

# Primjena sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa

---

**Butković, Helena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:994013>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA SUSTAVA I OPREME ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U  
ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA  
USAGE OF EXPLOSIVES DETECTION SYSTEMS AND EQUIPMENT  
IN AVIATION SECURITY**

Mentor: prof. dr. sc. Sanja Steiner  
Komentor: dr. sc. Dajana Bartulović

Student: Helena Butković  
JMBAG: 0117227013

Zagreb, studeni 2023.

Zagreb, 4. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za zračni promet**  
Predmet: **Zaštita u zračnom prometu**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7277

Pristupnik: **Helena Butković (0117227013)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa**

### Opis zadatka:

Uvodno opisati predmet istraživanja, postaviti cilj i kompoziciju rada, te specificirati izvore. Dati pregled međunarodne regulative i prakse zaštite civilnog zrakoplovstva. Opisati sustave i oprema za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa. Opisati uporabu i obuka tima sa psom za otkrivanje eksploziva u zračnom prometu. Opisati uporabu opreme za otkrivanje tekućeg eksploziva u zračnom prometu. Elaborirati prednosti primjene sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa. Zaključno rezimirati tematiku rada i trend daljnjeg razvoja. Specificirati korištenu literature i mrežne izvore.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Sanja Steiner

# PRIMJENA SUSTAVA I OPREME ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA

## SAŽETAK

Uloga zaštite u zračnom prometu je zaštita posade, zemaljskog osoblja, putnika i imovine od nezakonitih aktivnosti tijekom leta ili unutar granica zračne luke. Eksplozivi su kemijski spojevi koji se mogu podvrgnuti vlastitoj razgradnji što rezultira naglim oslobađanjem topline i tlaka. Sustavi za otkrivanje eksploziva su složeni tehnološki sustavi osmišljeni s ciljem otkrivanja prisutnosti eksploziva ili eksplozivnih komponenti u različitim okruženjima. Ova tehnologija igra ključnu ulogu u zaštiti ljudi, imovine i infrastrukture od potencijalnih prijetnji i aktivnosti nezakonitog ometanja. Sustavi za detekciju eksploziva se sastoje od više ključnih komponenti, te svaki ima posebnu ulogu. Sustavi za detekciju eksploziva su postavljeni na strateškim mjestima kako bi registrirali specifične znakove eksplozivnih materijala. Oni koriste različite tehnologije kao što su rendgenski snimci, radiofrekvencije, infracrvene kamere i kemijske senzore kako bi detektirali prisustvo eksploziva. Svrha ovog istraživanja je prikazati primjenu sustava i uređaja za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa. Sustavi za detekciju eksploziva postali su ključni za otkrivanje eksploziva te se instaliraju na terminalima zračnih luka. Sustavi za otkrivanje eksploziva predstavljaju zaštitnu mjeru od iznimne važnosti gdje postoji rizik od potencijalnih napada ili drugih radnji nezakonitog ometanja uporabom eksplozivnih materijala. Važnost sustava za otkrivanje eksploziva proizlazi iz potrebe za zaštitom života i imovine te očuvanjem javne sigurnosti u zračnom prometu.

**Ključne riječi:** *sustavi, oprema, detekcija eksploziva, zaštita, zračni promet*

# USAGE OF EXPLOSIVES DETECTION SYSTEMS AND EQUIPMENT IN AVIATION SECURITY

## SUMMARY

The role of aviation security is to protect the crew, ground staff, passengers and property from illegal activities during the flight or within the airport boundaries. Explosives are chemical compounds that can undergo their own decomposition resulting in a sudden release of heat and pressure. The explosive detection systems are complex technological systems designed to detect the presence of explosives or explosive components in different environments. This technology plays a key role in protecting people, property and infrastructure from potential threats and acts of unlawful interference. Explosive detection systems consist of several key components, each with a special role. Explosive detection systems are placed in strategic locations to register specific signs of explosive materials. They use different technologies such as X-rays, radio frequencies, infrared cameras and chemical sensors to detect the presence of explosives. The purpose of this research is to show the usage of systems and equipment designed for explosive detection in aviation security. Explosive detection devices have become key to the explosive detection, and they are installed at airport terminals. Explosive detection systems represent extremely important security measure where there is a risk of potential attacks or other acts of unlawful interference using explosive substances. The importance of explosive detection systems stems from the need to protect life and property, and to preserve public safety in aviation.

**Key words:** *systems, equipment, explosives detection, security, aviation*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. MEĐUNARODNA REGULATIVA I PRAKSA ZAŠTITE CIVILNOG ZRAKOPLOVSTVA .....	3
2.1. Međunarodna regulativa.....	3
2.2. Europska regulativa.....	6
3. SUSTAVI I OPREMA ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA.....	10
3.1. Sustavi za detekciju eksploziva.....	10
3.2. Oprema za otkrivanje tragova eksploziva .....	20
4. UPORABA I OBUKA TIMA SA PSOM ZA OTKRIVANJE EKSPLOZIVA U ZRAČNOM PROMETU.....	28
4.1. Psi za otkrivanje eksploziva .....	29
4.1.1. Klasa A .....	29
4.1.2. Klasa B .....	30
4.1.3. Klasa C .....	31
4.2. Obuka pasa za otkrivanje eksploziva .....	32
4.3. Timovi sa psom za otkrivanje eksploziva .....	34
5. OPREMA ZA DETEKCIJU TEKUĆEG EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA.....	37
5.1. Ema-3 .....	40
5.2. Emili 3 .....	41
6. PREDNOSTI PRIMJENE SUSTAVA I UREĐAJA ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA .....	43
7. ZAKLJUČAK .....	46
LITERATURA.....	48
POPIS SLIKA .....	52
POPIS KRATICA .....	53

## 1. UVOD

Uloga zaštite u zračnom prometu je zaštita posade, zemaljskog osoblja, putnika i imovine od nezakonitih radnji tijekom leta ili unutar granica zračne luke. Eksplozivi su kemijski spojevi koji se mogu podvrgnuti vlastitoj razgradnji što rezultira naglim oslobađanjem topline i tlaka. Sustavi za otkrivanje eksploziva su složeni tehnološki sustavi osmišljeni s ciljem otkrivanja prisutnosti eksploziva ili eksplozivnih komponenata u različitim okruženjima. Ova tehnologija igra ključnu ulogu u zaštiti ljudi, imovine i infrastrukture od potencijalnih terorističkih prijetnji i drugih radnji neovlaštenog korištenja eksplozivnih materijala. Sustav se sastoji od više ključnih komponenti, svaki s posebnom ulogom. Senzori i detektori su postavljeni na strateškim mjestima kako bi registrirali specifične znakove eksplozivnih materijala. Ovi senzori koriste različite tehnologije kao što su rendgenski snimci, radiofrekvencije, infracrvene kamere i kemijski senzori kako bi detektirali eksplozivne materijale. Prikupljeni podaci zatim se šalju na analitički softver, koji koristi složene algoritme i modele strojnog učenja za prepoznavanje karakterističnih obrazaca povezanih s eksplozivima. Ovaj softver omogućuje sustavu da donese brze i precizne odluke o prisutnosti potencijalne prijetnje. Upravljački sustav igra ključnu ulogu u koordinaciji svih komponenti sustava. On omogućuje integraciju senzora, detektora i analitičkog softvera te omogućuje brzu razmjenu podataka. Ovo je ključno za osiguravanje koherentnog djelovanja cijelog sustava. Kalibracija i testiranje redovito se provode kako bi se održala točnost i pouzdanost sustava. To uključuje postavljanje referentnih uzoraka eksploziva ili provođenje simulacija kako bi se provjerila reakcija senzora i detektora te osiguralo da sustav radi optimalno.

Kada sustav identificira potencijalnu prijetnju, aktivira se alarmni sustav. To može biti zvučni alarm, vizualno upozorenje ili obavijest koja se šalje osobama zaduženima za zaštitni pregled. Integracija s drugim sustavima, kao što su nadzorni sustavi, sigurnosne kamere i pristupne kontrole, omogućava cjelovitu zaštitu okruženja. Ova koordinacija osigurava da se informacije dijele i koriste na optimalan način. Iako je sustav za otkrivanje eksploziva visoko automatiziran, ljudski nadzor i intervencija su neophodni. Obučeni operatori analiziraju alarme, provode dodatne provjere i donose konačne odluke kako bi se osiguralo da se ne poduzimaju nepotrebni ili pogrešni koraci. Uloga sustava za otkrivanje eksploziva je osigurati brzu, preciznu i učinkovitu detekciju potencijalno opasnih tvari kako bi se minimizirali rizici, zaštitila sigurnost ljudi i spriječile potencijalne prijetnje.

Svrha istraživanja je prikazati primjenu sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa. U skladu s tim, cilj istraživanja je istražiti vrste sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa.

Rad se sastoji od sedam poglavlja. Prvo poglavlje je Uvod, sa navedenom svrhom i ciljem rada. Drugo poglavlje, pod naslovom „Međunarodna regulativa i praksa zaštite civilnog zrakoplovstva“, opisuje relevantnu međunarodnu regulativu i praksu u zaštiti civilnog zrakoplovstva. Treće poglavlje, pod naslovom „Sustavi i oprema za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa“, opisuje vrste sustava i opremu koja se koristi u zaštiti civilnog zrakoplovstva. Četvrto poglavlje opisuje uporabu i obuku tima sa psom za otkrivanje eksploziva u zračnom prometu, dok peto poglavlje opisuje opremu za detekciju tekućeg eksploziva. Prednosti primjene sustava i opreme za detekciju eksploziva koji se koriste u zaštiti civilnog zrakoplovstva navedene su u šestom poglavlju. Zadnje poglavlje odnosno Zaključak, iznosi zaključna razmatranja istraživanja provedenog u radu.



## **2. MEĐUNARODNA REGULATIVA I PRAKSA ZAŠTITE CIVILNOG ZRAKOPLOVSTVA**

Od terorističkih napada u rujnu 2001., poboljšanje zaštite civilnog zrakoplovstva postaje prioritetni zadatak međunarodnih organizacija civilnog zrakoplovstva. Od tada se regulatorni okvir u ovom području znatno proširio diljem svijeta, bilo nacionalno, bilo putem međunarodne suradnje/sporazuma, ili kroz Međunarodnu organizaciju civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization – ICAO*) i Dodatak 17 Čikaškoj konvenciji i Univerzalni program nadzora zaštite (engl. *Universal Security Audit Program – USAP*) [1].

Zračni promet je dio globalne djelatnosti koja prelazi nacionalne granice. Međunarodna i europska regulativa osigurava da se sigurnosne mjere i prakse usklađuju među državama. To sprječava neusklađenost i omogućava dosljednu primjenu sigurnosnih standarda na različitim aerodromima i u različitim zemljama. Razni napadi, posebno u zračnom prometu, predstavljaju veliku prijetnju javnoj sigurnosti. Međunarodna regulativa pomaže u identificiranju i usklađivanju najboljih praksi za detekciju eksploziva i drugih prijetnji, što smanjuje rizik od potencijalnih napada i prijetnji uporabom eksplozivnih materijala. Zračni prijevoz ima izravan utjecaj na živote putnika i osoblja. Regulativa osigurava da se primjenjuju najnoviji standardi i tehnologije kako bi se detektirale eksplozivne tvari i druge opasnosti. Zračni promet također zahtijeva visoku razinu infrastrukturne zaštite. Međunarodna i europska regulativa osigurava da se primjenjuju napredne tehnologije i metode kako bi se očuvala infrastruktura zračnih luka, zrakoplova i drugih povezanih objekata. Putnici i šira javnost moraju imati povjerenje u sigurno odvijanje zračnog prometa. Regulativa osigurava transparentnost u primjeni sigurnosnih mjera, čime se održava povjerenje putnika i stabilnost zrakoplovne industrije. Standardizirane sigurnosne prakse i tehnologije omogućavaju lakšu suradnju i putovanja među državama. Ovo smanjuje administrativne prepreke i potencijalne zastoje na granicama. Međunarodna regulativa potiče suradnju među državama, čime se omogućava razmjena informacija, iskustava i najboljih praksi u detekciji eksploziva. Ovo je ključno u suočavanju s brzim promjenama u tehnologiji i taktikama potencijalnih napada.

### **2.1. Međunarodna regulativa**

Međunarodna regulativa koja se bavi detekcijom eksploziva u svrhu zaštite zračnog prometa temelji se uglavnom na smjernicama i propisima koje je razvila Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization – ICAO*),

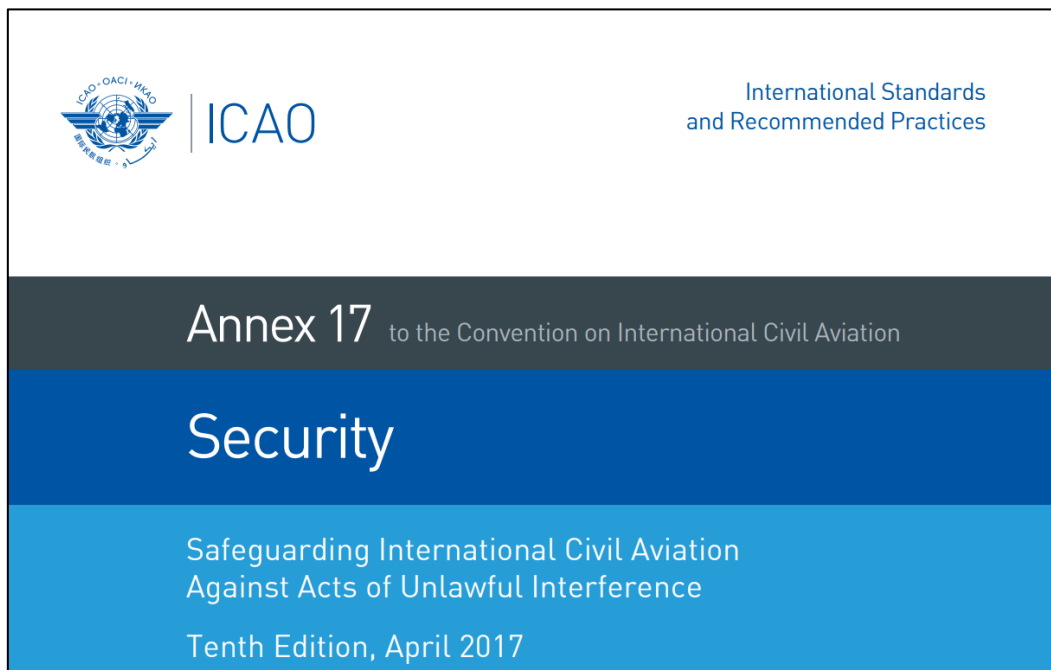
posebno njezin Dodatak 17 (Aneks 17 – Zaštita) Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu. ICAO je specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda odgovorna za postavljanje standarda i smjernica za međunarodni civilni zračni promet [1].

ICAO Dodatak 17 – Zaštita, posebno dio o detekciji eksploziva i zabranjenih predmeta, obuhvaća niz zahtjeva i smjernica koje se odnose na detekciju eksploziva kako bi se osigurala zaštita zračnog prometa. Ovaj Dodatak utvrđuje standarde za zračne luke, zrakoplovne kompanije, nadležna tijela i druge relevantne sudionike kako bi se osigurala učinkovita i dosljedna detekcija eksplozivnih materijala. Neki od ključnih aspekata koje regulira Aneks 17 uključuju [1]:

- Pregled putnika i prtljage: Dodatak 17 utvrđuje smjernice o tome kako provoditi detekciju eksploziva kod putnika, prtljage, tereta i pošte. To uključuje uporabu različitih tehnologija za detekciju, kao što su rendgenski uređaji, uređaji za detekciju tragova eksploziva i druge tehnike;
- Pregled osoblja: Dodatak 17 također utvrđuje postupke provjere osoblja zaposlenog na zračnim lukama i zrakoplovnim kompanijama ili organizacijama kako bi se osiguralo da nema neovlaštenog unosa eksploziva ili zabranjenih predmeta;
- Odredbe vezane za tijela zadužena za sigurnost: Dodatak 17 propisuje smjernice za uspostavljanje tijela za sigurnost na aerodromima, koja su odgovorna za provođenje sigurnosnih mjera i detekciju eksploziva.
- Obuka osoblja: Regulatorna se također bavi odredbama obuke osoblja koje provodi detekciju eksploziva kako bi se osigurala njihova kompetentnost i dosljednost u postupanju s potencijalnim prijetnjama;
- Suradnja i razmjena informacija: Dodatak 17 potiče suradnju između država kako bi se osigurala razmjena informacija i dobra praksa u vezi s detekcijom eksploziva i zaštitom zračnog prometa.

Važno je napomenuti da se Dodatak 17 redovito revidira kako bi se prilagodio promjenama u tehnologiji, potencijalnim prijetnjama i drugim relevantnim čimbenicima. Nacionalne agencije i nadležna tijela za civilno zrakoplovstvo obično primjenjuju ove smjernice i standarde kako bi osigurali dosljednost i visoku razinu sigurnosti u zračnom prometu. Aneks 17 postavlja osnovu za ICAO program zaštite civilnog zrakoplovstva i nastoji zaštititi civilno zrakoplovstvo i njegove objekte od djela nezakonitog ometanja. Dokument (slika 1.) Aneksa 17 o zaštiti u zračnom prometu sadrži standarde i preporučenu praksu koji se odnose na zaštitu međunarodnog zračnog prometa i redovito se mijenja u skladu sa svim

nadolazećim promjenama. Dramatičan porast zločina, koji je negativno utjecao na sigurnost civilnog zrakoplovstva tijekom kasnih 1960-ih, rezultirao je Izvanrednom sjednicom Skupštine ICAO-a u lipnju 1970. Vijeće je 22. ožujka 1974. donijelo Aneks 17 – Zaštita. Dodatak se stalno pregledava kako bi se osiguralo da su specifikacije aktualne i da imaju utjecaj na zaštitu u zračnom prometu. Budući da ovaj dokument postavlja minimalne standarde za zaštitu zračnog prometa u cijelom svijetu, podvrgava se pomnom ispitivanju prije bilo kakvih izmjena, dopuna ili brisanja. Od svog prvog objavljivanja, Aneks 17 je deset puta mijenjan i dopunjavan kao odgovor na potrebe koje su identificirale države i stalno ga pregledava Komisija za zaštitu u zračnom prometu u sklopu Programa zaštite zračnog prometa (engl. *Aviation Security Professional Management Course – AVSECPMC*) [2].



**Slika 1. ICAO Aneks 17 – Zaštita**

Izvor: [1]

Svaka od država članica ICAO organizacije, mora za primarni cilj imati sigurnost i zaštitu putnika, posade, zemaljskog osoblja i šire javnosti. U Dodatku 17 se navodi da svaka od država mora konstantno pratiti i informirati se o razini opasnosti od djela nezakonitog ometanja za svojem teritoriju. Svaka država je obvezna za uspostavljanje mjera za sprječavanje unosa oružja, eksploziva ili bilo kojih drugih opasnih naprava, predmeta i tvari u zrakoplov i prostor zračnih luka ili zrakoplova, gdje postoje mogućnosti nezakonitog ometanja. Aneks 17 ima pet

poglavlja, te je obvezan za sve države članice organizacije, pa tako i za Republiku Hrvatsku koja je također članica ICAO-a [1].

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) osnovana je Čikaškom konvencijom kao sredstvo međunarodne suradnje u svim aspektima zrakoplovstva. Godine 1947., ICAO je postao specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda, sa sjedištem u Montrealu, Quebec, s regionalnim uredima u Bangkoku, Kairu, Dakaru, Limi, Mexico Cityju, Nairobiju i Parizu [3]. ICAO se sastoji od Skupštine, Vijeća i Tajništva. Skupština, koju čine predstavnici svih država ugovornica. Sastaje se svake tri godine, pregledava rad organizacije, utvrđuje politiku i glasa o trogodišnjem proračunu.

## 2.2. Europska regulativa

Što se tiče Europske Unije, (engl. *European Union* – EU), ona je razvila odgovarajuću politiku koja se redovito ažurira kako bi odgovorila na sve veće rizike i prijetnje, kao i na tehnološke promjene [4]. U Europskoj uniji, regulacija detekcije eksploziva u zračnom prometu ostvaruje se putem zajedničkog zakonodavnog okvira koji obuhvaća niz pravila i smjernica kako bi se osigurala visoka razina zaštite zračnog prometa. Europska unija donosi regulative, direktive i odluke koje se odnose na zaštitu i sigurnost zračnog prometa. Primjerice, tu su „Regulativa (EU) 2015/1998 o implementaciji zajedničkih standarda u zračnom prometu“ i „Regulativa (EU) 2015/340 o vjerodostojnim zračnim tereticama i pošiljkama“. Ova uredbe utvrđuju standarde i zahtjeve za zaštitne postupke, uključujući detekciju eksploziva [5, 6]. U Europskoj uniji postoji i Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Union Aviation Safety Agency* – EASA). EASA je agencija EU-a odgovorna za promicanje sigurnosti i zaštite zračnog prometa. Ona pruža tehničku ekspertizu, izdaje smjernice i certificira opremu i postupke koji se koriste za detekciju eksploziva [7]. Europska komisija izdaje smjernice za primjenu zakonodavstva u praksi. Te smjernice pomažu državama članicama, zračnim lukama, zrakoplovnim kompanijama i drugim sudionicima u razumijevanju i primjeni zaštitnih standarda. Iako EU postavlja zajednički okvir, države članice imaju odgovornost za provedbu i provođenje zaštitnih postupaka unutar svojih teritorija. One usklađuju svoje nacionalne zakone i propise s europskim standardima. Europska unija potiče suradnju između država članica kako bi se osigurala koordinacija, razmjena informacija i primjena najboljih praksi u detekciji eksploziva. To uključuje suradnju između nadležnih tijela, zračnih luka i drugih relevantnih sudionika. Ovaj složeni sustav regulacija osigurava da zračni

promet u Europskoj uniji bude na visokoj razini, uz pouzdane i dosljedne postupke za detekciju eksploziva. To pomaže u zaštiti putnika, osoblja i infrastrukture te doprinosi stabilnosti i povjerenju unutar zrakoplovne industrije.

Nakon terorističkih napada u rujnu 2001. usvojena je Uredba (EZ) br. 2320/2002 kako bi se zaštitio civilni zrakoplov i osigurala osnova za zajedničko tumačenje Dodatka 17. Čikaške konvencije od strane država članica. U ožujku 2008. ova je uredba zamijenjena Uredbom (EZ) br. 300/2008 [8].

Sukladno navedenim regulativama u Europskoj uniji [5, 6, 8] u zaštitno ograničeno područje (engl. *Safety Restricted Area – SRA*) unositi sljedeće:

- Predmeti koji mogu, ili bi mogli, biti upotrijebljeni kako bi uzrokovali ozbiljnu ozljedu izbacivanjem projektila,
- Naprave koje su namijenjene posebno za omamljivanje ili imobilizaciju,
- Eksplozivi i zapaljive tvari i naprave koji se mogu, ili bi se mogle upotrijebiti za nanošenje ozbiljne ozljede ili za ugrožavanje sigurnosti zrakoplova,
- Drugi predmeti koji se mogu upotrijebiti za nanošenje ozbiljne ozljede.

Ova Uredba postavlja zajednička pravila i osnovne standarde o zaštiti zračnog prometa, kao i mehanizme za praćenje usklađenosti. Dopunjena je skupom Uredbi (mjerama kojima se nadopunjuju zajednički osnovni standardi ili detaljne mjere potrebne za provedbu tih standarda) koje je usvojila Komisija. Važno je napomenuti da provedbena pravila, koja sadrže 'osjetljive informacije', nisu objavljena.

Regulatorni okvir EU-a temelji se na obvezujućim zajedničkim standardima i nekoliko osnovnih načela. Dvije glavne Uredbe koje su obveza i donose odredbe o sustavima za otkrivanje eksploziva su EU 2015/1998 i EU 2017/815.

Prema Uredbi (EU) 2015/1998 zaštitni pregled moraju proći posada, zemaljsko osoblje, putnici, njihova ručna i predana prtljaga te sva vozila koja ulaze u štićeno područje. Provedbena uredba Komisije (EU) 2017/815 donosi izmjene Provedbene uredbe (EU) 2015/1998 u pogledu pojašnjenja, usklađivanja i pojednostavljenja određenih posebnih mjera zaštite zračnog prometa. Cilj zaštitnog pregleda je otkrivanje i sprječavanje unosa zabranjenih predmeta u zaštitno ograničeno područje i zrakoplov jer predstavljaju prijetnju sigurnom odvijanju zračnog prometa [8].

Svaka je država članica odgovorna za sigurnost i zaštitu letova koji polaze s njezina teritorija ('odgovornost države domaćina', kako je propisao ICAO). Svi putnici i osoblje te sva prtljaga moraju biti pregledani prije ukrcaja. Teret, pošta i zalihe tijekom leta također moraju

biti pregledani prije utovara, osim ako nisu bili podvrgnuti posebnim zaštitnim kontrolama. Države članice zadržavaju pravo primjene strožih zaštitnih mjera ako to smatraju potrebnim.

Regulatorni okvir EU-a pokriva sve aspekte zračnog prometa koji mogu utjecati na sigurnost zrakoplova i/ili infrastrukture. To uključuje zračnu luku, zrakoplov, putnike, prtljagu, teret, zalihe za zračnu luku i tijekom leta, zaštitno osoblje i opremu. Pravila EU-a primjenjuju se na sve zračne luke u Uniji koje su otvorene za civilno zrakoplovstvo, na sve operatere koji pružaju usluge u tim zračnim lukama, uključujući zračne prijevoznike, i na sve druge operatere koji „primjenjuju zaštitne standarde zračnog prometa“ koji pružaju usluge prijevoza robe ili usluge takvim zračnim lukama ili preko njih. Primijenjeni zaštitni standardi ipak mogu biti razmjerni specifičnom zrakoplovu/operaciji/prometu.

U Europskoj uniji, detekcija eksploziva i zaštita zračnog prometa uređeni su putem sveobuhvatnog zakonodavnog okvira koji ima za cilj osigurati visoku razinu zaštite putnika, osoblja i infrastrukture. Ovaj okvir uključuje regulacije, smjernice i suradnju među državama članicama i relevantnim agencijama. Cilj je osigurati konzistentne i dosljedne standarde u cijeloj EU kako bi se smanjio rizik od terorističkih napada i drugih prijetnji zračnom prometu. Ove regulacije obuhvaćaju mnoge aspekte zaštite, uključujući detekciju eksploziva, zabranjene predmete, zaštitni pregled putnika i prtljage te zaštitni pregled tereta i pošiljaka. Države članice EU-a usklađuju svoje nacionalne sigurnosne protokole s ovim zajedničkim standardima kako bi osigurale koherentan pristup zaštite zračnog prometa. Tijela poput Europske komisije i EASA-e igraju ključnu ulogu u koordinaciji, izdavanju smjernica i praćenju primjene zaštitnih pravila [7].

Ovaj sustav regulacija i suradnje također pomaže u održavanju povjerenja putnika i podržava nesmetani prijevoz i putovanja unutar EU-e. Također je fleksibilan kako bi se mogao prilagoditi promjenama u tehnologiji, sigurnosnim prijetnjama i drugim izazovima koji se pojavljuju s vremenom.

U tom kontekstu, svaka država članica imenuje jedno tijelo koje će biti odgovorno za koordinaciju i praćenje provedbe zakona o zaštiti zračnog prometa te također izrađuje i provodi Nacionalni program zaštite civilnog zračnog prometa (koji utvrđuje uloge i obveze svih sudionika). Države članice također uspostavljaju i provode Nacionalni program kontrole kvalitete (za određivanje razine usklađenosti operatora i osiguravanje mjera za ispravljanje nedostataka), izriču kazne za kršenje i surađuju s Komisijom kada ona provodi inspekcije za praćenje usklađenosti s odredbama EU-a. Svi sudionici također moraju izraditi i provoditi

programe zaštite kako bi bili u skladu s EU i Nacionalnim programom zaštite civilnog zrakoplovstva države članice u kojoj se nalaze [2].

Kako bi se olakšao zračni prijevoz, Komisija može priznati istovjetnost zaštitnih standarda zračnog prometa zemalja izvan EU-a, kao što je trenutno slučaj sa SAD-om, Kanadom i nekoliko europskih zemalja izvan EU-a.

Komisija je 2016. izdala prijedlog uredbe o uspostavi sustava certificiranja opreme za zaštitne preglede u zračnom prometu. Komisija je službeno povukla prijedlog 21. lipnja 2019., napominjući da postoji zajedničko razumijevanje da bi se sustav certificiranja EU-a bolje postigao izmjenom postojećeg zakonodavstva na temelju Uredbe (EZ) br. 300/2008 o zajedničkim pravilima u području zaštite zrakoplovstva.

U rujnu 2018. dogovorena je Uredba (EU) 2018/1240 , kojom se uspostavlja Europski sustav putnih informacija i autorizacije (engl. *European Travel Information and Authorisation System – ETIAS*), kojom se mijenjaju Uredba (EU) br. 515/2014, Uredba (EU) 2016/ 399 i Uredbe (EU) 2016/1624. ETIAS provjerava putnike prije nego stignu u Europu. Putnici koji dolaze iz zemalja u koje nisu potrebne vize za EU moraju ispuniti elektronički obrazac koji uključuje putne isprave i osobne podatke (uključujući ime, datum i mjesto rođenja, spol i nacionalnost) [4].

Dana 14. ožujka 2022. Komisija je donijela reviziju Uredbe (EU) 2015/1998 (Provedbena uredba (EU) 2022/421) [7]. Uključuje ponovno određivanje zrakoplovnih prijevoznika, operatera i tvrtki koje provode zaštitne kontrole za teret i poštu iz zemalja izvan EU-a tijekom pandemije COVID-19, implementira unaprijed informacije o teretu pri utovaru, za operacije u zemljama izvan EU-a, postavlja opremu za otkrivanje eksploziva u zračnim lukama EU-a i definira, pojednostavljuje i pojačava posebne mjere zaštite zračnog prometa.

U srpnju 2022. Uredba (EU) 2018/1862 [7] izmijenjena je, kako bi se ojačala moć Europolu u borbi protiv terorizma i organiziranog kriminala, posebno s obzirom na izazove koji proizlaze iz digitalne transformacije i pandemije COVID-19.

### **3. SUSTAVI I OPREMA ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA**

Eksplozivi su kemijski spojevi koji se mogu podvrgnuti samopropagirajućoj razgradnji što rezultira naglim oslobađanjem topline i tlaka. Eksplozivi mogu biti nisko eksplozivni materijali ili visoko eksplozivni materijali na temelju njihove brzine gorenja. Nisko eksplozivni materijali koji gore malim brzinama (centimetri u sekundi) uključuju pogonske plinove, crni barut, itd. Visoko eksplozivni materijali, koji detoniraju brzinom od kilometara u sekundi, a dalje se dijele na primarne i sekundarne eksplozive na temelju njihove stabilnosti. Primarni eksplozivi, kao što je olovni azid, izuzetno su osjetljivi na vanjske podražaje kao što su trenje i toplinske ili električne iskre za iniciranje eksplozije [9].

Eksplozivi kućne izrade imaju vrlo visoke tlakove pare zbog prisutnosti hlapivih organskih spojeva kao što je aceton. Većina uobičajenih eksploziva ima iznimno niske tlakove pare na temperaturi okoline. Treba napomenuti da tlak pare eksploziva brzo raste s temperaturom. Eksplozivne pare nastale zagrijavanjem uzorka brzo se kondenziraju na hladnijim površinama. Apsorpcija će biti veća na površinama s visokom površinskom energijom kao što su metali, metalni oksidi, itd., u usporedbi s materijalima niske površinske energije kao što su polimeri, plastika, itd. [9].

#### **3.1. Sustavi za detekciju eksploziva**

Sustavi za detekciju eksploziva (engl. *Explosive Detection Systems* – EDS) igraju ključnu ulogu u zaštiti u različitim okruženjima. Njihova svrha je identificirati prisutnost eksploziva ili eksplozivnih materijala te tako spriječiti potencijalne prijetnje i rizike. Ovi sustavi su od iznimne važnosti u suvremenom društvu gdje postoji stalna potreba za zaštitom ljudi, javnih prostora, transportnih sustava, te infrastrukture. Razvoj i primjena EDS sustava proizlazi iz potrebe za suzbijanjem raznih prijetnji i napada, pogotovo nakon događaja poput terorističkih napada na Sjedinjene Američke Države 11. rujna 2001. godine. Od tih događaja jasna je potreba za boljim metodama otkrivanja eksploziva, te je značajan napredak postignut u razvoju tehnologija za detekciju. Sustavi za detekciju eksploziva koriste različite metode, kao što su rendgenska tehnologija, spektrometrija ionizirajućeg zračenja, detekcija tragova eksploziva, molekularna detekcija i druge tehnike. Svaka od ovih tehnika ima svoje prednosti i ograničenja, pa se često kombiniraju kako bi se postigla veća pouzdanost i preciznost u detekciji. Ključni



izazovi u razvoju EDS sustava uključuju postizanje visoke osjetljivosti detekcije, minimalizacija lažnih pozitivnih i lažnih negativnih rezultata, brzo i učinkovito skeniranje putnika i prtljage te osiguravanje zaštitnih standarda koji se uklapaju u svakodnevne tokove ljudi i roba na raznim mjestima, poput zračnih luka. Pitanja privatnosti i etike također su povezana s upotrebom EDS sustava (slika 2.), jer se često radi o tehnologijama koje provode dubinske analize putnika i prtljage [10]. Važno je postići balans između osiguravanja zaštite i poštivanja privatnosti pojedinaca. Uz stalni napredak u tehnologiji, EDS sustavi se neprestano unaprjeđuju kako bi se suočili s promjenama u taktikama i tehnologijama koje koriste potencijalni napadači. Razvoj umjetne inteligencije i strojnog učenja također ima sve veći utjecaj na poboljšanje analitičkih sposobnosti sustava i smanjenje lažnih alarma. Sustavi za detekciju eksploziva predstavljaju važnu komponentu globalnih napora za osiguranje sigurnosti i zaštitu od potencijalnih prijetnji. Njihova sposobnost otkrivanja potencijalnih opasnosti pomaže stvoriti okruženje u kojem se ljudi i imovina mogu osjećati zaštićeno.

Sustavi za detekciju eksploziva (EDS) moraju imati sposobnost otkrivanja i signaliziranja alarma u prisutnosti eksplozivnog materijala koji se nalazi unutar prtljage ili drugih pošiljaka. Proces otkrivanja mora biti neovisan o obliku, položaju ili usmjerenju eksplozivnog materijala. EDS aktivira alarm u svakom od sljedećih scenarija [11]:

- kada identificira prisutnost eksplozivnog materijala,
- kada otkrije postojanje predmeta koji ometaju otkrivanje eksplozivnog materijala, i
- kada je sadržaj torbe ili pošiljke prekomjerno zgusnut za učinkovitu analizu.



**Slika 2. Primjer sustava za detekciju eksploziva**

Izvor: [12]

Sustavi za detekciju eksploziva su sredstvo koje se koristi za suzbijanje prijetnje koju komercijalnom zrakoplovstvu predstavljaju male, skrivene, visokoenergetske eksplozivne naprave. Unutar okruženja zračne luke, definicija uloge otkrivanja eksploziva u cjelokupnom programu zaštite daje važne ulazne podatke za definiranje potrebnog EDS sustava. Najvažniji od ovih podataka uključuju [13]:

- količinu i morfologiju svake vrste eksplozivnog materijala koju treba otkriti (tj. prijetnju),
- određeni stupanj pouzdanosti pronalaska eksplozivnog materijala,
- najveću prihvatljivu stopa lažnih uzbuna,
- brzinu obrade u smislu potrebnih parametara protoka volumena, te kategorije putnika i prtljage,
- metode za rješavanje svakog alarma,
- pripremu protumjera,
- odredbe za buduće promjene.

Sustav za detekciju eksploziva mora imati mogućnost otkrivanja i upozoravanja preko alarma na postojanje eksplozivnog materijala, kako u prtljazi tako i u drugim pošiljkama. To otkrivanje ne smije ovisiti o obliku, usmjerenju ili položaju eksplozivnog materijala.

Rendgenski uređaj za inspekciju prtljage i tereta često se koristi kao komponenta u sustavima za detekciju eksploziva. Rendgenski uređaj se koristi za skeniranje unutarnjeg sadržaja prtljage ili tereta kako bi se dobila slika i vizualna reprezentacija predmeta unutar njih. Ova slika omogućava identifikaciju potencijalno sumnjivih predmeta ili materijala. U mnogim slučajevima, rendgenski uređaj može biti integriran s drugim tehnologijama kako bi se omogućila detekcija eksploziva. Na primjer, može se koristiti rendgenska tehnologija za dobivanje slike prtljage ili tereta, dok se spektrometrija ionizirajućeg zračenja može koristiti za identifikaciju kemijskog sastava materijala unutar njih. Ovakva kombinacija tehnika pomaže povećati učinkovitost i preciznost detekcije eksploziva.

Ako se kod korištenja rendgenskog uređaja otkrije predmet koji onemogućava ili smanjuje analiziranje sadržaja prtljage, pregled se vrši na neki drugi način. Ovakvi predmeti se vade iz prtljage, da bi se prtljaga podvrgla novom pregledu, a predmet koji se izvadio također treba nanovo pregledati, isto kao i ručnu prtljagu. Rendgenske slike pregledava osoba koja vrši zaštitni pregled ili se analiziraju sustavom za automatsko potvrđivanje (softverom) (engl. Auto Clear Software – ACS), da bi se isključila mogućnost opasnosti od predmeta. Kod oglašavanja alarma, uvijek se moraju utvrditi razlozi oglašavanja, s čime se onemogućava unošenje zabranjenih predmeta u zrakoplov ili u zaštitno ograničeno područje [5].

Kompromis između prihvatljive razine vjerojatnosti detekcije sustava (kada postoji eksploziv) i stope lažnih uzbuna (kada nema eksploziva) ključan je za arhitekturu sustava.

Općenito se pretpostavlja da će EDS doista pregledati svu prtljagu stavljenju na raspolaganje za EDS pregled. Međutim, lako se mogu zamisliti situacije inspeksijskog uzorkovanja u kojima neki predmet zaobilazi ispitivanje. Takav bi scenarij vjerojatno mogao biti isplativ kada se dobro razumiju financijski troškovi uzorkovanja i neuspjeha u otkrivanju predmeta s nedostatkom i kada je potonja kazna relativno niska (npr. rutinski troškovi jamstva i kada nema mogućnosti pretjeranog sudskog spora). No, kod provjere eksploziva u prtljazi, stvarni i percipirani troškovi neotkrivanja su visoki, a točne vrijednosti ne mogu se jednoznačno odrediti.

Štoviše, svako potencijalno povećanje učinkovitosti postignuto pod uzorkovanjem nužno je ograničeno propisanom visokom vrijednošću za EDS vjerojatnost otkrivanja (engl. *Possibility of Detection* – PD). Na primjer, ako je traženi PD prag 0,95, tada se jasno ne može

dopustiti više od pet posto prtljage da zaobiđe pregled (čak i kada je EDS nepogrešiv). Svi alarmi će se morati poništiti. Dostupne su najmanje tri alternative: ponovno provući vrećicu kroz jedinicu; operatorska interpretacija EDS-generirane slike vrećice; ili ručno pretraživanje sumnjive prtljage. Utjecaj svake od ovih alternativa može se ispitati pomoću alata za simulaciju.

Tehnike koje se koriste moraju biti otvorene i podložne objašnjenju. Tehnologija mora biti pristupačna kako bi se mogla primijeniti na operativno korisnoj razini. Mnogi od istih zahtjeva također se odnose na prijenosne detektore eksploziva koje koriste službenici za provođenje zakona ili vojne snage uključene u protuterorističke operacije.

Tehnike snimanja kao što je radiografija prilično su dobre za prepoznavanje bombi bilo vizualno ili računalno potpomognutim prepoznavanjem slike, ali budući da nisu osobito osjetljive, otkrit će samo sumnjive predmete određene minimalne veličine. I, naravno, oprema za snimanje mora gledati pravi predmet, koji također može biti prikriven kako bi se izbjeglo prepoznavanje.

Detekcija eksploziva dijeli se na tehnologiju „*bulk*“ i „*trace*“. Skupna detekcija traži masu s određenim svojstvima koja se smatraju indikativnim za eksploziv. Visok sadržaj dušika i/ili kisika i velika gustoća, svojstva su koja se obično traže. Naravno, postojat će eksplozivni spojevi koji ne odgovaraju ovim ciljanim karakteristikama, na primjer, triacetontriperoksid; a bit će i bezopasnih materijala [14].

U otkrivanju prisutnosti eksplozivnog spoja u tragovima, opći pristup je tražiti određenu kemikaliju iz biblioteke ciljnih spojeva, a ne opće svojstvo. To znači da je vjerojatnost lažnog alarma značajno manja nego kod tehnika skupne detekcije, koje se općenito temelje samo na tipičnim svojstvima. Međutim, detekcija pozitivnog traga ne daje informacije o prostoru, ograničena je na eksplozive koji se nalaze u evidenciji eksploziva. Pozitivna detekcija također može dovesti u zabludu.

Do danas su samo dvije tehnologije postigle izvorni cilj „certifikacije“, naime rendgenska kompjutorska tomografija (engl. *Computersied Tomography* – CT) 1996. i koherentno Comptonovo raspršenje rendgenske difrakcije praha, iz 2004. Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration* – FAA), Uprava za zaštitu u prijevozu (engl. *Transportation Security Administration* – TSA), Ministarstvo domovinske sigurnosti Sjedinjenih Američkih Država (engl. *Department of Homeland Security* – DHS) sada koriste izraz „Sustav za detekciju eksploziva“ za instrumente koji su dobili certifikat [14].

Nalaze se razna rješenja za provjeru EDS-a kao što su netoksični simulanti koji generiraju alarme u gotovo 100% slučajeva na širokom rasponu komercijalnih EDS modela.

Simulanti moraju biti inertni, netoksični i trebaju oponašati relevantna svojstva eksploziva te trebaju biti potkrijepljeni nepristranim i čvrstim podacima (npr. sastav, točnost i rok trajanja) [14].

Spektrometrija mobilnosti iona (engl. *Ion Mobility Spectrometry* – IMS) sustav je tehnologija detekcije koja se često koristi u sustavima za detekciju eksploziva i drugim oblicima zaštite. Ova tehnologija se temelji na principima kemijske analize i omogućuje otkrivanje prisutnosti specifičnih kemijskih spojeva u uzorcima zraka ili drugih materijala. IMS sustavi rade na sljedeći način: kada uzorak zraka (koji može sadržavati čestice iz prtljage, tijela ili drugih izvora) ulazi u sustav, molekule u uzorku su ionizirane, tj. postaju nabijene električno. Ionizirane molekule zatim prolaze kroz električno polje, gdje se njihova brzina kretanja mjeri. Svaki kemijski spoj ima karakterističan niz ionskih brzina, što omogućava identifikaciju prisutnih spojeva. IMS sustavi su osjetljivi na različite kemijske spojeve, uključujući i one koji su karakteristični za eksplozivne materijale. Kada se koristi u EDS sustavima, IMS može brzo identificirati prisutnost tragova eksplozivnih kemikalija u zraku oko prtljage ili tijela putnika. Ako sustav detektira određeni uzorak ionskih brzina koji sugerira prisutnost eksploziva, aktivira se alarm kako bi zaštitno osoblje poduzelo daljnje korake [14]. IMS tehnologija ima prednosti u brzini detekcije i osjetljivosti na širok spektar kemikalija. Međutim, kao i druge tehnologije, IMS također može imati izazove u smanjenju lažnih alarma i pouzdanoj identifikaciji materijala u kompleksnim okruženjima. Stoga se IMS često koristi u kombinaciji s drugim tehnikama kao dio sveobuhvatnih EDS sustava.

IMS je instrument koji se koristi u većini američkih zračnih luka od 11. rujna 2001. Obično se koristi kao rezerva za detektore metala koji provjeravaju ručnu prtljagu i za CT provjeru predane prtljage. Kao i većina instrumenata za otkrivanje tragova, postavljen je za otkrivanje samo vrsta koje zahtijeva FAA. Iako je IMS vrhunac tehnike od 2006., spektrometrija mase (engl. *Mass Spectrometry* – MS) ima toliko potencijala da bi unutar ovog desetljeća mogla postati vodeća tehnika u otkrivanju tragova. MS nudi mnogo bolju detekciju od IMS-a, ali do danas ima slabu osjetljivost u odnosu na IMS ili kemiluminiscenciju. Nadalje, u prošlosti je MS bilo previše teško održavati. Sada je uvođenje uzorka pojednostavljeno, cijeli uređaj je smanjen, a odvajanje ioniziranih vrsta može koristiti niz pristupa, naime, kvadrupol, magnetski sektor, ionsku zamku, ili ionsku ciklotronsku rezonanciju [6].

Laboratorijska tehnika za koju se očekuje da će se pojaviti u terenskim prijenosnim detektorima je Ramanova spektroskopija koja nudi mogućnost daljinske detekcije

eksploziva. Razvoj specifičnih polimera za detekciju bio je dovoljno uspješan da je već komercijaliziran.

Za razliku od otkrivanja tragova, većina tehnika skupnog otkrivanja temelji se na navodno jedinstvenim svojstvima eksploziva. Ta jedinstvena svojstva su visoka gustoća, velike količine kisika i/ili dušika i brzo oslobađanje energije. Nažalost, prva dva svojstva su ta koja su obično ciljana, a postoji niz iznimaka od njih kao karakteristika eksploziva. Brzo oslobađanje energije bolji je pokazatelj eksploziva od ostalih svojstava. Izravna kemiluminiscencija jedan je od mogućih načina da se to otkrije za neke spojeve, ali do danas tehnika nije dovoljno razvijena. Općenito, sheme skupne detekcije koriste karakterističnu emisiju ili prigušeni signal iz uzorka za identifikaciju eksploziva. Emisija se obično izaziva bombardiranjem uzorka česticama ili zrakama. Pasivna detekcija milimetarskih valova je iznimka. Ta tehnika razlikuje jedinstvenu toplinsku energiju ljudskog tijela od nedostatka energije neživih objekata. Emisija iz uzorka obično je rezultat svojstava specifičnih za opću klasu eksploziva ili droge [14].

Nuklearna kvadrupolna rezonancija (engl. *Nuclear Quadruple Resonance* – NQR) bila je uspješna za ograničene primjene, no prtljaga s metalnim sadržajem se ne može pregledati; ovo je ozbiljno praktično ograničenje kojim se bave razna istraživanja. Iako dijeli neke osnovne sličnosti s etabliranom tehnikom nuklearne magnetske rezonancije, NQR ne zahtijeva prisutnost vanjskog magnetskog polja. Raspodjela nuklearnih stanja spinova diferencira se elektrostatskom interakcijom između gustoće nuklearnog naboja i električnog potencijala elektronskog oblaka. Za detekciju je potrebno da je kvantni broj spina jezgri jednog ili više. Ovisno o broju ekvivalentnih jezgri i njihovom vremenu relaksacije, podešavaju se broj, svojstva i slijed impulsa; osim toga, koriste se sofisticirane tehnike obrade signala i poboljšanja kako bi se poboljšala osjetljivost tehnike. NQR pruža detaljne informacije o kemijskoj strukturi materijala i stoga je specifičan za spoj. To znači da identifikacija ovisi o usklađivanju signala s bibliotekom poznatih opasnih materijala s popratnim nedostatkom da se materijali koji nisu u biblioteci, odnosno nove prijetnje, ne identificiraju odmah [14].

Još jedno vrlo aktivno područje istraživanja je detekcija teraherca [15]. Ova tehnologija koristi elektromagnetsko zračenje u frekvencijskom rasponu od  $3 \times 10$  mm, na krajnjem dijelu dalekog infracrvenog spektra. Razvoj poboljšanih izvora zračenja i detektora na kraju dvadesetog stoljeća omogućio je značajan napredak. Iako se apsorbira kada prođe kroz znatne zračne udaljenosti, teraherc zračenje samo slabo apsorbira većina nevodljivih materijala. Ovo nudi novu mogućnost tehnike koja daje kemijski karakteriziranu sliku na umjerenim udaljenostima [14, 15].

Poput NQR-a, koherentna difrakcija X-zraka specifična je za spoj i stoga zahtijeva popise prijetnji za identifikaciju i detekciju. Budući da su velika gustoća zajedno s visokim sadržajem dušika i kisika karakteristične, ali nisu jedinstvene za eksplozive, lažni alarmi obično su veći nego kod otkrivanja tragova; a moguće su i propuštene detekcije. Skupna detekcija ima prednost prikupljanja prostornih i kvantitativnih informacija.

Zahtjevi za sustav za otkrivanje eksploziva navedeni su u certifikacijskim standardima koje izdaje FAA/TSA/DHS. Ključni zahtjevi su sljedeći [14]:

- mogućnost otkrivanja eksploziva;
- granice detekcije (najniža količina koja se može otkriti);
- konfiguracija eksploziva (tj. može li se detektirati pločasti eksploziv);
- vjerojatnost otkrivanja (engl. *Possibility of Detection* – PD) i vjerojatnost lažnog alarma (engl. *Possibility of False Alarm* – PFA), odnosno krivulja rada prijemnika;
- propusnost;
- osjetljivost;
- robusnost i održavanje;
- operativna jednostavnost korištenja;
- troškovi, početna ulaganja, održavanje, prostorni zahtjevi;
- razlučivost alarma.

Konvencionalni rendgenski skeneri rade na niskim energijama, to jest 50-75 keV. Pri tako niskoj energiji, važna interakcija je fotoelektrična apsorpcija, koja smanjuje propušteni snop X-zraka. Apsorbirane X-zrake ponekad se ponovno emitiraju kao X-zrake niže energije – rendgenska fluorescencija. Ispod nekoliko stotina keV, presjek fotoelektrične apsorpcije brzo raste s povećanjem atomskog broja (Z). Stoga su propuštene rendgenske zrake najosjetljivije na materijale s visokim Z (npr. medicinski rendgenski uređaji pokazuju visok kontrast za kalcij u kostima, ali ne i između različitih vrsta mekih tkiva). U konvencionalnim rendgenskim skenerima u zračnim lukama emitirane X-zrake jasno razlikuju materijale s visokim Z (metal) i niske Z (organske). Pri svim energijama, presjek Comptonovog raspršenja uglavnom ovisi o gustoći i samo slabo ovisi o atomskom broju. Stoga se materijali s niskim Zef prikazuju raspršenjem, ali ne i prijenosom. Materijali s visokim Z pojavljuju se i u emitiranoj i u raspršenoj slici. Zef je efektivni atomski broj. X-zrake s dvostrukom energijom iskorištavaju prednosti različitih stupnjeva razlikovanja. Korištenjem energija, na primjer, 75 i 150 keV, razlika između fotoelektričnog (osjetljivog na visoki Zef) i Comptonovog raspršenja (osjetljivog i na niski i na visoki Zef) daje informacije o gustoći, prosječnom atomskom broju

i dvije visoke razlučivosti dimenzionalne slike. Dvodimenzionalna prostorna rezolucija dobivena pomoću X-zraka mnogo je bolja od one postignute nuklearnim tehnikama; ali osim ako se ne koriste X-zrake visoke energije, X-zrake nemaju moć prodiranja kao nuklearne tehnike [14].

Da bi se postigla dubina prodiranja u kontejner, na primjer, teretni kontejner, kontejner mora biti ispitivan neutralnim vrstama, kao što su neutroni ili visokoenergetski fotoni (visokonaponske X-zrake ili  $\gamma$ -zrake). Nuklearne tehnike obuhvaćaju više tehnologija. Većini su zajedničke prednosti snage prodiranja i određivanja kemijskih informacija – otkrivanje dušika ili kisika, obično s visokim sadržajem eksploziva, ili klora iz hidrokloridnih soli heroina ili kokaina. Međutim, prednosti nuklearnih tehnika nadoknađuju se nedostacima visoke cijene, velike veličine, zahtjeva za zaštitu, razlučivosti znatno lošije od rendgenskih zraka i ozbiljnog operativnog utjecaja. Osim toga, tehnike zahtijevaju poseban akcelerator za stvaranje neutrona ili fotona ( $\gamma$ -zraka). Neutronska zraka je obično kolimirana; čime se gubi većina neutrona. Ako se koristi monoenergetski snop, mora se koristiti ciljani materijal, a to rezultira problemima s gubitkom topline i erozijom. Jezgre s kojima se neutroni neelastično sudaraju se pobuđuju i vraćaju u stanje niže energije emitirajući niz karakterističnih  $\gamma$ -zraka. Što je lakša jezgra s kojom se neutron neelastično sudara, to je veća energija predana jezgri i veći je gubitak energije iz neutrona. Taj se proces naziva „modulacija“. Za većinu tehnika, rezidualna aktivacija (npr. neutronska aktivacija) nije problem. Modulacija je problem za nuklearne tehnike. Modulirani neutroni obično su se raspršili daleko od upadne zrake prije detekcije; stoga ne daju nikakve prostorne ili vremenske informacije [14].

Mnoge izvorne zagonetke i nedoumice razmatrane prije početnog postavljanja opreme za otkrivanje eksploziva nisu riješene, ali su se morala prihvatiti rješenja koja nisu optimalna. Na primjer, alarm se obično rješava ponovnim pregledom predmeta, ručnim pregledom sumnjivog predmeta ili ispitivanjem vlasnika.

U nastavku na slici 3. je prikazan primjer sustava za detekciju eksploziva (EDS) Homeland Security Technology XRD 3500. Slika 4. prikazuje primjer Leidos Reveal CT-80DR+ EDS sustava, dok slika 5. prikazuje primjer Hyper-Tech IDSS DETECT™ 1000 EDS sustava.





**Slika 3. Primjer sustava za detekciju eksploziva – XRD 3500**

Izvor: [16]



**Slika 4. Primjer sustava za detekciju eksploziva – Reveal CT-80DR+**

Izvor: [17]



Slika 5. Primjer sustava za detekciju eksploziva – Hyper-Tech IDSS DETECT™ 1000

Izvor: [18]

### 3.2. Oprema za otkrivanje tragova eksploziva

Oprema za otkrivanje tragova eksploziva (engl. *Explosive Trace Detection* – ETD) mora biti takva da može odrediti tragove eksploziva i na putniku i u sadržaju prtljage ili pošiljke. Također se prisustvo eksploziva označava alarmom, ali može biti i dopunski način pregleda. ETD predstavlja odgovor na sve složenije sigurnosne izazove s kojima se društvo suočava. Uloga je ne samo osigurati zaštitu putnika, tereta i infrastrukture, već i osigurati da se putovanja i promet mogu odvijati bez značajnih zastoja ili prekida. ETD sustavi postaju ključna komponenta u globalnim naporima protiv prijetnji i ilegalnog prometa opasnih materijala. Razvoj i implementacija ETD tehnologija prate stalne promjene u prijetnjama. Stručnjaci neprestano rade na poboljšanju osjetljivosti detekcije, smanjenju vremena obrade i analize uzoraka te minimiziranju lažnih alarma. Ova tehnologija se također mora prilagoditi različitim okruženjima u kojima se koristi, poput zračnih luka.

Kombinacija različitih tehnika detekcije, kao što su spektrometrija mase, Ramanova spektroskopija, i detekcija tragova pomoću pasa, omogućuje ETD sustavima da pokriju širok spektar eksplozivnih materijala i kemikalija koje bi mogle biti korištene za izradu improviziranih eksplozivnih naprava. Uvođenje ETD opreme također nosi izazove u vezi s operativnom učinkovitošću i pragmatičnošću. Važno je osigurati da ovi sustavi ne usporavaju značajno tokove putnika i tereta, što zahtijeva brze i precizne metode skeniranja i analize. Paralelno s tehničkim inovacijama, primjena ETD tehnologija također zahtijeva pažljivu

edukaciju i obuku operatera koji ih koriste. Ovi sustavi se nastavljaju razvijati kako bi se prilagodili novim prijetnjama i tehnologijama, pružajući trajni doprinos globalnoj sigurnosti.

Oprema za otkrivanje tragova eksploziva (ETD) mora imati mogućnost prikupljanja i analize čestica u tragovima ili isparavanja s površina izloženih eksplozivu ili iz sadržaja prtljage ili pošiljaka, te mogućnost upozoravanja alarmom na prisutnost eksploziva. Oprema za otkrivanje tragova eksploziva predstavlja ključnu komponentu u naporima zaštite i sprječavanja potencijalnih prijetnji od eksplozivnih materijala. Ova tehnologija omogućuje precizno otkrivanje minimalnih količina eksplozivnih ostataka na površinama, u zraku ili unutar predmeta. ETD se često koristi na zaštitnim kontrolnim točkama u zračnim lukama, gdje je potrebno brzo i pouzdano otkrivanje tragova eksploziva. Glavna svrha ETD opreme je identificirati prisutnost tragova eksplozivnih tvari koje su mogle doći u kontakt s osobama, predmetima ili površinama. Postoji nekoliko različitih pristupa i tehnika koje se koriste u ETD sustavima:

- detekcija čestica,
- snimanje tragova eksploziva,
- molekularna detekcija,
- spektrometrija mase,
- Ramanova spektroskopija,
- detekcija pomoću pasa (kao dopunska metoda).

Detekcija čestica koristi uzorke zraka ili čestica koje su skupljene sa površina kako bi se identificirali tragovi eksploziva. Ovi uzorci se analiziraju pomoću spektrometrije ili drugih tehnika kako bi se identificirale karakteristične kemijske komponente eksploziva. predstavlja značajnu tehnologiju koja omogućuje identifikaciju minimalnih tragova eksploziva ili drugih opasnih kemikalija na površinama ili u zraku. Uzorak zraka ili čestica se prikuplja s površina, predmeta ili iz okoline. Ovaj uzorak sadrži mikroskopske čestice koje mogu potjecati od eksplozivnih materijala ili drugih kemikalija. Prikupljeni uzorak može biti vrlo razrijeđen. Stoga se provodi proces pre-koncentracije, gdje se čestice koncentriraju kako bi postale osjetljivije za analizu. Čestice iz pre-koncentriranog uzorka se ioniziraju, tj. pretvaraju se u nabijene čestice. Ovaj korak omogućuje daljnju analizu kemijskog sastava čestica. Ionizirane čestice prolaze kroz električno polje, gdje se mjeri njihova brzina kretanja. Različite kemikalije imaju različite ionske brzine, što omogućuje identifikaciju prisutnih spojeva. Na temelju izmjerenih ionskih brzina, analizom se identificiraju karakteristični kemijski spojevi prisutni u uzorku. To omogućuje zaključivanje o prisutnosti eksplozivnih tvari ili drugih opasnih

kemikalija. Detekcija čestica kao dio ETD sustava pruža brzu analizu, omogućujući brzo reagiranje. Međutim, važno je napomenuti da ova tehnika zahtijeva osjetljive senzore i precizne instrumente kako bi osigurala pouzdane rezultate. Detekcija čestica često se kombinira s drugim tehnikama ETD kako bi se povećala pouzdanost i preciznost otkrivanja [19].

Snimanje tragova eksploziva hvataju i koncentriraju tragove eksploziva iz uzorka zraka ili sa površina. Zatim se analizira kemijski sastav uzorka kako bi se utvrdila prisutnost eksplozivnih tvari. Snimanje tragova eksploziva kao dio sustava za otkrivanje tragova eksploziva ETD predstavlja sofisticiranu tehnologiju koja omogućuje otkrivanje minimalnih količina eksplozivnih ostataka ili drugih opasnih kemikalija na površinama, u zraku ili unutar predmeta. Ova tehnika se često koristi na zaštitnim kontrolnim točkama kao što su zračne luke, granice, i druge lokacije gdje je ključno otkriti tragove eksplozivnih materijala radi sprječavanja mogućih prijetnji. Površina ili predmet se skenira kako bi se prikupili uzorci čestica koje mogu sadržavati tragove eksplozivnih tvari ili opasnih kemikalija. Prikupljeni uzorak može biti u malim količinama, pa se koristi tehnika pre-koncentracije kako bi se čestice koncentrirale, čime se povećava osjetljivost analize. Pre-koncentrirane čestice se analiziraju kako bi se utvrdio njihov kemijski sastav. Ova analiza obuhvaća spektrometriju i druge tehnike koje omogućuju identifikaciju specifičnih kemijskih spojeva. Rezultati analize se uspoređuju s bazom podataka poznatih eksplozivnih tvari i njihovih kemijskih sastava. Ovo omogućuje identifikaciju tragova eksplozivnih tvari i potencijalno opasnih kemikalija. Ako analiza pokazuje prisutnost tragova eksploziva ili drugih opasnih kemikalija, sustav generira alarm koji upozorava zadužene operatere [19]. Ova tehnika zahtijeva visoko-senzitivne uređaje i sofisticirane analitičke tehnike kako bi osigurala precizne rezultate. Snimanje tragova eksploziva je posebno korisno jer omogućuje brzu i preciznu analizu uzorka te identifikaciju čak i minimalnih ostataka eksploziva ili drugih opasnih kemikalija. Kombinacija ove tehnike s drugim ETD tehnikama pruža sveobuhvatan pristup detekciji eksplozivnih materijala i poboljšava ukupne sposobnosti zaštitnih sustava.

Molekularna detekcija koristi osjetljive senzore kako bi identificirala specifične kemijske spojeve karakteristične za eksplozive. Senzori reagiraju na prisutnost ovih spojeva, što rezultira detekcijom. Ova tehnika se primjenjuje u složenim sigurnosnim okruženjima, poput zračnih luka, graničnih prijelaza i drugih lokacija gdje je potrebno brzo i pouzdano identificirati tragove eksplozivnih tvari radi sprječavanja potencijalnih prijetnji. Proces molekularne detekcije u ETD sustavima sastoji se od nekoliko koraka. Uzorak zraka, površine ili predmeta se prikuplja kako bi se uhvatile čestice koje sadrže tragove eksplozivnih tvari ili

drugih opasnih kemikalija. Prikupljeni uzorak se ionizira, tj. čestice se pretvaraju u nabijene ione. Ova ionizacija omogućuje analizu kemijskog sastava uzorka. Ionizirane čestice se usmjeravaju prema analizatoru koji mjeri njihove ionske reakcije. Različite kemikalije imaju specifične ionske reakcije, što omogućuje identifikaciju prisutnih spojeva. Ionske reakcije se uspoređuju s bazom podataka poznatih spektralnih obrazaca. Ovaj korak omogućuje identifikaciju karakterističnih kemijskih spojeva prisutnih u uzorku. Ako se pronađu podudarnosti s bazom podataka, sustav generira rezultate koji ukazuju na prisutnost eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija. Molekularna detekcija zahtijeva visoko sofisticiranu opremu i precizne instrumente kako bi se osigurala točnost i osjetljivost rezultata. Prednost ove tehnike je njena sposobnost identificiranja specifičnih kemijskih spojeva karakterističnih za eksplozive ili druge opasne kemikalije. Molekularna detekcija često se kombinira s drugim ETD tehnikama kako bi se povećala pouzdanost i preciznost detekcije. S obzirom na kompleksnost ove tehnike, stručno osoblje i obuka igraju ključnu ulogu u osiguravanju ispravne interpretacije rezultata i učinkovitog funkcioniranja sustava [19].

Spektrometri mase se koriste za analizu kemijskog sastava uzorka te utvrđivanje prisutnosti eksplozivnih tvari na temelju njihovih karakterističnih ionskih reakcija. Ova tehnika predstavlja sofisticiranu tehnologiju koja omogućuje precizno i osjetljivo otkrivanje minimalnih količina eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija. Ova tehnika igra ključnu ulogu u sigurnosnim procedurama na mjestima kao što su zračne luke, granični prijelazi i druga mjesta gdje je imperativ identificirati tragove eksplozivnih tvari u svrhu sprječavanja prijetnji. Prvo se radi prikupljanje uzorka. Uzorak zraka, površine ili predmeta prikuplja se kako bi se uhvatili tragovi eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija. Prikupljeni uzorak se ionizira, što znači da se molekule u uzorku pretvaraju u nabijene ione. Ova ionizacija omogućuje daljnju analizu. Ionizirani ioni prolaze kroz magnetsko polje koje ih razdvaja prema njihovoj masi i nabijenosti. Ioni se potom detektiraju kako bi se stvorio spektar mase. Spektar mase je graf koji prikazuje relativne mase i broj ioni koji se detektiraju. Ovaj spektar omogućuje identifikaciju specifičnih kemijskih spojeva prisutnih u uzorku. Spektar mase uspoređuje se s bazom podataka poznatih spektara mase za različite eksplozivne tvari i druge kemikalije. Ova usporedba omogućuje identifikaciju karakterističnih kemijskih spojeva. Ako analiza spektra mase ukazuje na prisutnost eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija, sustav generira alarm koji upozorava zadužene operatere [19]. Spektrometrija mase zahtijeva sofisticiranu opremu i precizne instrumente kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata. Njezina sposobnost identificiranja specifičnih masa i kemijskih spojeva omogućuje precizno otkrivanje tragova

eksplozivnih tvari. Ova tehnika često se kombinira s drugim ETD tehnikama kako bi se povećala ukupna pouzdanost i osjetljivost detekcije. Stručno obučeno osoblje ključno je za pravilno tumačenje spektara mase i učinkovitu uporabu tehnologije u zaštitnim procedurama.

Ramanova spektroskopija (slika 6.) koristi za analizu svjetlosnog raspršenja od materijala kako bi se identificirale molekulske vibracije i time utvrdila prisutnost eksplozivnih spojeva. Ramanova spektroskopija, kao bitna komponenta sustava za otkrivanje tragova eksploziva, predstavlja sofisticiranu tehnologiju koja omogućuje precizno otkrivanje minimalnih količina eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija. Ova tehnika igra ključnu ulogu u zaštitnim procedurama na mjestima kao što su zračne luke, granični prijelazi i druga mjesta gdje je važno identificirati tragove eksplozivnih tvari u svrhu sprječavanja potencijanih prijetnji. Prvi korak je prikupljanje uzorka. Uzorak zraka, površine ili predmeta prikuplja se kako bi se uhvatili tragovi eksplozivnih tvari ili drugih opasnih kemikalija. Uzorak se osvjetljava laserskom svjetlošću. Ova svjetlost integrira s molekulama u uzorku, uzrokujući Ramanovu disperziju, odnosno promjenu energije svjetla. Odražena svjetlost (Ramanov spektar) se snima i analizira. Svaki kemijski spoj ima karakterističan Ramanov spektar koji odražava vibracijske i rotacijske frekvencije molekula. Snimljeni Ramanov spektar uspoređuje se s bazama podataka poznatih Ramanovih spektara za različite eksplozivne tvari i druge kemikalije. Ova usporedba omogućuje identifikaciju prisutnih kemijskih spojeva [19]. Ako se identificiraju karakteristični Ramanovi spektri za eksplozivne tvari ili druge opasne kemikalije, sustav generira rezultate koji ukazuju na njihovu prisutnost. Ramanova spektroskopija zahtijeva precizne instrumente i osjetljive detektore kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata. Njezina sposobnost detektiranja karakterističnih spektralnih obrazaca omogućuje precizno otkrivanje tragova eksplozivnih tvari. Ova tehnika često se koristi u kombinaciji s drugim ETD tehnikama kako bi se povećala ukupna pouzdanost i osjetljivost detekcije. Stručno obučeno osoblje ključno je za pravilno tumačenje Ramanovih spektara i uspješnu primjenu tehnologije u zaštitnim procedurama.



**Slika 6. Primjer ETD sustava koji radi na principu Ramanove spektroskopije**

Izvor: [20]

Važno je napomenuti da su ETD sustavi razvijeni kako bi bili osjetljivi, brzi i precizni, ali također moraju minimizirati lažne pozitive i lažne negativne rezultate. Ovisno o konkretnoj tehnologiji, ovi sustavi mogu biti samostalni ili se koristiti u kombinaciji s drugim tehnikama kao dio sveobuhvatnog pristupa sigurnosti. ETD oprema je ključna za osiguranje putnika, prtljage i tereta na mnogim prometnim čvorištima diljem svijeta.

ETD oprema treba ispunjavati slijedeće zahtjeve: potrošni dijelovi se ne smiju koristiti dulje od proizvođačevih preporuka, ili u slučaju ako se primijeti manja djelotvornost opreme, kao i to da se oprema treba koristiti samo u okruženju koje je odobreno za uporabu. Kod pregleda prtljage koja je predana, vrši se analiza onih uzorka koji su uzeti s vanjskog dijela ili iz unutarnjeg, kao i ručnim pregledom. Kod neučinkovitog ručnog pregleda, može se koristiti ručni detektor metala u kombinaciji sa ETD [5].

ETD oprema mora funkcionirati bez neopravdanog prekida protoka putnika. Uređaji za otkrivanje eksploziva u tragovima predstavljaju značajan dio efikasne opreme za otkrivanje eksploziva. Takvi uređaji se koriste u implementaciji za trenutno rješavanje alarma predane prtljage, provjeru sumnjive ručne prtljage, i slično. Otkrivanje tragova eksploziva ne mora nužno otkriti prisutnost bombe. Alarm uređaja označava prisutnost para ili čestica eksplozivnog materijala koji se samo na temelju zaključaka mogu povezati s prisutnošću eksploziva. Iako se ovi uređaji mogu koristiti za određivanje vrste eksplozivnog materijala, oni se ne mogu i ne koriste za određivanje količine eksplozivnog materijala.

Za razliku od tehnika grupnog otkrivanja, otkrivanje tragova ne nudi prostorne ili kvantitativne informacije koje bi pomogle u donošenju odluka. Tipična tehnika uključuje termičko ubacivanje uzorka u detektor. Uzorci s niskom hlapljivošću, na primjer, nitroceluloza i crni barut, gube se u ovom trenutku – promašena detekcija ili lažno negativna detekcija. Nakon što su komponente uzorka odvojene, može se koristiti više detektora. Glavni problemi s otkrivanjem tragova su sljedeći: skupljanje pare ili čestica je neučinkovito, teško je dovesti uzorak do detektora, itd. [21].

Iako otkrivanje tragova ima svoje nedostatke, velik broj aplikacija, osim otkrivanja eksploziva, podržava njegov kontinuirani razvoj. U laboratorijskom okruženju, najosjetljiviji instrument za detekciju je detektor zarobljavanja elektrona (engl. *Electron Crushing Detector* – ECD). ECD je osjetljiv na elektronegativne vrste kao što su nitro skupine i kloridi. Ovaj detektor je obično povezan s plinskim kromatografom (engl. *Gas Chromatograph* – GC) kako bi se omogućilo odvajanje komponenata. Međutim, laboratorijski GC pokazao se prespor za zahtjeve FAA-e, tako da su prvi instrumenti za praćenje koji su postavljeni na teren bili IMS detektor koji tvrtka Thermedics prodaje kao sustav za otkrivanje eksploziva [6].

Na slici 7. prikazan je primjer opreme za otkrivanje tragova eksploziva TSA Itemiser® DX, a na slici 8. prikazan je primjer opreme za otkrivanje tragova eksploziva EXPO B220-HT.



**Slika 7. Primjer ETD sustava – TSA Itemiser® DX**

Izvor: [22]





**Slika 8. Primjer ETD sustava – EXPO B220-HT**

Izvor: [23]

#### 4. UPORABA I OBUKA TIMA SA PSOM ZA OTKRIVANJE EKSPLOZIVA U ZRAČNOM PROMETU

U posljednjih 30 godina krenula je ekspanzija uporabe pasa u privatnom sektoru koja u zadnjem desetljeću bilježi ogroman porast i upotrebu na svim razinama koji zahtijevaju zaštitu ljudi i imovine. Usporedno, sve više vojnih i policijskih institucija se okreće suradnji s privatnim sektorom.

Detekcija tragova eksploziva pomoću pasa, poznata i kao detekcija pasa tragača, predstavlja iznimno učinkovitu i prirodnu tehniku koja se koristi u sustavima za otkrivanje tragova eksploziva. Psi za otkrivanje eksploziva (engl. *Explosive Detection Dogs* – EDDs) imaju izvanredno razvijen osjet mirisa i sposobnost identifikacije specifičnih kemijskih spojeva karakterističnih za eksplozivne tvari. Ova tehnika igra ključnu ulogu u otkrivanju potencijalnih prijetnji eksplozivima na mjestima kao što su zračne luke. Posebno obučeni psi prolaze kroz temeljitu obuku kako bi naučili prepoznati specifične mirisne tragove eksplozivnih tvari. Obuka uključuje izloženost različitim eksplozivima kako bi psi razvili sposobnost identificiranja njihovih mirisnih karakteristika. Psi su obučeni da prepoznaju mirise eksplozivnih tvari čak i u minimalnim količinama. Za obuku se koriste mirisni uzorci koji sadrže tragove eksploziva, omogućavajući psima da nauče razlikovati njihove specifične mirisne profile. U okviru obuke, psi se također obučavaju s kontrolnim uzorcima koji ne sadrže eksplozive. Ovo osigurava da psi ne reagiraju na lažne mirise. Obučeni psi se koriste u zaštitnim postupcima. Psi prolaze kroz područje ili provjeravaju predmete kako bi otkrili prisutnost tragova eksplozivnih tvari. Kada pas prepozna miris eksploziva, obično pokazuje reakciju, kao što je zadržavanje ili označavanje mjesta gdje je detektirao miris [24]. Detekcija pasa tragača je iznimno precizna i brza tehnika koja omogućuje otkrivanje eksplozivnih tvari s visokom stopom uspješnosti. Pravilna obuka pasa i njihovih vodiča ključna je za osiguranje uspješne primjene ove tehnike.

Pas za otkrivanje eksploziva i njegov vodič prikazan na slici 9., mogu se koristiti za zaštitni pregled ako su obojica neovisno odobreni i/ili ako su odobreni zajedno kao tim.



**Slika 9. Tim za otkrivanje eksploziva**

Izvor: [25]

## **4.1. Psi za otkrivanje eksploziva**

### **4.1.1. Klasa A**

Belgijski ovčar je prirodno zaštitnički nastrojen, ali ne pretjerano agresivan (slika 10.). Belgijski ovčar je aktivan, poletan i voli raditi. Ovu vrstu pasa odlikuje društvenost i može ih koristiti više službenika (vodiča) [26].



**Slika 10. Belgijski ovčar**

Izvor: [27]

Njemački ovčari (slika 11.) su energični, neustrašivi i lojalni, posebno se uzgajaju za vojne i policijske poslove. Njemački ovčar tradicionalno je bio pasmina izbora zbog svoje duge povijesti razvoja radne sposobnosti [25].



**Slika 11. Njemački ovčar**

Izvor: [28]

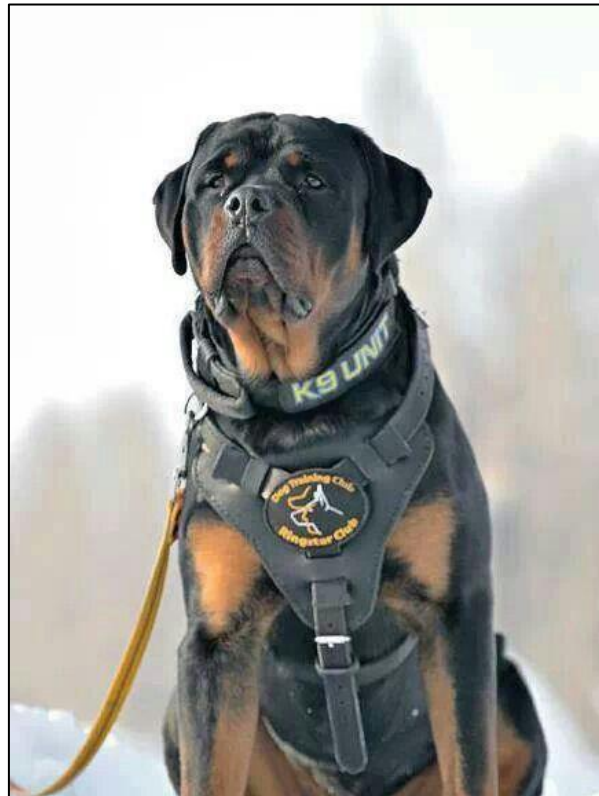
Ove dvije navedene pasmine čine većinu vojnih pasa i pasa tragača jer su dovoljno brzi i snažni da uhvate i zadrže osumnjičenika, a dresurom postaju dobri psi u otkrivanju eksploziva, droge, itd. [25].

#### **4.1.2. Klasa B**

Nizozemski ovčari su odani, vrijedni i iznimno aktivni, često ih se pogrešno smatra njemačkim ovčarima. Zahtijevaju puno fizičkog treninga i mentalnih vježbi.

Doberman pinčeri su psi kod kojih je naglašena kombinacija brzine, izdržljivosti, odanosti i inteligencije što čini ih izvrsnim psima čuvarima.

Rotvajleri (slika 12.) su pametni, teritorijalni i vrijedni, te ne vole strance. Skloni su zdravstvenim problemima zbog kojih mnogi nisu prikladni za patrolni rad [25].



**Slika 12. Rotvajler**

Izvor: [29]

#### **4.1.3. Klasa C**

Labradori (slika 13.) su moćni, inteligentni psi koji dobro rade u gužvama, kao što su zračne luke ili na javnim okupljanjima [25].



**Slika 13. Labradori**

Izvor: [30]

#### **4.2. Obuka pasa za otkrivanje eksploziva**

Psi tragači koriste se u razne svrhe. Odlično prate zadane mirise te tako lako pronalaze nestale osobe, skrivenu drogu, ljude koji su u bijegu, mrtve ljude, eksplozive i slično. Od izuzetnog su značaja prilikom rada na terenu, kao i u specifičnim situacijama. Kada nanjuše i pronađu zadani predmet, sjedne pored njega dok ne dođe policijski tim. Psi tragači izuzetno su pitomi i poslušni te, za razliku od pasa zaštitnika i čuvara, ne smiju pokazivati agresivne tendencije. Ujedno, njihova je dresura najsloženija [31].

Kako bi se navike najbolje usvojile, s dresurom je poželjno započeti dok je pas štene kao što je prikazano na slici 14., ali se policijski psi obično kupuju kada napune godinu dana, nakon što prođu sve potrebne analize. Proces dresure usmjeren je na navikavanje službenih pasa na situacije i uvjete u kojima će se naći i koji će biti potrebni za obavljanje zadataka. Službeni psi najčešće su labradori, retrieveri, ovčari, doberman i rotvajleri, a dobri dreseri mogu procijeniti hoće li im najbolje odgovarati uloga tragača, čuvara ili zaštitnika [31].

U obuku jednog psa ulož se mnogo novaca, u što ulazi nabava psa, školovanje psa i njegovog vodiča, njega psa i plaća instruktora u Centru. Centar za obuku vodiča i dresuru službenih pasa u sastavu je Policijske akademije. Samo školovanje traje od šest do devet mjeseci.



**Slika 14. Primjer obuke mladog ovčara**

Izvor: [32]

S povećanjem terorističkih aktivnosti i krijumčara droge, raste potreba da zračne luke razviju svoje sigurnosne operacije. Psi za otkrivanje često se dovode kako bi pomogli u otkrivanju ilegalnih stvari poput droge i eksploziva. Oni njuše putnike i ručnu prtljagu na zaštitnim kontrolnim točkama. Ako netko prijavi sumnjivi paket ili incident u zrakoplovu, psi njuše zrakoplov, njegove putnike i otvor za teret. Kada pas pronade miris, vodi vodiča prema izvoru, a univerzalni signal sjedenja govori vodiču da je nešto pronašao. Psi tragači ne mogu zamijeniti ljude kada je riječ o zaštiti zračne luke, ali mogu osigurati dodatnu sigurnosnu mjeru. Također je poznato da psi za otkrivanje i njihovi vodiči patroliraju zaštitnim linijama zračne luke kako bi smanjili vrijeme čekanja prilikom prolaska kroz zaštitnu provjeru, a da pritom ne moraju izuvati cipele, prazniti torbe ili slično [32].

Psi mogu brzo otkriti eksploziv bez potrebe za korištenjem bilo kakve opreme. Jedno je od najbržih i najučinkovitijih rješenja za provođenje pregleda potrebnih za zaštitu zračne luke. Izuzetan njih pasa i rigorozna obuka koja se provodi znače da pseći timovi mogu izvršiti vrlo precizne pretrage.

To je ono što psa tragača čini jednom od najpouzdanijih metoda koje postoje za otkrivanje eksploziva. U usporedbi s visokim troškovima koji nastaju prilikom kupnje opreme za otkrivanje, korištenje psećeg tima znači da se može osigurati prtljagu, teret i/ili putnike po pristupačnoj cijeni.

### 4.3. Timovi sa psom za otkrivanje eksploziva

Sve veće priznanje za pse za otkrivanje kao najsposobnije i najprilagodljivije metode za otkrivanje eksploziva u stvarnom vremenu dovelo je do porasta njihove upotrebe u sigurnosnim i vojnim operacijama širom svijeta, što opterećuje ponudu pasa sposobnih za otkrivanje eksploziva. Sigurnosni dužnosnici brojnih zemalja koji su sudjelovali na Međunarodnoj konferenciji službenih pasa 2019. Udruge za uzgoj radnih pasa, primijetili su sve manju ponudu odgovarajućih kandidata pasa za otkrivanje eksploziva iz tradicionalnih privatnih izvora. Štoviše, zadaci ove vrsta pasa sve su više specijalizirani i sofisticirani, dodatno ograničavajući dostupnost pasa s bihevioralnim, fiziološkim i strukturnim karakteristikama potrebnim za obavljanje tih zadataka [33].

Timovi pasa za otkrivanje eksploziva mogu pružiti svestranu, mobilnu sposobnost pretraživanja i otkrivanja u stvarnom vremenu koja može ponuditi značajne prednosti mnogim operacijama. Najčešće se primjenjuju kao pomoć pri pretrazi jedne ili više zgrada, područja, vozila ili masovnih isporuka, ali također imaju potencijal da budu učinkovit i djelotvoran alat za provjeru ljudi na mjestima s velikim brojem ljudi. Psi za detekciju također se mogu uvježbati za otkrivanje vatrenog oružja, kao i širokog spektra druge krijumčarene robe, poput narkotika. Kombiniranje sposobnosti, na primjer obučavanje psa za otkrivanje eksploziva i vatrenog oružja ili eksploziva i narkotika, obično treba izbjegavati osim ako je prihvatljiv zajednički operativni odgovor [33].

Sposobnost psa za detekciju proizlazi iz učinkovitog timskog rada vodiča i psa. Vodič može voditi jednog ili dva psa, ali psa ne bi trebali dijeliti dva ili više vodiča. Kako bi se osigurala učinkovita sposobnost, psi moraju biti uvježbani za otkrivanje eksploziva, uvježbani u relevantnoj disciplini pretraživanja i uvježbani u situacijama i okruženjima koja ponavljaju specifični operativni scenarij. Obuku treba provoditi redovito kako bi se održala sposobnost, uz dodatnu obuku koja se provodi prema potrebi kada se identificiraju problemi s izvedbom ili kada je potrebno uvesti nove sposobnosti. Treba voditi detaljnu evidenciju o obuci.

Psi su inteligentne životinje i to podupire njihovu sposobnost traženja. Međutim, to ih čini sposobnima da nauče nenamjerne znakove vodiča tijekom obuke, što može potkopati njihovu izvedbu u operativnom okruženju. Sposobnost i ponašanje vodiča ne mogu se podcijeniti u omogućavanju izvedbe psa. Dobar vodič, kako tijekom obuke tako i na terenu, ključan je za postizanje i održavanje dobre učinkovitosti detekcije.



O dobrobiti pasa treba voditi računa u svakom trenutku. Organizacije moraju osigurati da se sa svim psima radi u okviru njihovih mogućnosti te da se redovno odmaraju i vježbaju u prikladnom okruženju. Nažalost, ne postoji definitivni odgovor koliko dugo pas može učinkovito raditi bez pauze – svaki je pas drugačiji i različiti zadaci traženja postavljaju različite fizičke i mentalne zahtjeve psu (i vodiču). Kompetentan vodič treba poznavati svog psa i moći uočiti znakove kada je potreban odmor.

Pas za detekciju obično će „pokazati“ tako što će se zamrznuti i pogledati ono što smatra lokacijom izvora istreniranog mirisa. Važno je razumjeti da svaka takva indikacija od strane psa za otkrivanje eksploziva ne znači da prijetnja eksplozivom (materijal ili naprava) definitivno postoji; pas je možda nanjušio nešto benigno, ali slično uvježbanom mirisu, ili rezidualni miris od prethodne prisutnosti eksploziva (npr. prilikom provjere vozila koje je prethodno legalno prevozilo eksploziv) [33].

Pas također može pokazati „interes“ za određeno područje ili predmet bez naznake; to se može, na primjer, dogoditi kada pas naiđe na miris sličan, ali ne identičan mirisu dresiranog psa. Kako znakovi interesa mogu biti prilično suptilni, važno je da vodič dovoljno razumije svog psa kako bi ga pouzdano razumio.

Iako pas za detekciju nudi mnoge prednosti, kao i sve druge tehnologije i tehnike, nije savršeno; ne bi se trebao koristiti izolirano, a vještina i iskustvo operatera (vodiča u slučaju psa za detekciju) ključni su za postizanje učinkovite sposobnosti. Psi mogu ponuditi posebno korisnu tehniku otkrivanja kod pregleda neidentificiranih tereta, rasutih tereta ili velikih područja koja se ne mogu jednostavno pregledati drugim metodama.

Psi za otkrivanje eksploziva (EDDs) primarno potječu iz populacije pasa koji su selektivno uzgajani stotinama godina za lov, stočarstvo i zaštitu. Zadaci otkrivanja tvari, koji se uglavnom javljaju u kontekstu intenzivnih ljudskih aktivnosti kao što su urbani krajolici, relativno su nedavna primjena pasa za koje postoji vrlo ograničen usmjereni selektivni uzgoj. Sve više dokaza pokazuje da karakteristike ponašanja imaju veći utjecaj na uspjeh pasa za detekciju nego senzorne ili morfološke razlike.

EDD zadaci su preciznije definirani parametrima konteksta i detaljima zadataka pretraživanja. U mnogim slučajevima, karakteristike potrebne za ove različite zadatke EDD pretrage su iste, ali se mogu značajno razlikovati u potrebnom stupnju izraženosti. Tradicionalno, opći EDD (ponekad se naziva i „standardni“ EDD) je pas koji pretražuje niz područja pri vođenju vodiča, najčešće, ali ne isključivo na uzici. Takva područja uključuju

unutrašnjost i vanjštinu različitih tipova zgrada, vozila, ograničena otvorena područja (npr. park) i predmete kao što su prtljaga i roba na zračnim lukama [31].

EDD-ovi improviziranih eksplozivnih naprava koje nose osobe (engl. *Person-Borne Improvised Explosive Device* – PBIED) ispituju osobe ili njihov aerodinamički trag, kao što su specijalizirani psi tragači (engl. *Specialised Detection Dogs* – SDD) i slične varijante daljinski su vođeni psi koji primarno rade bez povodca i s dometom, ali ne isključivo za vojne primjene u otkrivanju improviziranih eksplozivnih naprava (engl. *Improvised Explosive Device* – IED). Varijante SSD-a uključuju pregled specifičnih ruta i EDD-ove nagaznih mina. Neke su specijalizacije u ovom trenutku manje poznate, ali postaju sve više definirane zadatkom pretrage koji treba obaviti, kao što je primjerice pregled tereta [31].

Specijalizacija može biti kontekstualne prirode i zahtijeva da psi pokazuju osobine koje su osobito prikladne za rad u određenim uvjetima. Neki zadaci pretraživanja također se mogu definirati potrebnom koncentracijom eksplozivnog mirisa koju treba otkriti. Na primjer, za EDD-ove u sektoru zaštite zrakoplovstva, razine tragova eksploziva su važne za otkrivanje u usporedbi sa SSD psom u borbenom području koji bi u nekim okolnostima mogao biti uvjetovan da zanemari razine eksploziva u tragovima.

## 5. OPREMA ZA DETEKCIJU TEKUĆEG EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA

Dana 9. kolovoza 2006. grupa od osam ljudi odlučila je raznijeti 10 zrakoplova koji su putovali iz Engleske u Kanadu i Sjedinjene Američke Države koristeći tekućine, aerosoli i gelove (engl. *Liquids, Aerosols, Gels* – LAGs) u ručnoj prtljazi nakon ukrcaja u zrakoplov. No, sve su ih preventivno uhitile britanske tajne agencije prije njihove akcije. Napadači su se koristili inovativnom taktikom improvizirajući lako dostupne predmete, npr. baterije za svjetiljke, bljeskalice i jednokratne kamere s amalgamom peroksidnih tekućina i drugog lako dostupnog materijala ubrizganog u boce Lucozade kako bi zapalili tekući eksploziv [34].

Ovaj je incident potresao globalno zrakoplovstvo. EU i ICAO počeli su ozbiljno razmišljati o ponovnom uspostavljanju povjerenja javnosti u zračni promet. Osmislili su empirijske smjernice za sve države članice kao protumjeru protiv ove specifične prijetnje. Nakon mnogih sastanaka stručnjaka za sigurnost, odlučeno je dopustiti određenu količinu LAG-ova od 100 ml putem prozirnih vrećica koje se mogu ponovno zatvoriti pod nazivom zaštitne zapečaćene vrećice (engl. *Security Tamper Evident Bags* – STEB). Većina tvrtki isprobala je i izumila sustave za otkrivanje tekućih eksploziva različitih kategorija i specifikacija. Ako se usredotočimo na kemiju LAG-ova, tada je jasno da su LAG-ovi organski spojevi koji imaju nisku gustoću kao karakteristike krutih eksploziva koji su također organski spojevi niske gustoće. Ista kemija LAG-a i krutih eksploziva glavni je i primarni razlog zašto se može provjeriti [34].

Budući da upotreba tekućih eksploziva ostaje značajan sigurnosni problem u zrakoplovstvu, trenutne smjernice ICAO-a trebaju se poštovati kako se osigurala zaštita zračnog prometa [35]. Uz pomoć dosadašnjih odredbi za pregled ublažuju se prijetnje koje predstavljaju tekući eksplozivi i kao takve trebale bi ostati na snazi, a moraju ih se pridržavati sve države članice. Kako bi se spriječio unos tekućih eksploziva koji se mogu nalaziti u običnim tekućinama koristi se oprema za otkrivanje tekućih eksploziva (engl. *Liquid Explosive Detection System* – LEDES) [35]. Postoje nekoliko standarda za detekciju tekućih eksploziva, a oni su prikazani u nastavku [35].

1. Tip A: uređaji za pregled pojedinačnih tekućina u kojem se tekućina mora staviti na određeni spremnik (plastična jednokratna posuda),
2. Tip B: uređaji za pregled pojedinačnih tekućina u kojem se tekućina nalazi u svojoj posudi,

3. Tip C: uređaji za pregled više pojedinačnih tekućina istovremeno, ali se tekućine moraju izvaditi iz ručne prtljage, i

4. Tip D: uređaji za pregled više tekućina istovremeno u kojem tekućine mogu ostati u ručnoj prtljazi.

Nekoliko je tvrtki osmislilo razne sustava na različitim tehnološkim osnovama, npr. Ramanova spektroskopija, prijenos X-zraka, elektromagnetsko očitavanje, širokopolasna frekvencija, infracrvena, magnetsko-induktivna i gravimetrijska analiza, itd. U tom smislu, provedena je procjena mogućih rješenja kroz niz operativnih ispitivanja u mnogim zračnim lukama, kao što su na primjer; Međunarodna zračna luka Budimpešta, Međunarodna zračna luka Alicante, Međunarodna zračna luka Amsterdam, Međunarodna zračna luka Dublin, Međunarodna zračna luka Malta. itd. [36].

Detektori tekućih eksploziva ili oprema za detekciju tekućih eksploziva (LEDS) su napredni alati za otkrivanje eksplozivnih tvari u tekućem obliku. Ovi detektori tekućih eksploziva daju točne i brze rezultate u svrhu zaštitnog pregleda.

Nekoliko je tvrtki razvijalo načine otkrivanja tekućih eksploziva u ručnoj prtljazi, posebno tekućina na bazi peroksida, unutar zatvorenih boca ili drugih spremnika. Većina koristi tehnologiju temeljenu na Ramanovoj spektroskopiji gdje se prikuplja raspršeno elektromagnetsko zračenje s objekata kako bi se odredio molekularni sastav. Proizvođači LEDS-a nastoje se usredotočiti ili na rendgenske zrake ili na valne duljine bliže spektru vidljive svjetlosti.

Postoje dvije vrste mjera zaštite za tekućine, a to su:

1. Zaštitne zapečaćene vrećice zračne luke koje je moguće dobiti samo ako je proizvod kupljen u zračnoj luci, i
2. Uređaji za otkrivanje tekućih eksploziva koji se koristi ako se sumnja da u tekućini ima tragova eksploziva.

Sukladno propisima Europske Unije, od 31. siječnja 2014. u zračnim lukama EU-a počeli su se provoditi zaštitni pregledi tekućina koje su kupljene u *duty-free* trgovinama u bilo kojoj zračnoj luci ili zrakoplovu. Uvjet je da su predmeti pakirani u zaštitne zapečaćene vrećice (STEB) koje se kupe prilikom kupnje predmeta.

Da bi tekući predmet kupljen u *duty-free* trgovinama mogao proći zaštitni pregled, predmeti moraju biti zatvoreni u STEB vrećice, te imati potvrdu o kupnji, račun, koji se mora

jasno vidjeti u vrećici. Također se na njoj mora nalaziti oznaka zračne luke ili zrakoplovnog prijevoznika od kojeg je predmet kupljen.

Tvrtka Cobalt Light Systems sa sjedištem u Ujedinjenom Kraljevstvu poznata je po proizvodnji opreme za detekciju tekućih eksploziva. U Cobaltu koriste tehniku poznatu kao prostorno pomaknuta Ramanova spektroskopija (engl. *Spatially offset Raman spectroscopy* – SORS) za prikupljanje Ramanovih potpisa odvojeno od spremnika i njegovog sadržaja. Zatim se posebni softver koristiti za oduzimanje signala spremnika od signala sadržaja dajući jedinstveni Ramanov potpis tekućine unutar boce [36].

Prethodne upotrebe Ramanove spektroskopije bile su ograničene sastavom boce. Ako je bila plastična, njegov će potpis prekriti sadržaj spremnika ili će fluorescirati ako je stakleni. Cobaltov sustav zaobilazi oba ograničenja, čineći ga vrlo moćnom tehnikom. Od tada je tehnologija napredovala, a 400 uređaja sada je postavljeno u 65 zračnih luka diljem svijeta – uključujući osam najvećih zračnih luka u Europi. Prednost Cobalt sustava je brza i jednostavna uporaba [36].

CobaltInsight200M najnoviji je sustav za otkrivanje tekućih eksploziva (LEDS) u zračnim lukama, tvrtke Agilent (slika 15.), koji provjerava sve uobičajene vrste kontejnera s najnižom stopom lažnih uzbuna od bilo kojeg LEDS sustava s ECAC certifikatom. Insight200M najnoviji je dodatak asortimanu proizvoda Insight. Manji i lakši od popularne serije Insight100 nudi poboljšanu detekciju i manju stopu lažnih alarma. Insight200M uklapa se u zaštitne protokole s najmanjim utjecajem na resurse i najvećim protokom pregleda od bilo kojeg LEDS sustava tipa B. Kada se testira korištenjem standardnog ECAC ispitnog seta, Insight200M ima do 10 puta nižu stopu lažnog alarma u odnosu na najčešće korištene proizvode drugih proizvođača.



**Slika 15. CobaltInsight200M**

Izvor: [37]

Također postoji više vrsta uređaja za otkrivanje tekućih eksploziva koji se koriste u zračnim lukama, a glavni primjeri su dani u nastavku:

1. Insight100,
2. EMA,
3. COBRA,
4. EMILI,
5. ClearScan, itd.

### **5.1. Ema-3**

Ema-3 je kompaktni uređaj namijenjen za analiziranje tekućina s ciljem detekcije eksplozivnih tvari u istima. Sadržaj boce moguće je analizirati uz pomoć senzora koji radi tako da se boca ne otvara i onda ovaj uređaj spada u tip standarda B [38]. Ako tekućinu nije moguće provjeriti (slučaj kada je tekućina u termos bocama) sadržaj se mora izliti u jednokratne plastične čaše koje služe kao uzorak i umeću se u vanjsku sondu koja služi kao senzor za otkrivanje eksploziva i kao takav spada u tip standarda A [35]. U nastavku je prikazan Ema-3 uređaj na slici 16.



**Slika 16. Ema-3**

Izvor: [39]

## 5.2. Emili 3

Emili 3 je sustav za otkrivanje tekućih eksploziva i klasificiran je od strane Europske konferencije civilnog zrakoplovstva (engl. *European Civil Aviation Conference – ECAC*). Ovaj uređaj spada u tip standarda B što znači da tekućina ostaje u svom spremniku [40].

Prednost ovog uređaja je mogućnost otkrivanja narkotika i alkohola u tekućinama. Idealan je za korištenje na zračnim lukama kroz koje mnogi putnici prolaze, zbog mogućnosti skeniranja jednog predmeta u rasponu od šest do osam sekundi, odnosno 10-12 predmeta u jednoj minuti. Također, velika je prednost mogućnost skeniranja različitih predmeta nepravilnih oblika i većih spremnika kao što su kanistri do 10 litara [40].

Emili 3 radi na principu ispuštanja radio frekvencijskih valova i infracrvenog zračenja te mjerenja same težine spremnika sa sadržajem. Zrake ovog uređaja mogu prolaziti kroz različite materijale, naprimjer: plastiku, metal i staklo. Zrake koje ispušta uređaj prolaze kroz spremnik te ovisno, o gustoći spremnika i česticama koje „plivaju“ u njemu uređaj otkriva postoji li eksploziv u tekućini. Ako eksploziv postoji oglašava se zvučni i vizualni signal [40]. U nastavku je prikazana slika 17., odnosno uređaj Emili 3.



**Slika 17. Emili 3**

Izvor: [40]



## 6. PREDNOSTI PRIMJENE SUSTAVA I UREĐAJA ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVA U ZAŠTITI ZRAČNOG PROMETA

Kako bi zadovoljile današnje stroge sigurnosne zahtjeve, zračne luke moraju biti u mogućnosti osigurati pregled svakog putnika i svakog komada prtljage na svakoj točki kroz svoje sustave.

Sustavi za detekciju eksploziva predstavljaju ključan element suvremenih zaštitnih metoda, posebno na mjestima poput zračnih luka. Sustavi EDS se široko koriste na zračnim lukama kako bi se provodile zaštitne provjere prtljage putnika i tereta. Ovi sustavi omogućuju precizno i pouzdano otkrivanje prisutnosti eksplozivnih tvari i drugih potencijalno opasnih materijala. Prednosti i primjene EDS sustava su značajne, kako za zaštitu ljudi, tako i za zaštitu javnih prostora i infrastrukture. Glavne prednosti EDS sustava su [38]:

- Osjetljivost: EDS sustavi su iznimno osjetljivi na prisutnost eksploziva, čak i u minimalnim količinama. Ovo omogućuje otkrivanje potencijalno opasnih tvari koje bi drugi detektorski sustavi mogli propustiti;
- Brzina: Većina EDS sustava radi u stvarnom vremenu, pružajući brze rezultate detekcije. To je ključno za održavanje protoka putnika i tereta na prometnim mjestima kao što su zračne luke;
- Nepropusnost: EDS sustavi otkrivaju eksplozivne tvari, neovisno o obliku, veličini ili položaju materijala. To znači da ne mogu biti prevareni s nekom metodom skrivanja.
- Točnost: Zbog visoke preciznosti rezultata, EDS sustavi minimiziraju lažne alarme i pružaju jasne informacije o prisutnosti opasnih materijala.
- Višenamjenska primjena: EDS sustavi se mogu koristiti za detekciju različitih tvari, uključujući eksplozive, droge i kemikalije. To ih čini korisnim alatom u različitim okruženjima.

Uz tehnološki napredak, sustavi EDS postaju sve sofisticiraniji i pouzdaniji. Njihova sposobnost precizne detekcije eksplozivnih tvari doprinosi zaštiti putnika, osoblja i javnosti u cjelini. Kombinacija EDS sustava s drugim tehnikama, kao što su detekcija pomoću pasa tragača, stvara sveobuhvatan pristup zaštiti od potencijalnih prijetnji.

Sustavi za otkrivanje tragova eksploziva predstavljaju važnu komponentu suvremenih zaštitnih strategija na mjestima kao što su zračne luke i povezanih drugih mjesta gdje je potrebno otkriti prisutnost eksploziva radi zaštite sigurnosti i sprečavanja potencijalnih prijetnji.

Ovi sustavi omogućuju precizno otkrivanje čestica ili tragova eksploziva na površinama, odjeći, prtljazi ili drugim predmetima. Glavne prednosti su [39]:

- Visoka osjetljivost: ETD sustavi su iznimno osjetljivi i sposobni otkriti minimalne količine tragova eksploziva. To omogućuje detekciju čak i ako je eksploziv prisutan u izuzetno niskim koncentracijama;
- Brzina i učinkovitost: Većina ETD sustava pruža brze rezultate, omogućujući brzu provjeru osoba i predmeta. To je posebno važno na prometnim mjestima gdje je potrebno održavati protok putnika;
- Prilagodljivost: ETD sustavi mogu se koristiti za detekciju različitih tipova eksploziva i drugih opasnih materijala. Ovi sustavi su prilagodljivi i mogu se konfigurirati za specifične sigurnosne potrebe;
- Nepropusnost: Detekcija tragova eksploziva ne ovisi o obliku, veličini ili položaju materijala. To znači da ovi sustavi mogu otkriti čestice eksploziva čak i ako su skrivene ili prikrivene;
- Komplementarnost s drugim tehnikama: ETD sustavi se često koriste u kombinaciji s drugim sigurnosnim tehnikama kao što su skeneri i detekcija psima tragačima kako bi se postigla veća pouzdanost i preciznost detekcije.

Detekcija eksploziva pomoću pasa, poznata i kao detekcija pasa tragača, predstavlja iznimno učinkovitu i prirodnu tehniku koja se koristi u sustavima za otkrivanje eksploziva. Psi imaju izvanredno razvijen osjet mirisa i sposobnost da identificiraju specifične kemijske spojeve karakteristične za eksplozivne tvari. Detekcija pasa tragača je iznimno precizna i brza tehnika koja omogućuje otkrivanje eksplozivnih tvari s visokom stopom uspješnosti. Psi su u stanju detektirati tragove eksploziva čak i u izuzetno niskim koncentracijama, što ih čini iznimno učinkovitim alatom u zaštitnim postupcima. Pravilna obuka pasa i njihovih vodiča ključna je za osiguranje uspješne primjene ove tehnike. Prednosti detekcije eksploziva pomoću pasa su [40]:

- Visoka osjetljivost i preciznost: Psi imaju izvanredno razvijen osjet mirisa, što im omogućuje prepoznavanje i detekciju čak minimalnih tragova eksploziva. Njihova sposobnost otkrivanja mirisnih spojeva čini ih iznimno preciznim i pouzdanim detektorima;
- Niska stopa lažnih alarma: Zahvaljujući obuci, psi su sposobni prepoznati specifične mirisne profile eksplozivnih tvari. To smanjuje vjerojatnost lažnih alarma ili reakcija na neopasne tvari;

- Brza detekcija: Psi mogu brzo proći kroz područje ili pregledati predmete, omogućujući brzu detekciju potencijalnih prijetnji. To je važno na mjestima gdje je potrebno održavati protok putnika ili prtljage poput zračnih luka;
- Prilagodljivost: Psi se mogu trenirati da prepoznaju različite vrste eksploziva i opasnih materijala. To znači da ih je moguće prilagoditi specifičnim zaštitnim potrebama.
- Prirodna metoda: Detekcija pasa tragača je prirodna i neinvazivna tehnika koja ne koristi ionizirajuće zračenje ili druge potencijalno štetne metode.

Kako bi se spriječio unos tekućih eksploziva koji se mogu nalaziti u običnim tekućinama koristi se oprema za otkrivanje tekućih eksploziva (LEDS). Oprema za otkrivanje tekućih eksploziva su napredni alati za otkrivanje eksplozivnih tvari u tekućem obliku. Ovi detektori tekućih eksploziva daju točne i brze rezultate u svrhu zaštitnog pregleda. Prednost ovih uređaja je mogućnost otkrivanja eksploziva, te također narkotika i alkohola u tekućinama. Idealan je za korištenje na zračnim lukama kroz koje mnogi putnici prolaze, zbog mogućnosti skeniranja jednog predmeta u rasponu od šest do osam sekundi, odnosno 10-12 predmeta u jednoj minuti. Također, velika je prednost mogućnost skeniranja različitih predmeta nepravilnih oblika i većih spremnika kao što su kanistri do 10 litara.

## 7. ZAKLJUČAK

S milijunima putnika i velikom tonažom tereta koji se preveze svake godine, zrakoplovna industrija je meta visokog profila, za potencijalne napade i aktivnosti nezakonitog ometanja diljem svijeta. Pokušaji napada i napadi, istaknuli su prijetnju javnoj sigurnosti u civilnom zrakoplovstvu. Mnoge nacionalne vlade preuzele su zadatak ublažavanja takvih prijetnji uvođenjem mjera o zaštitnim preventivnim pregledima putnika i robe u zračnom prometu.

Sustavi za detekciju eksploziva igraju nezamjenjivu ulogu u suvremenim zaštitnim mjerama diljem svijeta. Bez obzira na specifičnu metodu detekcije – bilo da se radi o tehnologijama poput rendgenskih skenera, IMS sustava, ili tehnici detekcije pasa tragača – svrha je ista: zaštita javnosti, osoblja i imovine od prijetnji eksplozivnim tvarima. Ovi sustavi donose niz prednosti koje se ogledaju u visokoj osjetljivosti na prisutnost eksploziva, brzini detekcije, i sposobnosti otkrivanja minimalnih tragova eksploziva. Njihova prilagodljivost omogućuje primjenu u različitim scenarijima i okruženjima. Detekcija eksploziva postala je bitan dio suvremenog društva, koje se suočava s nepredvidivim prijetnjama terorizma i ilegalnog prijenosa opasnih materijala.

Smjernice za te sustave donesene su i na međunarodnoj i na europskoj razini. Njihov sadržaj je usklađen po pitanju postupaka i uputa. Općenito, postoje dvije osnovne vrste sustava za detekciju eksploziva – sustavi za detekciju eksploziva i oprema za otkrivanje tragova eksploziva.

Ove tehnike, bez obzira na svoje razlike, dijele zajednički cilj: otkrivanje potencijalnih prijetnji prije nego što postanu ozbiljan problem. I dok tehnološki napredak neprestano doprinosi unaprjeđenju ovih sustava, ne treba zaboraviti značaj uloge ljudi – bilo da se radi o stručnjacima koji upravljaju sustavima ili vodičima pasa tragača. Sustavi za detekciju eksploziva predstavljaju temeljni stup sigurnosti u suvremenom svijetu. Njihova sposobnost za prepoznavanje prisutnosti eksploziva u svim oblicima i skrivenim mjestima doprinosi zaštiti od potencijalnih prijetnji. Kroz usklađeni rad tehnologije, obučениh stručnjaka i prirodnih sposobnosti pasa, ovi sustavi pomažu stvoriti sigurnije odvijanje zračnog prometa u cjelini.

U svijetu koji se neprestano mijenja i suočava s novim izazovima, važno je konstantno usavršavati i prilagođavati sustave za detekciju eksploziva. Tehnološki napredak donosi inovacije koje poboljšavaju osjetljivost, brzinu i pouzdanost ovih sustava. Kroz integraciju naprednih senzora, računalne analize i umjetne inteligencije, postižu se još precizniji rezultati

detekcije. Sve više organizacija i institucija prepoznaje važnost investiranja u tehnologije kako bi se osigurala zaštita od potencijalnih prijetnji. Kroz partnerstva s tehnološkim tvrtkama, istraživačkim institucijama i stručnjacima za zaštitu i sigurnost, nastoji se stvoriti okruženje koje pruža visoku razinu zaštite bez narušavanja brzine i učinkovitosti svakodnevnih aktivnosti.

Primjena sustava i opreme za detekciju eksploziva je globalnog karaktera i obuhvaća različite segmente civilnog zrakoplovstva. Kroz neprestano usavršavanje tehnologije, suradnju stručnjaka i vlasti te kontinuirano obrazovanje i osposobljavanje, ovi sustavi se nastavljaju razvijati kao jedna od ključnih komponenti zaštite civilnog zrakoplovstva.

## LITERATURA

1. ICAO. Annex 17: Aviation Security (online). Dostupno na: <https://www.icao.int/security/sfp/pages/annex17.aspx>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
2. AVSECPMC. The Aviation Security Professional Management Course (online). Dostupno na: <https://www.icao.int/security/isd/avsecpmc/Pages/default.aspx>. Datum pristupa: 21. 6. 2023.
3. Mackenzie, D. *ICAO: A history of the International Civil Aviation Organization*. Toronto: University of Toronto Press; 2018.
4. Europski parlament. Air Transport Civil Aviation Security (online). Dostupno na: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/132/air-transport-civil-aviation-security>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
5. Europska unija. Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1998 of 5 November 2015 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security. *Službeni list Europske unije*, 1998/2015.
6. Europska unija. Uredba Komisije (EU) 2015/340 od 20. veljače 2015. o utvrđivanju tehničkih zahtjeva i administrativnih postupaka koji se odnose na dozvole i certifikate kontrolora zračnog prometa u skladu s Uredbom (EZ) br. 216/2008 Europskog parlamenta i Vijeća, o izmjeni Provedbene uredbe Komisije (EU) br. 923/2012 i o stavljanju izvan snage Uredbe Komisije (EU) br. 805/2011. *Službeni list Europske unije*, 2015/340.
7. EASA. Regulations (online). Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/regulations>. Datum pristupa: 22. 8. 2023.
8. Europska unija. Uredba (EZ) br. 300/2008 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. ožujka 2008. o zajedničkim pravilima u području zaštite civilnog zračnog prometa i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 2320/2002. *Službeni list Europske unije*, 2008/300.
9. Thomas, G. T., Senesac, L. Nanosensors for trace explosive detection. *Materials Today*, 2008; 11(3), 28-36.
10. Singh, S., Singh, M. Explosives detection systems (EDS) for aviation security. *Signal Processing*, 2020; 83(1), 31-55.

11. To, K. C., Ben-Jaber, S., Parkin, I. P. Recent developments in the field of explosive trace detection. *ACS Nano*, 2020;14(9),10804-10833.
12. NUNTECH. Aviation security scanners (online). Dostupno na: <https://nuctechurope.com/markets/aviation-security-scanners>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
13. Myers, L.J., Furton, K.G. The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives. *Talanta*, 2001;54(1), 487A500.
14. Oxley, J.C., Marshall, M. *Aspects of Explosives Detection*. London: Elsevier, 2009.
15. Kemp, M. C. Explosives detection by terahertz spectroscopy – a bridge too far? *IEEE transactions on terahertz science and technology*, 2021; 1(1), 282-292.
16. Homeland Security Technology. Dostupno na: <https://www.homelandsecurity-technology.com/projects/xrd-3500-explosives-detection-system/>
17. Leidos. Dostupno na: <https://www.leidos.com/products/reveal>. Datum pristupa: 29. 8. 2023.
18. Hyper-Tech. Dostupno na: <https://www.hypertech.co.il/product/ct-explosives-detection-systems-eds/>. Datum pristupa: 29. 8. 2023.
19. To, K. C., Ben-Jaber, S., Parkin, I. P. Recent developments in the field of explosive trace detection. *ACS Nano*, 2020;14(9),10804-10833.
20. Photonsystems. Trace Explosive Detection (online). Dostupno na: <https://photonsystems.com/applications/security-cbe/trace-explosives-detectors/>. Datum pristupa: 24. 8. 2023.
21. Shiraishi, K., Sanji, T., Tanaka, M. Trace detection of explosive particulates with a phosphole oxide. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2009; 1(7), 1379-1382.
22. TSA Trace. Dostupno na: [https://www.tsatrace.com/Itemiser%C2%AE-DX-Explosive-Trace-Detector\\_p\\_72.html](https://www.tsatrace.com/Itemiser%C2%AE-DX-Explosive-Trace-Detector_p_72.html). Datum pristupa: 29. 8. 2023.
23. EXPO. Dostupno na: <https://www.internationalsecurityexpo.com/exhibitor-products/explosive-trace-detectors>. Datum pristupa: 29. 8. 2023.
24. Oxley, J. C., Waggoner, L. P. Detection of explosives by dogs. *Aspects of explosives detection*, 2009; 12(1), 27-40.
25. San Antonio's Airport. K9 Bomb Detectors Among The Best (online). Dostupno na: <https://www.expressnews.com/news/local/article/San-Antonio-airport-K9-bomb-detectors-best-17439952.php#photo-22925575>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.

26. Airports. K-9 Sniffer Dogs (online). Dostupno na: <https://www.aviation-professional.net/2020/10/k9-Sniffer-Dogs-At-Airports-many-Facts--12-Tasks.html>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
27. Malinois. Opis pasmine, prirode i kultivacije (online). Dostupno na: <https://idress-hr.techinfus.com/ovcharka/malinua/>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
28. K9. Why Do German Shepherds Make The Perfect K9 Unit? (online). Dostupno na: <https://www.alphapaw.com/blog/why-do-german-shepherds-make-the-perfect-k9-unit/>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
29. Rottweiler. Pictures (online). Dostupno na: <https://www.pinterest.com/pin/rottweiler-dog--90072061271566112/>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
30. Zooplus. Labrador (online). Dostupno na: <https://www.zooplus.hr/magazin/psi/pasmine-pasa/labrador-retriver>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
31. Klik.hr. Psi tragači (online). Dostupno na: <https://klik.hr/novo/ovako-se-dresiraju-policijski-psi>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
32. InspireMore. Puppy Training (online). Dostupno na: <https://www.inspiremore.com/23-k9-puppies-trying-to-act-tough>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
33. Waggoner, L.P., Krichbaum, S., Singletary, M., Haney, P., Rogers, B., Angle, C., Lazarowski, L. Selecting dogs for explosives detection: Behavioral characteristics. *Front Vet Sci.*, 2020; 2(7), 597-608.
34. Omar, F.Z., Farooq A.R. Threat to international aviation industry: Liquid Explosive Detection Systems and Liquid Aerosols & Gels. *Pakistan Journal of Social Sciences (PJSS)*, 2021; 41(1), 33-47.
35. Polillo, R. *SEIPT Strategy for Integrating Advanced Technology into Operation*. Washington: SEIPT, 1998.
36. Wetter, O. E., Fuhrer, M. A holistic approach for evaluating liquid explosive detection systems. *Journal of Transportation Security*, 2013; 6(4), 377-388.
37. Agilent. Security (online). Dostupno na: <https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/raman-spectroscopy/raman-aviation-security-systems/cobalt-insight200m-the-bottle>



- [screener-for-liquid-aerosols-gels#zoomELIBRARY\\_1131578](#). Datum pristupa: 20. 6. 2023.
38. Aero EXPO. CEIA EMA-3 (online). Dostupno na: <https://trends.aeroexpo.online/project-7796.html>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
39. NOVATEX. Ema-3 (online). Dostupno na: <http://www.novatex.lt/wp-content/uploads/2018/06/ema-750x500.png>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.
40. Emisens. Emili 3 (online). Dostupno na: <http://www.emisens.com/index.php/emili-3>. Datum pristupa: 20. 6. 2023.

## POPIS SLIKA

Slika 1. ICAO Aneks 17 – Zaštita .....	5
Slika 2. Primjer sustava za detekciju eksploziva.....	12
Slika 3. Primjer sustava za detekciju eksploziva – XRD 3500 .....	19
Slika 4. Primjer sustava za detekciju eksploziva – Reveal CT-80DR+.....	19
Slika 5. Primjer sustava za detekciju eksploziva – Hyper-Tech IDSS DETECT™ 1000.....	20
Slika 6. Primjer ETD sustava koji radi na principu Ramanove spektroskopije .....	25
Slika 7. Primjer ETD sustava – TSA Itemiser® DX.....	26
Slika 8. Primjer ETD sustava – EXPO B220-HT .....	27
Slika 9. Tim za otkrivanje eksploziva .....	29
Slika 10. Belgijski ovčar .....	30
Slika 11. Njemački ovčar .....	30
Slika 12. Rotvajler.....	31
Slika 13. Labrador .....	32
Slika 14. Primjer obuke mladog ovčara .....	33
Slika 15. CobaltInsight200M .....	40
Slika 16. Ema-3 .....	41
Slika 17. Emili 3.....	42

## POPIS KRATICA

ACS	<i>(Auto Clear Software)</i> Softver za automatsko potvrđivanje da predmet ne predstavlja prijetnju
CT	<i>(Computersied Tomohraphy)</i> Kompjutorska tomografija
DHS	<i>(Department of Homeland Security)</i> Ministarstvo domovinske sigurnosti SAD-a
EASA	<i>(European Union Aviation Safety Agency)</i> Europska agencija za sigurnost zračnog prometa
ECAC	<i>(European Civil Aviation Conference)</i> Europska konferencija civilnog zrakoplovstva
ECD	<i>(Electron Crushing Detector)</i> Detektor zarobljavanja elektrona
EDDs	<i>(Explosive Detection Dogs)</i> Psi za otkrivanje eksploziva
EDS	<i>(Explosive Detection System)</i> Sustavi za otkrivanje eksploziva
ETD	<i>(Explosive Trace Detector)</i> Oprema za otkrivanje tragova eksploziva
ETIAS	<i>(European Travel Information and Authorisation System)</i> Europski sustav putnih informacija i autorizacije
EU	<i>(European Union)</i> Europska unija
FAA	<i>(Federal Aviation Administration)</i> Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
GC	<i>(Gas Chromatograph)</i> Plinski kromatograf
ICAO	<i>(International Civil Aviation Organization)</i> Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
IED	<i>(Improvised Explosive Device)</i> Improvizirana eksplozivna naprava
IMS	<i>(Ion Mobility Spectrometry)</i> Spektrometrija mobilnosti iona
LAGs	<i>(Liquids, Aerosols, and Gels)</i> Tekućine, raspršivači i gelovi
LEDS	<i>(Liquid Explosive Detection System)</i> Oprema za otkrivanje tekućeg eksploziva
MS	<i>(Mass Spectrometry)</i> Spektrometrija mase
NQR	<i>(Nuclear Quadruple Resonance)</i> Nuklearna kvadrupolna rezonancija
PBIED	<i>(Person-Borne Improvised Explosive Device)</i> Improvizirana eksplozivna naprava koje unose osobe
PD	<i>(Possibility of Detection)</i> Vjerojatnost otkrivanja

PFA	<i>(Possibility of False Alarm)</i> Vjerojatnost lažnog alarma
SDDs	<i>(Specialised Detection Dogs)</i> Specijalizirani psi za detekciju
SORS	<i>(Spatially Offset Raman Spectroscopy)</i> Prostorno pomaknuta Ramanova spektroskopija
SRA	<i>(Safety Restricted Area)</i> Zaštitno ograničeno područje
STEB	<i>(Security Tamper Evident Bags)</i> Zaštitne zapečaćene vrećice
TSA	<i>(Transportation Security Administration)</i> Uprava za zaštitu u prijevozu
USAP	<i>(Universal Security Audit Program)</i> Univerzalni program nadzora zaštite

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ **Završni rad**  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Primjena sustava i opreme za detekciju eksploziva u zaštiti zračnog prometa**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 9. studenoga 2023.

Student/ica:

Helena Butković

Helena Butković

(ime i prezime, potpis)