended for inspection of baggage and any other items carried inside security restricted area. It consists of several chapters regarding historic development affected by various threats and technology advancements, present state and further expected development. In terms of further improvements, the thesis is focused on CT devices and their possible implementation into present automatic screening lanes.

Key words

Airport, security control, CT device, screening of carry-on baggage, X-ray equipment

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Technologický vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů.....	12
2.1 Shrnutí situace letecké security do roku 1970	12
2.2 Zavedení plošného screeningu zavazadel	13
2.3 Zavedení přístrojového screeningu zavazadel	14
2.4 Standardní model tratě bezpečnostní kontroly	15
2.5 Rentgenové přístroje s vyzařováním jednoho svazku	17
2.5.1 Zařízení se snímáním z více úhlů	19
2.6 První využití technologie zpětného rozptylu	20
2.7 Rentgenové přístroje s vyzařováním dvou svazků	22
2.7.1 První použití rentgenových přístrojů s vyzařováním dvou svazků	23
2.7.2 Funkce TIP	24
2.8 Automatická detekce výbušnin.....	24
3 Současný stav a očekávaný vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů	26
3.1 Legislativa a standardy v security v letecké dopravě.....	26
3.1.1 ECAC	26
3.1.2 Pravidla definovaná Evropskou unií.....	26
3.1.3 Kategorizace detekčních zařízení organizací ECAC a jednotlivé standardy.....	27
3.1.4 Zavedení povinného EDS standardu 3	29
3.2 Zařízení s vyzařováním jednoho svazku	31
3.3 Příklady certifikovaných modelů organizací ECAC.....	32
3.3.1 Kategorie 1: Přístroje automatické detekce výbušnin (EDS).....	32
3.3.2 Kategorie 2: Přístroje pro detekci kapalných výbušnin (LEDS)	38
3.3.3 Kategorie 3: Stopová detekce výbušnin (ETD)	41
3.3.4 Kategorie 3: Systém detekce výbušnin pro kabinová zavazadla (EDSCB)	43
4 Procesy spojené s kontrolou zavazadel a jiných předmětů	46
4.1 Dělení prostorů letiště	46

4.2 Zakázané předměty v zavazadlech.....	47
4.2.1 Zakázané předměty v zapsaných zavazadlech.....	47
4.2.2 Zakázané předměty v kabinových zavazadlech.....	47
4.2.3 Seznam zakázaných předmětů v zapsaném a kabinovém zavazadle.....	48
4.3 Procesy kontroly zapsaných zavazadel a jiných předmětů směřujících do nákladového prostoru	48
4.4 Procesy kontroly kabinových zavazadel a jiných předmětů	51
5 Implementace CT zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů	53
5.1 Výpočetní tomografie	54
5.2 Certifikovaná CT zařízení pro kontrolu kabinových zavazadel.....	56
5.3 Prostorové srovnání CT EDSCB	58
5.4 Hmotnostní srovnání CT EDSCB	62
5.5 Proces bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel s použitím CT zařízení	63
5.6 Shrnutí výhod a nevýhod implementace CT zařízení na stanovišti bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel.....	65
5.6.1 Výhody CT zařízení	66
5.6.2 Nevýhody CT EDSCB	68
5.7 Implementace CT EDSCB do automatických tratí s využitím remote screeningu	69
6 Závěr	71
Seznam použité literatury	73
Seznam obrázků	79
Seznam Tabulek	80

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
3D	Threedimensional	Trojrozměrné
BHS	Baggage Handling System	Systém pro přepravu zavazadel
CEP	Common Evaluation Process of Security Equipment	Proces hodnocení vybavení pro bezpečnostní kontrolu organizace ECAC
<i>CJU</i>	Jeju International Airport	Mezinárodní letiště Čedžu
CT	Computed Tomography	Výpočetní tomografie
DECT	Dual energy computed tomography	Výpočetní tomografie využívající záření na dvou různých energiích
ECAC	European Civil Aviation Conference	Evropská konference pro civilní letectví
EDS	Explosives detection system	Systém detekce výbušnin
EDSCB	Explosives detection system for cabin baggage	Systém detekce výbušnin pro kabinová zavazadla
ETD	Explosive trace detection	Detekce stopového množství výbušnin
EU	European Union	Evropská unie
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
FAR	False Alarm Rate	Četnost falešných alarmů
FIP	False image projection	Zobrazení falešné hrozby (dřívější označení TIP)
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IED	Improvised explosive device	Improvizované výbušné zařízení
IMS	Ion mobile spectrometry	Iontová mobilní spektrometrie
JFK	John F. Kennedy International Airport	Mezinárodní letiště Johna F. Kennedyho
KVP	Peak kilovoltage	Nejvyšší vyzařované napětí
LAG	Liquids, Aerosols and Gels	Tekutiny, aerosoly a gely
LEDS	Liquid explosive detection system	Systém detekce kapalných výbušnin
MDE	Metal Detection Equipment	Vybavení pro detekci kovu
RTG	X-ray device	Rentgenové zařízení
RTT	Real Time Tomography	Koncept výpočetní tomografie se simulovanou rotací
SRA	Security Restricted Area	Zabezpečená ohraničená oblast

SSc	Security Scanner	Body scanner – zařízení pro bezpečnostní kontrolu cestujícího
STEB	Security Tamper Evident Bag	Uzavřená igelitová taška s bezpečnostním kódem
TIP	Threat Image Projection	Zobrazení falešné hrozby
USA	United States of America	Spojené státy Americké
WTMD	Walk Through Metal Detector	Průchozí detektor kovů
XRD	X-ray diffraction	Difrakce rentgenového záření

1 Úvod

Bezpečnost v letecké dopravě zaměřená proti protiprávním činům se vyvíjí už od šedesátých let minulého století. Se vzrůstající intenzitou teroristických útoků na civilní letadla bylo vyžadováno zavedení a později zpřísnění bezpečnostních opatření. Prostory letiště byly rozděleny na veřejné a neveřejné, kde část neveřejných prostor je ohraničená zabezpečená oblast označována jako Security Restricted Area (SRA). Cestující a zaměstnanci pohybující se v oblasti SRA musí absolvovat bezpečnostní kontrolu, při které jsou zkontrolovány také veškerá zavazadla a ostatní předměty. Bezpečnostní kontrolu můžeme rozdělit na kontrolu zavazadel a cestujících. Bezpečnostní kontrola zavazadel může být dodatečně rozdělena na kontrolu zapsaných a kabinových zavazadel.

Se zvyšujícím se počtem cestujících vzrůstá i počet zavazadel. Vyšší počet zavazadel klade vyšší nároky na bezpečnostní kontrolu. Kontrola musí být u všech cestujících a zavazadel provedena na stejně vysoké úrovni. Vyšší množství cestujících a zavazadel však klade nároky na rychlost kontroly a propustnost kontrolních zařízení. V průběhu uplynulých let se metody kontroly zavazadel měnily z manuální prohlídky na neinvazivní prohlídku pomocí rentgenového záření nebo pomocí sběru stop výbušnin. Nynější metody kontroly zavazadel a jiných předmětů jsou postaveny na využití rentgenového záření. Přístroje vyzařující rentgenové záření pracují na několika technologiích popsaných v této práci. Postupnou modernizací bylo umožněno elektronické zobrazení zavazadla z více úhlů, nejmodernější systémy dokáží vytvořit plnohodnotný 3D model zavazadla. 3D model může být následně využit jako podklad pro detekci výbušnin a jiných nebezpečných předmětů pomocí detekčních algoritmů.

Práce se věnuje současnému stavu elektronických zařízení využívaných na bezpečnostní kontrole se zaměřením na nejmodernější systémy poskytující 3D zobrazení pomocí výpočetní tomografie (CT). Pro zvolení tématu práce je možnost zlepšení úrovně bezpečnostních kontrol na letištích s využitím nabízené modernější technologie. Výstupem práce je zhodnocení CT zařízení při aplikaci na bezpečnostních kontrolách na letištích a jejich implementace do automatických tratí. Práce navazuje na výstupy bakalářských prací Adama Kohoutka (Zvyšování efektivity bezpečnostních kontrol na letištích – kontrola kabinových zavazadel) a Lukáše Popka (Zvyšování efektivity bezpečnostních kontrol na letištích – příprava cestujících). V práci byly využity pracovní zkušenosti autora z oblasti bezpečnostní kontroly na letišti.

2 Technologický vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů

Bezpečnostní kontrolu na letištích můžeme rozdělit z praktického hlediska na kontrolu osob a na kontrolu předmětů, které si osoba s sebou nese do letadla. Tato bakalářská práce se věnuje druhému případu. Jedná se o zapsaná a kabinová zavazadla, ale také o různé předměty, které člověk s sebou nese, svrchní oděvy atd.

2.1 Shrnutí situace letecké security do roku 1970

Screening zavazadel se poprvé objevuje až v 70. letech minulého století, avšak první teroristické útoky se udály již v 50. letech.

Termín screening v českém překladu znamená detekční kontrola. Přesněji jde o „aplikaci technických nebo jiných prostředků, které mají za úkol odhalit zbraně, výbušniny a jiná nebezpečná zařízení nebo látky, které mohou být použity pro spáchání protiprávního činu“. [1] Příkladem teroristického útoku je útok na let 629 United Airlines roku 1955, kdy Jack Gilbert Graham nastražil časovanou dynamitovou bombu do kufru, který patřil jeho matce. Motivací bylo zlepšení finanční situace díky pojistné smlouvě uzavřené těsně před odletem. V případě úmrtí jeho matky Grahamovi měla být vyplacena určitá suma. Kromě letecké bezpečnosti ve smyslu ochrany před protiprávními činy zde selhaly i americké zákony, kvůli kterým byl Jack Gilbert Graham odsouzen pouze za vraždu jeho matky, ne za vraždu všech lidí na palubě. Byl odsouzen k trestu smrti a popraven roku 1957. [2]

Nehodě nemohlo být zabráněno, protože úroveň security tou dobou byla v porovnání s dnešní velmi nízká. Ani po zmiňovaném incidentu nebyly podniknuty výraznější kroky, až v roce 1960 se začal na některé lety zavádět ozbrojený doprovod letadla, tzv. air marshals, Ozbrojený doprovod letadla byl rozšířen zejména v USA, kde tento program začal roku 1961 [3]. Některé další státy následovaly kroky USA v nasazování ozbrojeného doprovodu na paluby letadel. Je na ně nahlíženo několika pohledy. Někteří pohlíží na ozbrojené doprovody jako na zstrašující faktor pro potenciální teroristy, jiní v ozbrojených doprovodech vidí riziko pro cestující v případě střelby na palubě letadla [4]. V letech na přelomu šedesátých a sedmdesátých let minulého století se odehrála řada bombových útoků a únosů letadel, opatření letecké security proto musela být zvýšena [4]. První zmínky o použití rentgenových zařízení v procesu bezpečnostní kontroly na civilních letištích se objevují roku 1962 ve Spojených státech amerických [5]. Zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů fungující na principu zobrazovací metody pomocí rentgenového záření se již v té době využívala ve věznicích s maximální ostrahou a dosahovala dobrých výsledků [6]. Bylo zvažováno jejich zavedení i na bezpečnostních kontrolách na letištích.

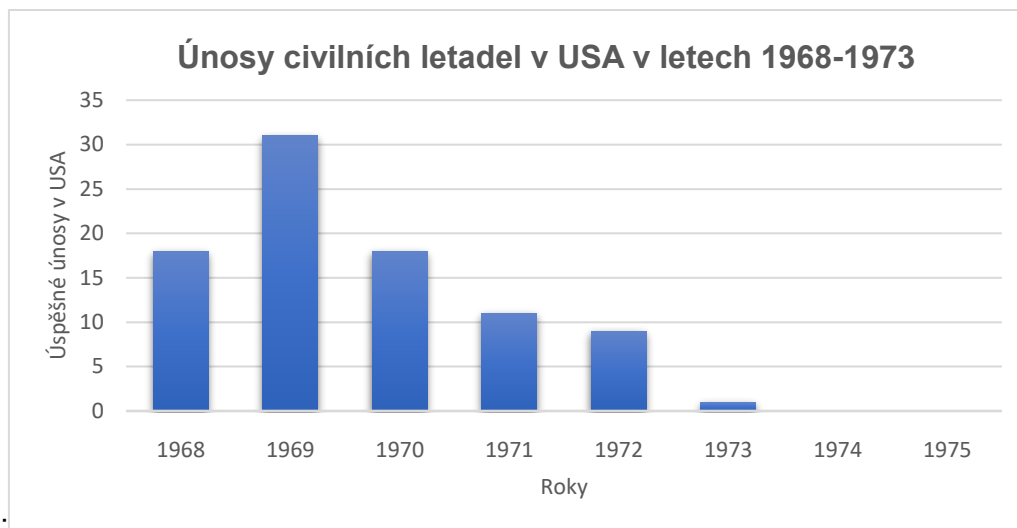
Letecké společnosti byly k tomuto kroku skeptické. V průmyslu vládlo přesvědčení, že vypořádání se s menším počtem únosů dopravních letadel je ekonomicky výhodnější než instalovat na všechna americká letiště rentgenová zařízení. Suma za navrácení letadla uneseného do Havany, včetně odškodného všem pasažérům a posádce a ztrát za zrušené ostatní lety, byla nepatrným zlomkem celkové částky, o kterou by společnosti přišly při zavedení povinného elektronického screeningu osob. Dalším argumentem je snížení komfortu pro cestující. [6]

V následujících letech se začala objevovat jiná řešení, například behaviorální profilování pasažérů na základě několika charakteristik cestujícího. Např. v USA byl pro vytvoření profilu chování použit první systém Anti-Air Hijack Profile, který vyhodnotil o pasažérovi asi 25 charakteristik, které byly empiricky poměřené s účastníky na trestných činech v minulosti [7]. Pokud byl člověk vyhodnocen jako podezřelý, byla mu provedena prohlídka.

2.2 Zavedení plošného screeningu zavazadel

Prvním případem využití elektronických zařízení ke kontrole cestujících byl rok 1970. Mezinárodní letiště v New Orleans jako první začalo kombinovat behaviorální profilování pasažérů s využitím průchozích detektorů kovu, tehdy označovaných jako magnetometry [5]. FAA později vyhodnotila tato opatření jako nedostačující a v přítomnosti bezpečnostních kontrol a jiných prostorech odbavení cestujících byly také policisté. Kolem roku 1970 se odehrála série únosů civilních letadel, které výrazně posunuly vývoj security v letecké dopravě. [8]

V lednu roku 1973 FAA v USA zavedla plošný screening všech cestujících včetně jejich zavazadel. 100% kontrolou se rozumí prohlídka všech cestujících a zavazadel. Po jejím zavedení všichni cestující museli projít průchozím detektorem kovu a zavazadla cestujících byla zkontrolována v RTG zařízeních. Podle grafu na obrázku (Obrázek 1) můžeme usoudit, že po zavedení plošného screeningu osob a zavazadel klesl v USA počet únosů letadel téměř na nulu. Velkým problémem v té době byl odpor cestujících, pro které byla prohlídka nepříjemná. Spekulovalo se o potenciální zdravotní škodlivosti magnetometrů a o narušování soukromí. Zavedení rentgenových skenerů a průchozích detektorů kovu velmi snížilo počet teroristických útoků na civilní letadla a jejich únosů. [5]



Obrázek 1: Graf množství únosů civilních letadel v USA v letech 1968-1973 (Zdroj dat: [9])

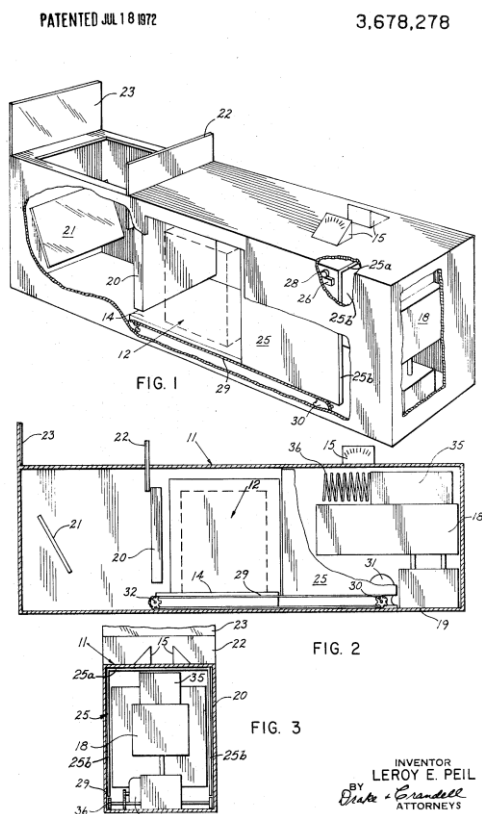
2.3 Zavedení přístrojového screeningu zavazadel

Rentgenové záření bylo objeveno v roce 1895 německým fyzikem Wilhelmem Conradem Röntgenem. Jednalo se o velmi důležitý objev zejména pro medicínu. Security v letecké dopravě našla využití pro rentgenové záření až o mnoho let později.

V roce 1972 si Le Roy E. Peil nechal patentovat svůj aparát pro prohlídku zavazadel, FAA jeho přístroj pak zavedla do provozu. Pro kontrolu bylo použito jednopaprskové rentgenové zařízení. Do zavazadla bylo možno nahlédnout v reálném čase. Snímek nemohl být uložen. Operátor vyhodnotil zavazadlo jako podezřelé nebo čisté. V prvním případě následovala ruční prohlídka zavazadla. [10]

Od tohoto okamžiku se vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel výrazně urychlil. Během následujících dvaceti let vzniklo velké množství dalších patentů zlepšujících kontrolu. Mezi ně patří první trať pro kontrolu zavazadel nebo detektor bezpečné intenzity vyzařovaných paprsků. Na obrázku (Obrázek 2) je patent Le Roy E. Peila. Jedná se o aparát pro prohlídku zavazadel, který se skládá z krytu (číslo 19 v nákresu), vážící platformy (14), otvoru pro umístění zavazadla (12), rentgenové jednotky (18), obrazovky (20), zrcadel (21, 22, 23) a štítu z olova, kterým je zakryt otvor pro vložení zavazadla (25). Aparát byl uložen v blízkosti přepážky pro výdej palubních vstupenek a pro odbavení zavazadel. Cestující po příchodu vložil zavazadlo do otvoru (12) na vážící platformu (14). Operátor zasunul štít (25) pomocí ovládacího panelu (33). Štít je přemístěn pomocí řetězu (29) a motoru (31). Systém je opatřen pojistkami (34) detekujícími správnou polohu štítu. Po uzavření je spuštěna rentgenová jednotka (18) a na obrazovku (20) je zobrazen snímek zavazadla. Operátorovi a cestujícímu je obraz zobrazen přes soustavu zrcadel (21, 22, 23) kvůli ochraně před ionizujícím zářením. Způsob uložení aparátu je možné různými způsoby upravit. Může být uložen po boku

pohyblivého pásu za účelem následujícího transportu zavazadla do třídírny. Vážicí platforma může být společně s obrazovkou a rentgenovou jednotkou uložena pod pohyblivým pásem. Důležité je zastavení zavazadla v určitém momentu pro zvažení a prohlídku rentgenovou jednotkou. [10]



Obrázek 2: Aparát pro inspekci zavazadel [10]

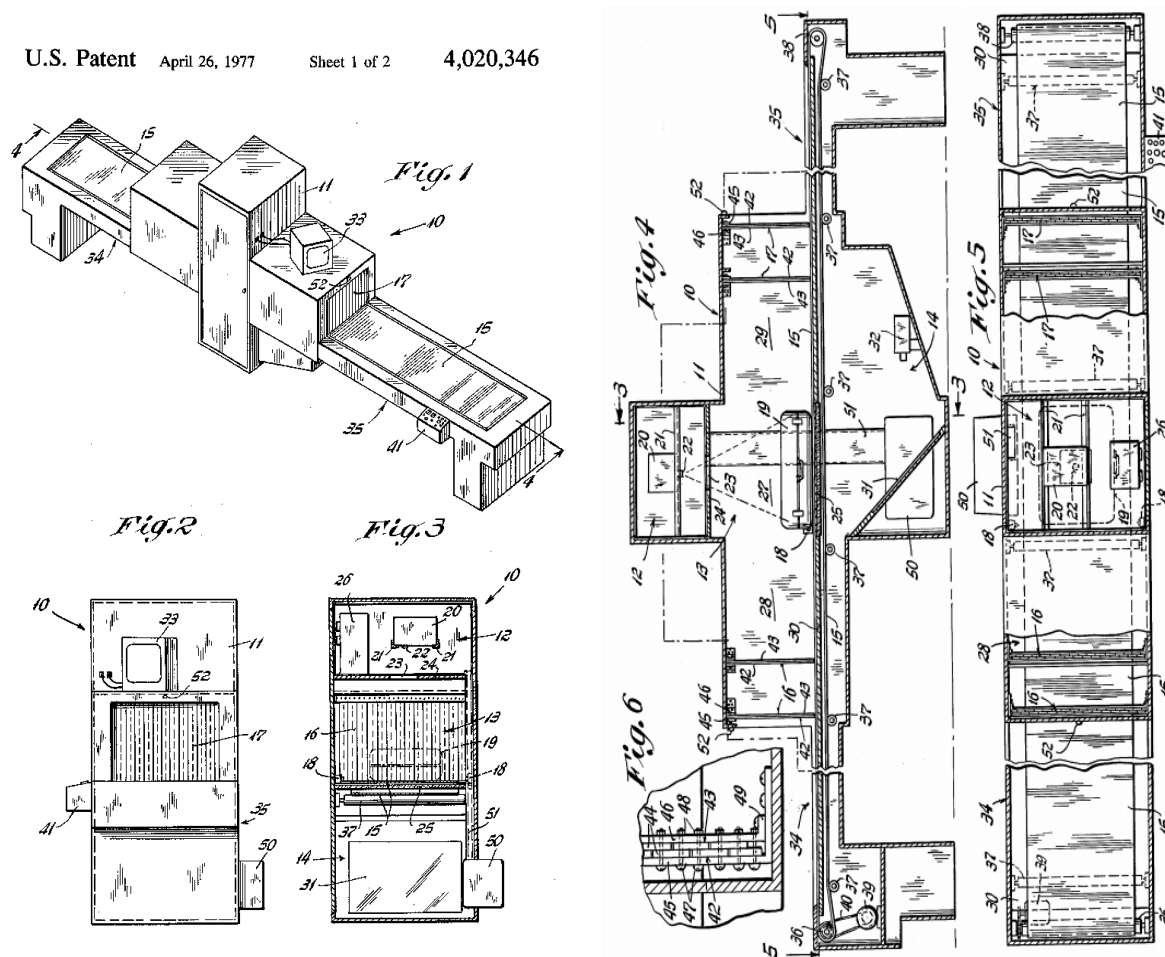
2.4 Standardní model tratě bezpečnostní kontroly

Zařízení založená na principu jako na obrázku (Obrázek 2) byla následně zařazena do provozu. Proces kontroly zavazadel i přes své urychlení oproti dřívějším ručním prohlídkám představoval řadu nevýhod. Hlavní nevýhodou byla časová náročnost procesu.

Zavazadlo se muselo vždy ručně vložit do aparátu. Během kontroly nebylo zavazadlo v pohybu. Vyzařování paprsku nebylo spojitě. Paprsky byly vždy v určitý moment vyzářeny a obraz na monitoru byl nehybný. Na následující stránce je popsán nový patent zařízení pro bezpečnostní kontrolu zavazadel a jiných předmětů. Jedná se o modernizované rentgenové zařízení doplněné o stoly s pohyblivými pásy pro usnadnění pohybu zavazadel z a do rentgenového zařízení. Díky patentu bylo vytvořeno rychlejší a spolehlivější zařízení pro bezpečnostní kontrolu. Zařízení mělo snížit četnost případů vyžadujících manuální prohlídku. Zařízení disponuje lepším utlumením úniku radiace než jeho předchůdce. Vzhledem k nižším dávkám radiace je bezpečnější pro fotografické filmy. Kontrolované objekty jsou v pohybu a obraz na obrazovce se v čase mění. Zařízení umožňuje kontrolu dlouhých předmětů jako lyže,

tyče, dřevěná prkna a ostatních předmětů příliš dlouhých pro kontrolu v předchozím zařízení.
[11]

Čísla na obrázku (Obrázek 3) představují následující komponenty.



Obrázek 3: První používaná trať bezpečnostní kontroly [11]

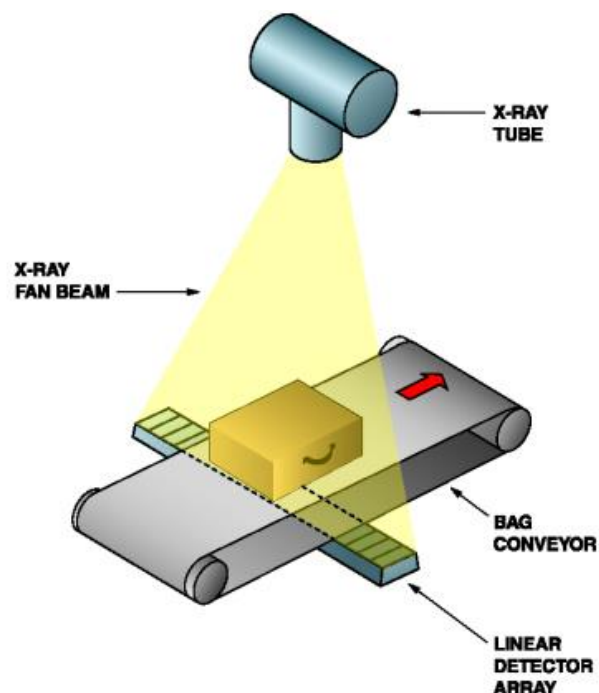
Zařízení sestává z olověného krytu (11), ve kterém je rentgenová jednotka (12) vyzářující paprsky do zóny expozice (13). Zavazadlo je vloženo na pás (15) pohybující se konstantní rychlostí. Na začátku a konci zóny expozice jsou čidla (18). Po zaregistrování polohy zavazadla u prvního čidla je spuštěna rentgenová jednotka vyzářující nízké dávky rentgenového záření. Záření je zastaveno po opuštění zóny expozice zavazadlem. Při ztrátě signálu v druhém čidle zavazadlo opustilo zónu expozice. Rentgenová jednotka (12) sestává z vyzářovací tuby (20) umístěné na podporách (21) a z kolimátoru (22) centrováném ve středu horní plochy (23). Záření je kolimováno do paprsku ozařujícího pouze oblast obrazovky (25), která je přímo pod zónou expozice. Pod obrazovkou je olověné sklo pro zamezení průniku paprsku do zóny záběru (14). Pod obrazovkou se nachází zrcadlo (31) odrážející obraz obrazovky do kamery (32). Zrcadlo je přítomno pro možnost uložit kameru do větší vzdálenosti,

obrazovka by jinak nebyla v záběru celá. Obraz zaznamenaný kamerou je poté promítán do monitoru před operátora. Součástí tratě jsou ještě dvojité vrstvy olověných záclon (16, 17) ve vstupní a výstupní části tratě. [11]

2.5 Rentgenové přístroje s vyzařováním jednoho svazku

Rentgenové přístroje používané v době od 70 let pracovaly na principu vyzařování jednoho svazku energie se zobrazením pod jedním úhlem pouze na jednom monitoru. Jedná se o nejjednodušší způsob zobrazování pomocí rentgenového záření. Zařízení na tomto principu (Obrázek 1) vyzařují jeden svazek rentgenového záření v jedné rovině kolmo na pás detektorů na opačné straně. Objekt může být ozářen dvěma způsoby:

1. Jednorázovým ozářením velké plochy, kde jsou detektory umístěné po celé ploše ozáření.
2. Kontinuálním ozařováním v jedné linii, kterou objekt určitou stálou rychlostí prochází a podél které jsou v řadě umístěny detektory záření. Schéma je na obrázku (Obrázek 4).

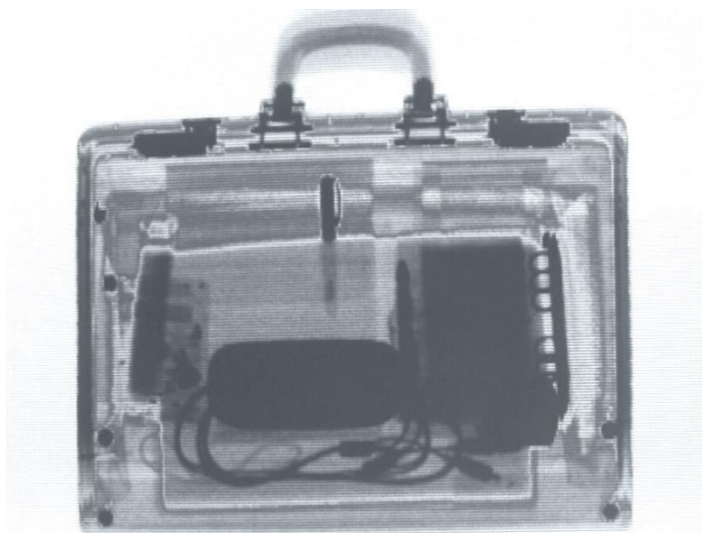


Obrázek 4: Schéma ozařování objektu jedním svazkem rentgenových paprsků [12]

Tabulka 1: Překlad popisků obrázku 4

X-RAY TUBE	Rentgenová trubice
X-RAY FAN BEAM	Rentgenový paprsek
BAG CONVEYOR	Pohyblivý pás
LINEAR DETECTOR ARRAY	Lineární řada detektorů

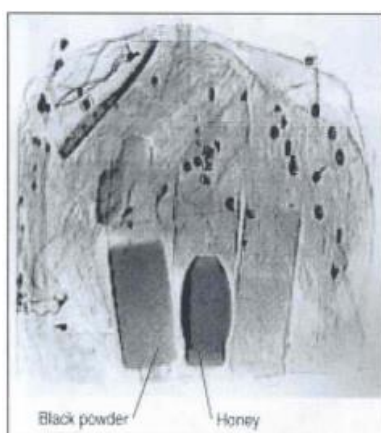
Z praktického a ekonomického hlediska je vhodnější druhý způsob. Díky vyzařování paprsku v jedné rovině je snadnější jeho útlum. Záření probíhá nepřetržitě při přítomnosti cizího objektu na páse. Objekty se na páse pohybují stálou rychlostí. První typy využívaly snímání paprsků v úzké obdélníkové rovině přímo na obrazovku, na kterou se operátor díval přes olověné sklo nebo přes soustavu zrcadel pro eliminaci stop záření. Tento princip byl později zdokonalen aplikací světelných detektorů pro efektivnější zobrazení přijatého záření. Signál přijatý přes detektory byl poté vykreslen na monitoru. Snímky nebyly ukládány. Obraz na monitoru byl přepsán po průchodu dalšího zavazadla. Podle typu materiálu v zavazadle se zjistí míra útlumu rentgenových paprsků. Následuje zbarvení snímku na obrazovce operátora v černobílé škále. Černá barva znamená téměř úplný útlum, bílá barva žádný. Příkladem je obrázek (Obrázek 5). Kostra zařízení byla postavena z materiálu výrazně tlumícího radiaci (např. olovo). Únik radiace do okolí byl minimální. Skenované objekty samotné byly však vystaveny relativně velkým dávkám radiace. Způsob kontroly nebyl bezpečný pro citlivé materiály (např. fotografická páska se záznamem). [12]



Obrázek 5: Snímek zavazadla z rentgenového zařízení s vyzařováním jednoho svazku [13]

Možnost detailního rozlišení jednotlivých objektů z původních snímků zavazadel (Obrázek 5) není pro současné potřeby dostatečná. Kvalita snímku je v porovnání s dnešní technologií

nížká. Dva tmavé objekty na obrázku obsahují velký podíl materiálu velmi dobře pohlcujícího rentgenové paprsky. Není možné určit, o co se jedná, a jestli není nějaký další objekt nad nebo pod původním objektem. Bylo by prakticky nemožné identifikovat i jinak jasně zřetelnou zbraň, pokud by byla uložena pod podobnými předměty. Typická je absence rozlišování materiálů, příkladem je další obrázek (Obrázek 6), kde se nachází střelný prach (hustý objekt vlevo) vedle sklenice s medem (hustý objekt vpravo).



Obrázek 6: Rentgenový snímek zavazadla pořízený v zařízení s vyzařováním jednoho paprsku [12]

Oproti dnešním technologiím má technologie s vyzařováním pouze jednoho svazku energie nízkou kvalitu obrazu a neschopnost rozlišování materiálů. Technologie velmi obtížně rozlišuje mezi úzkým vysoce hustým materiálem, jako může být plát kovu, nebo širokým a méně hustým materiálem. Oba materiály se mohou na snímku zobrazovat velmi podobně. Mezi výhody patří levná pořizovací cena a vysoká propustnost dosahující až 1500 zavazadel za hodinu [12]. Kvalita bezpečnostní kontroly zde závisí zejména na pracovnících. Pracovníci musejí být dostatečně zkušení pro odhalení nepřesných informací podávaných tímto zařízením. Vzhledem k absenci pokročilých algoritmů pro vyhodnocování snímku byla zapotřebí vysoká kvalifikace a kvalitní trénink pracovníka.

2.5.1 Zařízení se snímáním z více úhlů

Jedním řešením pro lepší orientaci v zejména v přeplněných zavazadlech bylo vykreslení dalšího rentgenového snímku na druhém monitoru. Další snímek byl pořízen z jiného úhlu. Operátorovi je umožněn pohled na stejné zavazadlo ze dvou různých pohledů v reálném čase. Operátor má o zavazadle více informací. Záběry z více úhlů bezpečnostní kontrolu také urychlily vzhledem k eliminaci případů, při kterých muselo být zavazadlo vloženo do rentgenového zařízení v jiné poloze pro lepší zobrazení. Další související výhodou je snížení počtu false alarmů. False alarm je případ, při kterém zařízení nebo operátor vyhodnotí

zavazadlo nebo předmět v zavazadle jako hrozbu, ale ve skutečnosti tomu tak není. Situace může vzniknout například špatným poskládáním předmětů na sobě. Pohled z jednoho úhlu na takové uspořádání může připomínat improvizované výbušné zařízení neboli IED. IED se většinou skládá ze spouštěcího zařízení, elektrického zdroje, detonátoru a výbušniny, všechno je většinou spojeno dohromady dráty. Samostatné výbušné materiály jsou stejně nebezpečné, protože po průchodu bezpečnostní kontrolou mohou být zkombinovány s dalšími komponenty IED. [14]

2.6 První využití technologie zpětného rozptylu

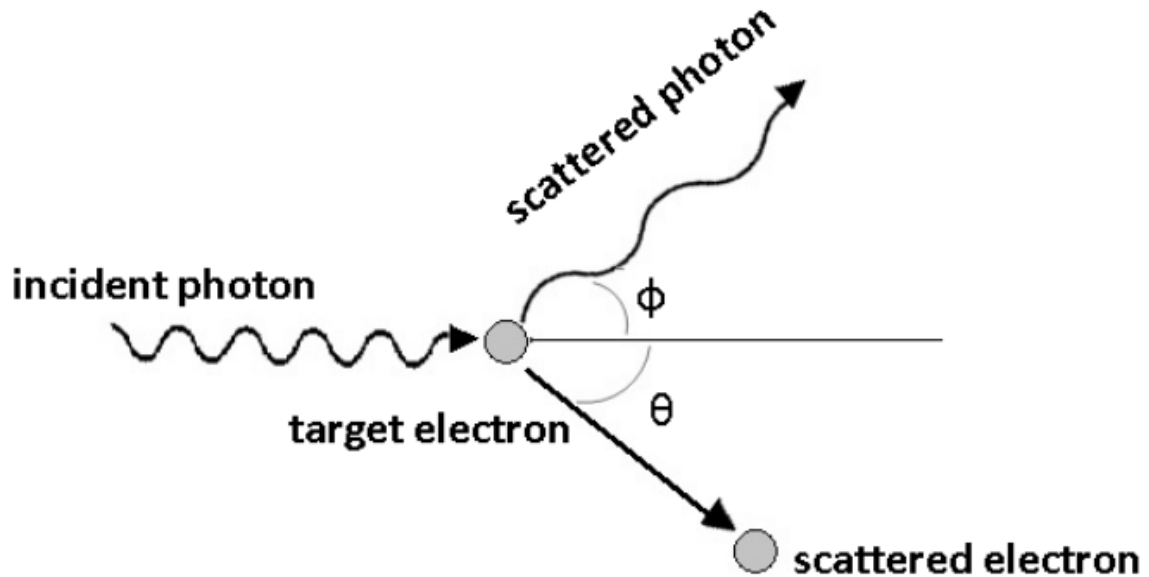
Dalším důležitým milníkem ve vývoji rentgenových zařízení byl objev společnosti American Science and Engineering v roce 1974, kdy byla vynalezena „flying spot“ technologie [5]. Po průchodu rentgenových paprsků hmotou mohou nastat 3 scénáře:

1. Záření projde skrz objekt
2. Záření bude objektem absorbováno
3. Záření se od objektu odrazí a rozptýlí se

AS&E využila třetí možnosti a vynalezla **Backscatter technologii**, která funguje na principu pohlcování fotonů rentgenového záření, které je rozptýleno do jiného směru, než kterým prochází vyzařovaný paprsek. Rozptýlené fotony jsou zaznamenány na detektory umístěné na jiných místech než na opačné straně zdroje vyzařování. [5]

Objekty s vyšší hustotou pohltí záření více než objekty s nižší hustotou. Husté objekty se na obrazovce jeví jako tmavé a méně husté objekty jako světlé. Většina organického materiálu je málo hustá a záření se ve velké části od organické hmoty odrazí. Množství odraženého záření závisí na atomovém čísle látky. Organické prvky jsou umístěny ve vyšších místech periodické tabulky prvků. Zařízení dokáže rozlišit organické materiály od anorganických. Anorganické prvky mají vyšší atomové číslo a jsou umístěny v dolních částech periodické tabulky prvků. Absorbují více fotonů ze záření a méně jich odrazí. Tradiční rentgenové přístroje pracují na principu záznamu rentgenových paprsků na detektory umístěné na opačné straně od generátoru rentgenového záření. Backscatter technologie (technologie zpětného rozptylu) funguje na principu přijímání odražených fotonů rentgenového záření. Foton rentgenového záření vstoupí do atomu látky a jeho energie je částečně pohlcena valenčním elektronem. Valenční elektron je z elektronového obalu odtržen (proces ionizace). Vzniká kationt. Odtržený elektron opustí obal atomu. Mění se vlnová délka odraženého záření v důsledku předání energie atomu a rentgenové záření opouštějící atom změni svůj směr. Popsanému jevu se říká Comptonův jev, jeho schéma je na obrázku (Obrázek 7). Technologie zpětného rozptylu je obecně lepší v přesné identifikaci organických materiálů než technologie s rozeznáváním

materiálů na principu poměru absorpce rentgenových paprsků vycházejících z více svazků o různé hodnotě energie. [15]



Obrázek 7: Schéma Comptonova jevu [16]

Tabulka 2: Překlad obrázku (Obrázek 7)

Incident photon	Příchozí foton
Targe electron	Cílený elektron
Scattered photon	Odražený foton
Scattered electron	Odražený elektron

Backscatter technologie pohlcuje odražené záření a na výstupu je bílou barvou zobrazováno místo, kde je množství rozptýleného záření největší (odražené fotony). Na místě je přítomna organická hmota. Může to být výbušný materiál nebo drogy. Na výstupu se nám zobrazí i anorganické materiály mající běžně vyšší hustotu. [16]

Využití backscatter technologie v praxi bylo umožněno zmíněným patentem AS&E Flying spot. Flying spot technologie umožňuje definovat pozici rentgenového paprsku v jakémkoliv okamžiku. Elektronicky ovládané směřování vyzařovače rentgenového paprsku s kolimátory vytvoří tužkový paprsek směřovaný na předem určenou pozici [17]. Jednotlivé intenzity přijímaného zpětného záření mohou být přiřazeny ke konkrétnímu místu na obrazovce. Intenzita rozptýleného záření je v každém bodě funkcí pozice paprsku v tomto bodě [16]. Výsledkem je vykreslený celý snímek zavazadla.

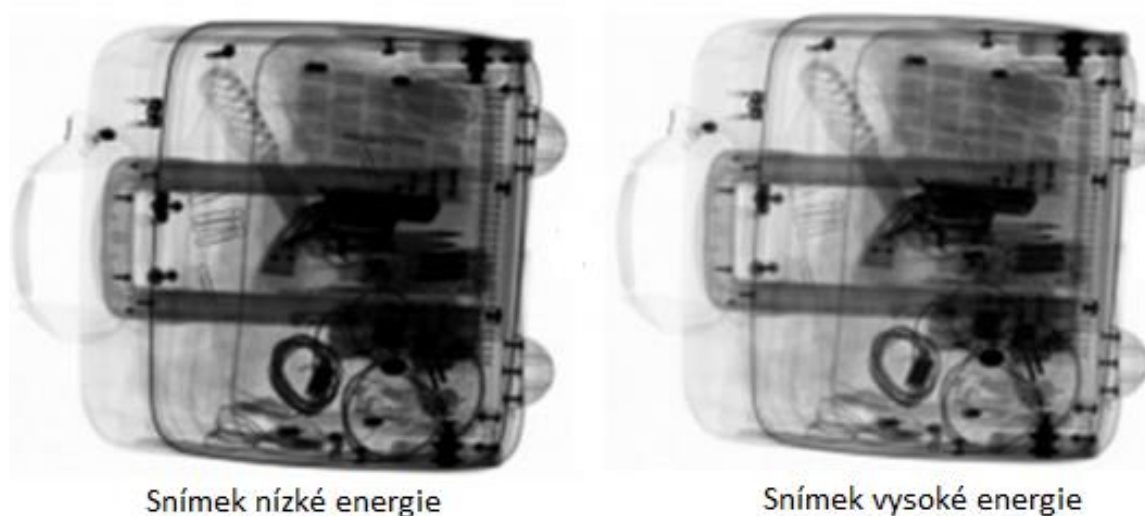
2.7 Rentgenové přístroje s vyzařováním dvou svazků

Ze snímků na obrázcích (Obrázek 5 a Obrázek 6) je patrné, že rozlišení jednotlivých materiálů ve většině případů není možné.

Útlum rentgenových paprsků jednotlivými materiály se liší v závislosti na intenzitě energie vyzařování paprsku. Proto je z praktického hlediska vhodné použití dvou nebo více paprsků vyzařovaných na rozdílných energiích. [18]

Dva svazky energie představovaly velký milník ve vývoji rentgenových zařízení použitých v security v letecké dopravě. Využitím více rentgenových paprsků s různými průměrnými hodnotami energie je možné rozlišit různé druhy materiálů. Zařízení s vyzařováním dvou svazků energie je v současnosti nejvíce využíváno v procesech bezpečnostních kontrol na letištích. Je umožněno lepší vyhodnocování potenciálních IED.

Systém má jeden zdroj rentgenového záření, které ho vysílá přibližně v rozmezí 140-160 KVP (peak kilovoltage – nejvyšší napětí, při kterém je rentgenové záření vyzařované) [16]. Míra KVP určuje množství fotonů generovaných při záření. Společně s mAs tvoří dvě hlavní charakteristiky rentgenového záření. mAs (miliampér za sekundu) je hodnota proudu procházejícího rentgenovou tubou za jednotku času. V závislosti na míře KVP můžeme říci, jak moc se podaří rentgenové záření utlumit. [5]



Obrázek 8: Snímky jednoho zavazadla pořízeny na různých energiích [19]

Záření je po průchodu objektem v rentgenu zaznamenáno prvním detektorem. Za detektorem záření prochází filtrem. Zde je odfiltrováno záření s nižší energií. Zbylé záření s vyšší energií je poté snímáno druhým detektorem. Ze záření jsou vyhodnoceny útlumové koeficienty pro jednotlivé pozice na obrazovce. [5]

Poměřením útlumových koeficientů je možné přiřadit útlumové charakteristiky k jednotlivým efektivním atomovým číslům. Efektivní atomové číslo Z_{eff} je atomové číslo materiálu, které je

v určité oblasti rentgenového snímku vyhodnoceno jako přítomné v největší míře ze všech atomových čísel. Některé materiály mohou mít stejné útlumové koeficienty na určité energii, na jiné energii jsou však rozdílné [20]. Byly vyvinuty techniky rentgenového zobrazování na dvou a více energiích. Obraz je zbarven v závislosti na zobrazených materiálech.

Z hlediska barev jsou na dual-energy rentgenech zobrazené tři kategorie podle barev [5]:

- Organické materiály
- Anorganické materiály
- Kovy

V závislosti na výrobci mohou být jednotlivé kategorie reprezentovány různými barvami. Německý výrobce Heimann po roce 1988 zvolil modré zbarvení pro kovy, zelené pro anorganické materiály a oranžové pro organické materiály. Vytvořil tím standard pro dnešní systémy s vyzařováním svazků na dvou energiích. [5]

Samostatné výbušniny není pro operátora snadné detekovat. Výbušné materiály se nacházejí v organické sekci periodické tabulky prvků a mají oranžovou barvu. Ve standardním snímku dual-energy zařízení může výbušnina vypadat jako neškodná organická hmota [21].

2.7.1 První použití rentgenových přístrojů s vyzařováním dvou svazků

Pokroky v materiálové diskriminaci už od roku 1986 prováděla společnost American Science & Engineering (společnost byla založena roku 1958 a převážně se věnuje vývoji pokročilých rentgenových zařízení). Společnost uvedla na trh model 101Z. Model měl k jednomu lineárnímu svazku rentgenového záření a lineární řadě detektorů na protější straně přidaný detektor zpětně odraženého záření pro detekci organických materiálů. V roce 1987 společnost doplnila do snímků zbarvení. Oranžová barva reprezentuje organické materiály a zelená barva reprezentuje kovy. [5]

V roce 1987 společnost EG&G Astrophysics představila model E-Scan. Jednalo se o nástupce řady Linescan a také o první zařízení používající snímání záření na dvou rozdílných energiích neboli dual-energy zařízení. Rozlišením jednotlivých efektivních atomových čísel bylo umožněno rozlišení organických, anorganických a kovových materiálů barvou. Míra útlumu paprsků byla vyjadřována intenzitou zbarvení. EG&G Astrophysics v E-Scanu použila hnědooranžové zbarvení pro organické materiály a modré pro anorganické materiály a kovy. Zelenou představovalo místo s vysokým útlumem paprsků. [5]

Další společností přispívající k rozvoji dual-energy technologie byla německá společnost Heimann. Společnost představila v roce 1988 technologii HI-MAT využívající dual-energy technologii. Stejně jako E-Scan měly přístroje společnosti Heimann dvě řady detektorů

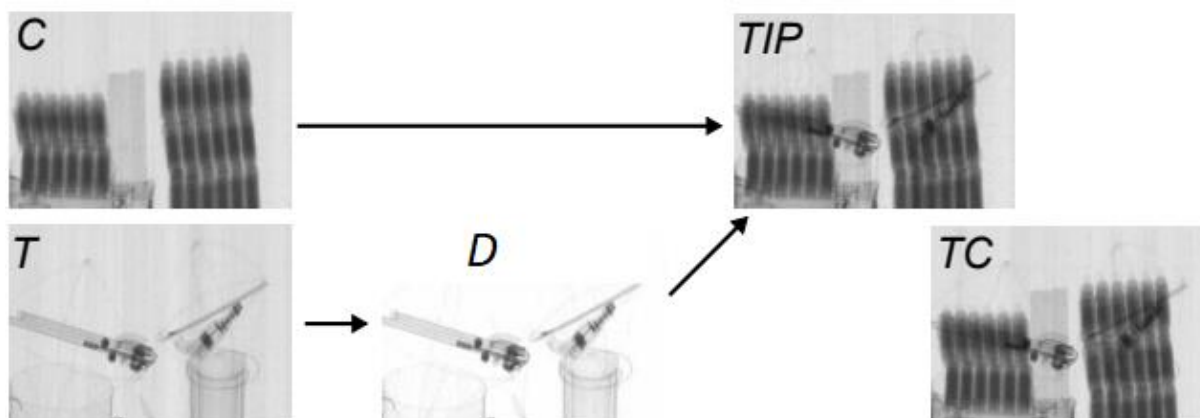
oddělené filtrem. Zařízení měla ostřejší obraz a větší rozlišení díky kterému bylo schopno detekovat i tenký drát o průměru 34 AWG (přibližně 0,16 mm) [5].

2.7.2 Funkce TIP

EG&G Astrophysics byla první společnost používající TIP (Threat Image Projection) pro výcvik zaměstnanců. Společnost funkci představila roku 1990 tehdy pod označením FIP (False Image Projection). Funkce spočívala na náhodném vkládání zbraně Glock 17 do snímků. [5]

Funkce TIP je dodnes rozšířená v rentgenových zařízeních a je určena pro výcvik a hodnocení zaměstnanců. Do rentgenových snímků jsou náhodně vkládány obrysy zbraní a jiných zakázaných předmětů včetně IED. Operátor po jejich detekci stiskne určené tlačítko a TIP zmizí. Výsledky odhalených a přehlédnutých TIP jsou prezentovány nadřizeným. [22, 29]

Příkladem složení TIP snímku je obrázek (Obrázek 9). V části C se nachází původní snímek objektu, v části T je hrozba, část D je hrozba bez pozadí a v části TC je složenina částí C a D. Pro věrohodnost je ve výsledném obrázku ponecháno pouze jedno pozadí. Snazším řešením je ponechání pozadí původního snímku skenovaného objektu.



Obrázek 9: TIP technologie [22]

2.8 Automatická detekce výbušnin

Po tragické nehodě letu Pan Am 103 nad Lockerbie ve Skotsku v roce 1988 bylo potřeba zlepšit úspěšnost v detekci výbušnin v zavazadlech. První systém schopný detekovat plastické výbušniny ze snímku byl H-1 společnosti Vivid Technologies. H-1 byl představen v roce 1991. Využíval dual-energy technologii s přidanou procedurou prováděnou na pozadí. Procedura umožnila přiřazení Z_{eff} jednotlivým objektům v zavazadle. Na rozdíl od minulých zařízení nebylo Z_{eff} přiřazováno pouze zóně pixelů na monitoru. Systém během procedury používal i dodatečné informace o tloušťce a hustotě materiálů. Charakteristiky byly odvozeny z poměřovaných útlumových koeficientů. [23, 24]

Jednalo se o první automatické EDS (systém detekce výbušnin). V oblasti rentgenových zařízení pro kontrolu zavazadel rozlišujeme EDS ve dvou kategoriích:

- EDS (systém detekce výbušnin) – systémy pro kontrolu zapsaných zavazadel
- EDSCB (systém detekce výbušnin v kabinových zavazadlech) – systémy pro kontrolu kabinových zavazadel

Po detekci potenciální výbušniny systémem EDS či EDSCB nastával pro operátora následující scénář. Pokud EDS vyhodnotilo alarm, systém EDS vyznačí oblast přítomnosti potenciální hrozby, nejčastěji barevným rámečkem nebo zvláštním zbarvením [25]. Pro ověření hrozby následují další stanovené procedury (například s využitím stopové detekce výbušnin ETD (elektronická detekce výbušnin). Pokud je při provedené kontrole označená oblast vyhodnocena jako bezpečná, je možné považovat vyhodnocení systému EDS za false alarm (označení hrozby systémem i přes to, že hrozba ve skutečnosti neexistuje).

3 Současný stav a očekávaný vývoj zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů

3.1 Legislativa a standardy v security v letecké dopravě

Vzhledem k zaměření práce jsou v kapitole rozebírány evropská pravidla a standardy. Pravidla v rámci evropských států stanovuje Evropská unie a Evropská konference pro civilní letectví (ECAC).

3.1.1 ECAC

Evropská konference pro civilní letectví byla založena v roce 1955 jako mezivládní organizace. ECAC má celkem 44 smluvních států (obrázek 10).



Obrázek 10: mapa smluvních států ECAC [26]

Hlavním cílem organizace je harmonizace standardů a postupů rozšířených v členských státech a doplnění podrobností, které nejsou upraveny organizací ICAO. Organizace má za úkol zlepšit porozumění v oblasti předpisů ve všech členských státech. Informace o aplikovaných standardech a postupech předává do zbytku světa. [27]

3.1.2 Pravidla definovaná Evropskou unií

Evropská unie definuje základní pravidla pro security v letecké dopravě v nařízení Evropské komise 300/2008 a 2015/1998 [28, 29]. Podle nařízení 2015/1998 z listopadu 2015 musí být bezpečnostní kontrola zavazadel provedena alespoň jednou z následujících možností [28]:

- Ruční prohlídka
- Kontrola pomocí RTG (rentgenové zařízení)
- Kontrola pomocí EDS či EDSCB (systém detekce výbušnin v zapsaných nebo kabinových zavazadlech – podle druhu zavazadel)
- Kontrola psy vycvičenými pro hledání výbušnin v kombinaci s ruční prohlídkou
- Kontrola pomocí ETD (detekce stopového množství výbušnin)

Proces bezpečnostní kontroly musí splňovat bezpečnostní standardy nastavené legislativou a zároveň musí být rychlý. Jsou zde kladeny nároky na vysokou úroveň bezpečnostní kontroly a také na vysokou propustnost. Kvůli vysokým požadavkům na úroveň bezpečnosti Evropská konference civilního letectví (ECAC) společně s Evropskou unií vytvořila standardy, které zařízení používané na letištích musejí splňovat.

3.1.3 Kategorizace detekčních zařízení organizací ECAC a jednotlivé standardy

Common evaluation process of security equipment (CEP) je část ECAC věnující se certifikaci detekčních zařízení. CEP testuje veškerá zařízení na trhu a uděluje jednotlivé certifikace pro jejich využívání na letištích. Zařízení jsou testována podle ECAC/EU výkonnostních standardů vytvořených členskými státy ECAC za účelem vytvoření společného mezinárodního rámce pro certifikaci zařízení používaného na bezpečnostní kontrole na letištích. [5]

Hlavními cíli CEP je vyhodnocení technického výkonu bezpečnostního vybavení objektivním a standardizovaným způsobem a zároveň poskytnutí důvěryhodných informací o výkonu testovaných zařízení vzhledem k přijatým technickým standardům pro členské státy ECAC [5].

CEP testuje bezpečnostní vybavení v několika kategoriích [30]:

1. Explosive detection systems (EDS)
2. Liquid Explosive Detection Systems (LEDS) – EDS zařízení schopná detekovat výbušné směsi v kapalné formě
3. Security Scanners (SSc) – Body scannery
4. Explosive Trace Detection (ETD) equipment – zařízení detekujících stopové množství výbušnin
5. Metal Detection Equipment (MDE) – zařízení pro detekci kovů kromě průchozích detektorů kovů, jedná se zejména o zařízení navržené na kontrolu nákladu neobsahující kov

6. Explosive Detection Systems for Cabin Baggage (EDSCB) – EDS určené pro kontrolu kabinových zavazadel
7. Walk Through Metal Detectors (WTMD) – průchozí detektory kovů

Pro jednotlivé kategorie definuje CEP samostatné standardy [31, 32, 33, 34]:

- EDS: standardy 1, 2, 3
- EDSCB: standardy C1, C2, C3, C4
- LEDES: standardy 1, 2, 3 (stejně jako EDS) + standardy A, B, C, D, D+
- ETD: jednotný standard (všechna zařízení obsažena v [33] standardu dosáhla)

Při použití konvenčních RTG nesplňujících standardy musí být kontrola dodatečně podpořena dalšími metodami pro detekci výbušnin (ETD kontrola, kontrola vycvičenými psy pro detekci výbušnin) [35].

Specifické standardy pro EDSCB

U EDSCB standardy C rozlišují nutnost vyjmutí větší elektroniky a tekutin. Kapaliny v této práci budou označovány souhrnným názvem LAG (liquids aerosols and gels). Dle platné evropské legislativy musejí být LAG obsahující tekutiny s objemem menším než 100 ml včetně uloženy do uzavíratelného průhledného plastového sáčku mimo zavazadlo [36]. Standard C má 4 stupně [34]:

- C1: Screening vyžaduje vyjmutí větší elektroniky a LAG ze zavazadla.
- C2: Screening je možný s ponecháním větší elektroniky v zavazadle, LAG musí být vyjmuty ven ze zavazadla.
- C3: Screening je možný s ponecháním větší elektroniky a LAG v zavazadle.
- C4: Zařízení jsou schopna detekovat větší množství IED a výbušnin v LAG než dané soupisy v minulých třech standardech. Větší elektronika a LAG jsou ponechány v zavazadle. [34, 37]

Na obrázku (Obrázek 11) jsou vypsány všechny technologie schopné poskytnout kontrolu na úrovni určitého standardu. Standardu C3 a C4 je možné dosáhnout pouze použitím EDSCB pracujících na principu výpočetní tomografie (CT). Jedná se o metodu zobrazení zavazadla v 3D modelu.



Obrázek 11: Vizualizace C standardů EDSCB – přeloženo [37]

Specifické standardy pro LEDES

LEDS zařízení jsou certifikována stejnými standardy jako EDS a navíc jsou hodnocena druhým standardem popisujícím potřebné operace pro provedení bezpečnostní kontroly, standard označený písmeny je označován jako typ provozu (types of operation) [32]:

- Typ A: LEDES skenuje jednotlivé obaly obsahující tekutiny a vyžaduje otevření originálního obalu. LAG musí být vyjmuto ze zavazadla.
- Typ B: LEDES skenuje jednotlivé obaly obsahující tekutiny a nevyžaduje otevření originálního obalu. LAG musí být vyjmuto ze zavazadla.
- Typ C: LEDES skenuje najednou větší množství obalů obsahujících tekutiny a nevyžaduje otevření originálního obalu. LAG musí být vyjmuto ze zavazadla.
- Typ D: LEDES skenuje najednou všechny obaly obsahující tekutiny přítomné na snímku. LAG nemusí být vyjmuto ze zavazadla.
- Typ D+: LEDES je schopno skenovat tekutiny v zavazadle v přítomnosti komplexní elektroniky v zavazadle.

V rámci letišť na území smluvních států ECAC a členských států Evropské unie musí být použita zařízení schválená metodologií CEP [30].

3.1.4 Zavedení povinného EDS standardu 3

EDS je systém detekce výbušnin určený pro kontrolu zapsaných zavazadel a je hodnocen jednotným standardem ve stupních 1, 2, 3. EDS standardu 3 jsou v současné době

nejmodernější EDS. Standard 3 je v současné době nejvyšší. Evropská komise schválila legislativní rámec, který vyžaduje, aby na všech mezinárodních letištích v členských státech a smluvních státech ECAC (Evropská konference pro civilní letectví) bylo použito EDS (systém pro detekci výbušnin) pro kontrolu zapsaných zavazadel minimálně standardu 3 od 1. září 2020 [38]. Existuje princip víceúrovňové bezpečnostní kontroly. V oblasti kontroly zapsaných zavazadel je smyslem provádění kontroly na první úrovni zařízeními s vyšší propustností na úkor horších zobrazovacích vlastností. Pokud je v zavazadle zjištěna hrozba, zavazadlo je zkontrolováno znovu na další úrovni lepším zařízením, které provádí přesnější kontrolu. Popsaný způsob je označován jako multi-level screening. Přejít na standard 3 má pro letiště řadu výhod. Proces kontroly je méně komplexní, vyžaduje menší množství zaměstnanců, menší využití místa, nižší provozní náklady, nižší náklady na údržbu. [39]

Konvenční koncept víceúrovňové bezpečnostní kontroly zapsaných zavazadel zahrnuje EDS standardu 1 nebo 2 na první úrovni a EDS standardu 3 na třetí úrovni. V případě alarmu na první úrovni vyhodnotí snímek operátor, zařízení je poté znovu zkontrolováno v zařízení odpovídající standardu 3. Po vyhodnocení hrozby i v tomto snímku následuje manuální prohlídka zavazadla. V novém konceptu je vyžadováno použití EDS standardu 3 už na první úrovni. [40]

Dřívější EDS zařízení standardu 3 měla nízkou propustnost a velmi vysokou pořizovací hodnotu. Dnešní CT zařízení mají propustnost až 1800 zavazadel za hodinu (srovnatelné s typickým EDS standardu 2), například model CTX 9800 DSi od Smiths Detection (obrázek 26) [41].



Obrázek 12: CTX 9800 DSi od Smiths Detection [41]

Model následně pokračuje stejným způsobem. Výsledkem je snížení počtu úrovní kontroly (obrázek 13). Výhodami je plošně daná vysoká úroveň bezpečnostních kontrol, ušetření pracovní síly a provozních nákladů.

	1. úroveň	2. úroveň	3. úroveň	4. úroveň	5. úroveň
Původní koncept	EDS standardu 1 nebo 2	Kontrola podezřelých snímků operátorem	EDS standardu 3	Kontrola podezřelých snímků operátorem	Manuální kontrola
Nový koncept	EDS standardu 3	Kontrola podezřelých snímků operátorem	Manuální kontrola	X	X

Obrázek 13: Vizualizace původního a nového konceptu víceúrovňové bezpečnostní kontroly

3.2 Zařízení s vyzařováním jednoho svazku

RTG zařízení s vyzařováním jednoho svazku (single-energy) RTG zařízení jsou neekonomičtější volbou. V současnosti nejsou certifikované pro provoz na veřejných mezinárodních letištích. Vzhledem k povaze své technologie nejsou schopny zajistit dostatečnou diskriminaci materiálu. S materiálovou diskriminací souvisí schopnost detekovat výbušniny a proto single-energy zařízení nemohou fungovat jako EDS či LEDS. Najdou ale využití v jiných odvětvích, kde je třeba pouze základní úroveň bezpečnostní kontroly. Příkladem zařízení z této kategorie je Eastimage EI-5030A na obrázku (obrázek 14).



Obrázek 14: Eastimage EI-5030A [42]

Eastimage EI-5030A je přístroj pro prohlídku předmětů s maximálními rozměry 50 cm x 30 cm. Je vhodný pro pošty, hotely, obchodní centra, továrny nebo vládní organizace [42].

3.3 Příklady certifikovaných modelů organizací ECAC

V následujících podkapitolách jsou podrobněji popsány jednotlivé kategorie detekčních zařízení s uvedením příkladů.

3.3.1 Kategorie 1: Přístroje automatické detekce výbušnin (EDS)

Dual-energy a multi-energy EDS jsou v dnešní době využívána na bezpečnostních kontrolách zavazadel. EDS zařízení standardu 2 pracují v jedнопohledové (single-view) nebo dvojпohledové (dual-view) konfiguraci [31]. Pro dosažení standardu 3 je potřebné použití pokročilejších detekčních algoritmů, které pro svou funkčnost vyžadují zobrazení zavazadla z více úhlů pohledu [5]. U kontroly zapsaných zavazadel je kvůli standardu 3 přistupováno k pokročilejším technologiím. Zařízení EDS na principu dual-energy technologie schválené ECAC standardem 2 jsou dodávány pouze společnostmi Rapiscan Systems a Smiths Detection [31].

EDS standardu 2

Model MVXR5000 od společnosti Rapiscan funguje na principu dual-energy technologie a poskytuje zobrazení z pěti úhlů pohledu. Následující informace o zařízení jsou uváděny výrobcem na oficiálních internetových stránkách.



Obrázek 15: MVXR5000 [43]

Zařízení používá pokročilé algoritmy pro automatickou detekci výbušnin. Algoritmy využívají pro vyhodnocení všech 5 úhlů pohledu. Společnost vyzdvihuje zejména vysokou kvalitu obrazu a nízký podíl false alarmů (FAR – False Alarm Rate). Zařízení má propustnost 1800 zavazadel za hodinu. Zařízení disponuje silným hardware vybavením pro automatické vyhodnocování snímků v téměř reálném čase. [43]

Od společnosti Smiths Detection jsou v současnosti k dispozici HI-SCAN 10080 EDX-2is a HI-SCAN 7555 aTiX. Obě zařízení pracují na principu klasifikace materiálu podle rozdílných útlumových koeficientů na různých energiích.



Obrázek 16: HI-SCAN 10080 EDX-2is [44]

Model HI-SCAN 10080 EDX-2is je určen zejména na kontrolu zapsaných zavazadel. Vzhledem k velkým rozměrům tunelu 7070 x 810 mm je systém vhodný na kontrolu nadrozměrných zavazadel až do délky 3,8 m. Systém má nízké hodnoty FAR a propustnost 1800 snímků za hodinu. Rychlost pásu je 0,5 m/s. Systém poskytuje pohled ze dvou úhlů (dual-view). V případě osazení systému do infrastruktury využívající multi-level screening koncept je vhodné použití na první úrovni. [44]

Společnost Smiths Detection donedávna prodávala model HI-SCAN 10080 EDtS, nyní je prodej ukončen. Model je stále certifikován ECAC standardem 2. [31]

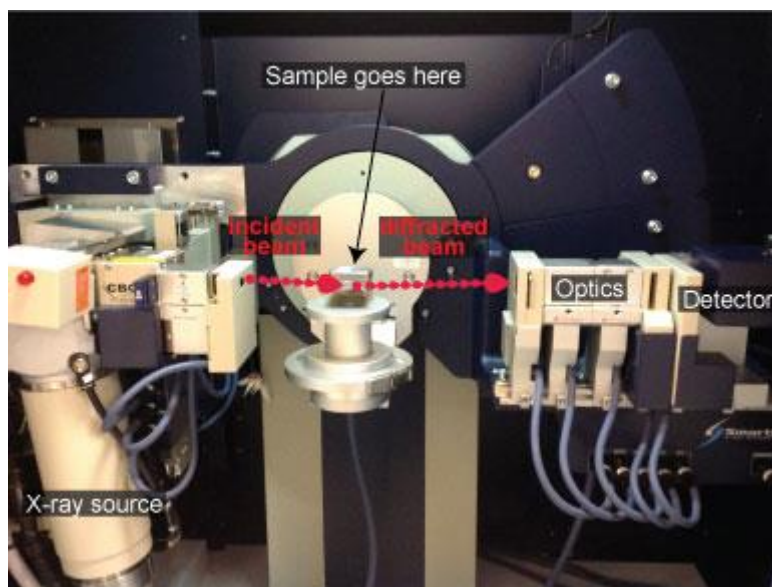
EDS standardu 3 – difrakce rentgenového záření

Difrakce rentgenového záření neboli XRD (x-ray diffraction) je metoda, pomocí níž je zařízení schopno detekovat výbušniny jak v pevné, tak kapalné formě. XRD zkoumá strukturu materiálu skenovaného objektu pomocí poměrování úhlů paprsků odražených od struktury materiálu. [45]

Na obrázku (obrázek 14) je laboratorní XRD vybavení. Z hlediska principu je velmi podobné přístrojům používaných při bezpečnostní kontrole zavazadel. Zařízení se skládá z generátoru rentgenového záření a detektoru odražených paprsků.

Dalšími součástmi jsou kolimátory záření a optika směřující odražené paprsky do detektoru. Na rozdíl od konvenčních RTG a EDS je zde nutná určitá míra mechanizace. Generátor záření a kolimátory jsou umístěné na jednom rameni, detektory na druhém. Ramena v průběhu prohlídky mění úhel naklonění vzhledem ke skenovanému objektu. Z míry odražených paprsků pod určitými úhly je následně vyhodnocena přítomnost konkrétního materiálu. Na rozdíl od

práškového XRD na obrázku (Obrázek 17) je koncepce XRD EDS náročnější kvůli velkým rozměrům zavazadel. [45]



Obrázek 17: Základní součásti technologie XRD [46]

Tabulka 3: Překlad pojmů na obrázku (Obrázek 17)

X-ray source	Generátor rentgenového záření
Optics	Optika
Detector	Detektor
Incident beam	Vyzařovaný paprsek
Diffracted beam	Odražený paprsek
Sample goes here	Místo pro umístění objektu

XRD technologie neposkytuje žádný obraz. Zařízení využívající XRD technologii je vhodné pro kontrolu specifického místa v zavazadle, které již bylo označeno jako podezřelé. [45]

Zařízení využívající technologii XRD je na trhu velmi málo, doposud byla k dispozici pouze 3. První bylo uvedeno na trh společností Heimann v roce 1999 [5]. Funkčnost zařízení byla omezena pouze na určitou malou oblast v zavazadle, proto bylo využíváno pouze pro kontrolu specifických míst, ve kterých byla již předtím označena přítomnost hrozby. Další systém nesl označení XES3000 společnosti Yxklon. Byl uveden na trh v roce 2000 a používal lepší technologii než předchůdce. Díky ní bylo možné kontrolovat celá zavazadla, kontrola zabrala téměř 60 s. Společnost Yxlon v roce 2003 koupila společnost InVision Technologies Inc [47]. V současné době je k dispozici zařízení XRD 3500 od společnosti Morpho Detection, dnes distribuované společností Smiths Detection.

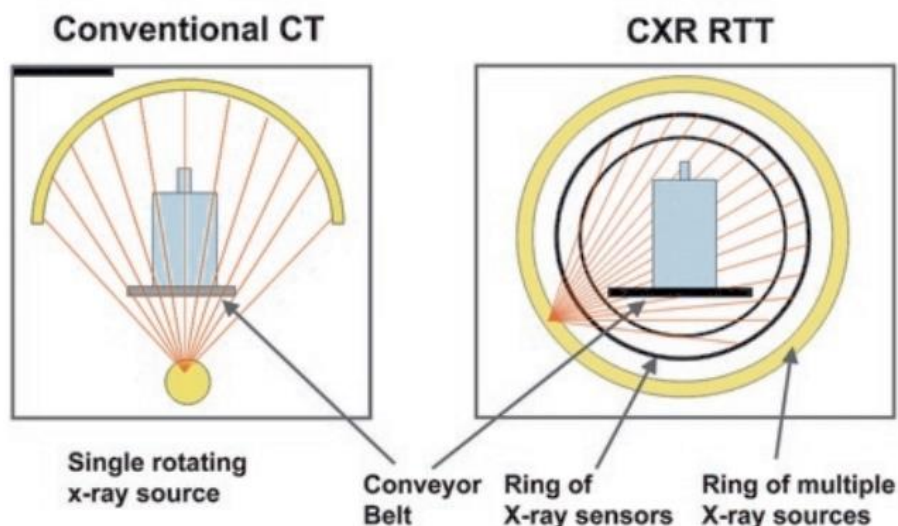


Obrázek 18: Morpho Detection XRD 3500 [45]

Model na obrázku (Obrázek 18) funguje na stejném principu jako XES3000, má navíc některá mechanická vylepšení. XRD zařízení jsou primárně využita pro kontrolu podezřelých zavazadel, která byly v předchozích úrovních označena. Model XRD 3500 je certifikován standardem 3 a má velmi nízké hodnoty FAR. Nevýhodami zařízení jsou velmi nízká propustnost, neschopnost zobrazení grafického snímku zavazadla a vysoká pořizovací cena. [48]

EDS standardu 3 - výpočetní tomografie

Výpočetní tomografie (anglicky Computed Tomography – CT) je metoda pro 3D zobrazení. EDS pracující na principu CT zobrazení využívají dual-energy vyzařování. Hlavním rozdílem od konvenčních RTG je ozáření zavazadla ze 360°. **Zobrazení zavazadla ve 3D umožňuje dosažení standardu 3** [31]. Ozáření ze všech úhlů je docíleno synchronizovanou rotací generátoru a detektorů na protější straně kolem zavazadla. Ve standardním konceptu CT je rotace vytvořena mechanicky. Na obrázku (Obrázek 19) je schéma standardního konceptu znázorněno vlevo.



Obrázek 19: schéma konvenčního CT a RTT [49]

Tabulka 4: překlad obrázku 29

<i>Conventional CT</i>	<i>Konvenční CT</i>
<i>CXR RTT</i>	<i>Real Time Tomography</i>
<i>Single rotating x-ray source</i>	<i>Jeden rotující zdroj záření</i>
<i>Conveyor belt</i>	<i>Pohyblivý pás</i>
<i>Ring of x-ray sensors</i>	<i>Prstenec více detektorů záření</i>
<i>Ring of multiple x-ray sources</i>	<i>Prstenec více zdrojů záření</i>

Novým konceptem je technologie, která nevyužívá mechanickou rotaci. Společnost Rapiscan Systems označuje technologii jako RTT (Real Time Tomography). Místo jednoho rentgenového generátoru a řady detektorů obsahuje prstenec generátorů rentgenových záření a další prstenec obsahující detektory. Generátory záření jsou spouštěny ve specifickém pořadí a simulují rotaci kolem zavazadla, pro pořadí sepnutí generátorů existuje anglický termín „firing order“. [49]

Příkladem konvenčního CT je eXaminer 3DX od L3 Technologies Inc. na obrázku (Obrázek 20.). Zařízení dosahuje propustnosti 550 zavazadel za hodinu. Zařízení disponuje speciálními funkcemi pro lepší orientaci operátora ve snímku. Využití doplňujících funkcí umožňuje snížení počtu manuálních prohlídek. Systém je dostupný v konfiguraci eXaminer 3DX-ES (enhanced speed), ve které dosahuje propustnosti 750 zavazadel za hodinu. [50]



Obrázek 20: eXaminer 3DX od L3 Technologies Inc. [50]

Na trhu jsou dvě společnosti v současnosti vyrábějící CT zařízení bez mechanické rotace. K dispozici je model RTT110 od společnosti Rapiscan Systems (Obrázek 21). Systém je dostupný v rychlostní konfiguraci $0,25 \text{ ms}^{-1}$, tak i $0,5 \text{ ms}^{-1}$. Propustnost dosahuje až 1 800 zavazadel za hodinu (při rychlosti $0,5 \text{ ms}^{-1}$). [51]



Obrázek 21: RTT110 od Rapiscan Systems [51]

Druhou společností je SureScan a model x1000 [31].

3.3.2 Kategorie 2: Přístroje pro detekci kapalných výbušnin (LEDS)

ECAC v kategorii LEDS hodnotí všechna zařízení schopná detekovat výbušniny v kapalně formě. V dokumentu CEP věnujícímu se LEDS zařízením jsou testovány následující typy zařízení.

- LEDS pro kontrolu samostatných tekutin
- LEDS jako RTG zařízení
- Mobilní LEDS

LEDS pro kontrolu samostatných tekutin

Jedná se o zařízení detekující výbušné směsi tekutin v obalu. Kontrola je neinvazivní bez nutnosti porušení originálního balení tekutiny. Zařízení jsou malá, slouží většinou jako doplňková kontrola LAG ve kterých byla v minulém kroku vyhodnocena hrozba. Existuje mnoho LEDS tohoto typu fungujících na různých technologiích. Kontrola běžně trvá několik sekund. Tekutiny se mohou nacházet téměř v jakémkoliv obalu. [52]

V dokumentu CEP zabývajícím se LEDS je certifikované velké množství zařízení [32].

Na obrázku (Obrázek 22) je model EMILI 3 od Emisens. EMILI 3 je LEDS určené pro použití na bezpečnostní kontrole cestujících, kde jsou zároveň kontrolována kabinová zavazadla a jiné předměty (security checkpoint). EMILI 3 je certifikováno standardem 3 s typem B [32]. Dle výrobce má EMILI 3 hodnoty FAR <5%. [53]



Obrázek 22: EMILI 3 od Emisens [53]

Dalším příkladem LEDS pro kontrolu samostatných tekutin je zařízení EMA-3 od společnosti CEIA (Obrázek 23). Zařízení vykonává totožnou funkci jako předchozí model.



Obrázek 23: EMA-3 od CEIA [54]

Umožňuje kontrolu tekutin v zavřených nebo otevřených obalech z plastového, skleněného či kovového materiálu. Materiál může být čirý nebo barevný. Systém je dostupný v několika konfiguracích certifikovaných v CEP dokumentu [32]. Ve tří z nich je certifikován standardem 3, v jedné standardem 2. Dále je k dispozici ve standardu A a B. Dle výrobce má systém hodnoty FAR <0,4%. Systém nevyzařuje žádné ionizující záření a nevyžaduje údržbu, kalibrace je prováděna automaticky. Kontrola je provedena do 5 sekund. Vyhodnocení je operátorovi zobrazeno ve formě zprávy OK nebo ALARM, není vyžadována hlubší interpretace dat. [54]

LEDS jako dual-energy RTG zařízení

LEDS mohou být i zařízení EDS doplněné o pokročilejší funkce umožňující detekci výbušnin v kapalné formě. Jedná se o dual-energy RTG doplněné o dodatečné algoritmy umožňující detekci výbušnin i v kapalné formě. Dnes jsou běžně dostupné v dual-view konfiguraci. Konvenční LEDS na principu dual-energy technologie ze své podstaty nejsou schopny spolehlivé kontroly tekutin obsažených uvnitř v zavazadle. Dle CEP dosahují standardu C a většinou standardu 2, některé konfigurace modelů dosahují standardu 3 [32]. Mezi hlavní výrobce LEDS ve formě vylepšeného RTG patří Smiths Detection, Rapiscan Systems a L3 Technologies Inc.

Certifikované modely jsou například ACX 6.4-MV od L3 Technologies Inc., 620 DV od Rapiscan Systems a HI-SCAN 6040aTiX, HI-SCAN 6040-2is HR, HI-SCAN7555aTiX od Smiths Detection. [32]



Obrázek 24: LEADS HI-SCAN 6040aTiX standardu 3 s typem operací C [55]

HI-SCAN 6040aTiX využívá multi-energy technologii. Poměrové koeficienty jsou k dispozici z více záznamů kvůli většímu počtu paprsků na různých energiích. Klasifikace materiálů je prováděna s větší přesností. [55]

HI-SCAN 6040aTiX disponuje 4 generátory rentgenového záření na více energiích. Každý z generátorů je propojen s vlastními detektory. Systém je v dual-view konfiguraci. K dispozici je doplňková technologie iCMORE Weapons. iCMORE Weapons je soubor algoritmů pro detekci pistolí, revolverů, jednotlivých součástí střelných zbraní, nožů a čepelí. [55, 56]

Mobilní LEADS

Typ mobilních LEADS není na bezpečnostních kontrolách na letištích hojně využíván. Zařízení jsou velmi malá, velikostně podobná čtečkám palubních vstupenek. Podobně jako zařízení pro stopovou detekci výbušnin (ETD zařízení) jsou určena pro detekci výbušnin a narkotik pomocí chemické analýzy vzorku. Vzhledem k principu funkčnosti zařízení vyžadují sběr vzorku pomocí specifického náčiní komplementárního k modelu, kvůli tomu nemohou být hodnoceny vyšším standardem ECAC než A. Příkladem je model SEEKERe od DetectaChem (Obrázek 25). [57]



Obrázek 25: SEEKERe od společnosti DetectaChem [57]

Model SEEKERe je hodnocen standardem A s standardem 2, je dostupný ve třech konfiguracích lišících se verzí výpočetního algoritmu [32].

3.3.3 Kategorie 3: Stopová detekce výbušnin (ETD)

Přístroje pro stopovou detekci výbušnin (ETD – Explosive Trace Detector) slouží pro kontrolu stop výbušnin na těle či oděvu cestujícího, na předmětech v zavazadle, u cestujícího či na zavazadle samotném. Přístroje jsou používány i pro kontrolu nákladu.

Detekce výbušnin je náročný úkol kvůli velkému množství problémů, jako například obtížný sběr částic výbušné látky, častý výskyt nových výbušných složenin či snaha o jejich skrytí před odhalením. Stopová detekce zpravidla zahrnuje proces sběru stopového množství částic látky na pevném povrchu a následně jejich analýzu systémem citlivých senzorů. Existuje větší množství technologií pro provedení detekce stopového množství výbušnin. Mezi hlavní patří hmotnostní spektrometrie a iontová mobilní spektrometrie. [58]

CEP certifikuje ETD jedním standardem. Všechny modely splňující standard jsou certifikovány. Modely jsou následně rozděleny do dvou polí využití – do screeningu cestujících a nákladu. [33]

- Cestující: kategorie zahrnuje screening cestujících, osob jiných než cestujících, nesených předmětů, kabinových zavazadel a zapsaných zavazadel
- Náklad: kategorie zahrnuje screening nákladu a pošty, letových zásob, letištních zásob a materiálu letecké společnosti umístěného v nákladovém prostoru letadla

ETD pracující na principu hmotnostní spektrometrie

Hmotnostní spektrometrie je metoda spadající do analytické chemie. Jejím použitím je možné zjištění elementárního složení vzorku či molekuly, nalezení jednotlivých prvků a objasnění chemické struktury molekul. Porovnáním se záznamy v databázi je možné nalézt chemické sloučeniny výbušnin. Přístroj na principu hmotnostní spektrometrie po přijmutí vzorku odpaří částice. Částice vzorku jsou následně ionizovány (vznik iontů). Následně je využito třídění iontů podle vzorce m/Q kde m je hmotnost iontu a Q jeho náboj.

Třídění probíhá v hmotnostním analyzátoru. Následně je měřena četnost výskytu jednotlivých iontů, z naměřených hodnot je vytvořený model chemické struktury sloučeniny. [59]

Příkladem certifikovaného zařízení v dokumentu CEP je model TRACER 1000 od 1st Detect na obrázku (Obrázek 26) [33].



Obrázek 26: TRACER 1000 od 1st Detect [60]

Model je certifikovaný ve dvou konfiguracích, v jedné je určený pro screening v kategoriích náklad a cestující, ve druhé pouze v kategorii cestující. Přístroj není sám o sobě zdrojem radioaktivního záření. [33]

Přístroj byl první hmotnostním spektrometrem certifikovaným od ECAC. Detekuje výbušniny i narkotika. Dle společnosti má téměř nulové hodnoty FAR. V pohotovostním stavu vydrží permanentně, jednou za 24 hodin je provedena rychlá kalibrace. [60]

ETD zařízení pracující na principu iontové mobilní spektrometrie

Iontová mobilní spektrometrie (IMS) je analytická technika umožňující detekci specifických chemických látek. Pracuje na principu třídění iontů podle jejich velikosti. Stejně jako u

předešlého modelu proces detekce látky začíná sběrem stopového množství látky pomocí speciálního proužku. Proužek je vložen do otvoru v zařízení, následně je zahříván za účelem vypaření chemických látek. Vzorek je ionizován a na vzniklé ionty je uplatněn vliv elektrického pole. Vzhledem k časové prodlevě od ionizace po dopadnutí na detektor vzniká parametr času. Po dopadnutí na detektor dostaneme součtem dopadu jednotlivých iontů parametr intenzity. Kombinace obou zmíněných parametrů je charakteristická pro různé chemické sloučeniny. [61]

Příkladem ETD pracujícího na principu IMS je model QS-B220 vyrobený společností Implant Sciences (Obrázek 27).



Obrázek 27: QS-B220 [62]

3.3.4 Kategorie 3: Systém detekce výbušnin pro kabinová zavazadla (EDSCB)

Systém detekce výbušnin v kabinových zavazadlech (EDSCB) je velmi podobný konvenčnímu EDS určenému pro kontrolu kabinových zavazadel. Liší se ve svém zaměření na screening kabinových zavazadel. Screening kabinových zavazadel má určitá specifika. Vzhledem k rozdílným legislativním pravidlům pro zapsaná a kabinová zavazadla jsou EDSCB od standardních EDS upraveny. Jedno z hlavních omezení specifických pro kabinová zavazadla je vztaženo na tekutiny.

EDSCB standardu C1

Screening zavazadel obsahujících větší elektroniku (např. laptop) je velmi obtížný kvůli velmi vysokým útlumovým koeficientům materiálů, ze kterých je elektronika složena. Paprsky jednoduše ve velké míře neproniknou skrz vrstvy vysoce pohlcujících materiálů. Technologie vysílání paprsků na více energiích je v tomto směru nedostačující kvůli vysokým útlumovým koeficientům na všech hodnotách vysílaných energií. Pro operátora je velmi složité rozlišit

jednotlivé předměty na snímku. Kontrola je kvůli špatné čitelnosti snímků nedostačující. Velmi efektivním řešením je ozařování objektu z více úhlů. Pro uspokojivou úroveň bezpečnostní kontroly na vyšším standardu než C1, je potřeba více úhlů, ze kterých jsou snímky pořízeny. EDSCB zařízení pracující na standardu C1 jsou konvenční RTG zařízení fungující ve velké většině na principu dual-energy technologie a v konfiguraci dual-view. Aplikací detekčních algoritmů pro detekci IED a v některých případech i detekci kapalných výbušnin mohou plnit úlohu EDSCB a LEDS.

Typickým příkladem EDSCB standardu C1 je již popsáný model HI-SCAN 6040-2is HR (Obrázek 28) [63].



Obrázek 28: HI-SCAN 6040-2is HR od Smiths Detection [63]

EDSCB standardu C2

EDSCB standardu C2 musejí být schopna provést uspokojivou kontrolu zavazadla bez nutnosti vyjmout větší elektroniku. Screening s rozměrnější elektronikou uvnitř zavazadla je velmi obtížný, pokud je prováděn pouze z jednoho úhlu pohledu. [64]

Na obrázku (Obrázek 29) je snímek batohu, laptop je ponechán uvnitř. Rozpoznání předmětů před a za laptopem je velmi obtížné.



Obrázek 29: Snímek zavazadla s laptopem (dual-energy technologie) [65]

Některé konfigurace EDSCB zařízení prvotně certifikované pro standard C1 splňují i standard C2. Příkladem je model HI-SCAN 6040aTiX či velmi podobný model HI-SCAN 7555aTiX. [34] Dle evropského legislativního rámce má cestující povinnost vyjmout větší elektroniku ze zavazadla v případě, že není ke kontrole použito EDSCB standardu C2 a výše. [66]

EDSCB standardu C3

Všechna EDSCB zařízení splňující standard C3 pracující na principu CT, viz obrázek 8 [34]. Důvodem je zobrazení modelu zavazadla ve 3D. Pokud letiště disponuje EDSCB standardu C3, mohou být tekutiny včetně větší elektroniky ponechány v zavazadle, příkladem je HI-SCAN 6040 CTiX od Smiths Detection na obrázku (Obrázek 30). Všechna CT zařízení určená pro kontrolu kabinových zavazadel využívají standardní CT koncept s mechanizovanou rotací generátorů a detektorů rentgenového záření [34].

Kvůli svým schopnostem kontroly LAG ponechaných v zavazadle se CT EDSCB prolínají i do kategorie LEDES. V kategorii LEDES jsou hodnoceny typem D nebo D+. [32]



Obrázek 30: HI-SCAN 6040 CTiX od Smiths Detection [67]

4 Procesy spojené s kontrolou zavazadel a jiných předmětů

Koncept bezpečnostní kontroly zavazadel a jiných předmětů se může společně s konceptem bezpečnostní kontroly lišit na různých letištích.

Podle předpisu L 17 platí, že letecký dopravce musí zavést taková opatření, aby všichni cestující a posádky letadel obchodní letecké dopravy, včetně jejich kabinových zavazadel, byli v místě, kde začínají svůj let, podrobeni detekční kontrole před nastoupením do letadla, odlétajícího z vyhrazeného bezpečnostního prostoru (SRA). Dále platí, že každý smluvní stát musí zajistit použití vhodných detekčních metod, které umožňují zjištění přítomnosti zakázaných předmětů. Zejména výbušnin a výbušného zařízení na vlastním těle nebo v příručím zavazadle. [1]

4.1 Dělení prostorů letiště

Předpis L 17 definuje 3 základní prostory v oblasti letiště:

- Landside
- Airside
- Security Restricted Area

Landside je v českém označení veřejný prostor letiště. Jedná se o provozovatelem určenou veřejnou část letiště, která není částí neveřejnou a zahrnuje všechny oblasti přístupné veřejnosti. [1]

Airside je v českém označení část neveřejného prostoru letiště, kde se nachází pohybová a odbavovací část plochy, jím přilehlý terén, stavby nebo jejich části, k nimž je přístup kontrolován. [1]

Security restricted area (SRA) je provozovatelem určená část neveřejného prostoru letiště, do níž je kontrolován přístup pro zajištění ochrany civilního letectví před protiprávními činy. Taková oblast za běžných podmínek zahrnuje, mezi jiným, všechny prostory pro odlet cestujících mezi místem detekční kontroly a letadlem, rampu, prostory pro třídění a nakládku zavazadel, sklady zboží, poštovní střediska, přípravný cateringu v neveřejném prostoru letiště a prostory pro úklidové služby, zajišťující úklid letadel. [1]

Bezpečnostní kontrola se nachází při vstupu do SRA zóny. Zahrnuje kontrolu zavazadel a jiných předmětů a kontrolu samotných cestujících.

4.2 Zakázané předměty v zavazadlech

Množství zakázaných předmětů bylo časem zvyšováno kvůli proběhlým teroristickým útokům. Mezi zakázané předměty patří výbušniny a nástražné výbušné systémy, IED, rozbušky a zábavná pyrotechnika. Vzhledem k povaze kabinových a zapsaných zavazadel byla omezení vztahující se na jednotlivé předměty rozdělena. Část předmětů je zakázáno vnášet na palubu letadla. Předměty kompletně zakázané k přepravě jsou veškeré výbušniny, kyseliny, hořlaviny, žíraviny, tlakové nádoby a plyny jakéhokoliv druhu (zejména propan-butan ale i obranné spreje), toxické nebo infekční látky a radioaktivní látky. Existují kategorie předmětů zakázaných pouze v zapsaném zavazadle a naopak. Detailní seznam zakázaných předmětů v kabinovém a zapsaném zavazadle je na v Tabulce (Tabulka 5).

4.2.1 Zakázané předměty v zapsaných zavazadlech

Z podstaty zapsaných zavazadel vyplývá, že k nim nebude mít za letu nikdo přístup. Z tohoto důvodu jsou pro přepravu v zapsaném zavazadle povoleny střelné zbraně včetně jejich imitací. Imitací střelné zbraně rozumíme paintballové, airsoftové, plynové zbraně a hračky ve tvaru zbraně. Společně se zbraněmi je povolena munice. Pro přepravu munice platí striktní omezení v souladu s relevantními předpisy a přepravními podmínkami dopravce. Mezi specifickou kategorií předmětů zakázanou v zapsaných zavazadlech a povolenou v kabinových zavazadlech se řadí lithiové baterie a zařízení je obsahující. Zákaz platí pro kovové lithiové baterie a lithium-iontové akumulátory. Zakázané jsou kvůli možnému samovolnému vznícení (např. kvůli přehřátí nebo poškození). V evropských státech platí kapacitní omezení pro lithiové baterie. Zařízení nesmí přesáhnout kapacitu 100 Wh nebo 2 g obsahu lithia [68]. V kabinových zavazadlech je přítomnost lithiových baterií povolena kvůli všudypřítomnému dohledu. Elektronická zařízení jako laptop nebo tablet jsou povolena v zapsaném zavazadle. Doporučuje se však jejich přendání do kabinových zavazadel.

4.2.2 Zakázané předměty v kabinových zavazadlech

Kategorie kabinových zavazadel má svá specifika v oblasti tekutin. V zapsaných zavazadlech je povolena přítomnost všech tekutin kromě kategorií vyjmenovaných v minulém odstavci. V kabinových zavazadlech musí být tekutiny obsaženy v obalech s objemem maximálně 100 ml a musí být uloženy v průhledném uzavíratelném plastovém sáčku o objemu 1 l [36]. Tupé předměty jako hokejové hole, pádla, golfové hole či baseballové pálky jsou povoleny pouze v zapsaném zavazadle, do kategorie se zahrnují i lyžařské hole či rybářské pruty. Poslední povolenou kategorií v zapsaném zavazadle (ale zakázanou v kabinovém zavazadle) je nářadí (vrtáky, kladiva, šroubováky, klíče) a lékařské nástroje. Na rozdíl od zapsaných zavazadel jsou zde zakázány veškeré zbraně, jejich imitace a munice.

4.2.3 Seznam zakázaných předmětů v zapsaném a kabinovém zavazadle

Tabulka 5: Zakázané předměty v kabinovém a zapsaném zavazadle [69]

	Kabinové zavazadlo	Zapsané zavazadlo
Elektronika – notebook, tablet, mobilní telefon, hudební přehrávač	ANO	ANO
LAG v balení nad 100 ml	ANO S VÝJÍMKOU	ANO
LAG v balení do 100 ml	ANO	ANO
Ostří – nože a nůžky s ostřím a čepelí kratší než 6 cm (kromě taktických, bojových, loveckých a jiných nestandardních typů nožů)	ANO	ANO
Nářadí – vrtáky, kladiva, šroubováky, klíče	NE	ANO
Střelné zbraně – platí i na imitace (kuličkové, airsoftové nebo plynové pistole), Munice	NE	ANO
Tupé předměty – hokejky, pádla, rybářské pruty, golfové a lyžařské hole	NE	ANO
Výbušniny – výbušné látky, nástražné výbušné systémy, rozbušky, zábavní pyrotechnika	NE	NE
Kyseliny, hořlaviny, žíraviny, žhavicí zapalovače	NE	NE
Tlakové nádoby – plyny jakéhokoliv druhu, např. propanbutan nebo obranné spreje	NE	NE
Toxické, infekční nebo radioaktivní látky (zahrnutý i repelenty)	NE	NE
Lithiové baterie	ANO S VÝJÍMKOU	NE

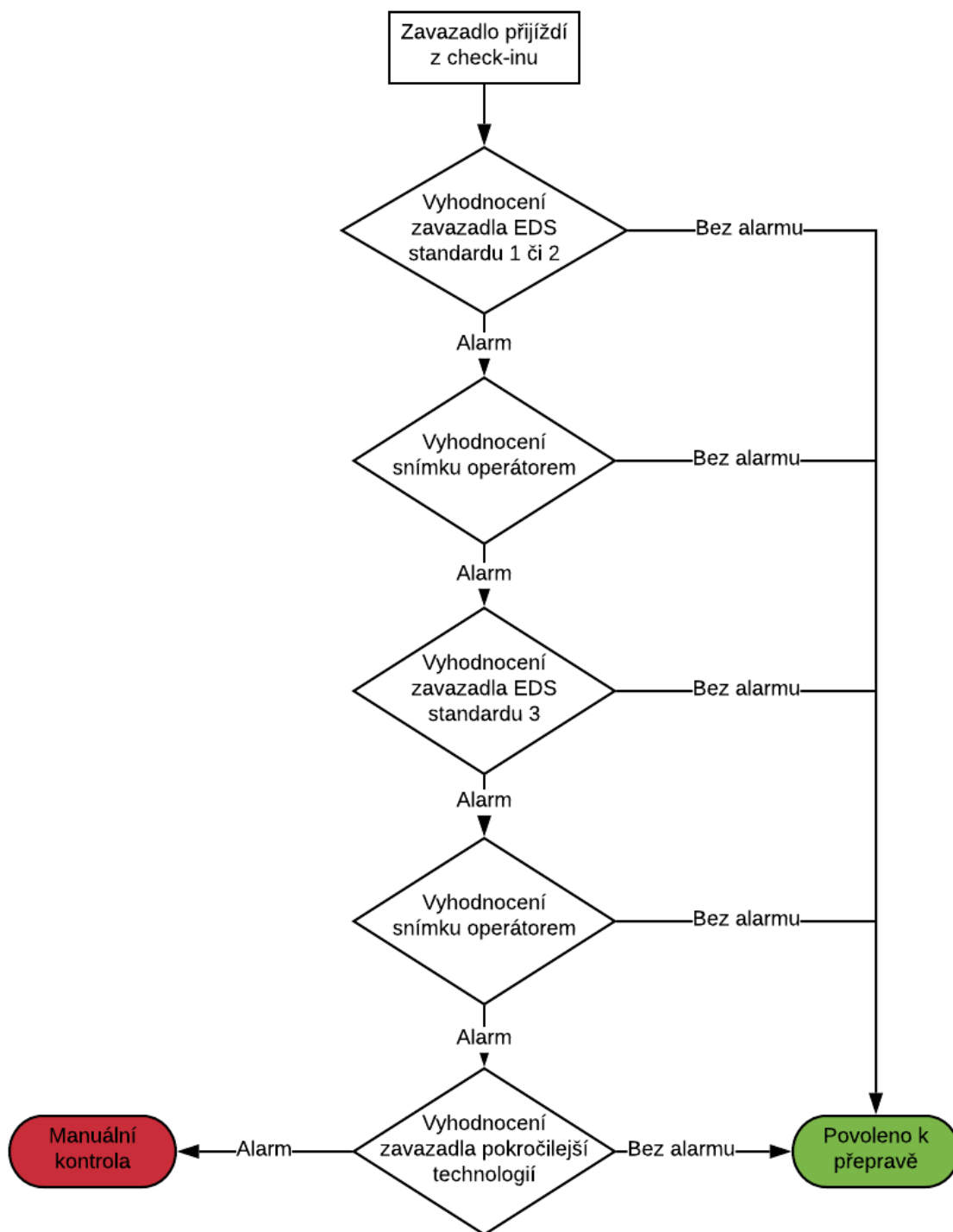
4.3 Procesy kontroly zapsaných zavazadel a jiných předmětů směřujících do nákladového prostoru

Procesy kontroly zapsaných a kabinových zavazadel jsou odlišné. Nutnost odlišení procesů pramení z následujících důvodů:

- Rozdílné soubory zakázaných předmětů
- Složitější manipulace se zapsanými zavazadly

Zapsaná zavazadla jsou rozměrnější než kabinová zavazadla. Musí být transportována od odbavovací přepážky k bezpečnostní kontrole a dále přímo k letadlu. Je zároveň nutné provést bezpečnostní kontrolu nadrozměrných zavazadel, například lyží.

Na obrázku (Obrázek 31 je schéma bezpečnostní kontroly zapsaných zavazadel s 6 úrovněmi. Model je specifický použitím EDS standardu 1 nebo 2 na první úrovni bezpečnostní kontroly. Po odbavení zavazadla na check-in přepážkách je zavazadlo transportováno pomocí systému přepravy zavazadel (Baggage handling system – BHS) k první úrovni bezpečnostní kontroly. BHS je složen ze souboru pohyblivých tratí, rozdělovačů a skladovacích sektorů. Má za úkol třídění zavazadel podle jednotlivých letů a podle výsledků jednotlivých úrovní bezpečnostních kontrol. Jednotlivá EDS provádějící bezpečnostní kontrolu zavazadel jsou integrována do BHS pro zajištění plynulosti toku zavazadel. Schéma modelu se zde výrazně liší podle provádění bezpečnostní kontroly podle platnosti legislativního rámce schváleného Evropskou komisí [70].



Obrázek 31: Schéma víceúrovňového konceptu bezpečnostní kontroly zapsaných zavazadel

1. úroveň: Příkladem EDS standardu 2 je HI-SCAN 10080 EDX-2is. Pokud EDS shledá zavazadlo jako v pořádku, pokračuje po čisté trati BHS a následně je transportováno do letadla. V případě, že EDS vyhodnotí snímek jako podezřelý, pokračuje zavazadlo po druhé trati, která je slangově často označována jako „špinavá“ trať.

2. úroveň: Operátor zkontroluje snímek zavazadla pořízený EDS. Operátor rozhodne, zda se v zavazadle nachází hrozba. Pokud ne, zavazadlo pokračuje po čisté trati, pokud ano, zavazadlo pokračuje do další úrovně.

3. úroveň: Zavazadlo je podrobena bezpečnostní kontrole EDS zařízením standardu 3. Příkladem je eXaminer 3DS od L3 Technologies Inc. Zavazadlo je přeřazeno na čistou trať za podmínky kladného vyhodnocení EDS standardu 3.

4. úroveň: Následuje, pokud EDS standardu 3 vyhodnotí zavazadlo jako hrozbu. Operátorovi je opět prezentován snímek, tentokrát ve 3D zobrazení.

5. úroveň: Je zde uvedena jako doplňková. Kontrola zavazadla před manuální prohlídkou může být provedena zařízením s lepší úrovní bezpečnostní kontroly než většina konvenčních EDS na principu CT. Příkladem je XRD 3500 od Morpho Detection schopné s vysokou přesností provést kontrolu určité oblasti zavazadla, která byla v minulých úrovních označena jako obsahující hrozbu.

6. úroveň: V případě zjištění hrozby operátorem v úrovni 4 nebo zjištění hrozby pokročilým EDS z úrovně 5 je zavazadlo podrobena manuální prohlídce.

Při použití EDS standardu 3 na první úrovni je proces bezpečnostní kontroly zkrácen o 2 úrovně. EDS CT zařízení byla v minulosti finančně velmi nákladná a měla velmi malou propustnost, průměrně nižší než 300 zavazadel za hodinu [23]. Dnešní CT EDS mají propustnost až 1800 zavazadel za hodinu [41].

4.4 Procesy kontroly kabinových zavazadel a jiných předmětů

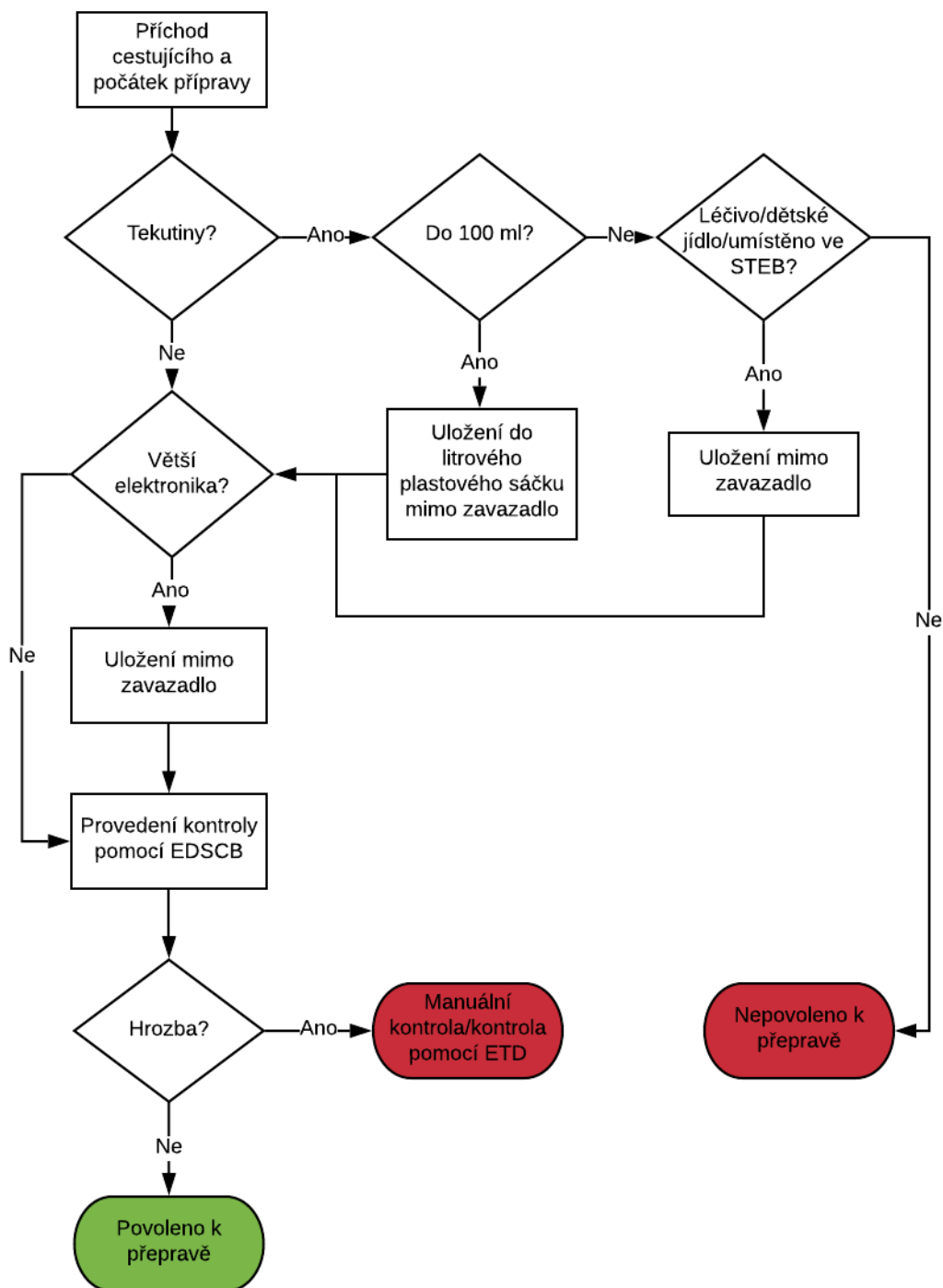
Mezi výhody kontroly kabinových zavazadel patří jednodušší manipulace se zavazadly. Není zde nutnost transportní infrastruktury jako BHS. Kontrola kabinových zavazadel probíhá souběžně s kontrolou cestujících v jednom bodě. Standardně je kabinové zavazadlo zkontrolováno v EDSCB společně se všemi dalšími předměty cestujícího. V případě zjištění hrozby je provedena manuální kontrola nebo doplňková kontrola pomocí ETD. [29]

Nutnost přípravy má vliv na spokojenost cestujících a na propustnost bezpečnostní kontroly. V kombinaci s dlouhými frontami může bezpečnostní kontrola představovat nejvíce stresující část času stráveného na letišti. [71]

Průběh bezpečnostní kontroly zařízením standardu C1 znázorňuje vývojový diagram na obrázku (Obrázek 32).

Proces bezpečnostní kontroly cestujícího a kabinového zavazadla začíná po příchodu k jedné z tratí bezpečnostní kontroly. Cestující je dotázán na přítomnost tekutin a nadrozměrné elektroniky v zavazadle, v případě kladné odpovědi je požádán o jejich vyjmutí. Omezení 100 ml se nevztahuje na léčivo používané během letu, dětské jídlo a na zboží zabalené v nepoškozeném STEB obalu. Security tamper-evident bag (STEB) je igelitový obal s bezpečnostním štítkem. Tekutiny zakoupené v letištních obchodech jsou do STEB uloženy

a mohou být vpuštěny do SRA pod podmínkou neporušeného STEB. Po odložení dalších předmětů je zavazadlo zkontrolováno zařízením EDSCB. V závislosti na standardu EDSCB proces kontroly může být proveden bez nutnosti vyjmutí LAG a elektroniky ze zavazadla. Pokud EDSCB vyhodnotí zavazadlo nebo nějaký předmět jako podezřelý, následuje dodatečná kontrola podle povahy hrozby.



Obrázek 32: Průběh kontroly kabinového zavazadla zařízením standardu C1 včetně přípravy cestujícího

5 Implementace CT zařízení pro kontrolu zavazadel a jiných předmětů

CT zařízení jsou již dlouhou dobu používána jako EDS. Pro svou schopnost kontroly zavazadla na vysoké úrovni dosahují ECAC standardu 3. Původní CT EDS dosahovaly velmi malé propustnosti pohybující se kolem 300-400 zavazadel za hodinu. Díky modernějším technologiím dnešní CT EDS dosahují propustnosti až 1800 zavazadel za hodinu. Vysoká propustnost umožňuje jejich použití na první úrovni v multi-level konceptu. Se zlepšující se technologií a umožnění kontroly zavazadel s ponecháním LAG a větší elektroniky uvnitř zavazadla se CT skenery začaly využívat i jako EDSCB. Umožnila to mimo jiné i prostorově méně náročná koncepce zařízení.

CT EDS a jejich integrace do systému přepravy zavazadel na letišti

V případě EDS fungují všechna zařízení certifikovaná standardem 3 na principu CT (kromě XRD zařízení) [31]. Ačkoliv představuje zavedení plošného standardu 3 řadu již zmíněných výhod (lepší kontrola díky 3D zobrazení, snížení počtu úrovní bezpečnostní kontroly, zachování vysoké úrovně propustnosti), má i své nevýhody. Nejvíce zřejmou jsou vysoké pořizovací náklady. U levnějších variant riskuje kupující nízkou propustnost a vyšší servisní náklady. Bezpečnostní pracovníci musí absolvovat výcvik pro schopnost pracovat s novými funkcemi zařízení. Problémem může být i integrace CT zařízení do stávající infrastruktury.

U manipulace se zapsanými zavazadly musí letiště splnit obtížné úkoly jako transport zavazadel, jejich třídění a bezpečnostní kontrola. Transport velkého objemu zavazadel vyžaduje spolehlivý BHS (systém přepravy zavazadel – baggage handling system). Pro zachování plynulého toku zavazadel musejí být EDS integrovány do BHS. EDS samy o sobě dosahují větších rozměrů než EDSCB. Jejich délka se pohybuje kolem 5 m a výška kolem 2 m. V oblasti BHS není integrace tolik obtížná jako u stanovišť bezpečnostních kontrol kabinových zavazadel. Při přechodu na EDS standardu 3 může nastat problém s rozměrovým uspořádáním. CT EDS dosahují větších rozměrů než starší EDS. Starší EDS standardu 1 a 2 běžně dosahovala délky kolem 3 m. Příkladem může být HI-SCAN 10080 EDX-2is. Na délku měří 2,9 m [44]. Oproti tomu EDS standardu 3 dosahují délek kolem 5 m. CTX 9800 DSi měří na délku 4,5 m [41]. eXaminer 3DS měří na délku až 5,28 m [50]. CT zařízení bez mechanické rotace se rozměrově od konvenčních CT ve velké míře neliší. Přechod na rozměrnější EDS může znamenat v prostorách menších třídíren zavazadel problém a může vyžadovat dodatečné náklady na úpravu infrastruktury. Příklad integrace EDS do BHS je na obrázku (Obrázek 33).



Obrázek 33: Integrace modelu HI-SCAN 10080 XCT do BHS [51]

Při přechodu na trojúrovňový model bezpečnostní kontroly zapsaných zavazadel může být uvolněna část infrastruktury původně využitá pro koncept bezpečnostní kontroly s více úrovněmi.

5.1 Výpočetní tomografie

Technologie byla původně vyvinuta pro 3D zobrazování ve zdravotnictví. Vzhledem ke svému potenciálu byla využita i v security v letecké dopravě. Ozáření zavazadla je dosaženo pomocí synchronizované rotace kolem zavazadla, která je prováděna mechanicky, nebo simulovaně pomocí rychlého přepínání velkého množství rentgenových generátorů. Ozařování probíhá v pravidelných intervalech a v závislosti na rychlosti rotace jsou vytvořeny jednotlivé snímky zavazadla (tomogramy), každý je pořízený z jiného úhlu pohledu. Hlavním cílem zobrazování je (po vykreslení modelu zavazadla) poskytnutí informací o hustotě materiálu a o efektivním atomovém čísle Z_{eff} . Rekonstrukční algoritmus po obdržení jednotlivých snímků vytvoří v trojrozměrném modelu mapu útlumových koeficientů pro každý voxel. Následně je každému voxelu přiřazena hodnota hustoty a atomového čísla jako funkce útlumových koeficientů. Měření na dvou rozdílných energiích získáme 2 rovnice o 2 neznámých. Po jejich vyřešení dostáváme pro každý voxel záznam místní hustoty a efektivního atomového čísla. Jinými slovy, dostáváme informace o jednotlivých materiálech. CT zařízení využívající dual-energy technologii mají označení **DECT**. Prvním systémem na trhu byl model CTX5000 od InVision Technologies Inc. Model byl uveden na trh v roce 1994 a po certifikaci od FAA byl zaveden

v řadě amerických letišť. Dalšími variacemi byla automatizovaná verze CTX-5500DS, zmenšená verze CTX-2500 a CTX-9000. [72, 73]

Data ze snímků z CT v oblasti security se liší od dat ze snímků ze zdravotnictví. Kvůli rozdílu není zaručena uspokojivá funkčnost algoritmů pro úpravu snímků uplatněných ze zdravotnictví. Nutností byla úprava algoritmů pro podmínky bezpečnostní kontroly. Mezi hlavní úskalí, která ovlivnila vývoj CT zařízení, patří:

- Kvalita snímků
- Absence předchozích informací o skenovaném objektu
- Komplexnost zavazadla

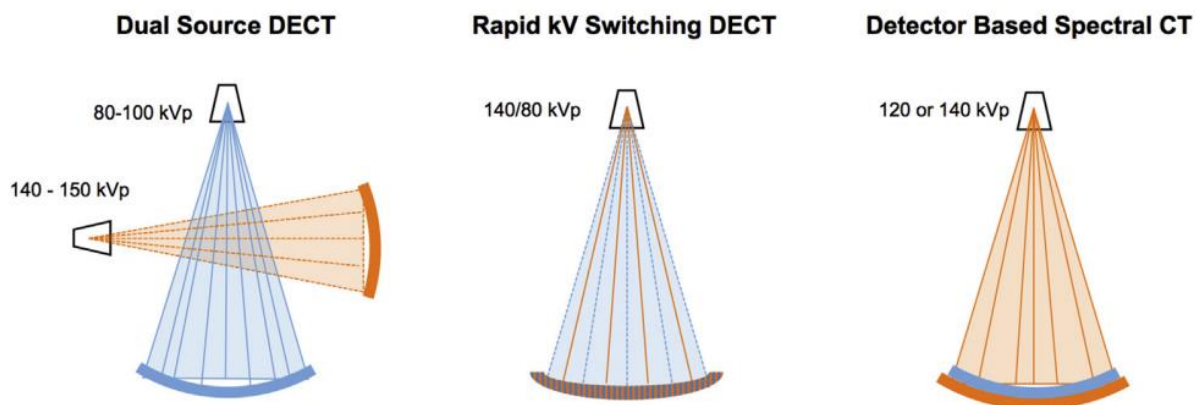
Skenování zavazadla vyžaduje větší rychlost, než kterou jsou kontrolováni pacienti ve zdravotnictví. Vyšší rychlost znemožňuje vykreslení snímku ve vysoké kvalitě obrazu. Předchozí informace jsou ve zdravotnictví běžně dostupné. Software ve zdravotnickém DECT vykresluje snímky se zaměřením na konkrétní útvary v těle. Na bezpečnostní kontrole na letišti je velmi obtížné odhadnout, co se bude v zavazadle nacházet. Předměty v zavazadle jsou běžně uloženy těsně na sobě. Na rozdíl od zdravotnictví, kde je většina snímků systematických, jsou v security z povahy zavazadla snímky plné nepravidelných tvarů. [72]

Současné vylepšené algoritmy umožňují detekci hrozeb s dostatečnou přesností pro dosažení ECAC standardu 3 a standardů C2 a C3. Většina zařízení certifikovaných ECAC splňujících vysoké standardy funguje na principu CT. Příkladem je eXaminer 3DS od L3 Technologies Inc (obrázek 25). [31, 34, 50]

Existují dva v současnosti používané koncepty 3D zobrazení formou rentgenového záření.

CT zařízení využívající mechanickou rotaci

Prvním konceptem je konvenční CT technologie využívající mechanizaci umožňující rotaci generátoru a detektoru záření. Zařízení se skládá z rotačního ramena, na kterém je na jedné straně upevněn generátor a na druhé straně řada detektorů. Existují koncepty s pouze jedním generátorem nebo se dvěma generátory, s druhým běžně umístěným v kolmé rovině k prvnímu generátoru. Využití druhého generátoru souvisí s přepínáním jednotlivých energií u DECT. Nejčastěji je ozáření ve druhém spektru energie generováno druhým generátorem (Dual Source DECT), rychlým přepínáním mezi dvěma módy jednoho generátoru (Rapid kV Switching DECT), či vyzářováním obou paprsků na rozdílných energiích současně s dvěma vrstvami detektorů (Detector Based Spectral CT) (Obrázek 34). [74]



Obrázek 34: 3 hlavní koncepce DECT [74]

Podobným způsobem je vyřešena koncepce u dual-energy RTG.

CT zařízení využívající simulovanou rotaci

Druhým konceptem je CT zařízení s rotací simulovanou rychlým přepínáním velkého množství generátorů rentgenového záření v definovaném pořadí (firing order). Hlavní výhodou je omezení limitace rychlosti rotace kvůli absenci složité mechanizace. [5]

Zdrojů rentgenového záření je v prstenci více než 1000. Absence mechanizace přináší úlevu od servisních nákladů motoru a umožňuje okamžitou mobilizaci. Konvenční CT technologie po zapnutí systému vyžadují určitou časovou prodlevu pro dosažení dostatečné frekvence rotace. Další výhodou je přirozeně nižší hluk. Množství radiace není vyšší než u konvenčních CT. V určitém čase je aktivní pouze jeden zdroj záření. [49]

Nevýhodou je nižší kvalita generovaných snímků. Konvenční CT zařízení vykreslují kolem zavazadla přes 700 snímků následně využitých na rekonstrukci 3D modelu. CT zařízení se simulovanou rotací vytvoří snímků méně. Vykreslovací software má k dispozici méně dat. Pro vykreslení plnohodnotného modelu musejí být některá místa v 3D modelu vytvořena interpolací. [75]

5.2 Certifikovaná CT zařízení pro kontrolu kabinových zavazadel

V následující tabulce (Tabulka 4) je uveden seznam všech certifikovaných CT zařízení organizací ECAC pro kontrolu kabinových zavazadel. Jsou zde vypsání výrobci zařízení a jednotlivé modely. Modely jsou certifikované ve větším množství konfigurací. Konfigurace se zejména liší ve verzi softwaru obsahujícího detekční algoritmy. Podle verze softwaru je pro jednotlivé konfigurace udělen příslušný standard C. Pro účely podkapitoly je v tabulce (Tabulka 6) zaznamenána vždy nejnovější konfigurace splňující standard C3. [34]

Tabulka 6: EDSCB CT zařízení certifikována organizací ECAC [34]

Analogic	ConneCT
IDSS Holdings Inc.	DETECT™ 1000
L3 Technologies, Inc.	ClearScan
Nuctech	Kylin Ti
Rapiscan	920 CT
Smiths Detection	HI-SCAN 6040 CTiX

Všechna zařízení v tabulce (Tabulka 6) jsou **DECT s mechanickou rotací**. Jsou to **jediná EDSCB certifikována standardem C3**. Certifikace C3 je udělena pouze nejnovějším konfiguracím. [34]

V oblasti kontroly kabinových zavazadel se CT zařízení začala využívat až v posledních letech. Příkladem je použití modelu ConneCT. Analogic je společnost sídlící v USA. Věnuje se vývoji výpočetní tomografie v oblasti zdravotnictví již přes 50 let. V posledních letech vyvíjí CT zařízení i pro kontrolu kabinových zavazadel. Uvedla na trh model ConneCT a Cobra (předchůdce modelu ConneCT). Je rozšířená zejména na trhu v USA. ConneCT je na obrázku (Obrázek 35). V současné době je využíván například na stanovišti bezpečnostní kontroly na terminálu 8 letiště JFK. [76, 77]



Obrázek 35: ConneCT od Analogic [76]

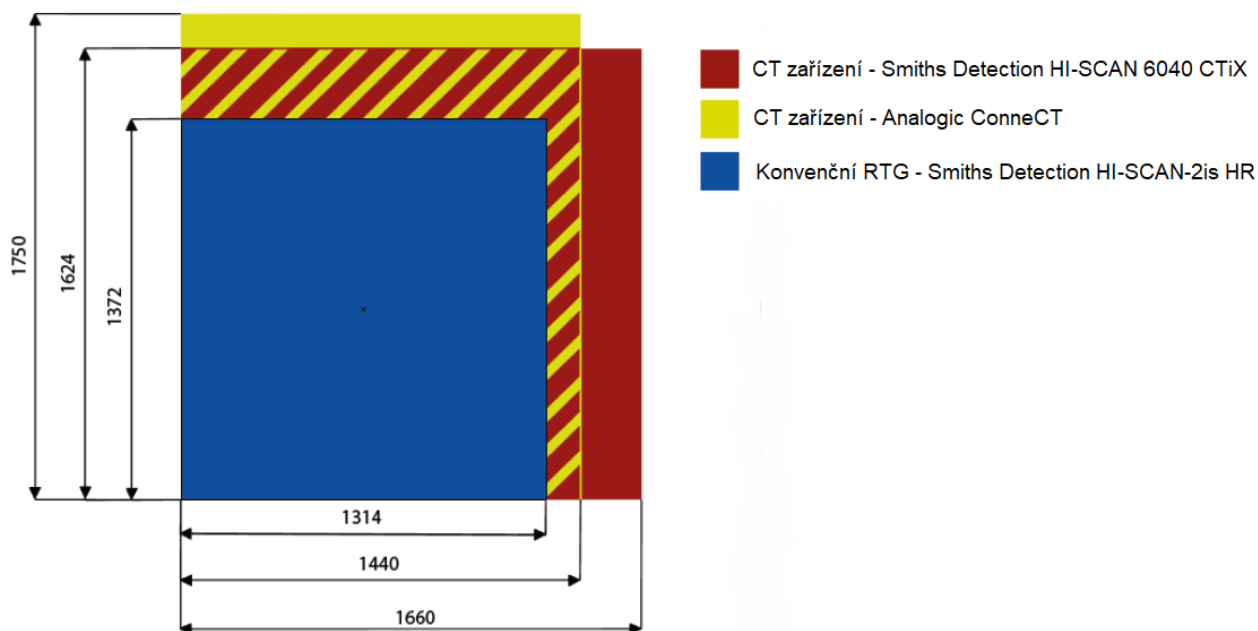
V oblasti evropského a asijského trhu více působí společnost Smiths Detection. Model HI-SCAN 6040 CTiX na obrázku (Obrázek 27) byl například implementován na stanovišti bezpečnostní kontroly mezinárodního letiště CJU na ostrově Čedžu v Jižní Koreji. Na obrázku (Obrázek 36) je systém součástí automatické tratě. [78]



Obrázek 36: model HI-SCAN 6040 CTiX implementován do konceptu automatické tratě na CJU [79]

5.3 Prostorové srovnání CT EDSCB

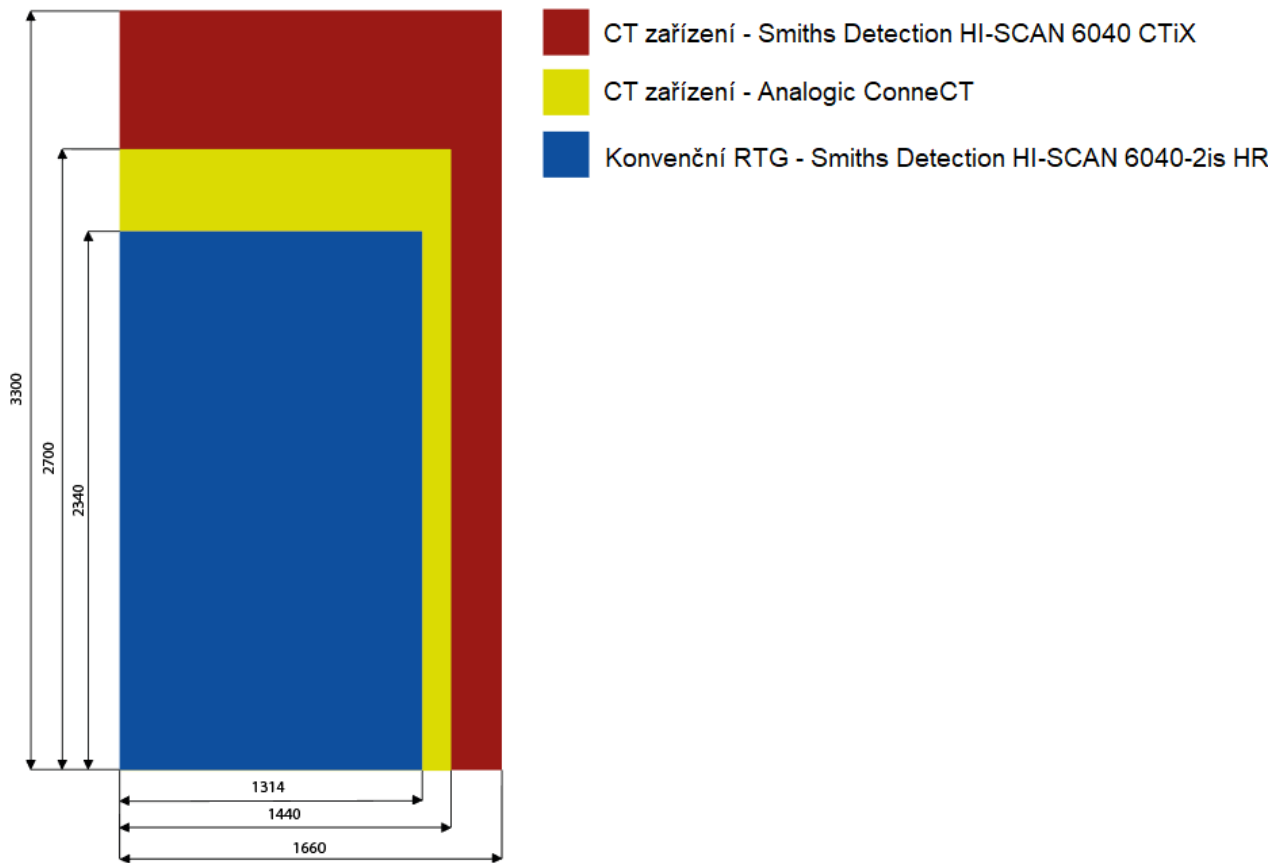
CT EDSCB se od CT EDS na první pohled velmi liší. EDSCB může figurovat samostatně na manuální trati. Trať je složena z několika stolů s válečky pro transport zavazadel. Současným trendem je zavádění automatických tratí bezpečnostních kontrol. Koncept postavení tratí je vzhledem k rozměrovým limitacím prostředí velmi těsný. Výměna EDSCB za rozměrnější CT EDSCB by představovala problém kvůli nezajištění prostorové rezervy mezi jednotlivými zařízeními. Příkladem je rozměrový rozdíl mezi modely HI-SCAN 6040 2-is HR, HI-SCAN 6040 CTiX a Analogic ConneCT na obrázcích (Obrázek 37) a (Obrázek 38). Modrá barva reprezentuje konvenční RTG, červená a žlutá moderní CT.



Obrázek 37: Grafické znázornění rozměrů 3 modelů EDSCB CT – pohled zepředu [63, 67, 76]

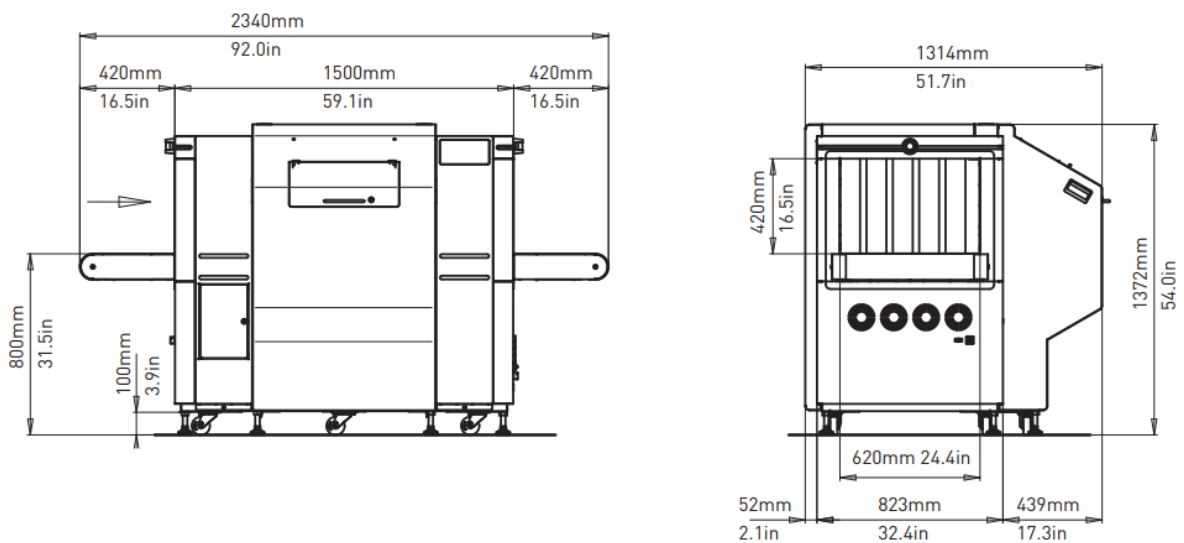
Na obrázku (Obrázek 37) je graficky znázorněna oblast, kterou zabírají jednotlivé EDSCB na výšku a šířku při pohledu zepředu. CT zařízení jsou rozměrnější. HI-SCAN 6040 CTiX je o 0,3 m širší než jeho předchůdce.

Na obrázku (Obrázek 38) je podobné znázornění šířky a délky zařízení. CT zařízení jsou delší než konvenční EDSCB. Zejména model HI-SCAN 6040 CTiX, který je o 1 m delší než model HI-SCAN 6040 2is HR.

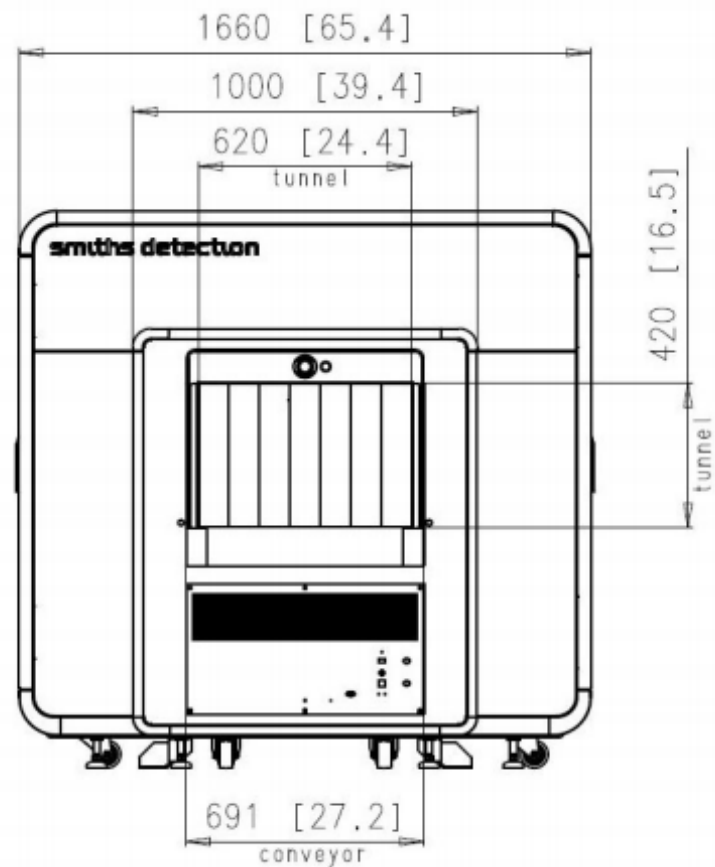


Obrázek 38: Grafické znázornění rozměrů 3 modelů EDSCB CT – pohled ze shora [63, 67, 76]

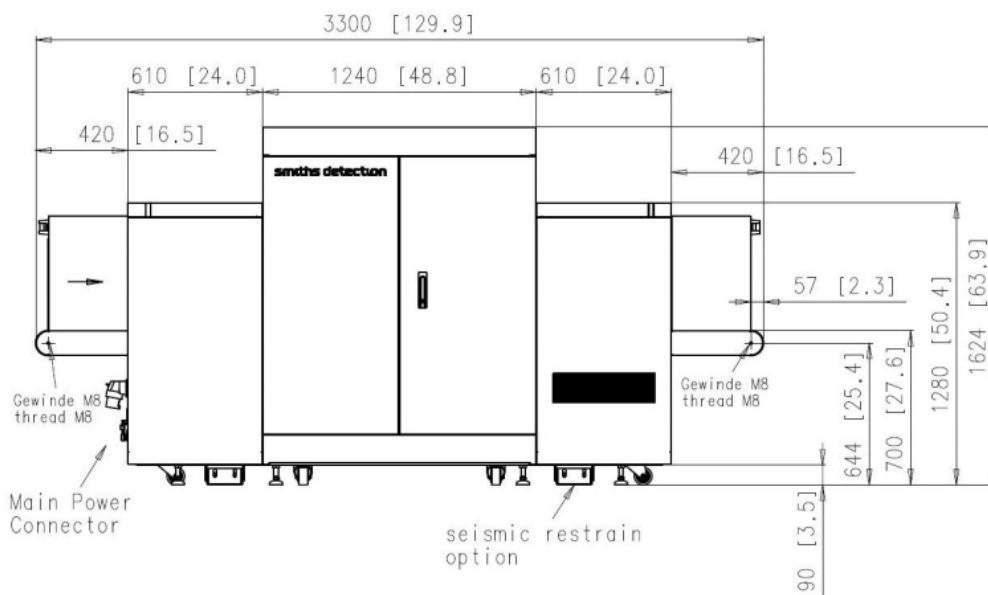
Pro porovnání jsou na obrázcích (Obrázek 39, Obrázek 40, Obrázek 41) technické nákresy obou modelů.



Obrázek 39: rozměry modelu HI-SCAN 6040 2-is HR [63]

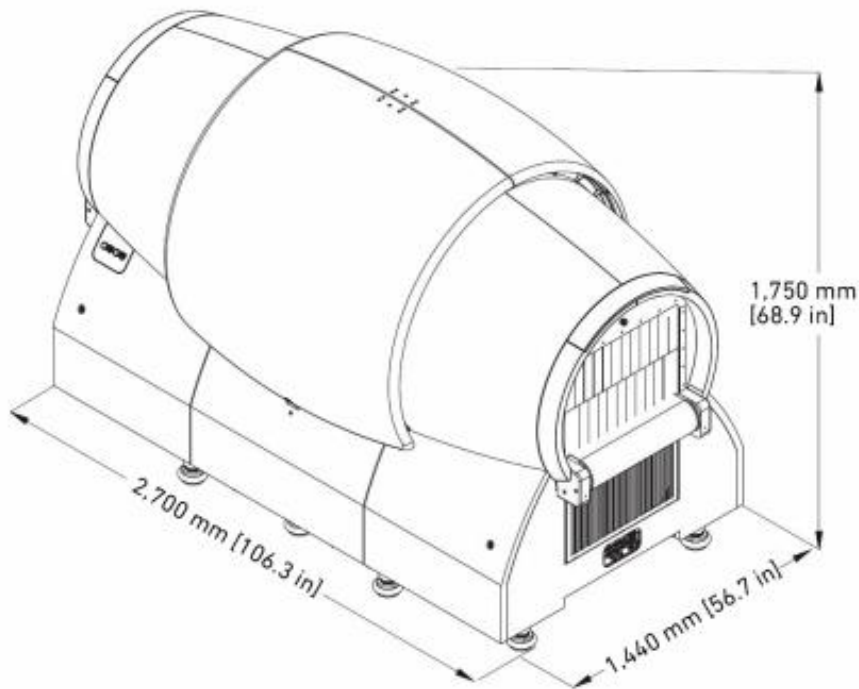


Obrázek 40: rozměry modelu HI-SCAN 6040 CTiX z pohledu ze předu [67]



Obrázek 41: rozměry modelu HI-SCAN 6040 CTiX z pohledu z boku [67]

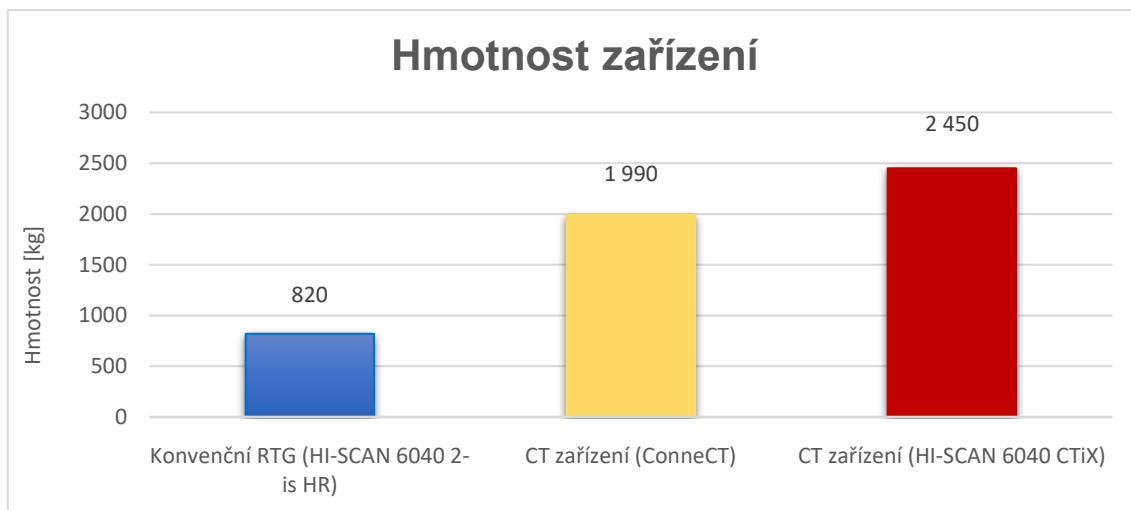
Model ConneCT je užší než HI-SCAN 6040 CTiX. Je ale o 0,5 m vyšší než konvenční EDSCB.
[80]



Obrázek 42: náčrt 920 CT od Rapiscan Systems [80]

5.4 Hmotnostní srovnání CT EDSCB

Problém může nastat také z hlediska hmotnosti. CT EDSCB jsou těžší než konvenční EDSCB. Pro porovnání hmotností je na obrázku (Obrázek 43) graf hmotností 3 zařízení na obrázcích (Obrázek 39, Obrázek 40, Obrázek 41 a Obrázek 42). Rozdíl hmotností u prvního a třetího zařízení dosahuje přes 1,5 tuny. Pokud by více CT EDSCB nahradilo konvenční EDSCB na určitém stanovišti bezpečnostní kontroly, může se jednat o významný nárůst konstrukčního zatížení.



Obrázek 43: Graf hmotností vybraných CT EDSCB [63, 67, 76]

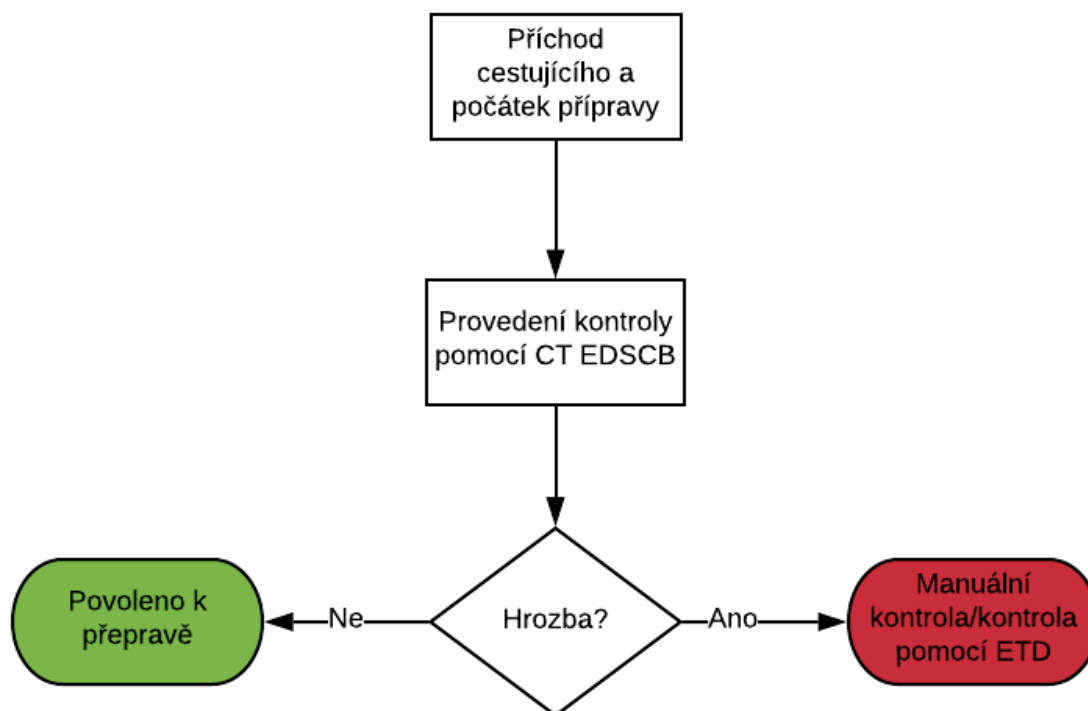
Implementace CT EDSCB do stávajících konceptů automatických tratí může být obtížná na délku i na šířku. Významnou roli může hrát i vyšší hmotnost zařízení.

V konceptu stanoviště představuje elektronické zařízení pro kontrolu cestujících průchozí detektor kovů. Je možné předpokládat, že za účelem modernizace bude také nahrazen modernějším zařízením, například body scannerem. Body scanner má větší rozměry než běžný průchozí detektor kovů [5]. Implementace body scannerů společně s CT EDSCB může vyžadovat úpravu konceptu automatických tratí.

5.5 Proces bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel s použitím CT zařízení

Při použití CT zařízení certifikovaného standardem C3 při procesu bezpečnostní kontroly je proces urychlen. Cestující nemá povinnost vyjmout rozměrnější elektroniku a LAG ze zavazadla. Při bezpečnostní kontrole je použito menší množství bedýnek (původně byla nutná dodatečná bedýnka pro vyjmutý laptop a LAG). Velkou výhodou je zrušení objemového omezení tekutin. Zařízení je schopno zkontrolovat veškeré tekutiny v zavazadle. Dle vyjádření ICAO omezení na tekutiny platí plošně do doby, než bude k dispozici technologie umožňující kontrolu veškerých tekutin v zavazadle [81].

Diagram procesu bezpečnostní kontroly při použití CT zařízení je na obrázku (Obrázek 43).



Obrázek 44: Vývojový diagram procesu bezpečnostní kontroly kabinového zavazadla pomocí CT EDSCB

V porovnání s vývojovým diagramem na obrázku (Obrázek 27) je proces **zkrácen** díky možnosti ponechání elektroniky a LAG v zavazadle. Pro cestujícího to znamená více komfortu a nižší čas strávený na stanovišti bezpečnostní kontroly.

Pro využití vysoké propustnosti je vhodná implementace CT EDSCB do automatických tratí s využitím remote screeningu.

Automatické tratě

V konceptu automatické tratě je transport zavazadla automatizován po odložení cestujícím až po manuální kontrolu nebo jeho odebrání na čisté trati. Automatické tratě se skládají z několika sektorů. Prvním je oblast pro přípravu cestujícího. Cestující zde uloží zavazadlo a všechny ostatní předměty do bedýnek. Zavazadlo následně pokračuje po samostatně se pohybujícím páse do EDSCB. Za sektorem EDSCB je rozdělovací místo. V případě kladného výsledku kontroly zavazadlo pokračuje rovně po „čisté“ trati a kontrola je ukončena. V případě zjištění hrozby nebo namátkové kontroly je zavazadlo mechanicky přesunuto na „špinavou“ trať, na které dalším pracovníkem bezpečnostní kontroly následuje manuální nebo ETD kontrola. Pro účely práce je použit výstup bakalářské práce Lukáše Popka. [82]

Remote screening

Remote screening je jedním z několika způsobů vyhodnocování rentgenových snímků operátorem. Konvenčním způsobem je přítomnost operátora přímo vedle manuální tratě. U remote screeningu vyhodnocuje operátor snímek v oddělené místnosti. Snímky z jednotlivých EDSCB jsou zasílány do databáze, ze které se rozdělují jednotlivým operátorům. EDSCB může provádět kontroly bez nutnosti zastavení pohyblivého pásu. Pokud vyhodnocení zavazadla zabere operátorovi více času a v EDSCB se nachází již další zavazadlo, snímek je přiřazen k jinému operátorovi. Manuální nebo ETD kontrolu provádí jiný bezpečnostní pracovník. Pro účely práce je použit výstup bakalářské práce Adama Kohoutka. [83]

Podmínkou pro zavedení remote screeningu je zavedení konceptu automatických tratí. CT EDSCB mají díky menšímu počtu použitých bedýnek vyšší propustnost. Pro plné využití zvýšené propustnosti je nutné, aby se trať nezastavovala. V manuálním konceptu je trať často zastavena. CT zařízení by na manuálních tratích nebylo plně využito. Vyhodnocení snímku z CT zařízení trvá delší dobu než vyhodnocení snímku konvenčních dual-energy RTG [5]. Provoz CT zařízení by vyžadoval více operátorů.

Propustnost CT zařízení při implementaci do automatických tratí s využitím remote screeningu

Snížené množství bedýnek má za výsledek vyšší propustnost tratě. Propustnost udávaná výrobcem se od praxe často velmi liší. Např. Analogic u modelu ConneCT udává propustnost nad 600 zavazadel za hodinu [76]. V provozu míra propustnosti závisí na pracovních postupech zaměstnanců a na ostatních zařízeních používaných při bezpečnostní kontrole, např. automatické tratě nebo body scannery. Někteří americká letiště po implementaci CT zařízení zaznamenala 20% nárůst propustnosti. Zejména díky možnosti ponechat LAG a elektroniku uvnitř zavazadla. Cestující pak potřebovali méně času na přípravu. V případě použití více body scannerů nebo kombinace WTMD a body scanneru pro kontrolu cestujících je možné dosáhnout propustnosti až 500 cestujících za hodinu. Propustnost může být snížena i snížením mezer mezi bedýnkami vjíždějícími do CT zařízení. [37]

5.6 Shrnutí výhod a nevýhod implementace CT zařízení na stanovišti bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel

Následující dvě podkapitoly obsahují shrnutí všech zmíněných výhod a nevýhod pro implementaci CT zařízení jako EDSCB. I přes své klady sebou nesou CT zařízení i svoje úskalí. Výstupem práce je zhodnocení přínosů a úskalí, které CT zařízení přináší. Popsané hlavní výhody a nevýhody jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7: Shrnutí výhod a nevýhod implementace CT zařízení

VÝHODY	NEVÝHODY
Trojrozměrný model	Vysoká pořizovací hodnota
Standard C3	Vyšší počet operátorů
Zvýšení komfortu pro cestující	Servisní a spotřební náklady
Nové speciální funkce pro operátora	Prodleva mezi zastavením a pohotovostním režimem
Vyšší propustnost	Obtížná integrace do automatických tratí

5.6.1 Výhody CT zařízení

Zobrazení zavazadla v trojrozměrném modelu

Hlavní výhodou pro operátora je 3D zobrazení zavazadla. Obsah může být zkontrolován ze všech úhlů pohledu. Díky 3D zobrazení má CT skener nižší hodnoty FAR než konvenční EDSCB [72]. Předměty jevící se z jednoho úhlu pohledu jako podezřelé dříve vyžadovaly manuální prohlídku kvůli nemožnosti zobrazení zavazadla z jiného úhlu. Výsledkem je nižší počet manuálních prohlídek a zjednodušení procesu kontroly.

ECAC Standard C3

CT technologie umožňuje dosažení ECAC standardu C3.

Zvýšený komfort cestujících

Díky standardu C3 jsou cestující osvobozeni od nutnosti separace LAG a větších elektronických zařízení mimo zavazadlo. Cestující stráví na stanovišti bezpečnostní kontroly méně času a kontrola je méně stresující.

Speciální funkce pro operátora

Pokročilé algoritmy umožňují použití speciálních funkcí usnadňujících operátorovi kontrolu zavazadla. Mezi ně patří např. funkce 3D measurement či funkce pro odstranění rozměrnější elektroniky z vygenerovaného snímku. Zmíněné funkce aplikovala společnost Nuctech ve svém modelu Kylin Ti (Obrázek 45).



Obrázek 45: Kylin Ti od společnosti Nutech [84]

Pomocí funkce 3D measurement může být změřena délka jednotlivých předmětů. 3D measurement může pomoci např. při určení délky čepelě nože. Funkce zobrazení snímku zavazadla bez elektroniky umožní operátorovi např. prohlédnout si snímek bez laptopu a snímek samotného laptopu odděleně. Další funkcí je zvýrazňování okrajů (Obrázek 46).



Obrázek 46: snímek z CTX 9800 DSi se zapnutými funkcí pro zvýraznění okrajů předmětů [41]

CT skenery od různých společností pracují na velmi podobné technologii. Díky tomu můžeme nalézt podobné funkce téměř u všech výrobců CT EDSCB.

Vyšší propustnost

Vzhledem k standardům C2 a C3 cestující pro svou přípravu spotřebují méně bedýnek při průchodu bezpečnostní kontrolou. Dodatečné bedýnky byly původně použity na elektroniku a tekutiny. Nyní je nutná pouze jedna bedýnka na zavazadlo + další bedýnka na svrchní oděv/pásek/pokrývku hlavy. Výsledkem je vyšší propustnost.

5.6.2 Nevýhody CT EDSCB

Vysoká pořizovací hodnota

CT EDSCB jsou stejně jako CT EDS dražší než konvenční EDS a EDSCB. Vzhledem k EDS standardu 3 jsou mnohá letiště nucená k rychlému nákupu drahých CT zařízení pro kontrolu zapsaných zavazadel, další výdaj pro nákup nových CT zařízení na stanoviště bezpečnostních kontrol kabinových zavazadel může znamenat pro některá letiště problém. U EDSCB zatím nejsou letiště limitována žádným datem pro přechod EDSCB na vyšší C standardy, využití CT technologie zde není vyžadováno.

Dle veřejně dostupných obchodních kontraktů se např. cena modelu HI-SCAN 6040 CTiX (Obrázek 30) pohybuje kolem 8 000 000 Kč. Ceny CT zařízení dosahují i pětinasobku ceny konvenčních EDSCB. [84, 85]

Vyšší počet operátorů

Při využití CT zařízení v remote screeningu bude vyžadován vyšší počet zaměstnanců pro vyhodnocování snímků. Vyhodnocení jednoho snímku zavazadla s použitím funkce 3D zobrazení zabere více času než vyhodnocení 2D snímku.

Servisní náklady

Vzhledem ke složité mechanizaci CT zařízení mohou figurovat zásadní položku servisní náklady.

Prodleva mezi uvedením zařízení ze zastaveného stavu do pohotovostního režimu

Zařízení má časovou prodlevu mezi zapnutím a uvedením do pohotovostního režimu. Otáčení ramena CT skeneru musí dosáhnout určité rychlosti.

Spotřební náklady

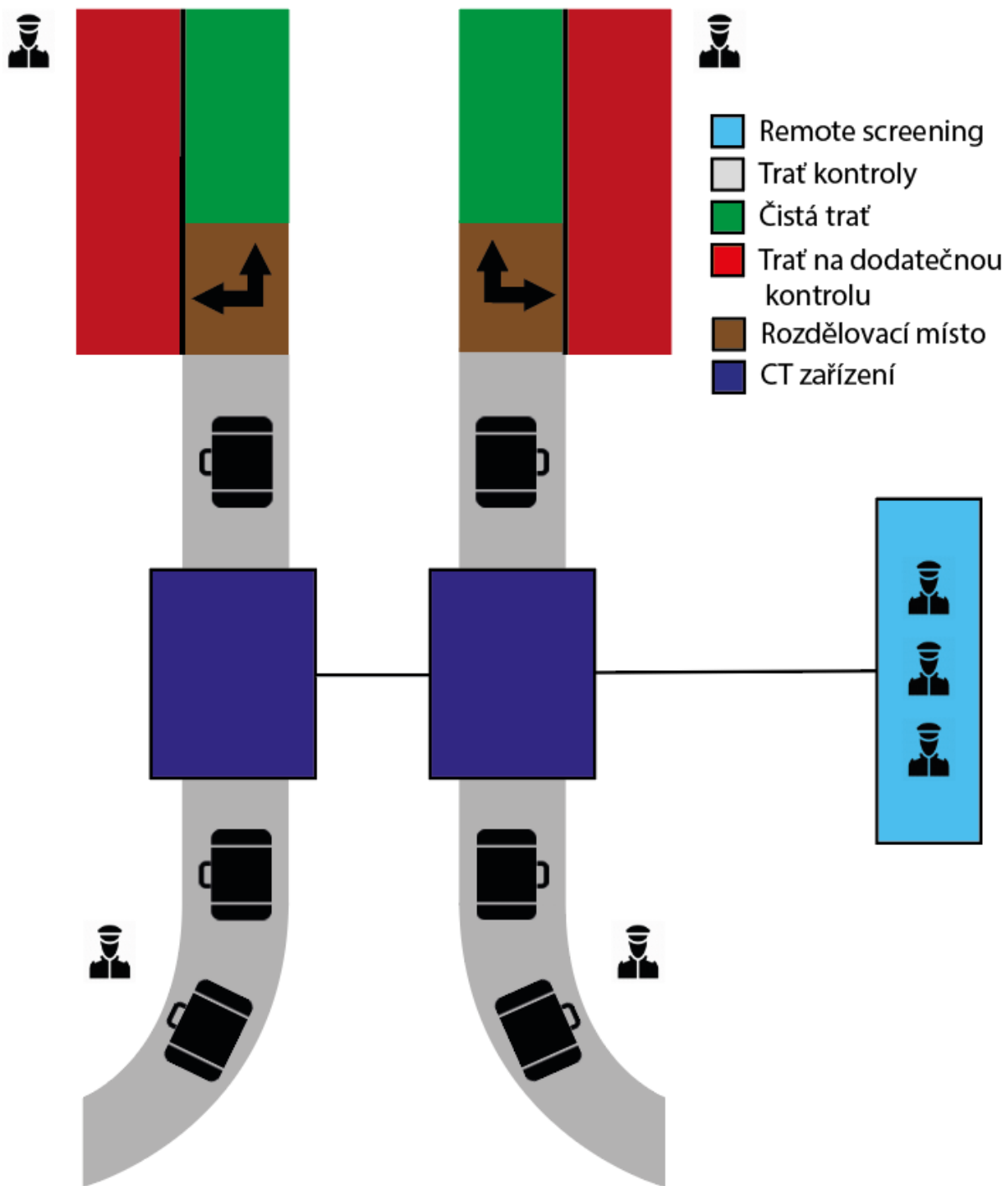
Elektromotor musí rotaci udržovat po celou dobu pohotovostního režimu, ne pouze v případě kontroly. Řešením je koncept se simulovanou rotací pomocí většího množství generátorů rentgenového záření. Model pro kontrolu kabinových zavazadel bez mechanické rotace se na trhu zatím nevyskytuje.

Možná obtížná integrace do automatických tratí kvůli větším rozměrům

I přes standardní rozměry pohyblivých pásů může znamenat problém i integrace do stávajících automatických tratí. CT zařízení jsou rozměrnější a v některých případech jejich implementace může vyžadovat úpravu infrastruktury.

5.7 Implementace CT EDSCB do automatických tratí s využitím remote screeningu

Využití modernějších zařízení pro kontrolu zavazadel je klíčovým bodem ve zlepšování úrovně bezpečnostní kontroly. V současné době splňuje nejvyšší standardy pouze CT technologie. Vysoké standardy vyžadují provedení kontroly s veškerou elektronikou a LAG v zavazadle. Pro provedení kontroly takovým způsobem je vyžadováno zobrazení zavazadla z většího množství různých úhlů. CT zařízení splňuje veškeré nároky kvůli schopnosti zobrazit zavazadlo v trojrozměrném modelu. Díky většímu datovému podkladu je umožněno použití pokročilých zobrazovacích algoritmů provádějících kontrolu tekutin v uzavřeném zavazadle. Velkým přínosem pro operátora je zároveň použití rozšířených funkcí při prohlídce snímku zavazadla. CT zařízení přináší řadu výhod a nevýhod shrnutých v předchozí podkapitole. Implementace CT zařízení do stanoviště bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel by vyžadovala vyřešení všech problémů s prostorovou integrací a hmotnostními limity. Pro plné využití vyšší propustnosti je žádoucí integrace CT zařízení do konceptu automatických tratí využívajících remote screening. Při využití remote screeningu by bylo požadováno využití většího množství operátorů pro vyhodnocování snímků. Úspěšná implementace CT zařízení do procesu bezpečnostní kontroly kabinových zavazadel by znamenala zvýšení propustnosti, zvýšení komfortu cestujících, možnost ponechání tekutin a rozměrnější elektroniky v zavazadle. Vyžadovala by vyšší počet operátorů a případné úpravy v infrastruktuře stanoviště bezpečnostní kontroly. Schéma implementace CT zařízení do automatické tratě s remote screeningem je na obrázku (Obrázek 47). Na schématu je znázorněna automatická trať s paralelní přípravou cestujících (cestující se na několika místech připravují ve stejný čas). Pro účely práce jsou na schématu zobrazeny pouze prvky využití při kontrole a transportu zavazadla. Počet operátorů je pouze orientační.



Obrázek 47: Schéma návrhu implementace CT zařízení do automatické tratě s využitím remote screeningu

6 Závěr

Cílem práce bylo vyhodnocení současného stavu používaných zařízení určených pro bezpečnostní kontrolu zavazadel na letištích se zaměřením na možnost budoucího využití moderních a dnes již certifikovaných CT zařízení. Cíl práce byl splněn včetně zpracování všech bodů osnovy v souladu se zadáním.

Práce shrnuje historický vývoj zařízení určených pro bezpečnostní kontrolu zavazadel na letištích až do současného stavu. Zabývá se vlivem použité technologie na procesy spojené s bezpečnostní kontrolou. Směřování technologického vývoje v horizontu několika let aktuálně předpokládá vývoj a implementaci CT zařízení. V současné době je certifikovaných CT zařízení schválených pro provoz v rámci bezpečnostních kontrol na letištích velmi omezený počet. Práce se věnuje vyhodnocení možností implementace CT zařízení do procesů bezpečnostních kontrol na letištích a srovnání moderní technologie s konvenčními zařízeními. CT zařízení mají své výhody i nevýhody. Práce uvádí jejich přehled a srovnání se současně používanou technologií. V práci není uvedeno doporučení, zda CT zařízení implementovat, ale vyhodnocení možností implementace při zohlednění současného stavu. Vzhledem k vysokým nákladům a obtížné implementaci zařízení do současných tratí bezpečnostní kontroly bude většina letišť CT zařízení pravděpodobně implementovat až na základě legislativních požadavků.

Mezi hlavní výhody CT zařízení ve srovnání s konvenční technologií patří (v závislosti na procesech bezpečnostní kontroly) možnost zvýšené propustnosti tratí, zvýšení komfortu cestujících, nutnost menšího množství manuálních prohlídek zavazadel, zrušení objemového omezení tekutin a vyšší úroveň bezpečnostní kontroly na základě 3D modelu zavazadla.

Hlavní nevýhodou je v současné době cena. CT zařízení mají vysokou pořizovací cenu i provozní náklady. Pro zachování alespoň stejné propustnosti je nutný větší počet operátorů (personální náklady). Další nárůst nákladů je v oblasti servisu zařízení (složitější zařízení, rotační části, oprava poruch, pravidelná údržba) a provozních nákladů (vyšší spotřeba elektrické energie).

V závislosti na dostupném prostoru bezpečnostní kontroly a únosnosti podlah může být nejvíce limitujícím faktorem větší rozměr i hmotnost CT zařízení. V případě integrace do automatických tratí musí být trať rozebrána a posunuta. Je možné, že rozměrová změna v automatické trati bude vyžadovat (kromě samotného přestavení) i rozšíření potřebného prostoru. Důsledkem tedy může být možná nutnost přesunutí stanoviště bezpečnostní kontroly na rozměrnější místo či dostavba dalších prostorů. Prostorová i hmotností problematika může být limitující i vzhledem k instalaci dalších zařízení, jako například celotělových body scannerů, detektorů obuvi apod.

Pro snížení nevýhod CT zařízení a maximální využití jejich benefitů je v práci navrženo jejich využití v kombinaci s automatickou tratí v režimu remote screeningu a s paralelní přípravou cestujících.

Vzhledem k současným nedostatkům a možným omezením nebudou CT zařízení v nejbližší době pravděpodobně rozšířena na většinu letišť jako primární zařízení pro kontrolu zavazadel. Větší rozšíření by mohlo nastat až po odstranění nedostatků (budoucí vývoj) nebo zavedením legislativních požadavků.

Seznam použité literatury

- [1] *L 17 - Bezpečnost - Ochrana mezinárodního civilního letectví před protiprávními činy*. In: . Česká republika, ročník 2018, 465/2013-220-AVS/2. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-17/index.htm>
- [2] Jack Gilbert Graham. *FBI* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.fbi.gov/history/famous-cases/jack-gilbert-graham>
- [3] *What is an US Air Marshal?* [online]. FederalLawEnforcement.org [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.federallawenforcement.org/air-marshal/what-is-an-air-marshal/>
- [4] JENKINS, Brian, Michael. *THE TERRORIST THREAT TO COMMERCIAL AVIATION* [online]. Defense Technical Information Center, **1989**, 16 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a228285.pdf>
- [5] MARSHALL, Maurice a Jimmie OXLEY. *Aspects of Explosives Detection*. 17.10.2008. Amsterdam: Elsevier Science, 2008. ISBN 9780123745330.
- [6] KOERNER, Brendan. *The Skies Belong to Us: Love and Terror in the Golden Age of Hijacking*. Penguin Random House, 2014. ISBN 9780307886118.
- [7] CAVUSOGLU, Huseyin, Young KWARK, Bin MAI a Srinivasan RAGHUNATHAN. Passenger Profiling and Screening for Aviation Security in the Presence of Strategic Attackers. *Decision Analysis* [online]. 2013, **10**(1), 63-81 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.1287/deca.1120.0258. ISSN 1545-8490. Dostupné z: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/deca.1120.0258>
- [8] KOVERDYNŠKÝ, Bohdan. *Letecká security: historie, organizace, standardy a postupy*. Cheb: Svět křidel, 2014. Svět křidel. ISBN 978-80-87567-51-7.
- [9] *Journal of Applied Security Research* [online]. 2010, **5**(4) [cit. 2020-04-22]. ISSN 1936-1610. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19361610.2010.505778>
- [10] PEIL, Le Roy E. *Apparatus for Baggage Inspection*. USA. 3678278. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/59/b4/17/18d970aaa5ea50/US3678278.pdf>
- [11] DENNIS, Donald A. *X-Ray Inspection Device and Method*. USA. 4020346. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7d/b0/f8/506815f2aa1eaa/US4020346.pdf>
- [12] *2008 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques* [online]. IEEE, 2008 [cit. 2020-04-04]. ISBN 978-1-4244-2496-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4659929/>
- [13] Security screening of hand baggage using X-ray scanners. *Bundesamt für Strahlenschutz* [online]. 2019 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/daily-life/cabin-luggage/hand-baggage.html>
- [14] HÄTTENSCHWILER, Nicole, Yanik STERCHI, Marcia MENDES a Adrian SCHWANINGER. Automation in airport security X-ray screening of cabin baggage: Examining benefits and possible implementations of automated explosives detection. *Applied Ergonomics* [online]. 2018, **72**, 58-68 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1016/j.apergo.2018.05.003. ISSN 00036870. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000368701830108X>

- [15] The Z Backscatter System. *Howstuffworks* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/backscatter1.htm>
- [16] Z BACKSCATTER TECHNOLOGY WAS PIONEERED BY AS&E. *Rapiscan systems* [online]. Rapiscan Systems [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.rapiscan-ase.com/resource-center/technology/z-backscatter>
- [17] BJORKHOLM, Paul J. *Flying spot scanner having arbitrarily shaped field size*. USA. 4342914. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/c5/54/7ca3744420a53f/US4342914.pdf>
- [18] REBUFFEL, Véronique a Jean-Marc DINTEN. Dual-Energy X-Ray Imaging: Benefits and Limits. *NDT net* [online]. **2006**, 12 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/Th.1.3.1.pdf>
- [19] ECAC COMMON EVALUATION PROCESS OF SECURITY EQUIPMENT. *ECAC* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/cep-main>
- [20] BONNIN, Anne, Philippe DUVAUCHELLE, Valérie KAFTANDJIAN a Pascal PONARD. Concept of effective atomic number and effective mass density in dual-energy X-ray computed tomography. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* [online]. 2014, **318**, 223-231 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1016/j.nimb.2013.09.012. ISSN 0168583X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168583X13009695>
- [21] JONES, Tony L. *Court Security: A Guide for Post 9-11 Environments*. 2003. AbeBooks.com. ISBN 9780398074203.
- [22] ROGERS, Thomas W., Nicolas JACCARD, Emmanouil D PROTONOTARIOS, James OLLIER, Edward J. MORTON a Lewis D. GRIFFIN. Threat Image Projection (TIP) into X-ray images of cargo containers for training humans and machines. In: *2016 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1-7 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1109/CCST.2016.7815717. ISBN 978-1-5090-1072-1. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7815717/>
- [23] STRAW, Joseph. New VieWs on Airport Screening. *Security Management* [online]. 2013 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://www.securitymanagement.com/article/new-views-airport-screening-004586>
- [24] ASMATULU, Ramazan, ed. *Nanotechnology Safety*. 2013. USA: Elsevier. ISBN 9780444594389
- [25] STERCHI, Yanik a Adrian SCHWANINGER. A first simulation on optimizing EDS for cabin baggage screening regarding throughput. In: *2015 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)* [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 55-60 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1109/CCST.2015.7389657. ISBN 978-1-4799-8690-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7389657/>
- [26] ECAC member states. *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/member-states>
- [27] About ECAC. *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/about-ecac>
- [28] 32015R1998. *Www.europa.eu* [online]. EUR-Lex, 2015 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32015R1998>
- [29] 32008R0300. *Www.europa.eu* [online]. EUR-Lex, 2008 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32008R0300>

- [30] ECAC COMMON EVALUATION PROCESS OF SECURITY EQUIPMENT. *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/cep-main>
- [31] ECAC CEP Website - Explosive Detection Systems (EDS). *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/62763/ECAC-CEP-EDS-Web-Update-26032020.pdf/0f0a9524-3ca9-4e7c-b23b-cfb7429c1cc8>
- [32] ECAC CEP Website – Liquid Explosive Detection Systems (LEDS). *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/62763/ECAC-CEP-LEDS-Web-Update-31Mar2020.pdf/efc0599f-159d-4e61-b66e-2ae056e98aef>
- [33] ECAC CEP Website - Explosive Trace Detection (ETD) Equipment. *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/62763/ECAC-CEP-ETD-Web-Update-20April2020.pdf/4b6923cb-81fa-491e-afd8-9d141cc61792>
- [34] ECAC CEP Website – Update 25 March 2020 Explosive Detection Systems for Cabin Baggage (EDSCB). *ECAC* [online]. 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [ecac-ceac.org/documents/10189/62763/ECAC-CEP-EDSCB-Web-Update-25March2020.pdf/ae5f3652-3580-4334-b685-fbdbfe3e77cf](https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/62763/ECAC-CEP-EDSCB-Web-Update-25March2020.pdf/ae5f3652-3580-4334-b685-fbdbfe3e77cf)
- [35] Embracing the transition – Upgrading to ECAC EDS Standard 3 delivers substantial benefits. *Smiths Detection* [online]. 2018 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/insight/aviation/embracing-transition-upgrading-ecac-standard-3-delivers-substantial-benefits/>
- [36] Liquids, aerosols and gels. *European Commission* [online]. 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/security/aviation-security-policy/lags_en
- [37] Implementation guide: Advanced baggage screening - CT. *ACI* [online]. 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2019/11/Smart-Security-ACBS-CT-Implementation-Guide-v0.1.pdf>
- [38] Document 32011R1087. *Eur-lex.europa.eu* [online]. 2011 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1087>
- [39] MCLAY, Laura A., Sheldon H. JACOBSON a John E. KOBZA. A multilevel passenger screening problem for aviation security. *Naval Research Logistics* [online]. 2006, **53**(3), 183-197 [cit. 2020-05-03]. DOI: 10.1002/nav.20131. ISSN 0894-069X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/nav.20131>
- [40] Upgrading from Standard 2 to Standard 3 approved systems. *Smiths Detection* [online]. 2018 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/insight/aviation/ecac-standard-2-to-standard-3-upgrade/>
- [41] CTX 9800 DSi. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/products/ctx-9800-dsi/>
- [42] EI-5030A X-Ray Baggage Scanner for Small Bags & mails. *Eastimage* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.eastimagesecurity.com/EI-5030A-X-Ray-Baggage-Scanner-for-Small-Bags-mails-pd44206586.html>
- [43] [43] Rapiscan MVXR5000. *ECIL - Rapiscan* [online]. 2014 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: http://www.ecilrapiscan.com/Hold%20Baggage%20Screening/Multi-view%20X-ray/rapiscan_mvxr5000.html
- [44] HI-SCAN 10080 EDX-2is. *Smiths Detection* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-10080-edx-2is/>

- [45] XRD 3500 Explosives Detection System (EDS). *Homeland Security* [online]. 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.homelandsecurity-technology.com/projects/xrd-3500-explosives-detection-system/>
- [46] How XRD Works. *McGill Earth & Planetary Sciences* [online]. 2018 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.eps.mcgill.ca/xrd/howxrdworks.html>
- [47] InVision Technologies acquires YXLON International. *Vision Systems Design* [online]. 2003 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.vision-systems.com/home/article/16742913/invision-technologies-acquires-yxlon-international>
- [48] X-ray diffraction imaging system for the detection of illicit substances using pixelated CZT-detectors. In: *2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (2013 NSS/MIC)* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 1-5 [cit. 2020-05-03]. DOI: 10.1109/NSSMIC.2013.6829846. ISBN 978-1-4799-0534-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6829846/>
- [49] NATHAN, Stuart. RTT80 Baggage Scanner. *The engineer UK* [online]. 2010 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/rtt80-baggage-scanner/>
- [50] EXaminer® 3DX. *Leidos* [online]. 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://sds.leidos.com/auto_explv_detect/examiner3DX.htm
- [51] EDS IS RTT. *Rapiscan Systems* [online]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.rapiscansystems.com/rtt?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=rtt&qclid=EALalQobChMln6Wlj_e46QIVU-3tCh0ZewB7EAAAYASAAEgl_iPD_BwE
- [52] Battelle LS10™ Liquid Bottle Scanner. *Battelle* [online]. 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.battelle.org/government-offerings/homeland-security-public-safety/transportation/aviation-security/lis10>
- [53] EMILI 3. *Emisens* [online]. 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.emisens.com/index.php/emili-3>
- [54] EMA Series. *CEIA* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.ceia.net/security/product.aspx?a=EMA%20series>
- [55] HI-SCAN 6040aTiX. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-6040atix/>
- [56] FORNARO, Juergen, Sebastian LESCHKA, Dennis HIBBELN, et al. Dual- and multi-energy CT: approach to functional imaging. *Insights into Imaging* [online]. 2011, **2**(2), 149-159 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1007/s13244-010-0057-0. ISSN 1869-4101. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13244-010-0057-0>
- [57] SEEKERe. *DetectaChem* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.detectachem.com/products/seekere?qclid=EALalQobChMI2-Gk5_ee6QIV2eR3Ch2fHgcvEAAAYASAAEgKXJfD_BwE
- [58] SENESAC, Larry a Thomas G. THUNDAT. Nanosensors for trace explosive detection. *Materials Today* [online]. 2008, **11**(3), 28-36 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1016/S1369-7021(08)70017-8. ISSN 13697021. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369702108700178>
- [59] *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2000 [cit. 2020-05-06]. ISBN 0471238961.
- [60] TRACER 1000. *1st Detect* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://1stdetect.com/products/tracer-1000-ms-etd/>
- [61] BAUMBACH, Jörg Ingo a Gary A. EICEMAN. Ion Mobility Spectrometry: Arriving on Site and Moving beyond a Low Profile. *Applied Spectroscopy* [online]. 2016, **53**(9),

- 338A-355A [cit. 2020-05-07]. DOI: 10.1366/0003702991947847. ISSN 0003-7028. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1366/0003702991947847>
- [62] B220™ Desktop Trace Detecto. *Leidos* [online]. 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://sds.leidos.com/etd/B220-desktop-ETD.htm>
- [63] HI-SCAN 6040-2is HR. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-6040-2is-hr/>
- [64] MENDES, Marcia, Adrian SCHWANINGER, Nadine STREBEL a Stefan MICHEL. Why laptops should be screened separately when conventional x-ray screening is used. In: *2012 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCSST)* [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 267-273 [cit. 2020-05-09]. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393571. ISBN 978-1-4673-2450-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6393571/>
- [65] U.S. lifts laptop restriction for flights from Abu Dhabi. *Reuters* [online]. 2017 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-usa-airlines-electronics-emirates/u-s-lifts-laptop-restriction-for-flights-from-abu-dhabi-idUSKBN19N0UR>
- [66] Information for air travellers. *European commission* [online]. 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/security/information-air-travellers_en
- [67] HI-SCAN 6040 CTiX. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-6040-ctix/>
- [68] Dangerous Goods. *Easa.europa.eu* [online]. EASA, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/passengers/dangerous-goods#lithium-batteries>
- [69] Bezpečnostní pravidla. *Letiště Praha* [online]. 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/bezpecnostni-pravidla>
- [70] Countdown to Standard 3. *Smiths Detection* [online]. 2018 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/insight/aviation/countdown-to-standard-3/>
- [71] BRUCE J., Boudreau, Detmer GREG, Tam SUSAN, Box STEPHANIE, Burke RYAN, Paternoster JOANNE a Carbone LOU. *ACRP REPORT 157: Improving the Airport Customer Experience* [online]. Washington D.C.: Transportation Research Board, 2016 [cit. 2020-05-13]. ISBN 978-0-309-37558-0. ISSN 1935-9802. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1ml/dokumenty/acrp_rpt_157.pdf
- [72] SINGH, Sameer a Maneesha SINGH. Explosives detection systems (EDS) for aviation security. *Signal Processing* [online]. 2003, **83**(1), 31-55 [cit. 2020-05-14]. DOI: 10.1016/S0165-1684(02)00391-2. ISSN 01651684. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165168402003912>
- [73] HEISKANEN, Kaarlo A., Fredrick L. RODER, Lyle O. MALOTKY a John J. PENNELLA. Explosive detection systems: the real-world experience [online]. In: . 1997-2-6, s. 142-155 [cit. 2020-05-14]. DOI: 10.1117/12.266264. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1025979>
- [74] GRAJO, Joseph R. a Dushyant V. SAHANI. Dual-Energy CT of the Abdomen and Pelvis: Radiation Dose Considerations. *Journal of the American College of Radiology* [online]. 2018, **15**(8), 1128-1132 [cit. 2020-05-15]. DOI: 10.1016/j.jacr.2017.08.012. ISSN 15461440. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1546144017310037>
- [75] A revolving question – Rotating vs. static gantry CT systems. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z:

- <https://www.smithsdetection.com/insight/aviation/fixed-versus-rotating-gantry-making-informed-choice/>
- [76] ConneCT. *Analogic* [online]. 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.analogic.com/connect-checkpoint-ct-baggage-screening-system/>
- [77] *American Airlines and Analogic Collaborate to Deploy Next-Generation Screening for Airport Checkpoints at New York's John F. Kennedy (JFK) International Airport* [online]. Analogic Corporation, 2018 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.analogic.com/press-release/american-airlines-and-analogic-collaborate-to-deploy-next-generation-screening-for-airport-checkpoints-at-new-yorks-john-f-kennedy-jfk-international-airport/>
- [78] Hold Baggage Solutions. *Smiths Detection* [online]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/solution/hold-baggage-solutions/>
- [79] First airport in the world to install HI-SCAN 6040 CTiX. *Smiths Detection* [online]. 2018 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.smithsdetection.com/case-study/first-airport-in-the-world-to-install-hi-scan-6040-ctix/>
- [80] 920 CT. *Rapiscan Systems* [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.rapiscansystems.com/en/products/920ct>
- [81] Liquids, Aerosol and Gels & Security Tamper-Evident Bags. *ICAO* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://www.icao.int/Security/SFP/LAGS_STEBS/Pages/default.aspx
- [82] POPEK, Lukáš. ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY BEZPEČNOSTNÍCH KONTROL NA LETIŠTÍCH - PŘÍPRAVA CESTUJÍCÍCH [online]. České vysoké učení technické v Praze [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/77542>
- [83] KOHOUTEK, Adam. ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY BEZPEČNOSTNÍCH KONTROL - KONTROLA KABINOVÝCH ZAVAZADEL [online]. České vysoké učení technické v Praze [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/85363>
- [84] SMITHS DETECTION AWARDED \$21 MILLION U.S. GOVERNMENT CONTRACT FOR GROUNDBREAKING NEW ATIX TECHNOLOGY. *Smiths Detection* [online]. 2007 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.smiths.com/news-and-media/2007/10/smiths-detection-awarded-21-million-us-government-contract-for-groundbreaking-new-atix-technology>
- [85] TSA awards Computed Tomography contract to Smiths Detection, Inc. *TSA* [online]. 2019 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.tsa.gov/news/press/releases/2019/03/28/tsa-awards-computed-tomography-contract-smiths-detection-inc>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Graf množství únosů civilních letadel v USA v letech 1968-1973.....	14
Obrázek 2: Aparát pro inspekci zavazadel.....	15
Obrázek 3: Trať bezpečnostní kontroly.....	16
Obrázek 4: Schéma ozařování objektu jedním svazkem rentgenových paprsků.....	17
Obrázek 5: Snímek zavazadla z rentgenového zařízení s vyzařováním jednoho svazku.....	18
Obrázek 6: Rentgenový snímek zavazadla pořízený v zařízení s vyzařováním jednoho paprsku.....	19
Obrázek 7: Schéma Comptonova jevu.....	21
Obrázek 8: Snímky jednoho zavazadla pořízeny na různých energiích.....	22
Obrázek 9: TIP technologie.....	24
Obrázek 10: mapa smluvních států ECAC.....	26
Obrázek 11: Vizualizace C standardů EDSCB – přeloženo.....	29
Obrázek 12: CTX 9800 DSi od Smiths Detection.....	30
Obrázek 13: Vizualizace původního a nového konceptu víceúrovňové bezpečnostní kontroly	31
Obrázek 14: Eastimage EI-5030A.....	31
Obrázek 15: MVXR5000.....	32
Obrázek 16: HI-SCAN 10080 EDX-2is.....	33
Obrázek 17: Základní součásti technologie XRD.....	34
Obrázek 18: Morpho Detection XRD 3500.....	35
Obrázek 19: schéma konvenčního CT a RTT.....	36
Obrázek 20: eXaminer 3DX od L3 Technologies Inc.....	37
Obrázek 21: RTT110 od Rapiscan Systems.....	37
Obrázek 22: EMILI 3 od Emisens.....	38
Obrázek 23: EMA-3 od CEIA.....	39
Obrázek 24: LEDS HI-SCAN 6040aTiX standardu 3 s typem operací C.....	40
Obrázek 25: SEEKERe od společnosti DetectaChem.....	41
Obrázek 26: TRACER 1000 od 1st Detect.....	42
Obrázek 27: QS-B220.....	43
Obrázek 28: HI-SCAN 6040-2is HR od Smiths Detection.....	44
Obrázek 29: Snímek zavazadla s laptopem (dual-energy technologie).....	45
Obrázek 30: HI-SCAN 6040 CTiX od Smiths Detection.....	45
Obrázek 31: Schéma víceúrovňového konceptu bezpečnostní kontroly zapsaných zavazadel	50
Obrázek 32: Průběh kontroly kabinového zavazadla včetně přípravy cestujícího.....	53

Obrázek 33: Integrace modelu HI-SCAN 10080 XCT do BHS.....	55
Obrázek 34: 3 hlavní koncepce DECT.....	57
Obrázek 35: ConneCT od Analogic.....	58
Obrázek 36: model HI-SCAN 6040 CTiX implementován do konceptu automatické tratě na CJU.....	59
Obrázek 37: Grafické znázornění rozměrů 3 modelů EDSCB CT – pohled zepředu.....	60
Obrázek 38: Grafické znázornění rozměrů 3 modelů EDSCB CT – pohled zeshora.....	61
Obrázek 39: rozměry modelu HI-SCAN 6040 2-is HR.....	61
Obrázek 40: rozměry modelu HI-SCAN 6040 CTiX z pohledu ze předu.....	62
Obrázek 41: rozměry modelu HI-SCAN 6040 CTiX z pohledu z boku.....	62
Obrázek 42: náčrt 920 CT od Rapiscan Systems.....	63
Obrázek 43: Graf hmotností vybraných CT EDSCB.....	64
Obrázek 44: Vývojový diagram procesu bezpečnostní kontroly kabinového zavazadla pomocí CT EDSCB.....	65
Obrázek 45: Kylin Ti od společnosti Nutech.....	68
Obrázek 46: snímek z CTX 9800 DSi se zapnutými funkcí pro zvýraznění okrajů předmětů.....	68
Obrázek 47: Schéma návrhu implementace CT zařízení do automatické tratě s využitím remote screeningu.....	71

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Překlad popisků obrázku (Obrázek 4).....	18
Tabulka 2: Překlad obrázku (Obrázek 7).....	21
Tabulka 3: Překlad pojmů na obrázku (Obrázek 17).....	34
Tabulka 4: Překlad pojmů na obrázku (Obrázek 29).....	36
Tabulka 5: Zakázané předměty v kabinovém a zapsaném zavazadle.....	48
Tabulka 6: EDSCB CT zařízení certifikována organizací ECAC.....	58
Tabulka 7: Shrnutí výhod a nevýhod implementace CT zařízení.....	67