

SERIJA „NUKLEARNA BEZBJEDNOST“, IAEA, br. 2-G (Rev. 1)

# NUKLEARNA FORENZIKA KAO PODRŠKA ISTRAGAMA

## VODIČ ZA IMPLEMENTACIJU

MEĐUNARODNA AGENCIJA ZA ATOMSKU ENERGIJU

BEČ, 2015.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
POZADINA .....	1
CILJ.....	2
DJELOKRUG .....	2
STRUKTURA.....	3
<b>2. ULOGA NUKLEARNE FORENZIKE U DRŽAVNOJ INFRASTRUKTURI NUKLEARNE BEZBJEDNOSTI .....</b>	<b>3</b>
NUKLEARNA FORENZIKA KAO PREVENTIVNA MJERA .....	4
MODEL AKCIONOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE .....	4
NUKLEARNA FORENZIKA U ODNOSU NA MEĐUNARODNE I DOMAĆE PRAVNE INSTRUMENTE .....	6
<b>3. IZRADA PLANA FORENZIČKIH ISPITIVANJA I ODGOVARAJUĆEG ANALITIČKOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE.....</b>	<b>7</b>
IZRADA ANALITIČKOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE .....	7
PODUZORKOVANJE.....	9
DISTRIBUCIJA DOKAZA.....	10
<b>4. FORENZIČKO ISPITIVANJE DOKAZA KONTAMINIRANIH RADIONUKLIDIMA.....</b>	<b>10</b>
KONTAMINIRANI DOKAZI.....	10
POSTUPANJE S DOKAZIMA KONTAMINIRANIM RADIONUKLIDIMA .....	11
<b>5. NUKLEARNO FORENZIČKA LABORATORIJSKA ANALIZA.....</b>	<b>13</b>
KARAKTERIZACIJA .....	13
IMENOVANA NUKLEARNO FORENZIČKA LABORATORIJA.....	13
ANALITIČKI ALATI.....	14
REDOSLIJED TEHNIKA I METODA.....	15
ANALIZA UZORAKA .....	15
<b>6. NUKLEARNO FORENZIČKA TUMAČENJA .....</b>	<b>18</b>
PROCESI TUMAČENJA .....	18
USPOSTAVLJANJE DRŽAVNE BIBLIOTEKE NUKLEARNE FORENZIKE.....	19
ZNAJANJE O PROCESIMA NUKLEARNOG GORIVNOG CIKLUSA I PROIZVODNJI IZVORA ZRAČENJA.....	19
DEDUKTIVNI I ITERATIVNI PROCES .....	20
<b>7. NUKLEARNO FORENZIČKI NALAZI .....</b>	<b>21</b>
POVJERENJE U NALAZE .....	22
SAOPŠTAVANJE NALAZA .....	22
NAKNADNO RAZMATRANJE .....	23
<b>8. MEĐUNARODNA SARADNJA I POMOĆ .....</b>	<b>23</b>
MEĐUNARODNA SARADNJA .....	23
NUKLEARNO FORENZIČKA POMOĆ TOKOM ISTRAGE NUKLEARNO BEZBJEDNOSNOG DOGAĐAJA .....	24
<b>9. IZGRADNJA KAPACITETA NUKLEARNE FORENZIKE.....</b>	<b>25</b>
SVIJEST.....	26
OBUKA .....	26
VJEŽBE.....	26

RAZVOJ EDUKACIJE I STRUČNOG ZNANJA.....	27
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ.....	27
<b>REFERENCE .....</b>	<b>28</b>
<b>Aneks I DISCIPLINE NAUKE O FORENZICI .....</b>	<b>31</b>
<b>Aneks II TEHNIKE KARAKTERIZACIJE.....</b>	<b>35</b>
<b>Aneks III PRIMJERI EDUKCIJE, OBUKE, VJEŽBI I ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH AKTIVNOSTI .....</b>	<b>40</b>
<b>RJEČNIK .....</b>	<b>42</b>

# 1. UVOD

## POZADINA

1.1. Nauka o forenzici, odnosno forenzika, je ispitivanje fizičkih, bioloških, bihevioralnih dokaza i pisanog dokaznog materijala u kontekstu međunarodnog ili domaćeg prava. Cilj forenzike je otkrivanje povezanosti između ljudi, mjesta, stvari i događaja. Nauka o nuklearnoj forenzici, odnosno nuklearna forenzika, je poddisciplina nauke o forenzici. Nuklearna forenzika je ispitivanje nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala ili dokaza kontaminiranih radionuklidima u kontekstu sudskih radnji u skladu sa međunarodnim ili domaćim pravom koje se odnosi na nuklearnu bezbjednost. Analizom nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala se teži utvrditi kakav je to materijal; kako, kad i gdje je napravljen, i koja mu je bila namjeravana upotreba. Nuklearno forenzičko ispitivanje mora biti obavljeno i na bezbjedan i na siguran način da se osigura zaštita stanovništva, okoliša i dokaza (referenca 1).

1.2. Polovinom 1990-tih godina je povećan broj izvještaja o nuklearnom i drugom radioaktivnom materijalu van regulatorne kontrole, čiji je obim definisan u međunarodnim osnovnim sigurnosnim standardima (referenca 1), što se smatralo indikatorom povećanja nezakonitog prometa takvog materijala. To povećanje nezakonitog prometa je u međunarodnoj zajednici shvaćeno kao znatna prijetnja bezbjednosti. Da bi istražili takve incidente nezakonitog prometa koji uključuju nuklearni i drugi radioaktivni materijal, vlasti država su tražile informacije o materijalu, načinu, vremenu i mjestu njegove proizvodnje, te njegovoj kasnijoj istoriji. Takvi upiti su doveli do nastanka nuklearne forenzike kao ključnog elementa infrastrukture nuklearne bezbjednosti (referenca 2).

1.3. S obzirom na rasprostranjenu i važnu upotrebu nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, sve države trebaju biti svjesne uloge nuklearne forenzike u podršci nuklearnoj bezbjednosti. Koristeći kapacitete koje država održava, nuklearna forenzika može pomoći u istragama nuklearno bezbjednosnih događaja, kao i u utvrđivanju i rješavanju ranjivih tačaka u državnoj infrastrukturi nuklearne bezbjednosti. Nuklearno forenzički kapaciteti su efikasni kao preventivna mjera jer podržavaju i utvrđivanje nedostataka u bezbjednosti materijala i krivično gonjenje vezano za materijal.

1.4. U znak priznanja koristi od kapaciteta nuklearne forenzike za implementaciju državne infrastrukture nuklearne bezbjednosti, IAEA je najprije objavila tehnički vodič iz ove oblasti u seriji „Nuklearna bezbjednost“, br. 2, „Nuklearno forenzička podrška“<sup>1</sup>, 2006. godine, na osnovu generalizovanog pristupa obavljanju nuklearno forenzičkih ispitivanja, a kojeg je kreirala Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku (ITWG) (referenca 3). Od objavljivanja te publikacije je bilo daljih napredaka u nuklearnoj forenzici. Nuklearno forenzička ispitivanja su uspješno primijenjena na niz prijavljenih slučajeva koji su uključivali nezakoniti promet visoko obogaćenog urana i plutonija, kao i u događajima koji su uključivali nuklearni i drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole. Tehnike slične onima korištenim u nuklearnoj forenzici su takođe korištene da se podrže nastojanja na suzbijanju terorizma i poštovanje raznih međunarodnih pravnih instrumenata, kao što su Konvencija o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala (referenca 4). U svjetlu tih dešavanja, spomenuti tehnički vodič „Nuklearno forenzička podrška“ je ažuriran kako bi činio osnovu za ovaj Vodič za implementaciju.

---

<sup>1</sup> INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Forensics Support, IAEA Nuclear Security Series No. 2, IAEA, Vienna (2006). Ovim Vodičem za implementaciju se van snage stavlja tehnički vodič iz 2006. godine.

## CILJ

1.5. Cilj ove publikacije je da se kreatorima državnih politika, nadležnim organima, agencijama za provođenje zakona i tehničkom osoblju daju smjernice o ulozi nuklearne forenzike u kontekstu vođenja istrage o nizu mogućih nuklearno bezbjednosnih događaja koji uključuju nuklearni i drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole. Njena namjera je da opiše ulogu nuklearne forenzike kao podršku istragama nuklearno bezbjednosnih događaja i da kontekst za nuklearnu forenziku u okviru državne infrastrukture nuklearne bezbjednosti. Pored toga, ova publikacija promovira međunarodnu saradnju podsticanjem država da po potrebi traže ili pruže pomoć u pogledu razvijanja kapaciteta ili tokom istrage nuklearno bezbjednosnog događaja.

## DJELOKRUG

1.6. Ova publikacija daje: opise nuklearno forenzičkih ispitivanja; ulogu nuklearne forenzike u državnoj infrastrukturi nuklearne bezbjednosti, uključujući i istrage nuklearno bezbjednosnih događaja; i mehanizme međunarodne saradnje i pomoći u oblasti nuklearne forenzike. Takođe su opisani i suštinski elementi izgradnje kapaciteta nuklearne forenzike, uključujući i svijest, edukaciju, razvoj stručnog znanja i obuku. Dalje, ova publikacija naglašava da kapaciteti nuklearne forenzike obuhvataju više od samo instrumenata ili analitičkih mjerenja. Nuklearna forenzika uključuje i sveobuhvatan plan kojeg države provode u cilju utvrđivanja porijekla i istorije nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala kao podrške istragama koje vode agencije za provođenje zakona ili vezanim za nuklearnu bezbjednost. Takve istrage mogu uključivati, ali nisu ograničene na incidente nezakonitog prometa ili druga pronalaženja nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala van regulatorne kontrole.

1.7. Ova publikacija ne daje detaljne smjernice o projektovanju, opremanju i kadrovskom popunjavanju laboratorije u kojoj se mogu obavljati nuklearno forenzička ispitivanja; niti daje detaljne smjernice o upravljanju radiološkim licem mjesta, obavljanju ili vođenju istrage nuklearno bezbjednosnog događaja ili tradicionalnim forenzičkim ispitivanjima, iako svaki od tih aspekata doprinosi uspjehu nuklearno forenzičkog ispitivanja. Tradicionalna forenzika uključuje ispitivanje fizičkih, bioloških i pisanih dokaza koje istražni organi obavljaju u tradicionalnim forenzičkim disciplinama. Primjeri tih disciplina uključuju ispitivanja:

- Otisaka prstiju;
- Genetičkih markera, kao što su nuklearna DNK i mitohondrijska DNK;
- Otisaka obuće i guma;
- Otisaka alata;
- Eksploziva, boja i drugih hemikalija;
- Metala;
- Dokaza u tragovima, kao što su vlakna, dlake i polen.

1.8. Ova publikacija podržava „Preporuke o nuklearnom i drugom radioaktivnom materijalu van regulatorne kontrole“ (referenca 5) iz serije „Nuklearna bezbjednost“, objavljene 2011. godine, a dopunjavaju je i druge publikacije IAEA-e iz serije „Nuklearna bezbjednost“:

- Suzbijanje nezakonitog prometa nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom (referenca 6);
- Nuklearna bezbjednost – preporuke o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala i nuklearnih objekata (INFCIRC/225/Revision 5) (referenca 7);
- Identifikacija radioaktivnih izvora i uređaja (referenca 8);
- Upravljanje radiološkim licem mjesta (referenca 9).

## STRUKTURA

1.9. Nakon Uvoda, Poglavlje 2 ilustruje model akcionog plana nuklearne forenzike i ističe pitanja koja sve države trebaju razmotriti pri razvijanju kapaciteta nuklearne forenzike. Poglavlje 3 objašnjava važnost izrade plana forenzičkih ispitivanja i analitičkog plana nuklearne forenzike. Poglavlje 4 predstavlja razne pristupe obavljanju forenzičkih ispitivanja dokaza kontaminiranih radionuklidima. Poglavlje 5 obrađuje zahtjeve za imenovanu nuklearno forenzičku laboratoriju i razne vrste nuklearno forenzičkih analiza. Poglavlje 6 daje pregled metoda i postupaka uključenih u tumačenje rezultata nuklearne forenzike, a Poglavlje 7 pokriva ulogu povjerenja u analitičke rezultate i njihovo saopštavanje. Poglavlje 8 opisuje međunarodnu saradnju u nuklearnoj forenzici i obzire pri traženju pomoći u nuklearnoj forenzici. Poglavlje 9 se bavi državnim aktivnostima izgradnje nuklearno forenzičkih kapaciteta koje treba poduzeti da bi se ti kapaciteti razvili i održavali. Tri aneksa pojedinačno daju detaljnije informacije o tehnikama karakterizacije materijala, o drugim disciplinama forenzike i o primjerima aktivnosti na izgradnji kapaciteta koje su raspoložive na međunarodnom nivou. Nakon aneksa slijedi Rječnik, u kojem su definicije usklađene sa drugim publikacijama IAEA-e i Ujedinjenih nacija.

## 2. ULOGA NUKLEARNE FORENZIKE U DRŽAVNOJ INFRASTRUKTURI NUKLEARNE BEZBJEDNOSTI

2.1. Nuklearni i drugi radioaktivni materijal je uobičajeno prisutan tokom cijelog nuklearnog gorivnog ciklusa, te se takođe naširoko koristi u drugim industrijama i istraživačkim, biološkim i medicinskim studijama, te u drugim tehničkim i naučnim primjenama. Odgovornost je države da implementira infrastrukturu nuklearne bezbjednosti da bi zaštitila spomenute materijale, uključujući i mjere kreirane da se nuklearno bezbjednosni događaji spriječe, otkriju i da se odgovori na njih. Kad je otkriven nuklearni i drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole, države trebaju biti pripremljene da primjereno reaguju, uključujući i primjenu nuklearne forenzike kao podršku istragama. Neki primjeri nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala su prikazani u tabeli 1.

TABELA 1: PRIMJERI VRSTA NUKLEARNOG I DRUGOG RADIOAKTIVNOG MATERIJALA

Vrsta materijala	Primjeri	
Nuklearni materijal	Pu	U-235
	U-233	U-238
Medicinski radionuklidi	C-14	I-125
	Co-57	I-131
	Ga-67	Tc-99m
	I-123	Tl-201
Industrijski radionuklidi	Am-241	Co-60
	Ba-133	Cs-137
	Cd-109	Ir-192
	Cf-252	Sr-90

2.2. Baza podataka IAEA-e o incidentima i nezakonitom prometu (ITDB)<sup>2</sup> sadrži informacije koje su države dobrovoljno prijavile u vezi sa neovlaštenim posjedovanjem, krađom ili gubitkom nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala ili drugim neovlaštenim aktivnostima koje uključuju taj materijal. Od januara 1993. do decembra 2013. godine, u ITDB su prijavljena 2.477 potvrđena incidenta. Od njih su se 424 odnosila na neovlašteno posjedovanje i prateće kriminalne aktivnosti (16 od njih sa visoko obogaćenim uranom ili plutonijem), 664 na krađu ili gubitak nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, a ukupno je 1.337 slučajeva uključivalo druge neovlaštene aktivnosti i događaje. Incident može spadati u više navedenih vrsta, npr. krađa izvora zračenja i zatim pokušaj njegove prodaje. U skladu s tim, zbir incidenata u grupama se može razlikovati od njihovog ukupnog broja. U 69 slučajeva su prijavljene informacije bile nedovoljne da se utvrdi kategorija incidenta.

2.3. Nivo izvještavanja ukazuje na to da uprkos postojanju državnih infrastruktura nuklearne bezbjednosti, i dalje ima incidenata koji uključuju nuklearni i drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole – bilo nenamjerno, npr. gubitkom, ili namjerno, kao rezultat krivičnog djela, npr. krađe. S obzirom na te informacije, postoji potreba da države razviju kapacitete za sprečavanje, otkrivanje i reagovanje na svaki događaj koji uključuje nuklearni i drugi radioaktivni materijal sa implikacijama za nuklearnu bezbjednost. Događaji kakvi su ovi se zovu nuklearno bezbjednosni događaji (referenca 5). Nuklearno forenzičko ispitivanje može biti važna komponenta odgovora na nuklearno bezbjednosni događaj.

#### NUKLEARNA FORENZIKA KAO PREVENTIVNA MJERA

2.4. Iskustva stečena iz istraga nuklearno bezbjednosnih događaja se mogu ugraditi u mjere nuklearne bezbjednosti, poboljšavajući ih, a time i pomažući u sprečavanju budućih takvih događaja. Naprimjer, rezultatima nuklearne forenzike se može utvrditi da je materijal uklonjen iz nekog objekta ili s neke lokacije koji su se prethodno smatrali bezbjednim. Mogu se utvrditi i nedostaci u sistemima obračuna materijala ili nuklearne bezbjednosti i na nivou objekta i na nivou države.

2.5. Znanje da neka država ima nuklearno forenzičke kapacitete takođe može funkcionisati i kao sredstvo odvraćanja pojedinaca ili grupa koji bi inače imali namjeru da preusmjere nuklearni ili drugi radioaktivni materijal ili nezakonito trguju njime (referenca 4). Uspjeh nuklearne forenzike kao sredstva odvraćanja će zavisi od njegove održive implementacije i demonstriranog uspjeha u podršci istragama i naknadnim sudskim radnjama koji se oslanjaju na te rezultate.

#### MODEL AKCIONOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE

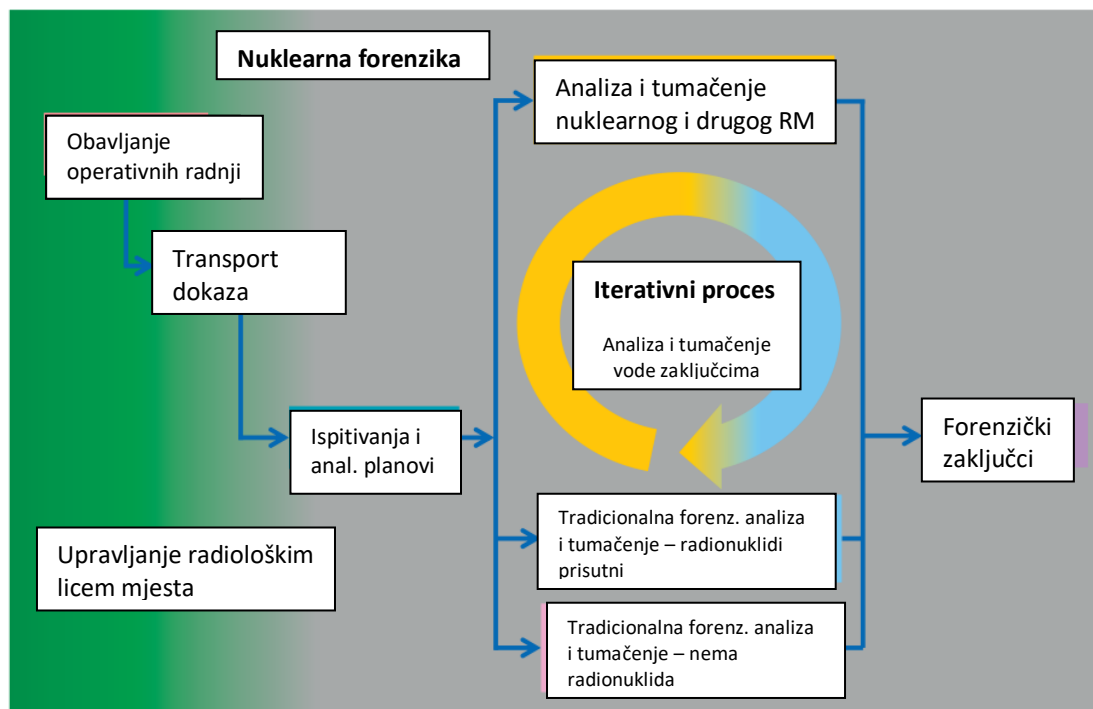
2.6. Model akcionog plana nuklearne forenzike prikazan na slici 1 daje generalizovane smjernice za obavljanje nuklearno forenzičkih ispitivanja i pratećih aktivnosti koje treba obaviti u kontekstu istrage nuklearno bezbjednosnog događaja. Plan obuhvata aktivnosti organa vlasti koje traže nuklearno forenzička ispitivanja i aktivnosti laboratorija koje se mogu pozvati da obave analize i tumačenja.

2.7. Nuklearno forenzička ispitivanja se obavljaju radi odgovora na ključna pitanja koja postavlja istražni organ i koja se mogu odnositi na namjeravanu upotrebu, istoriju i porijeklo nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala uključenog u nuklearno bezbjednosni događaj pod istragom. Na pitanja koja istražni organ postavlja će uticati priroda nuklearno bezbjednosnog događaja i sve prateće sudske radnje koje se mogu pojaviti kao posljedica istrage.

---

<sup>2</sup> Vidi: <http://www-ns.iaea.org/security/itdb.asp>

2.8. Nuklearno forenzička analiza i tumačenje mogu voditi nalazima u vezi sa materijalom povezanim sa nuklearno bezbjednosnim događajem. U kombinaciji sa drugim aspektima istrage, uključujući tradicionalne forenzičke nalaze, mogu se izvući zaključci o vezama između materijala i ljudi, mjesta i procesa proizvodnje materijala. Države trebaju shvatiti da iako nuklearno forenzički kapaciteti ne moraju biti korišteni redovno, oni mogu imati značajnu ulogu u istragama nuklearno bezbjednosnih događaja.



**Napomena:** Pozadinsko sjenčenje označava prelaz sa upravljanja radiološkim licem mjesta na nuklearnu forenziku.

*Slika 1. Model akcionog plana nuklearne forenzike: Proces kojim se podržava istraga nuklearno bezbjednosnog događaja*

2.9. Sve države trebaju imati državni plan odgovora na nuklearno bezbjednosne događaje radi davanja odgovarajućeg i koordiniranog odgovora. Pošto nuklearna forenzika može igrati ključnu ulogu u istragama nuklearno bezbjednosnih događaja, model akcionog plana nuklearne forenzike (vidi sliku 1) treba biti uključen u državni plan odgovora do mogućeg stepena.

2.10. Države se trebaju pobrinuti da su uloge i odgovornosti u nuklearnoj forenzici u odnosu na nuklearno bezbjednosne događaje jasno definisane i da postoje stručno znanje, instrumenti i procedure. Takođe trebaju postojati i priprema za sigurno i bezbjedno skladištenje zaplijenjenog nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, kao i sredstva za siguran i bezbjedan transport takvog materijala sa lica mjesta nuklearno bezbjednosnog događaja do mjesta čuvanja dokaza. Takvo mjesto može biti laboratorija osposobljena da obavi karakterizaciju prikupljenog materijala ili to može biti privremena lokacija gdje se zaplijenjeni materijal može čuvati dok ne bude transportovan u imenovanu nuklearno forenzičku laboratoriju na analizu.

2.11. Razvoj nuklearno forenzičkih kapaciteta unutar države treba početi sa utvrđivanjem postojećih kapaciteta, uključujući i već postojeće objekte i relevantno stručno znanje koji se već koriste u druge svrhe, te kreiranjem mehanizama za njihovu upotrebu u istragama. Relevantni kapaciteti mogu postojati, npr. u zavodima za zaštitu od zračenja, na univerzitetkim katedrama radiohemije ili nuklearne fizike, u



laboratorijama za monitoring okoliša, laboratorijama za kontrolu kvaliteta ili objektima nuklearnog gorivnog ciklusa, ili institucijama bezbjednosti i odbrane. Neke države mogu iskoristiti iskustvo ili infrastrukturu kreiranu da se pomogne verifikacija usklađenosti sa međunarodnim ugovorima ili pridržavanja tih ugovora, kakvi su Međunarodni ugovor o zabrani širenja nuklearnog oružja (referenca 10) i Konvencija o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala (referenca 4) i Amandman iz 2005. na Konvenciju (referenca 11) (koji još nije na snazi).

2.12. Gdje je moguće, države takođe mogu uspostaviti državnu biblioteku nuklearne forenzike pod njihovom kontrolom da bi omogućile vjerodostojnu procjenu da li se nuklearni ili drugi radioaktivni materijal otkriven van regulatorne kontrole uklapa sa materijalom koji je proizveden, uskladišten ili korišten u državi. Za dodatna razmatranja o razvoju državne biblioteke nuklearne forenzike, vidi tačke 6.7–6.9.

2.13. Međunarodna saradnja omogućava državama da traže, dobiju i daju nuklearno forenzičku pomoć u razvoju kapaciteta ili kao dio istrage nuklearno bezbjednosnog događaja. Specijalizovani analitički alati za karakterizaciju nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala mogu biti na raspolaganju u samo nekoliko laboratorija širom svijeta i mogu biti neophodni za istragu samo malog broja nuklearno bezbjednosnih događaja. Države bez svojih kapaciteta da obave punu karakterizaciju nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala ili dokaza kontaminiranih radionuklidima mogu se opredijeliti za utvrđivanje bilateralnih ili multilateralnih sporazuma ili aranžmana sa laboratorijama da bi omogućile dodatne nuklearno forenzičke kapacitete i/ili olakšale pomoć ako se pojavi potreba za tim (vidi tačke 8.7–8.10).

#### NUKLEARNA FORENZIKA U ODNOSU NA MEĐUNARODNE I DOMAĆE PRAVNE INSTRUMENTE

2.14. Odgovornost za nuklearnu bezbjednost, a time i za nuklearnu forenziku je u potpunosti na svakoj državi. Trenutno nema jedinstvenog međunarodnog pravnog instrumenta koji u potpunosti obuhvata sve aspekte infrastrukture nuklearne bezbjednosti. Pravni osnov za nuklearnu bezbjednost uključuje skup obavezujućih međunarodnih pravnih instrumenata, kao što su konvencije i međunarodni ugovori (obavezujući za potpisnice), te rezolucije Vijeća sigurnosti UN-a (obavezujuće za zemlje članice UN-a), uključujući i one u referencama 4 i 10–20, kao i priznate principe kreirane radi unapređenja sigurne i bezbjedne upotrebe nuklearne tehnologije. Ti međunarodni pravni instrumenti su obavezali države da, između ostalog, inkriminišu kršenja zakona u vezi sa preciziranim namjernim postupcima koji uključuju zloupotrebu nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala i da implementiraju mehanizme za traženje, prijem i davanje pomoći. Ti instrumenti takođe sadrže odredbe o povratu materijala u definisanim okolnostima i pod određenim uslovima. Bilateralni i multilateralni pravni instrumenti omogućavaju saradnju i razmjenu informacija i kapaciteta, te jačaju međunarodnu bezbjednost.

2.15. Nuklearna forenzika podržava implementaciju mjera propisanih:

- (a) međunarodnim pravnim okvirom za nuklearnu bezbjednost i načinom na koji taj okvir reguliše odnose među državama, posebno saradnju i pomoć kod istraga nuklearno bezbjednosnih događaja koji imaju prekogranične implikacije;
- (b) državnim pravnim okvirom za nuklearnu bezbjednost, posebno kao podrška sudskim radnjama države koje se odnose na nuklearno bezbjednosni događaj, uključujući i potencijalno krivično gonjenje.

2.16. Države se trebaju pobrinuti da sveobuhvatan pravni i regulatorni okvir bude uspostavljen i ažuriran da bi se podržali i osnažili nadležni organi. Odgovornosti koje treba definisati i ispuniti uključuju regulativu, carinu, zaštitu granice, transport

materijala, policijske poslove i provođenje zakona te krivično gonjenje i sudsko odlučivanje o mogućim kršenjima zakona koji uključuju nuklearni i drugi radioaktivni materijal.

### **3. IZRADA PLANA FORENZIČKIH ISPITIVANJA I ODGOVARAJUĆEG ANALITIČKOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE**

3.1. U svrhe istrage nuklearno bezbjednosnog događaja, nakon što se obavi preliminarni uviđaj na licu mjesta, uključujući i kategorizaciju nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, istražni organ treba pripremiti plan forenzičkih ispitivanja u konsultacijama sa relevantnim forenzičkim laboratorijama, uključujući i takve imenovane laboratorije. Kategorizacija se obavlja radi utvrđivanja implikacija za nuklearnu bezbjednost i rizika zaplijenjenog materijala za pripadnike službi prvog odgovora, policije i stanovništvo. U planu forenzičkih ispitivanja treba opisati zahtjeve za ispitivanja koja će se obaviti kao podrška potencijalnom krivičnom gonjenju. Pored toga, u izradi plana forenzičkih ispitivanja treba razmotriti eventualne zahtjeve za čuvanje uzoraka koje može zatražiti sud ako se rezultati istrage koriste u sudskim postupcima.

3.2. Jedan od izazova pri obavljanju forenzičkih ispitivanja je utvrđivanje redoslijeda obavljanja tih ispitivanja. Redoslijedom ispitivanja obavljenim i u tradicionalnim forenzičkim disciplinama i u nuklearnoj forenzici treba osigurati pribavljanje ključnih informacija bez nepotrebnog kašnjenja i da su količina i kvalitet podataka dobijenih iz svakog uzorka u skladu sa zahtjevima vodećeg istražnog organa. Prisustvo radionuklida povećava taj izazov pošto ono može ograničiti vrste ispitivanja koja se mogu poduzeti i lokacije gdje se ispitivanja mogu obaviti. Redoslijed ispitivanja treba biti opisan u planu forenzičkih ispitivanja.

3.3. U planu forenzičkih ispitivanja treba razmotriti potrebe istrage, percipiranu vrijednost očekivanih rezultata za istragu, poznate ili pretpostavljene gubitke suštinskih karakteristika tokom vremena ako ispitivanja kasne, te državne procedure za obavljanje ispitivanja u tradicionalnim forenzičkim disciplinama i nuklearnoj forenzici. Generalno, prioritet treba dati onim ispitivanjima čiji rezultati omogućavaju konkretnu identifikaciju pojedinca (npr. DNK analiza ili ispitivanje otisaka prstiju) u odnosu na one kod kojih će rezultati vjerovatno utvrditi samo grupu ili klasu (npr. otisci obuće ili guma ili prisustvo određene vrste eksploziva). Međutim, prisustvo drugih informacija iz istrage ili obavještajnih informacija možda može povećati vrijednost rezultata karakterističnih za klasu, posebno kada je sužavanje obima mogućnosti od ključne važnosti za fokus istrage.

3.4. Kao podrška planu forenzičkih ispitivanja, svaka od uključenih forenzičkih laboratorija treba pripremiti analitički plan u konsultacijama sa vodećim istražnim organom. Konsultacije su važne radi osiguranja da se ne previde ključni zahtjevi plana forenzičkih ispitivanja u pripremi analitičkih planova svake forenzičke laboratorije.

#### **IZRADA ANALITIČKOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE**

3.5. Analitički plan nuklearne forenzike treba biti sačinjen da se konkretno opišu vrste analiza koje će se obaviti da bi se ispunili zahtjevi istrage, te redoslijed analiza koje se odnose na nuklearni i drugi radioaktivni materijal ili dokaze kontaminirane radionuklidima. Suštinski element tog plana uključuje karakterizaciju. Karakterizacija se obavlja radi utvrđivanja prirode radioaktivnog materijala i pratećih dokaza (za analitičke alate i laboratorijske metode i tehnike relevantne za karakterizaciju, vidi tačke 5.7–5.10, odnosno 5.13–5.21). Analitički plan nuklearne forenzike treba biti pripremljen od strane imenovane nuklearno forenzičke laboratorije (jedne ili više njih), sa ulaznim informacijama od istražnog organa i u konačnici u saglasnosti s njim, tako da plan ispunjava potrebe i plana forenzičkih ispitivanja i istrage. Analitički plan treba biti

fleksibilan i prilagodljiv tako da se mogu revidirati zahtjevi za forenzička ispitivanja onako kako se istragom pribavljaju nove informacije. Analitički plan nuklearne forenzike se može modifikovati po potrebi uz odgovarajuće konsultacije i dokumentovanje.

### Vrste uzoraka i analiza

3.6. Pri izradi analitičkog plana nuklearne forenzike treba razmotriti vrste uzoraka i analiza koje su potrebne da se odgovori na pitanja postavljena od strane istražnog organa. U tabeli 2 su dati neki primjeri vrsta uzoraka koji se mogu prikupiti tokom istrage nuklearno bezbjednosnog događaja, njihova potencijalna forenzička vrijednost i zahtjevi za ispitivanje takvih uzoraka. Zbog raznolikosti vrsta uzoraka i specifičnih zahtjeva za njih, možda neće biti moguće analizirati sve uzorke na istoj fizičkoj lokaciji (npr. u dijelu nekog objekta ili laboratoriji), što treba uzeti u obzir pri izradi analitičkog plana. Naprimjer, ako je neophodna analiza radionuklida u tragovima, ta mjerenja neće biti obavljena sa istom ispitnom opremom sa kojom se radi analiza velikih uzoraka nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala niti blizu te opreme.

**TABELA 2: VRSTE UZORAKA KOJI BI MOGLI BITI OSNOVA ANALITIČKOG PLANA NUKLEARNE FORENZIKE**

<b>Vrsta uzorka</b>	<b>Potencijalna forenzička vrijednost</b>	<b>Zahtjevi za ispitivanje</b>
Veliki uzorci nuklearnog i radioaktivnog materijala	<p>Utvrđiti neovlašteno posjedovanje</p> <p>Utvrđiti moguće porijeklo materijala</p> <p>Utvrđiti istoriju prerade materijala</p> <p>Povezati sa slučajevima u kojima je otkriven isti materijal</p>	<p>Kapaciteti i infrastruktura za postupanje s velikim količinama nuklearnog i radioaktivnog materijala i njegovu karakterizaciju</p> <p>Stručno znanje o tehnologiji nuklearnog gorivnog ciklusa u cilju tumačenja rezultata</p>
Predmeti kontaminirani radionuklidima	<p>Utvrđiti mjesta gdje se nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom rukovalo ili gdje je prerađivan</p> <p>Identifikovati dodatni nuklearni ili drugi radioaktivni materijal s kojim se možda ranije rukovalo na lokaciji gdje su nađene velike količine materijala</p> <p>Povezati uključene ili osumnjičene osobe sa materijalom</p>	<p>Iskustvo sa analizom tragova nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala i razumijevanje potencijalnih ograničenja takvih uzoraka i rezultata (npr. uticaj faktora okoliša)</p> <p>Sposobnost izolovanja i analize malih uzoraka</p> <p>Stručno znanje o tradicionalnoj forenzičkoj analizi i tumačenju</p>
Biološki uzorci (odnosno urin, krv, dlake i tkivo)	Identifikovati pojedince koji su rukovali nuklearnim ili drugim radioaktivnim materijalom	Iskustvo sa biološkim analizama ili dozimetrijom krvi

	<p>Identifikovati pojedince koji su dobili vanjsku dozu zračenja</p> <p>Povezati pojedince sa događajima koji uključuju nuklearni ili drugi radioaktivni materijal</p>	<p>Stručno znanje iz zaštite od zračenja ili radiobiologije u cilju tumačenja rezultata</p>
<p>Uzorci iz okoliša ili geološki uzorci povezani sa nuklearnim ili drugim radioaktivnim materijalom</p>	<p>Utvrđiti moguće puteve krijumčarenja ili puteve kojima je nuklearni ili drugi radioaktivni materijal transportovan</p>	<p>Stručno znanje o analizi okoliša (odnosno, minerala, prašine i polena) i tumačenje geoloških i geohemijskih podataka</p>

### Laboratorijski obziri

3.7. Laboratorija koja obavlja nuklearno forenzičku analizu treba raditi u skladu sa planom osiguranja kvaliteta, što uključuje lanac čuvanja uzoraka, validirane analitičke postupke, zaposlene sa dokazanim kompetencijama, dokumentovane procedure, standardizovane obrasce za izvještavanje i upravljanje evidencijama. Procedure za nuklearno forenzičke analize trebaju uključivati i odredbe o kontroli kontaminacije ili unakrsne kontaminacije koje se eksplicitno odnose na kontaminaciju radionuklidima. Pri izradi analitičkog plana nuklearne forenzike, laboratorija treba utvrditi procedure koje će se poštovati i količinu materijala potrebnog za svaku analizu, zajedno sa svim predviđenim odstupanjima od dokumentovanih procedura. Analitički plan nuklearne forenzike takođe treba obuhvatiti sve neophodne veze sa tradicionalnim forenzičkim analizama, npr. da li će nuklearno forenzička laboratorija pomoći u prikupljanju tradicionalnih dokaza ili u uklanjanju radioaktivne kontaminacije sa materijala prije ispitivanja koje će obaviti tradicionalna forenzička laboratorija (vidi Poglavlje 4). Dalje, dokazna vrijednost nuklearno forenzičkih nalaza, čak i kad je zasnovana na analizama koje se pridržavaju relevantnih protokola i standarda, može biti znatno ugrožena odstupanjem od parametara i neophodnih ispitivanja navedenih u planu forenzičkih ispitivanja. Zbog toga stručnjaci iz agencija za provođenje zakona trebaju nedvosmisleno reći koji su metodi i standardi prihvatljivi za naknadnu upotrebu na sudu, kao i koje su potencijalne implikacije odstupanja od analitičkog plana nuklearne forenzike.

### PODUZORKOVANJE

3.8. Kod velikih uzoraka nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, cijeli uzorak može biti veći nego veličina uzorka precizirana u analitičkom planu. Takođe, mogu postojati regulatorna ili tehnička ograničenja o masi ili aktivnosti koja se može primiti u laboratoriju i analizirati. Zbog toga može biti neophodno da se materijal podijeli na manje dijelove – postupak nazvan poduzorkovanje – prije slanja u analitičku laboratoriju. S obzirom na potencijalnu heterogenost uzorka, treba poštovati posebne protokole za poduzorkovanje kako bi se osiguralo da su poduzorci zaista reprezentativni za veliki materijal. Sva ograničenja ovih metoda trebaju biti opisana u analitičkom planu.

3.9. Za reprezentativno uzorkovanje treba koristiti tehnike koje na minimum svode mogućnost zavaravajućih rezultata zbog heterogenosti dokaza. U ekstremnim slučajevima, potreba za reprezentativnim uzorcima može zahtijevati analizu individualnih čestica; više je uobičajeno da je dovoljna analiza velikog uzorka. Kad je količina raspoloživog materijala ograničena, poduzorkovanje možda neće biti neophodno ili će se pokazati teškim. Međutim, u takvim slučajevima se u analitičkom planu nuklearne forenzike treba napraviti prioritet raspodjele materijala za analize. Kad je materijal ograničen, važno je da se obave sve analize bez razaranja prije bilo kakvih analiza koje

će potrošiti ili možda izmijeniti karakteristike uzorka. Pored toga, kod malih uzoraka, tehnike za ispitivanje tragova i mikroanalitičke tehnike bi mogle biti više odgovarajuće nego tehnike optimizirane za velike količine materijala. Poduzorkovanje ima potencijal da uvede kontaminaciju ili ugrozi dokaze, pa treba poduzeti odgovarajuće mjere opreza.

#### DISTRIBUCIJA DOKAZA

3.10. Kada plan forenzičkih ispitivanja i analitički plan nuklearne forenzike budu utvrđeni i kad je obavljeno svako potrebno poduzorkovanje, dokazi trebaju biti poslani u laboratorije koje obavljaju analize.

3.11. Forenzičke uzorke treba transportovati u laboratorije korištenjem metoda kojima se održava lanac čuvanja dokaza (npr. upotrebom zaptivanja ili etiketa). Da bi se na minimum smanjio rizik nenamjeranih promjena na dokazima tokom transporta, treba uzeti u obzir i možda riješiti moguće efekte uslova transporta (odnosno, temperaturu, vlažnost ili vibriranje). Treba pažljivo planirati transport nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, a na raspolaganju trebaju biti osobe sa stručnim znanjem o transportu opasnog materijala, posebno radioaktivnog materijala. Pored toga, pouzdanom i održavanom komunikacijom između pošiljaoca i primaoca se treba osigurati poštovanje neophodnih procedura za isporuku nuklearnih ili drugih radioaktivnih uzoraka u laboratoriju.

### **4. FORENZIČKO ISPITIVANJE DOKAZA KONTAMINIRANIH RADIONUKLIDIMA**

4.1. Ispitivanje materijalnih dokaza i pisanog dokaznog materijala obavljeno u tradicionalnim forenzičkim disciplinama je rutinski element istrage koju obavljaju istražni organi. Primjeri takvih disciplina uključuju proučavanje otisaka prstiju, genetičkih markera (odnosno nuklearne DNK i mitohondrijske DNK), otisaka obuće i guma, otisaka alata, rezidua eksploziva, balistike, boja i drugih hemikalija, metalnih karakteristika, dokumenata i dokaza u tragovima (odnosno vlakna, dlake i polen) i forenzičku medicinu. Dodatne informacije o tim disciplinama su date u Aneksu I.

4.2. Obavljanje ispitivanja u tradicionalnim forenzičkim disciplinama i nuklearno forenzičkim ispitivanjima se treba međusobno dopunjavati. Oboje daje rezultate koji možda mogu pomoći u utvrđivanju da li postoje veze između ljudi, mjesta, događaja i proizvodnih procesa, i da li su te veze indikator mjesta gubitka regulatorne kontrole. Ti rezultati se mogu pokazati posebno korisnim kada pokažu te veze ili omogućće da određeni nuklearni i drugi radioaktivni materijal bude isključen iz daljeg razmatranja. Potencijal da radioaktivni materijal bude prisutan kao kontaminant na materijalnim dokazima ili u njima predstavlja poseban izazov za ispitivanja obavljana u tradicionalnim forenzičkim disciplinama.

#### KONTAMINIRANI DOKAZI

4.3. Svi dokazi koji su povezani sa nuklearno bezbjednosnim događajem trebaju biti ispitani da se utvrdi jesu li kontaminirani radionuklidima. Dokazi za koje se utvrdi da nisu se mogu direktno podnijeti na forenzička ispitivanja kad to dozvoli nadležni organ, pošto nema radiološke opasnosti za osobe koje rukuju dokazima.

4.4. Posebni obziri važe kad se zna ili sumnja da su dokazi kontaminirani radionuklidima. Termin „kontaminirani dokazi“ ima drugačiju konotaciju za forenzičara i za nuklearnog forenzičara, tako da taj termin zaslučuje diskusiju.

4.5. U opštoj forenzičkoj upotrebi, kontaminirani dokazi rezultiraju iz direktnog ili indirektnog prenosa vanjskog materijala na forenzički uzorak ili na lice mjesta. To se

takođe može nazvati „unakrsna kontaminacija“ (*cross-contamination*). Dokazi koji su kontaminirani materijalom spolja, a time i ugroženi, imaju ograničenu vrijednost za svrhe istrage i treba ih pažljivo procijeniti.

4.6. U nuklearnoj forenzici, termin „kontaminirani dokazi“ se može odnositi na prisustvo radionuklida na materijalnim dokazima ili unutar njih. To je i namjeravano značenje u ovoj publikaciji, pa se termin „dokazi kontaminirani radionuklidima“ koristi da se to značenje pojasni. Kontaminacija dokaza radionuklidima može uticati na način i blagovremenost ispitivanja dokaza. Unakrsna kontaminacija radionuklidima može izmijeniti potpis (*signature*) radionuklida koji je cilj forenzičkog ispitivanja. Zbog toga, u kontekstu nuklearne forenzike, ispitivanje dokaza kontaminiranih radionuklidima podliježe posebnom planiranju i procedurama.

#### POSTUPANJE S DOKAZIMA KONTAMINIRANIM RADIONUKLIDIMA

4.7. Prilikom ispitivanja korištenjem tradicionalnih forenzičkih disciplina o dokazima kontaminiranim radionuklidima, moguća su dva pristupa. Prvi uključuje odstranjivanje ili izdvajanje radionuklida iz dokaza prije obavljanja bilo kakvog ispitivanja. To se često naziva „dekontaminacija dokaza“. Drugim pristupom se dokazi ispituju direktno dok su još kontaminirani radionuklidima. Oba pristupa mogu zahtijevati učešće mnogih raznih agencija, posebno onih van grupe agencija za provođenje zakona. Iz tog razloga može postojati potreba za obimnim konsultacijama između relevantnih eksperata u cilju izrade plana forenzičkih ispitivanja, a prije postupaka s dokazima kontaminiranih radionuklidima. Svaki pristup nudi određene koristi i trpi određene nedostatke, što treba procijeniti tokom istrage i što je opisano u tačkama 8–4.13.

#### **Dekontaminacija dokaza kontaminiranih radionuklidima**

4.8. Radionuklidi se mogu odstraniti sa dokaza fizičkim ili hemijskim procesima kao dijelom faze dekontaminacije. Postoje razne tehnike u ove svrhe, a između ostalih faktora, odabir optimalne zavisi od oblika dokaza, oblika prisutnih radionuklida, vrste ispitivanja koje će se obaviti i praksi koje diktiraju domaći i lokalni obziri. Dekontaminacija dokaza prije obavljanja ispitivanja u tradicionalnim forenzičkim disciplinama nudi nekoliko prednosti:

- (a) Dekontaminacija dokaza može kasnije dozvoliti bliži kontakt osobe koja vrši ispitivanje i dokaza pošto je potencijal za ekspoziciju zračenju sveden na minimum.
- (b) Ispitivanje dekontaminiranih dokaza se može obaviti na način sličan dokazima koji nisu kontaminirani radionuklidima, što eliminiše potrebu da se obučavaju i, po potrebi, certifikuju osobe koje se bave tehnikama postupanja sa radionuklidima.
- (c) Otpada potreba za specijalizovanom infrastrukturom da se podrži obavljanje ispitivanja.

4.9. Međutim, postoje neke mane povezane sa dekontaminacijom dokaza prije obavljanja ispitivanja u tradicionalnim forenzičkim disciplinama, uključujući:

- (a) Radionuklidi kojima su dokazi kontaminirani mogu sami biti dokazi.
- (b) Vrijeme i stručni resursi koji su obično potrebni da se radionuklidi odstrane mogu biti znatni.
- (c) Dokazi mogu biti izmijenjeni na određeni način tako da mogu učiniti nalaze netačnim ili degradirati karakteristiku koja je predmet ispitivanja.

- (d) Potpuno odstranjivanje radionuklida često neće biti ostvarivo, a nepotpuno bi moglo voditi radijacijskim efektima na dokaze i/ili nenamjernoj ekspoziciji osobe koja ih ispituje ako se ne utvrdi da je odstranjivanje bilo nepotpuno. Striktno pridržavanje radnih procedura za verifikaciju dekontaminacije dokaza ublažava potencijal nenamjeranih efekata.
- (e) Otpad koji nastaje odstranjivanjem radionuklida će se vjerovatno morati zbrinuti bez štete za okoliš.

4.10. Istraživanje efekata raznih tehnika dekontaminacije na individualna fizička ispitivanja je već urađeno (referenca 21). U tom radu se ističu neki zaključci u smislu toga kada je odgovarajuće pokušati dekontaminaciju određenih vrsta dokaza. Ti zaključci i dalja istraživanja trebaju biti korišteni da se sačine protokoli za postupanje sa dokazima kontaminiranim radionuklidima. Te protokole treba razmotriti unaprijed, prije obavljanja ispitivanja vezanih za istragu nuklearno bezbjednosnog događaja.

### **Ispitivanje dokaza kontaminiranih radionuklidima**

4.11. Ispitivanje dokaza kontaminiranih radionuklidima se može obaviti bez dekontaminacije. Taj pristup ima nekoliko prednosti, uključujući:

- (a) Smanjuje na minimum mogući gubitak ili degradaciju karakteristika važnih za ispitivanje koje bi inače možda prouzrokovao postupak korišten za dekontaminaciju dokaza;
- (b) Ekspeditivnost ispitivanja, koje može početi odmah nakon prijema dokaza (uz pretpostavku raspoloživosti kvalifikovanih zaposlenih, odgovarajuće opreme i instrumenata i pisanog analitičkog plana).

4.12. Međutim, direktno ispitivanje fizičkih dokaza kontaminiranih radionuklidima nosi i određene mane, uključujući:

- (a) ekspoziciju osoblja zračenju, koja se može smanjiti odgovarajućim mjerama radijacijske sigurnosti koje u obzir uzimaju međunarodne sigurnosne standarde (referenca 1), ali nije vjerovatno da će biti potpuno eliminisana;
- (b) potrebu za specijalizovanim prostorijama i zaposlenima obučenim da obavljaju ispitivanja tradicionalnim forenzičkim disciplinama na dokazima kontaminiranim radionuklidima, uključujući i namjensku opremu i instrumente u tim prostorijama;
- (c) potrebu za validacijom primjene tradicionalnih forenzičkih tehnika na dokaze kontaminirane radionuklidima u objektima koji nisu tipični za forenzička ispitivanja;
- (d) Potencijal za dužu ekspoziciju zračenju koja bi degradirala ili na drugi način uticala na forenzički kvalitet dokaza. Pokrenuto je istraživanje radi utvrđivanja da li takva ekspozicija ima ikakvih efekata i, ako ih ima, da li se ti efekti mogu ublažiti (referenca 22). To treba uraditi prije istrage.

### **Utvrđivanje odgovarajućeg pristupa dekontaminaciji**

4.13. U planu forenzičkih ispitivanja treba biti obuhvaćena odluka da li pokušati sa dekontaminacijom dokaza ili obaviti ispitivanje na njima dok su još kontaminirani radionuklidima, a ta odluka će zavisiti od faktora kao što su:

- (a) priroda dokaza, vrsta kontaminanta i ispitivanja koja treba obaviti;

- (b) raspoloživost relevantnih resursa za obavljanje ispitivanja;
- (c) informacije pribavljene dotad kroz istražne ili obavještajne metode i iz pratećih dotad obavljenih ispitivanja;
- (d) Domaće politike i procedure za odgovor na nuklearno bezbjednosne događaje.

## **5. NUKLEARNO FORENZIČKA LABORATORIJSKA ANALIZA**

5.1. Na osnovu kategorizacije materijala i zahtjeva plana forenzičkih ispitivanja, može biti neophodna karakterizacija nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala. Ta karakterizacija se treba odvijati u imenovanoj nuklearno forenzičkoj laboratoriji. Prije započinjanja analiza, laboratorija treba napraviti analitički plan nuklearne forenzike, sa kojim će se složiti istražni organ, što je obrađeno u Poglavlju 3.

### **KARAKTERIZACIJA**

5.2. Cilj karakterizacije je utvrđivanje fizičkih karakteristika, hemijskog sastava i elementarnog sastava, te omjera izotopa nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, što se postiže kroz niz relevantnih analiza i može uključivati utvrđivanje važnijih i manje važnih sastavnih dijelova i dijelova u tragovima, po potrebi. Karakterizacija obično ne uključuje analizu korištenjem tradicionalnih forenzičkih disciplina niti korake u tumačenju, kao što je izrada modela za procese u nuklearnim reaktorima koji su moguće povezani sa porijeklom materijala ili utvrđivanje mogućeg porijekla. Kao takva, karakterizacija će uzeti manje vremena nego puno tumačenje.

### **IMENOVANA NUKLEARNO FORENZIČKA LABORATORIJA**

5.3. Imenovane nuklearno forenzičke laboratorije su laboratorije koje je utvrdila država kao one s kapacitetom da prime i analiziraju uzorke nuklearnog i/ili drugog radioaktivnog materijala u svrhu pomoći nuklearno forenzičkim ispitivanjima. Kriteriji i proces donošenja odluka za utvrđivanje, a zatim i imenovanje nuklearno forenzičke laboratorije su odgovornost svake države. Kad istražni organ utvrdi da je neophodno određeno nuklearno forenzičko ispitivanje, dokazi trebaju biti poslani u laboratoriju koja je utvrđena i imenovana kao pripremljena i opremljena da prima uzorke (nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, dokaze kontaminirane radionuklidima ili njihovu kombinaciju) i da ih analizira korištenjem neophodnom kombinacijom analitičkih tehnika. Komunikacija između istražnog organa i laboratorije treba započeti što je ranije moguće nakon odgovora na nuklearno bezbjednosni događaj, tako da se mogu saopštiti laboratorijski zahtjevi i kapaciteti, a planiranje i priprema za prijem uzoraka i analizu mogu biti urađeni kroz izradu plana forenzičkih ispitivanja i analitičkog plana nuklearne forenzike. Pri prevozu dokaza i njihovom prijemu u nuklearno forenzičku laboratoriju treba obratiti dužnu pažnju na postupanje sa dokazima, uključujući i to da postoje odgovarajući mehanizmi lanca čuvanja dokaza (vidi tačku 3.11).

5.4. Obim kapaciteta koji su raspoloživi u imenovanim nuklearno forenzičkim laboratorijama vjerovatno varira od države do države. Neke države možda nemaju vlastitu imenovanu nuklearno forenzičku laboratoriju i osloniće se na bilateralnu ili multilateralnu pomoć u cilju karakterizacije materijala. Druge države su možda uspostavile imenovane laboratorije za obavljanje nekih aspekata karakterizacije ili za neke vrste materijala, sa utvrđenim planovima za traženje pomoći u specijalizovanim tehnikama. Samo nekoliko država širom svijeta ima laboratorije koje posjeduju puni obim nuklearno forenzičkih analitičkih alata i tehnika koje bi možda mogle biti potrebne. Svaka država treba imati detaljno razumijevanje svojih vlastitih kapaciteta i pobrinuti se da je pripremljena za svaku mogućnost, uključujući i to da ima pripremljene aranžmane



za traženje, dobijanje ili davanje pomoći (po potrebi) radi obavljanja nuklearno forenzičkih analiza kao podrške istragama nuklearno bezbjednosnih događaja.

5.5. Država treba osigurati da je svaka imenovana nuklearno forenzička laboratorija osposobljena za obavljanje nuklearno forenzičkih ispitivanja i da ima validirane analitičke metode, zaposlene sa dokazanim kompetencijama i dokumentovane procedure. Akreditacija laboratorije prema nekom međunarodno priznatom standardu kvaliteta je od koristi (npr. ISO 9001:2008 (referenca 23), ISO14001:2004 (referenca 24), ISO/IEC 17025:2005 (referenca 25), OHSAS 18001:2007 (referenca 26)). Pored toga, imenovana nuklearno forenzička laboratorija treba imati neophodna ovlaštenja za prijem nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala i, ako je moguće, i mogućnost rukovanja velikim količinama materijala (u smislu mase i aktivnosti) po potrebi, uz mogućnost da analizira sastavne dijelove u tragovima. Imenovane nuklearno forenzičke laboratorije mogu posjedovati kabinet za biološku sigurnost klase III ili, za slučajeve u kojima se očekuju visoko aktivni radioaktivni uzorci, „vruće ćelije“ (*hot cells*). Imenovana nuklearno forenzička laboratorija takođe treba imati odgovarajuće laboratorijske prostorije i procedure rada u cilju smanjenja na minimum rizika od unakrsne međusobne kontaminacije uzoraka.

5.6. Imenovana nuklearno forenzička laboratorija treba primjenjivati odgovarajuće mjere fizičke zaštite i, po potrebi, procedure za obračun i kontrolu nuklearnog materijala. Laboratorija takođe treba biti potpuno usklađena sa zahtjevima za objekte za skladištenje radioaktivnog materijala i postupanje s njim (referenca 1) i, po potrebi, odgovarajuće zahtjeve za skladištenje opasnog materijala i postupanje s njim. Laboratorija treba imati odgovarajuće mjere bezbjednosti da bi osigurala integritet lanca čuvanja dokaza i zaštitila povjerljive informacije povezane sa nuklearno forenzičkim ispitivanjima.

#### ANALITIČKI ALATI

5.7. Nuklearni forenzičar ima širok raspon alata za mjerenje svojstava nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala. Aneks II daje opise mnoge od analitičkih tehnika korištenih za karakterizaciju. Ti pojedini alati i tehnike spadaju u tri široke kategorije: snimanje, analiza velikih uzoraka i mikronaliza.

5.8. Alati za snimanje daju slike velikog uvećanja ili mape površine materijala, te informacije o heterogenosti i mikrostrukturi uzorka. Procjenjivanje stepena heterogenosti uzorka je važno. Ako je materijal heterogen, analiza velikih uzoraka neće dati rezultate koji su reprezentativni za one koji bi se dobili od malih uzoraka. Snimanje takođe može otkriti prostorne i mikrostrukturne karakteristike (npr. teksturu i zrnastu strukturu), koje mogu dati informacije o termodinamičkoj ili mehaničkoj obradi materijala.

5.9. Analiza velikih uzoraka omogućava karakterizaciju bilo cijelog uzorka ili dijela uzorka u cilju utvrđivanja prosječnih svojstava materijala. Karakterizacija nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala može uključivati mjerenja fizičkih svojstava, hemijskog i elementarnog sastava, te omjera izotopa (vidi tačke 5.13–5.20). Ako je cilj analize velikih uzoraka da se dobiju informacije o sastavnim dijelovima materijala u tragovima, neophodno je imati dovoljno materijala za tačna i precizna mjerenja. Prisustvo ili odsustvo sastavnih dijelova materijala u tragovima i njihovih odgovarajućih koncentracija su često važni za dobijanje informacija o procesu proizvodnje materijala.

5.10. Ako analiza snimanjem potvrdi da je uzorak heterogen, mikroanalitički alati kojima se mogu hemijski identifikovati i/ili kvantitativno analizirati veoma mali uzorci (generalno <1 mg) mogu okarakterisati individualne sastavne dijelove materijala. Mikroanalitički alati takođe obuhvataju i površinska mjerenja, kojima se mogu utvrditi tragovi površinskih kontaminanata ili izmjeriti sastav tankih slojeva ili premaza, što bi moglo dati važne informacije za tumačenje.

## REDOSLIJED TEHNIKA I METODA

5.11. Mnogi od analitičkih alata korišteni u analizi nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala su tehnike sa razaranjem (odnosno, uzorak se troši tokom pripreme i analize). Zbog toga su ključni pravilni odabir i redoslijed analitičkih tehnika, i njih treba definisati u detalje u analitičkom planu nuklearne forenzike. Redoslijed analitičkih tehnika treba biti zasnovan na pitanjima istražnog organa na koje treba odgovoriti u skladu sa planom forenzičkih ispitivanja, uzimajući u obzir količinu uzoraka raspoloživih za analizu, već raspoložive informacije i potencijalne potpise (fizičke, hemijske, elementarne i izotopske) kojima bi se moglo pomoći precizno tumačenje.

5.12. Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku (ITWG) – udruženje nuklearno forenzičkih praktičara – sačinila je preporuke o redoslijedu tehnika u cilju dobijanja najvrjednijih informacija što je ranije moguće u postupku analize. Preporuke su zasnovane na stručnom mišljenju i iskustvu stečenom iz tri saradničke analitičke vježbe obavljene u laboratorijama članica ITWG-a; te vježbe su dodatno obrađene u Aneksu III. Tabela 3 prikazuje redoslijed analiza kojeg preporučuje ITWG, poredan po tehnikama koje se mogu obaviti u roku od 24 sata, jedne sedmice ili dva mjeseca od pristizanja uzorka u imenovanu nuklearno forenzičku laboratoriju (vidi Aneks II za opise često korištenih tehnika). Neke od tehnika se takođe mogu koristiti kasnije da se dođe do preciznijih analitičkih rezultata korištenjem dužih vremena mjerenja. Upotreba tih vremenskih okvira za završavanje analiza materijala takođe može poslužiti kao smjernica za očekivane intervale izvještaja o rezultatima koji odgovaraju analitičkim intervalima od 24 sata, 1 sedmice i 2 mjeseca, zavisno od situacije. Trajanje procesa karakterizacije će zavisiti od količine posla u laboratoriji, prirode uzorka i zahtjeva istrage datih u detalje u planu forenzičkih ispitivanja, ali s ciljem okončavanja postupka u roku od dva mjeseca nakon dobijanja uzorka.

### ANALIZA UZORAKA

5.13. Nakon što uzorak dođe u nuklearno forenzičku laboratoriju, taj materijal treba prvo analizirati u kontrolisanim uslovima pomoću gama spektrometrije visoke rezolucije. Ta analiza može potvrditi ili donekle promijeniti rezultate analize sa lica mjesta i takođe može dati nove informacije, kao što je ukupna količina prisutnog nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala.

5.14. Karakterizacija nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala može uključivati mjerenja fizičkih karakteristika, hemijskog i elementarnog sastava, te omjera izotopa, što je opisano u tačkama 5.15–5.21 i rezimirano u tabeli 3.

**TABELA 3: LABORATORIJSKI METODI I TEHNIKE SA TIPIČNIM PERIODIMA ZA ZAVRŠETAK ANALIZA**

Tehnika/metod	Rok za analizu		
	24 sata	1 sedmica	2 mjeseca
Radiološki	Brzina doze ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , n) Površinska kontaminacija Radiografija		

Fizička karakterizacija	Vizuelni pregled Fotografisanje Utvrđivanje težine Utvrđivanje dimenzija Optička mikroskopija Gustoća	Mikrostruktura, morfologija i druge fizičke karakteristike SEM Rendgenska difrakcija	Nanostruktura, morfologija i druge fizičke karakteristike TEM
Analiza izotopa	HRGRS	TIMS ICP-MS	SIMS Tehnike radioaktivnog brojanja
Radiohronometrija	HRGRS (za plutonij)	TIMS ICP-MS	HRGRS (za uran) Alfa spektrometrija
Elementarni sastav / Hemijski sastav	Rendgenska fluorescencija	ICP-MS Hemijsko ispitivanje FTIR spektrometrija SEM/rendgenska spektrometrija IDMS	GC-MS
Tradicionalne forenzičke discipline	Prikupljanje dokaza povezanih sa tradicionalnim forenzičkim disciplinama		

**Napomena:** FTIR – infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom; GC-MS – gasna hromatografija–masena spektrometrija; HRGRS – gama spektrometrija visoke rezolucije; ICP-MS – induktivno spregnuta plazma sa masenom spektrometrijom; IDMS – masena spektrometrija sa razrjeđenjem izotopa; SEM – skenirajuća elektronska mikroskopija; SIMS – masena spektrometrija sa sekundarnim jonima; TEM – transmisijska elektronska mikroskopija; TIMS – masena spektrometrija termalnom jonizacijom

### Fizička mjerenja

5.15. Prvi korak u karakterizaciji uzorka obično uključuje vizuelni pregled materijala, što može uključivati dokumentovanje ili fotografisanje specifičnih oznaka (npr. serijski broj ili logo proizvoda), boje, veličine i oblika. Zajedno sa rezultatima vizuelnog pregleda, kod velikih čvrstih predmeta, težina, gustoća, aktivnost i osnovne karakteristike mikrostrukture (veličina zrna, tekstura i dodatno uključeni materijali ako ih ima) mogu otkriti dovoljno informacija makroskopskih razmjera da se uzorak identifikuje. Naprimjer, u slučaju gorivnih peleta iz nuklearnog reaktora, tačne dimenzije

i geometrija peleta svježeg nuklearnog goriva su često jedinstveni za svakog proizvođača. Kod zatvorenih izvora zračenja, veličina, aktivnost i način na koji je zatvoren često daju uvid u to ko je proizvođač izvora.

5.16. Na mikroskopskom nivou, mikrostrukturne karakteristike omogućavaju detaljnija poređenja materijala. Naprimjer, distribucija veličine zrna i zrnasta struktura gorivnih peleta uran oksida mogu dati informacije o njihovim proizvodnim procesima. Kod uzoraka baruta ili uzoraka uzetih brisom, morfologija čestica može pokazati razaznajuće karakteristike koje rezultiraju iz različitih proizvodnih procesa.

### **Hemijska i elementarna mjerenja**

5.17. Hemijski oblik nuklearnog materijala (npr. metal, oksid ili međuprodukt, kao što je amonij diuranat) ili drugog radioaktivnog materijala je važan indikator koji može otkriti informacije o proizvodnim procesu materijala i može dati uvid u njegovu izvorno namjeravanu upotrebu. Kod međuprodukta urana, jedinjenje može dati indicaciju o procesu korištenom za proizvodnju materijala i, kao rezultat, sužavanje broja mogućih proizvodnih objekata.

5.18. Pored nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala od interesa, mnogi drugi elementi mogu biti prisutni u materijal koji je pod istragom, ponekad u koncentracijama koje prelaze koncentracije bilo kog radionuklida. Takvi elementi su možda namjerno dodati da se dobiju određena svojstva materijala (npr. erbij i gadolinij da se kontroliše reaktivnost nuklearnog goriva). Nenamjerne hemijske nečistoće takođe mogu biti prisutne kao rezultat rezidualnih elemenata od početnih sirovina ili kao rezidue od hemikalija dodatih tokom procesa proizvodnje (npr. rezidue kiselina), kao i od korozije ili abrazije posuda i cijevi. Ako su ti elementi prisutni u tragovima, nazivaju se nečistoćama, a obim i koncentracije takvih elemenata mogu biti izuzetno karakteristični za određene procese, sirovine ili objekte. Mjerenja tih elemenata zbog toga mogu biti važna za ispitivanje jer mogu dati informacije ne samo o namjeravanoj zakonitoj upotrebi materijala, nego i o izvornom materijalu ili vrsti proizvodnog objekta.

### **Izotopska mjerenja**

5.19. Izotopska mjerenja se obavljaju da se utvrdi izotopska rasprostranjenost elemenata prisutnih u nuklearnom ili drugom radioaktivnom materijalu. Izotopska rasprostranjenost daje informacije o istoriji materijala i njegovoj namjeravanoj upotrebi, npr. da li je sastav nuklearnog materijala od prirodnih izotopa ili je obogaćen fisilnim izotopima ili prerađivan, da li je vjerovatno da je korišten kao nuklearno gorivo ili možda u nuklearnom eksplozivu. Pored glavnih fisilnih izotopa ( $^{239}\text{Pu}$  i  $^{235}\text{U}$ ), relativne koncentracije manje prisutnih izotopa plutonija i urana (npr.  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{236}\text{U}$ ) mogu otkriti raniju istoriju zračenja nuklearnog materijala.

5.20. Radiohronometrija koristi izotopska mjerenja da bi utvrdila količinu vremena koja je prošla otkako je nuklearni ili drugi radioaktivni materijal zadnji put hemijski prečišćen (odnosno, vrijeme kad su radionuklidi potomci nastali raspadom radionuklida roditelja odvojeni od njih). Koncentracija proizvoda radioaktivnog raspada plutonija i urana, nazvanih proizvodi potomci (npr.  $^{241}\text{Am}$  i  $^{230}\text{Th}$ ), može se mjeriti i uporediti sa koncentracijom roditelja izotopa da se utvrdi starost nuklearnog materijala koji se izdvojio. Radiohronometrija je takođe relevantna za radioizotopske izvore kao što su oni koji sadrže  $^{137}\text{Cs}$ , koji se raspada na stabilan  $^{137}\text{Ba}$ .

5.21. Pored izotopskog sastava fisilnih elemenata i njihovih proizvoda raspada, prisustvo i izotopski sastav drugih elemenata može dati informacije o porijeklu uzorka na osnovu poznatih varijacija prirodnih izotopa širom svijeta. Omjeri izotopa takvih elemenata u uzorku mogu biti indikator određenog proizvodnog procesa ili proizvodne lokacije (npr. omjer  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) ili sirovina (npr. omjer  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  i omjer  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ).

## 6. NUKLEARNO FORENZIČKA TUMAČENJA

6.1. Kad se obave analize, može biti potrebna dodatna stručnost da se analitički rezultati protumače i da se formulišu nuklearno forenzički nalazi kao odgovor na plan forenzičkih ispitivanja. To stručno znanje će se možda morati pribaviti van laboratorije koja je izvršila mjerenja. Nuklearno forenzičko tumačenje je proces upoređivanja i povezivanja karakteristika uzorka sa postojećim informacijama koje se odnose na vrste, porijeklo i metode proizvodnje nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala, ili sa ranijim slučajevima u kojima je bio sličan materijal. Nuklearno forenzičko tumačenje daje kontekst, objašnjenja analitičkih rezultata i osnovu za nuklearno forenzičke nalaze.

### PROCESI TUMAČENJA

6.2. Nuklearno forenzički potpisi su skup ili skupovi podataka o karakteristikama datog uzorka nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala koji mogu omogućiti da uzorak bude identifikovan kao da se uklapa ili ne uklapa u određeni nuklearni i drugi radioaktivni materijalom koji je korišten, prerađivan ili uskladišten u državi na bilo koji način. Ti potpisi mogu pomoći da se utvrde procesi kojima je materijal nastao i naknadna istorija tog materijala.

6.3. Kao osnova za tumačenje analitičkih rezultata dobijenih iz uzoraka, utvrđuju se referentni potpisi za procese i objekte kroz cijeli nuklearni gorivni ciklus korištenjem i empirijskih pristupa, uključujući i rezultate iz ranijih analiza nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, i pristupom izrade modela zasnovanih na hemiji i fizici procesa nuklearnog gorivnog ciklusa. Poznavanje analitičke nauke može usmjeravati izbor odgovarajućih metoda u cilju verifikacije prisustva ili odsustva specifičnih nuklearno forenzičkih potpisa.

6.4. Nuklearno forenzičko tumačenje uključuje poređenje rezultata analiza datog uzorka sa informacijama o odgovarajućim karakteristikama postojećih ili poznatih materijala. Generalno, jedan potpis materijala (npr. jedno izotopsko mjerenje) obično nije dovoljan da se konkretan uzorak identifikuje kao jedinstven za neku poznatu klasu sličnih materijala. Naprimjer, za razliku od tradicionalnog ispitivanja otisaka prstiju, to bi bilo nepraktično u nedostatku arhive podataka na koju bi se oslonilo za poređenje analize jednog jedinog uzorka sa analizom postojećih ili poznatih uzoraka. Međutim, kombinacije potpisa, kao što su izotopska mjerenja, nečistoće i mikrostruktura, kad se uzmu zajedno, mogu dati veću pouzdanost u povezivanje konkretnog uzorka sa podacima koji predstavljaju poznatu klasu sličnog materijala. Upotreba kombinacija potpisa takođe može omogućiti isključivanje – zaključak da određeni uzorak nije uporediv sa poznatim podacima o klasama materijalima – što takođe može biti vrijedno za nuklearno forenzičko tumačenje.

6.5. Resursi koji mogu pomoći u poređenju sa informacijama o poznatim klasama materijala uključuju i državnu biblioteku nuklearne forenzike ili prateće baze podataka sa informacijama o nuklearnom i drugom radioaktivnom materijalu koji je korišten, prerađivan ili uskladišten u državi, a čija se vrijednost povećava stručnim znanjem o datom pitanju kao pomoć u procesu tumačenja. Arhivirani uzorci se mogu ponovo analizirati radi poređenja.

6.6. Kao primjer, u tabeli 4 su navedene neke informacije koje mogu biti neophodne da se odgovori na pitanja o uzorku plutonija i potpisima korištenim da bi se dobile informacije.

TABELA 4: PRIMJERI RELEVANTNIH POTPISA RADIONUKLIDA U PLUTONIJU

Tražene informacije	Potpis
Datum hemijske obrade	Rast izotopa potomaka
Tehnike hemijske obrade	Rezidualni elementi (omjer U/Pu)
Upotreba kao izvora energije radioaktivnog raspada	Aktivnost izotopa Pu ( $^{238}\text{Pu}$ )
Neutronske spektar i sagorijevanje goriva u reaktoru	Omjeri izotopa Pu (npr. $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ )

#### USPOSTAVLJANJE DRŽAVNE BIBLIOTEKE NUKLEARNE FORENZIKE

6.7. Državna biblioteka nuklearne forenzike je jedno od sredstava na raspolaganju za upotrebu u nuklearno forenzičkim tumačenjima. Biblioteka i referentne baze podataka mogu doprinijeti mogućnosti države da procijeni da li se nađeni materijal van regulatorne kontrole uklapa u nuklearni i radioaktivni materijal proizveden, korišten ili uskladišten unutar države (referenca 5). Državna biblioteka nuklearne forenzike je administrativno organizovana zbirka informacija o nuklearnom i drugom radioaktivnom materijalu proizvedenom, korištenom ili uskladištenom unutar države, koji može doći iz različitih i raznolikih izvora. Biblioteka može olakšati poređenja izmjerenih karakteristika nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala sa potpisima klasa poznatih materijala (npr. fizičke karakteristike, hemijski i elementarni sastav, i omjer izotopa).

6.8. Tamo gdje državna biblioteka nuklearne forenzike postoji u te svrhe, nju treba uspostaviti, održavati i kontrolisati država i treba biti u skladu sa veličinom i kompleksnošću količina nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala u državi.

6.9. Da bi se poređenja poboljšala, treba uspostaviti državnu biblioteku nuklearne forenzike gdje je to izvodljivo, korištenjem uobičajenog konceptualnog okvira za njenu organizaciju.

#### ZNANJE O PROCESIMA NUKLEARNOG GORIVNOG CIKLUSA I PROIZVODNJI IZVORA ZRAČENJA

6.10. Karakteristike koje su odražene u nuklearno forenzičkim potpisima su ugrađene i u nuklearni i drugi radioaktivni materijal u raznim vremenskim tačkama njegove istorije, uključujući i tokom proizvodnje. Razumijevanje kako se ti potpisi stvaraju, traju i modifikuju tokom procesa proizvodnje materijala je ključno za nuklearno forenzičko tumačenje. Kao rezultat, znanje o procesima nuklearnog gorivnog ciklusa i proizvodnji izvora zračenja je temeljno za efikasno tumačenje laboratorijskih mjerenja. Takvo znanje se stiče iz struke o datoj temi, obično prisutnoj u brojnim međunarodnim, državnim i nevladinim subjektima.

6.11. Izradom modela ili simulacijom nuklearnog gorivnog ciklusa i procesa proizvodnje materijala se može predvidjeti kako se potpisi ugrađuju u nuklearni i drugi radioaktivni materijal tokom njegove proizvodnje. Izradom modela se takođe može unaprijediti razumijevanje pojava koje stvaraju ili modifikuju potpise, kao i onih koje omogućavaju istrajnost potpisa. Znanje stečeno kroz izradu modela procesa pomaže da se omogući

kontekst za kasnija laboratorijska mjerenja i takođe može pomoći u otkrivanju novih potpisa.

6.12. Poređenje rezultata karakterizacije materijala sa kombinacijama potpisa utvrđenim iz informacija o procesu (npr. izotopska mjerenja, nečistoće i mikrostrukturne karakteristike) omogućava razumijevanje toga kako je materijal mogao biti napravljen i koja mu je namjeravana izvorna upotreba. Obrnuto, poređenja mogu omogućiti da se određeni proizvodni procesi i namjeravane upotrebe isključe iz razmatranja ako se ne utvrdi veza između rezultata karakterizacije i konkretnih kombinacija potpisa.

### **Arhivirani materijal**

6.13. Komparativne analize arhiviranog nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, uključujući i zaplijenjeni materijal, mogu mnogo doprinijeti povjerenju u nuklearno forenzičke nalaze. Te analize omogućavaju ekspertima za nuklearnu forenziku da utvrde veze između materijala i procesa korištenih u njegovoj proizvodnji. Pošto se novi potpisi otkrivaju upotrebom novih analitičkih metoda, postaje sve važnije da arhivirane podatke prati i arhivirani materijal. Zavisno od vremena poluraspada značajnih radionuklida u određenom materijalu, arhivirani materijal se može ponovo analizirati korištenjem novih analitičkih metoda, a rezultirajući podaci biti evaluirani da se utvrdi prisustvo ili odsustvo novootkrivenih potpisa. Arhive uzoraka koje vode operatori, proizvođači, regulatori, laboratorije za monitoring okoliša i drugi mogu uključivati ranije analizirane uzorke materijala, kao što su gorivo iz reaktora, uzorci uzeti za kontrolu kvaliteta i industrijski izvori zračenja.

### **Javno dostupna literatura**

6.14. Mnogi osnovni nuklearni procesi su dokumentovani u udžbenicima, izvještajima i člancima u periodici u javno dostupnoj literaturi. Naprimjer, *web* strana IAEA-e na temu nuklearnih informacija ima brojne baze podataka u kojima se dokumentuju javno dostupne informacije o nuklearnim objektima širom svijeta.<sup>3</sup>

### **Nedostupna literatura**

6.15. Vlasnički zaštićene ili povjerljive informacije se mogu dokumentovati samo u „zatvorenoj“ literaturi. Kompanije će možda biti voljne da vlasnički zaštićene informacije podijele sa nadležnim organima ili državnim laboratorijama nakon potpisivanja odgovarajućeg ugovora o zabrani otkrivanja podataka. Nuklearni instituti, relevantna ministarstva i državne laboratorije možda mogu pristupiti povjerljivoj literaturi u svojoj državi, ali nije vjerovatno da će dobiti dozvolu za pristup povjerljivim dokumentima drugih država.

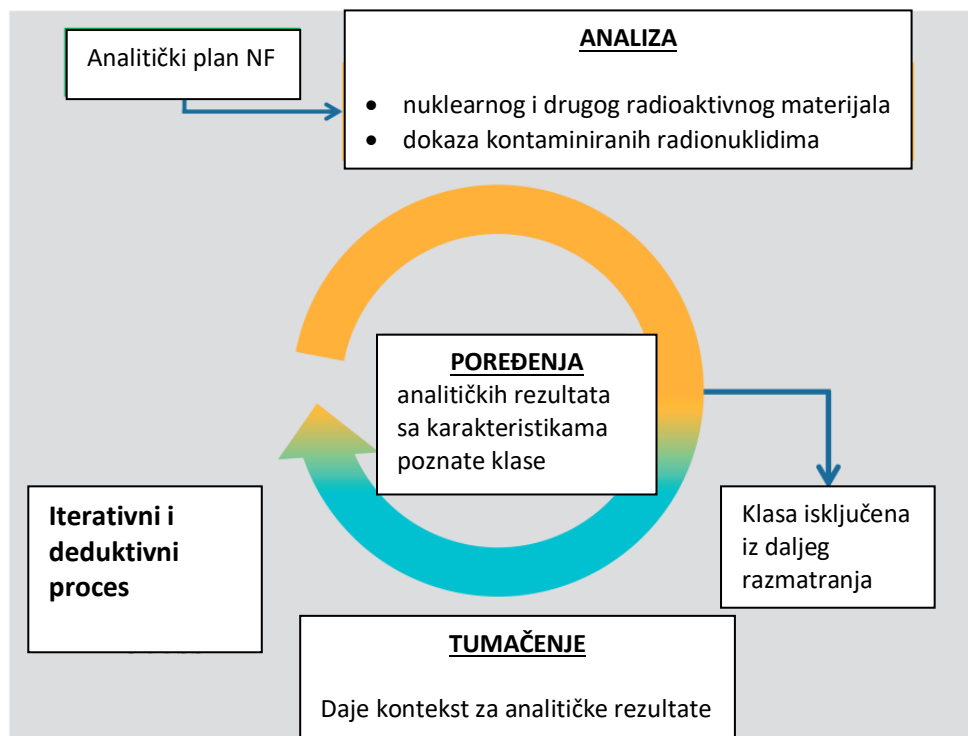
## **DEDUKTIVNI I ITERATIVNI PROCES**

6.16. Nuklearno forenzička analiza i tumačenje uključuju i deduktivni i iterativni proces, opisan na slici 2. Realizacija analitičkog plana daje rezultate koji se mogu uporediti sa informacijama o postojećim ili poznatima materijalima, a takva poređenja vode tumačenjima, što stavlja analitičke rezultate u kontekst. Proces poređenja analitičkih rezultata i informacija o poznatom materijalu je iterativan jer svako uzastopno poređenje može dati nove informacije na osnovu kojih se mogu utvrditi nove analize ili poređenja koji zauzvrat mogu otkriti dodatne potpise kojima će se pomoći da se materijal identifikuje preciznije. Taj proces poređenja takođe može biti deduktivan jer se može koristiti da se progresivno isključe određeni proizvodni procesi, lokacije ili drugo porijeklo kao mogući izvori materijala. Naprimjer, poređenjima analitičkih rezultata dobijenih iz

---

<sup>3</sup> Vidi: <http://nucleus.iaea.org>

zaplijenjenog nuklearnog materijala sa poznatim proizvodnim procesima će se utvrditi vjerovatni procesi u kojima je taj materijal mogao nastati, kao i oni procesi u kojima taj materijal nije mogao nastati. Dodatna poređenja sa drugim postojećim proizvodnim procesima ili analitičkim mjerenjima će poslužiti da se suzi spisak vjerovatnih proizvodnih procesa kao uzroka nastanka materijala.



Slika 2. Nuklearno forenzička analiza, poređenja i tumačenje: Iterativni i deduktivni proces kojim se daje kontekst za analitičke rezultate

6.17. Onako kako se rezultati analiza dobijaju i tumače, tako mogu dati informacije koje će organi za provođenje zakona možda iskoristiti u svrhe istrage. Mogu postojati situacije u kojima nuklearno forenzička ispitivanja ne mogu definitivno zaključiti kako je neki materijal napravljen ili odakle je potekao, ali će ta ispitivanja ipak moći isključiti proizvodne procese koji se ne poklapaju sa dokazima o istoriji proizvodnje tog materijala. Obje radnje – dobijanje tragova za istragu i isključivanje određenih scenarija – služe da se suzi fokus istrage. Konačno, rezultati istražnih radnji koje poduzimaju organi za provođenje zakona mogu pomoći u otkrivanju dodatnih dokaza kojima se možda mogu utvrditi veze između nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala i ljudi, mjesta, vremena, događaja i proizvodnih procesa od interesa.

## 7. NUKLEARNO FORENZIČKI NALAZI

7.1. Nuklearno forenzički nalazi su proizvodi nuklearno forenzičke analize i tumačenja. Nalazima se mogu podržati istraga koju provode organi za provođenje zakona, regulatorni upiti donošenje politika, te pomoći drugim relevantnim akterima u unapređenju nuklearne bezbjednosti i sprečavanju budućih nuklearno bezbjednosnih događaja. Ključna pitanja postavljena u svim scenarijima su obično ista:

- O kojoj vrsti materijala se radi?
- Koje je moguće porijeklo materijala?
- Koji su vjerovatni načini njegove proizvodnje?



## POVJERENJE U NALAZE

7.2. Generalno, povjerenje u analitičke rezultate zavisi od tri faktora: (i) validirani metodi; (ii) certifikovani referentni materijali; i (iii) dokazane kompetencije. Upotrebom validiranih metoda se osigurava da je analiza odgovarajuća za dati materijal i da može izmjeriti analite od interesa. Upotrebom certifikovanih referentnih materijala se osigurava da se mjerenja porede prema standardu poznatih ili certifikovanih vrijednosti. Validirani metodi i certifikovani referentni materijal omogućavaju povjerenje u nalaze demonstriranjem određenog stepena pouzdanosti u procedure kojima se nalazi dobijaju. Upotrebom dokazanih kompetencija se omogućava povjerenje u osobe koje obavljaju analize.

7.3. Povjerenje u tumačenje se oslanja na formulisanje nesigurnosti u rezultatima individualnih analitičkih mjerenja, u rezultatima iterativnih poređenja analitičkih rezultata sa informacijama o postojećim klasama materijala, i u razmatranja alternativnih objašnjenja pri tumačenju rezultata tih poređenja. Uzeta zajedno, ta tri faktora omogućavaju da se tumačenje i prateći nivo povjerenja u njega odbrane kroz dokazano razumijevanje njihove osnove.

7.4. Od suštinske je važnosti da se bilo koja nuklearno forenzička analiza i tumačenja mogu odbraniti pošto se nuklearno forenzički nalazi mogu koristiti u sudskim radnjama ili da se utvrde ranjive tačke u nuklearnoj bezbjednosti. Striktno pridržavanje procedura vezanih za lanac čuvanja dokaza tokom cijele istrage i provođenje procedura osiguranja i kontrole kvaliteta u laboratorijama doprinose povjerenju u analitičke rezultate. Pored toga, analitički plan koji koristi višestruke rezultate da spoji konkretne nalaze (npr. povezivanje ili isključivanje određenih klasa materijala) povećava povjerenje u nalaze i zaključke.

## SAOPŠTAVANJE NALAZA

7.5. Svi nuklearno forenzički nalazi trebaju biti blagovremeno saopšteni u pisanom izvještaju. Izvještaji se mogu prezentirati u formi naučnog izvještaja ili će možda morati biti u preciziranom standardizovanom formatu kojeg traži državni organ ili vodeća istražna agencija. Povjerljive informacije u tim izvještajima treba utvrditi i zaštititi u skladu s tim.

7.6. Nivo povjerenja koji ide uz te rezultate i njihovo tumačenje treba biti jasno saopšten u skladu sa zahtjevima izloženim u planu forenzičkih ispitivanja. Da bi se istraga unaprijedila, nuklearno forenzički nalazi će se kombinovati sa nalazima informacijama iz drugih disciplina, uključujući i druge forenzičke discipline i informacije koje daju ostali organi vlasti, npr. državne službe bezbjednosti. Rezultati nuklearno forenzičkih analiza i nivo povjerenja povezan sa nalazima treba biti prenesen na način kojim se ispunjavaju potrebe istrage.

7.7. U okruženju nuklearno bezbjednosnog događaja kada je faktor vremena od značaja, može postojati potreba da se pribave pouzdane početne informacije što je brže moguće. Nuklearno forenzičke nalaze će tražiti istražitelji, kao i donosioci odluka i drugi zvaničnici dosta prije nego što se završe pune analize i tumačenja mjerenja. U idealnom slučaju treba postojati metod formulisanja nivoa povjerenja u preliminarne izvještaje. Da bi se pristupilo rješavanju zahtjeva istražitelja i donosilaca odluka za informacijama, treba napraviti rezime preliminarne nuklearno forenzičkih nalaza u kojem se iznose ključni nalazi zajedno sa ključnim pretpostavkama, nivoom povjerenja u te nalaze i svim alternativnim objašnjenjima koja ostaju vjerodostojna u svjetlu dotad raspoloživih informacija.

7.8. Da bi se pomoglo rješavanje očekivanja u vezi sa izvještavanjem o rezultatima, u planu forenzičkih ispitivanja treba u glavnim crtama navesti konkretnu formu i

vremenske okvire u kojima rezultati trebaju biti saopšteni. Izvještaji o statusu i nalazima nuklearno forenzičkih ispitivanja se mogu objavljivati periodično, i tokom i poslije nuklearno bezbjednosnog događaja. Priprema izvještaja može pratiti vremenske okvire od 24 sata, 1 sedmice i 2 mjeseca koji su tipični za završetak analiza, što je navedeno u tabeli 3. Nakon što je ispitivanje zaključeno, takođe treba napraviti i završni izvještaj. U završnom izvještaju treba utvrditi sve podatke i druge informacije korištene u procjeni, te opisati napravljene pretpostavke i obrazloženje za prezentirane nalaze. Takođe, u izvještaju treba utvrditi sve informacije koje nisu u skladu sa nalazima, zajedno sa obrazloženjem za isključivanje ili odbacivanje takvih informacija ili za davanje prednosti drugim informacijama.

## NAKNADNO RAZMATRANJE

7.9. Nakon završetka nuklearno forenzičkih ispitivanja i svih pratećih sudskih radnji, može biti korisno naknadno razmatranje u svrhu procjene koje su od raznih analiza i procedura obavljenih tokom istrage ispunile očekivanja, a koje nisu. Svrha naknadnog razmatranja nije samo da se fokusira isključivo na nedostatke, nego i da se razumije šta je doprinijelo uspjehu radnji koje su ispunile ili prevazišle očekivanja. Obavljanje naknadnog razmatranja daje mogućnost učenja iz iskustva i povratnih informacija za procese kojima će se planirati i obavljati nuklearno forenzička ispitivanja u budućnosti.

7.10. S obzirom na generalnu potrebu da se unaprijedi način vršenja nuklearno forenzičkih analiza, eksperti u oblasti nuklearne forenzike se podstiču da sa svojim kolegama u drugim državama razmijene iskustva stečena iz stvarnih nuklearno bezbjednosnih događaja ili vježbi onoliko koliko to dozvoljavaju određeni obziri ili povjerljivost.

## 8. MEĐUNARODNA SARADNJA I POMOĆ

8.1. Međunarodna saradnja i pomoć mogu dati doprinos prije, u toku ili nakon nuklearno bezbjednosnog događaja. Raspon međunarodne saradnje i pomoći u nuklearnoj forenzici uključuje niz aktivnosti koje pokrivaju jačanje svijesti, istraživanje i razvoj, međunarodnu pomoć i izgradnju kapaciteta.

### MEĐUNARODNA SARADNJA

8.2. Brojne međunarodne organizacije, grupe i inicijative promovišu svijest o važnosti nuklearne forenzike i na zahtjev omogućavaju razne oblike nuklearno forenzičke podrške. Globalna inicijativa za suzbijanje nuklearnog terorizma (GICNT), INTERPOL i Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku (ITWG) nude razne oblike obuke, smjernica i pomoći. Države se takođe mogu opredijeliti za bilateralnu ili multilateralnu saradnju u oblasti nuklearne forenzike. Pored toga, neke države imaju državne programe kojima se pomože dati podrška međunarodnim partnerima.

### **Globalna inicijativa za suzbijanje nuklearnog terorizma**

8.3. Globalna inicijativa za suzbijanje nuklearnog terorizma (Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism; GICNT) je dobrovoljno partnerstvo država koje rade na jačanju globalnih kapaciteta u cilju sprečavanja, otkrivanja i reagovanja na zajedničku prijetnju od nuklearnog terorizma. Trenutno, Radna grupa GICNT-a za nuklearnu forenziku pomaže političkim liderima u partnerskim državama da izgrade domaće kapacitete nuklearne forenzike kreiranjem alata za jačanje svijesti o nuklearnoj forenzici, unapređivanje međudržavnih odnosa, izvođenje zajedničkih vježbi i promovisanje najboljih praksi nuklearne forenzike (referenca 27).

## **Međunarodna agencija za atomsku energiju**

8.4. IAEA daje podršku državama u njihovim nastojanjima da uspostave i održavaju efikasnu infrastrukturu nuklearne bezbjednosti, uključujući i nuklearno forenzičke kapacitete. To se postiže kroz međunarodne vodiče koje IAEA objavljuje u publikacijama iz serije „Nuklearna bezbjednost“, uključujući i ovaj vodič o primjeni modela akcionog plana, i kroz mjere u cilju pomoći državama da, na njihov zahtjev, primijene vodič. Dodatne mjere uključuju obuku o jačanju svijesti o nuklearnoj forenzici, upravljanje radiološkim licem mjesta i nuklearno forenzičke metodologije, te koordinirane istraživačke projekte (referenca 28).

## **INTERPOL**

8.5. INTERPOL je međunarodna organizacija angažovana na podršci policijama država u sprečavanju i suzbijanju kriminala, uključujući i radiološki i nuklearni terorizam. Njegova primarna aktivnost je olakšavanje razmjene informacija, uključujući i istražne informacije, unutar svog globalnog članstva. Pored toga, INTERPOL vrši krim-obavještajne analize i daje obuku (npr. o upravljanju radiološkim licem mjesta) i ima mogućnost da pruži operativnu podršku tokom nuklearno bezbjednosnog događaja.

## **Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku**

8.6. Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku (Nuclear Forensics International Technical Working Group; ITWG) je neformalna radna grupa nuklearnih naučnika, zaposlenih u agencijama za provođenje zakona, interventnih službi i eksperata za nuklearnu regulativu koji zajedno čine tijelo nuklearno forenzičkih praktičara (referenca 29). Cilj ITWG-a je unapređivanje discipline nuklearne forenzike razvijanjem efikasnih tehničkih rješenja i davanjem savjeta državnim i međunarodnim vlastima kako da najbolje odgovore na kriminalne i neovlaštene radnje sa nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom. ITWG kreira tehničke smjernice, organizuje vježbe kolaborativne analize materijala, kao i vježbe scenarija za stolom, te promoviše svoj doseg na međunarodnom nivou. Dodatne informacije su dostupne na *web* strani ITWG-a.<sup>4</sup>

## **NUKLEARNO FORENZIČKA POMOĆ TOKOM ISTRAGE NUKLEARNO BEZBJEDNOSNOG DOGAĐAJA**

8.7. Pomoć tokom istrage nuklearno bezbjednosnog događaja se može olakšati putem međunarodnih organizacija ili bilateralnih/multilateralnih sporazuma i aranžmana. Ta pomoć može uključivati podršku prikupljanju dokaza, optimizaciju metoda analiza, obavljanje nuklearno forenzičkih analiza, povećavanje povjerenja u analize, prikupljanje podataka da se pomognu nuklearno forenzička tumačenja ili davanje drugih vrsta informacija na zahtjev.

8.8. Pri formulisanju zahtjeva za pomoć, strana koja traži pomoć treba razmotriti sljedeće tačke pri pisanju zahtjeva (tačke nisu navedene po prioritetu):

- (a) Da li je zahtjev došao kao odgovor na konkretan događaj u kojem je pronađen nuklearni ili drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole, ili je zahtjev dio strategije pripreme za takve događaje (reference 30 i 31);
- (b) Da li se zahtjev smatra povjerljivim dokumentom i zbog toga zahtijeva zaštitu povjerljivih informacija;

---

<sup>4</sup> Vidi: <http://www.nf-itwg.org>

- (c) Da li će država koja traži pomoć dozvoliti da država koja pruža pomoć razmjenjuje informacije sa trećom stranom ili drugima koji nisu direktno uključeni u pružanje pomoći i, ako hoće, pod kojim okolnostima i na koji način će se ta razmjena informacija ostvariti;
- (d) Da li se od države koja pruža pomoć traži da prikupi, upakuje i transportuje nuklearni ili drugi radioaktivni materijal sa teritorije države koja traži pomoć do objekta na teritoriji države koja pruža pomoć uz pridržavanje sigurnosnih obzira, zahtjeva za transport i deklaracija vezanih za uvoz i izvoz nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala;
- (e) Da li se država koja pruža pomoć treba pridržavati lanca čuvanja dokaza i drugih pratećih zahtjeva za postupanje sa dokazima koji preovladavaju u pravnom sistemu države koja traži pomoć;
- (f) Da li zahtjev mora biti odobren na nivou ministra u državi koja traži pomoć i/ili u državi koja pruža pomoć i, ako mora, na koji način se dobijaju ta odobrenja;
- (g) Da li država koja pruža pomoć možda očekuje naknadu za troškove nastale u ispunjavanju zahtjeva ili se od nje očekuje da sama snosi takve troškove;
- (h) Da li će možda postojati potreba da eksperti države koja pruža pomoć svjedoče i, ako hoće, pod kojim uslovima bi to svjedočenje moglo biti potrebno (npr. lično, napismeno, komunikacijskim linkom na daljinu);
- (i) Da li će se razmotriti povrat nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala državi koja traži pomoć. U pogledu ove tačke, i država koja traži pomoć i ona koja je daje trebaju imati na umu obaveze koje proizlaze iz međunarodnih pravnih instrumenata na temu nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala, kao što su one sadržane u Konvenciji o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala (referenca 4), Međunarodnoj konvenciji o suzbijanju radnji nuklearnog terorizma (referenca 12) i u sporazumima o zaštitnim mjerama i relevantnim propisima o kontroli izvoza.

8.9. Jedan od pristupa da se potpomogne zahtjev za pomoć jeste da se sačini izjava o načinu rada ili sličan dokument o kojem će se obje strane usaglasiti. Po potrebi, njime se mogu obuhvatiti pitanja navedena iznad i precizirati očekivanja u pogledu blagovremenosti i načina izvještavanja, izrada analitičkog plana (ako to priroda zahtjeva traži), način izvještavanja o rezultatima i analize koje će koristiti. Manje formalan pristup bi mogao biti odgovarajući kada se u zahtjevu ne traže laboratorijske analize, npr. kod zahtjeva za razmjenom najboljih praksi u nuklearnoj forenzici, stručnih savjeta o izvođenju nuklearno forenzičkih vježbi ili pomoći kod planova za jačanje državnih kapaciteta u nuklearnoj forenzici.

8.10. Pošto ovakvi aranžmani uključuju mnoga i kompleksna pitanja, savjetuje se svakoj državi da u okviru svog plana za državni odgovor na događaj definiše i uključi aranžmane koji bi mogli biti potrebni u stvarnom nuklearno bezbjednosnom događaju u vezi sa davanjem ili pružanjem međunarodne pomoći.

## **9. IZGRADNJA KAPACITETA NUKLEARNE FORENZIKE**

9.1. Razvoj i očuvanje nuklearno forenzičkih kapaciteta je odgovornost države. Elementi poput infrastrukture, pravnog i regulatornog okvira, operativnih aktivnosti, ljudskih resursa, specijalizovane opreme i znanja su ključni za efikasne nuklearno forenzičke kapacitete.

9.2. Strategije za razvoj, testiranje i održavanje nuklearno forenzičkih mogućnosti i kapaciteta su od suštinske važnosti da se omogući odgovarajući odgovor na nuklearno bezbjednosne događaje. Ti pristupi će uključivati izgradnju svijesti o nuklearnoj forenzici kod aktera na svim nivoima, odgovarajuću obuku postojećih i budućih zaposlenih, vježbanje postupaka odgovora, kreiranje programa istraživanja i razvoja, efikasno upravljanje znanjem uz predviđanje budućih zahtjeva i efikasno obrazovanje o nuklearnoj nauci da bi se kapaciteti unaprijedili i očuvali (vidi Aneks III za konkretne primjere).

## SVIJEST

9.3. Ključni element u razvoju nuklearno forenzičkih kapaciteta države je svijest o doprinosu nuklearne forenzike državnoj infrastrukturi nuklearne bezbjednosti. Jačanje svijesti o nuklearnoj forenzici kod svih aktera unutar države može pomoći da se:

- unaprijedi razumijevanje nuklearne forenzike među onima koji razvijaju i pomažu nuklearno forenzičke kapacitete;
- pojašne uloge i odgovornosti;
- poveća znanje o nuklearnoj forenzici primijenjenoj na istrage organa za provođenje zakona i procjenama ranjivih tačaka nuklearne bezbjednosti;
- podstakne upotreba zajedničke terminologije među različitim organizacijama i disciplinama.

## OBUKA

9.4. Država ima odgovornost da osigura da je njena infrastruktura nuklearne bezbjednosti potpomognuta odgovarajuće obučanim kadrovima. Tehnička obuka i razvoj ljudskih resursa trebaju obuhvatiti kompleksnosti nuklearne forenzike kao komponentu preventivnih mjera i kao mogućnost odgovora na događaje. Obuka je suštinska komponenta održivog programa nuklearne forenzike jer daje suštinske informacije o zahtjevima istrage nuklearno bezbjednosnog događaja, preporučenim metodima za analize i tumačenja, i uloji nuklearne forenzike u državnoj infrastrukturi nuklearne bezbjednosti. Obuka takođe može biti potpomognuta kroz međunarodna partnerstva u nuklearnoj forenzici.

9.5. Obuka treba biti prilagođena neophodnim ciljevima učenja. Naprimjer, radi efikasnosti u saopštavanju naučnih rezultata zvaničnicima iz organa za provođenje zakona, kreatorima politika ili donosiocima odluka tokom nuklearno bezbjednosnog događaja, važno je da specijalisti nuklearne forenzike budu obučeni o efikasnom prenošenju informacija navedenim grupama. Slično tome, IAEA je kreirala uvodnu obuku kao i obuku fokusiranu na specifične tehničke analitičke metodologije korištene u nuklearno forenzičkim laboratorijama.

## VJEŽBE

9.6. Efektivni nuklearno forenzički kapaciteti zavise od saradnje između naučno-tehnoloških organizacija, organa za provođenje zakona i drugih organa vlasti, i unutar države i na međunarodnom nivou. Razvoj kolaborativnih i zajedničkih procesa i mehanizama je od suštinske važnosti za kontinuirani razvoj nuklearno forenzičkih kapaciteta. Planiranje, izvođenje i razmatranje nuklearno forenzičkih vježbi je ključna komponenta za poboljšavanje tih kapaciteta.

9.7. Vježbe iz nuklearne forenzike omogućavaju državama da testiraju i razvijaju povjerenje u svoj odgovor na nuklearno bezbjednosni događaj tako što omogućavaju

donosiocima odluka i zaposlenima da praktikuju svoje uloge u realističnoj rizičnoj situaciji kojom se upravlja prije nego što se događaj desi. Vježbe iz nuklearne forenzike su često zasnovane na scenariju ili su analitičke po obimu. Kroz vježbe, akteri mogu procijeniti svoje mogućnosti i utvrditi učinak u realnim uslovima uz istovremenu procjenu uloga i odgovornosti, te puteva i mehanizama razmjene informacija. Vježbe daju priliku da se dotjeraju odgovor, planovi za odgovor i koordinacija aktera. Ishode i rezultate vježbi treba iskoristiti da se utvrde korektivne mjere, optimiziraju tehnike i daju nove ideje za poboljšanje ukupnog odgovora. Pored toga, razmjenom rezultata sa povjerljivim partnerima, države mogu ojačati svoje kolektivne kapacitete da pristupe rješavanju izrastajućih prijetnji.

## RAZVOJ EDUKACIJE I STRUČNOG ZNANJA

9.8. Razvoj edukacije i stručnog znanja su ključni elementi efektivnih i održivih nuklearno forenzičkih kapaciteta. Država treba imati pristup tehničkom osoblju koje posjeduje stručno znanje o nuklearnim i geohemijskim disciplinama koje su najviše relevantne za nuklearnu forenziku. Da bi se osiguralo dovoljno zaposlenih u nuklearnoj forenzici, biće ključno razvijati narednu generaciju naučnika kreiranjem akademskih puteva od diplomskog do postdokorskog studija u oblastima kao što su radiohemija, nuklearni inženjering i fizika, geohemija izotopa, nauka o materijalima i analitička hemija. Praktične mjere mogu uključivati:

- (a) podsticanje saradnje i razmjene između akademske zajednice, naučne zajednice i kreatora politika u državi tako da se uključe studenti, fakulteti, tehnički eksperti koji rade u državnim laboratorijama i zvaničnici vlasti;
- (b) davanje resursa, kao što su stipendije, novac studentima za istraživanje i za stažiranje u ranije navedenim oblastima na dodiplomskom, diplomskom i postdiplomskom nivou, uključujući i prilike za praktično istraživanje u laboratorijama;
- (c) davanje pomoći univerzitetima u cilju podrške razvoja edukacijskih programa relevantnih za nuklearnu forenziku, uključujući i promovisanje interdisciplinarnog pristupa (npr. okupljanje katedri fizike i hemije da predaju zajednički nastavni plan nuklearne forenzike);
- (d) omogućavanje sticanja i prenosa jedinstvenog tehničkog znanja sadašnjih eksperata kroz mentorstvo mlađih nuklearno forenzičkih naučnika.

## ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

9.9. Nuklearna forenzika je disciplina forenzike koja se razvija. Istraživanje i razvoj su suštinski za izgradnju povjerenja u nuklearno forenzičke nalaze i procjenu pouzdanosti nuklearno forenzičkih potpisa kao osnove za utvrđivanje porijekla i istorije materijala. Istraživanje se posebno treba fokusirati na oblasti kao što su unapređenje postupaka i analitičkih tehnika za kategorizaciju i karakterizaciju nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala; utvrđivanje nuklearno forenzičkih potpisa radi njihovog uključivanja u državnu biblioteku nuklearne forenzike; razumijevanje kako potpisi nastaju, istrajavaju i modifikuju se tokom nuklearnog gorivnog ciklusa, i kako potpisi mogu biti tačno izmjereni (referenca 28).

9.10. Angažovanje na istraživanju i razvoju kojim se unapređuje nauka o analiziranju nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala može ojačati državne nuklearno forenzičke kapacitete. Pored toga, preispitivanja u okviru struke kroz naučni proces promovišu prihvatanje i povjerenje u tehnike za ove vrste analiza i tumačenja. Prihvatanje od strane naučne zajednice omogućava da ti alati budu usvojeni za upotrebu tokom stvarnih nuklearno forenzičkih ispitivanja.

## REFERENCE

- (1) EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- (2) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Establishing the Nuclear Security Infrastructure for a Nuclear Power Programme, IAEA Nuclear Security Series No. 19, IAEA, Vienna (2013).
- (3) KRISTO, M.J., SMITH, D.K., NIEMEYER, S., DUDDER, G.B., Model Action Plan for Nuclear Forensics and Nuclear Attribution, Rep. UCRL-TR-202675, Lawrence Livermore Natl Lab., Livermore, CA (2004).
- (4) The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/274/Rev. 1, IAEA, Vienna (1980).
- (5) EUROPEAN POLICE OFFICE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION-INTERPOL, UNITED NATIONS INTERREGIONAL CRIME AND JUSTICE RESEARCH INSTITUTE, UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME, WORLD CUSTOMS ORGANIZATION, Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control, IAEA Nuclear Security Series No. 15, IAEA, Vienna (2011).
- (6) EUROPEAN POLICE OFFICE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL POLICE ORGANIZATION, WORLD CUSTOMS ORGANIZATION, Combating Illicit Trafficking in Nuclear and other Radioactive Material, IAEA Nuclear Security Series No. 6, IAEA, Vienna (2007).
- (7) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA Nuclear Security Series No. 13, IAEA, Vienna (2011).
- (8) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Identification of Radioactive Sources and Devices, IAEA Nuclear Security Series No. 5, IAEA, Vienna (2007).
- (9) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION-INTERPOL, UNITED NATIONS INTERREGIONAL CRIME AND JUSTICE RESEARCH INSTITUTE, Radiological Crime Scene Management, IAEA Nuclear Security Series No. 22-G, IAEA, Vienna (2014).
- (10) Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/140, IAEA, Vienna (1970).
- (11) Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, GOV/INF/2005/10-GC(49)INF/6, IAEA, Vienna (2005).
- (12) International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism, A/59/766, United Nations, New York (2005).

- (13) International Convention for the Suppression of Terrorist Bombings, A/52/653, United Nations, New York (1997).
- (14) International Convention for the Suppression of the Financing of Terrorism, A/RES/54/109, United Nations, New York (1999).
- (15) Protocol of 2005 to the Convention for the Suppression of Unlawful Acts against the Safety of Maritime Navigation, International Maritime Organization, London (2005).
- (16) Protocol of 2005 to the Protocol for the Suppression of Unlawful Acts Against the Safety of Fixed Platforms Located on the Continental Shelf, International Maritime Organization, London (2005).
- (17) Convention on the Suppression of Unlawful Acts Relating to International Civil Aviation, International Civil Aviation Organization, Beijing (2010).
- (18) Protocol Supplementary to the Convention for the Suppression of Unlawful Seizure of Aircraft, International Civil Aviation Organization, Beijing (2010).
- (19) United Nations Security Council resolution S/RES/1373 (2001), UN, New York (2001).
- (20) United Nations Security Council resolution S/RES1540 (2004), UN, New York (2004).
- (21) PARKINSON, A., COLELLA, M., EVANS, T., The development and evaluation of radiological decontamination procedures for documents, document inks, and latent fingerprints on porous surfaces, J. Forensic Sci. 55 (2010) 728–734.
- (22) COLELLA, M., PARKINSON, A., EVANS, T., LENNARD, C., ROUX C., The recovery of latent fingerprints from evidence exposed to ionizing radiation, J. Forensic Sci. 54 (2009) 583–590.
- (23) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems: Requirements, ISO 9001:2008, ISO, Geneva (2008).
- (24) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use, ISO 14001:2004, ISO, Geneva (2004).
- (25) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, ISO/IEC 17025:2005, ISO, Geneva (2005).
- (26) BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Occupational Health and Safety Management Systems: Requirements, OHSAS 18001:2007, BSI, London (2007).
- (27) HILL, D., "Emerging themes from the Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism Nuclear Forensics Working Group", Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. Vienna, 2013), IAEA, Vienna (2014).
- (28) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).



- (29) GARRETT, B., MAYER K., THOMPSON, P., BÍRÓ, T., LASOU, G., "The Nuclear Forensics International Technical Working Group (ITWG): An Overview", Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. Vienna, 2013), IAEA, Vienna (2014).
- (30) PREPARATORY COMMISSION FOR THE COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY ORGANIZATION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, INTERPOL, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna (2015).
- (31) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 5, IAEA, Vienna (2009).

## **Aneks I**

### **DISCIPLINE NAUKE O FORENZICI**

I-1. U ovom aneksu se daju opisi nekih od glavnih disciplina nauke o forenzici, sa fokusom na discipline za koje se smatra da će vjerovatno dati informacije od koristi za istragu nuklearno bezbjednosnog događaja.

I-2. Većina tih disciplina ima veliku istoriju unutar forenzičkih nauka; odatle se i nazivaju „tradicionalne forenzičke discipline“. Istražna vrijednost podataka u binarnom obliku („digitalni dokazi“) je prepoznata decenijama, ali je rast broja i vrsta uređaja kojima se digitalni dokazi snimaju povećao vrijednost dokaza u istražne svrhe. Zbog činjenice da se alati i tehnike za analiziranje digitalnih dokaza i tumačenje rezultata nastavljaju razvijati i da su važni za forenzička ispitivanja, oni su razmotreni u kasnijem poglavlju o izrastajućim disciplinama nauke o forenzici.

#### **TRADICIONALNE DISCIPLINE NAUKE O FORENZICI**

##### **Analiza bioloških dokaza**

I-3. Uzorci biološkog porijekla koji se možda mogu pronaći kao dokaz na licu mjesta ili na osobi, mjestu ili predmetu od interesa za istragu nuklearno bezbjednosnog događaja uključuju krv, spermu i pljuvačku. Ljudski biološki dokazi koji sadrže nuklearnu DNK (nDNK) mogu biti posebno vrijedni jer je moguće povezati rezultate analiza sa jednim pojedincem sa stepenom pouzdanosti koji je prihvatljiv u svrhe krivičnog pravosuđa (odnosno, rezultati testa daju mogućnost individualizacije).

I-4. Mitohondrijska DNK (mtDNK) se nasljeđuje kroz majčinu liniju i zajednička je među svim osobama srođnicima po majčinoj liniji (npr. braća/sestre, majka i baka po majci). Posljedično tome, rezultati mtDNK su manje korisni u svrhe individualizacije, ali možda mogu pomoći u sužavanju fokusa istrage. Pored toga, mtDNK se može pronaći u biološkim uzorcima u kojima su koncentracije nDNK nedovoljne za bilo kakvu smislenu analizu. Ti uzorci prirodno uključuju otpale dlake, dijelove dlake, kosti i zube – a bilo šta od toga se možda može pronaći na licu mjesta nuklearno bezbjednosnog događaja.

I-5. Druga kategorija uzoraka biološkog porijekla uključuje materijale životinjskog, biljnog ili porijekla iz gljiva, kao što su perje, biljni materijal (npr. lišće, polen, sjemena i stabljike) i spore. Analiza takvih materijala možda može ponuditi indicije o npr. geografskom području povezanom sa pakovanjem, skladištenjem ili transportom nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala.

##### **Analiza šablona linija i otisaka**

I-6. Analiza oblika linija pronađenih na otiscima prstiju (odnosno, tragova prstiju), dlanova i stopala je poznata kao analiza papilarnih linija. Ova tehnika se koristi više od jednog vijeka u cilju identifikovanja pojedinaca. Analiza papilarnih linija i analiza nDNK su primarne forenzičke discipline iz kojih se rezultati mogu smatrati takvim da omogućavaju individualizaciju. Upotreba analize papilarnih linija možda može dati rezultate slične onima iz analize nDNK i treba je razmotriti pri izradi plana forenzičkih ispitivanja, posebno ako se otisci prstiju, dlanova ili stopala mogu podići sa samog lica mjesta ili sa nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala ili sa posude u koju je materijal stavljen ili transportovan. Na raspolaganju su razne baze podataka o otiscima prstiju i dlanova kao pomoć u povezivanju tih oblika linija sa određenim pojedincem i dostupne su organima za provođenje zakona, npr. kroz zahtjeve prema INTERPOL-u. U kontekstu forenzike, baza podataka je skup podataka ili informacija koji se može pretraživati i obično je, ali ne mora biti u elektronskom ili digitalnom formatu. Jedan

takav primjer je Integrisani automatizovani sistem za identifikaciju otisaka prstiju u SAD-u.<sup>51</sup>

I-7. Pored otisaka prstiju, dlanova i stopala, ostali šabloni otisaka se možda mogu naći na licu mjesta ili drugim licima mjesta povezanih sa istragom. Ti šabloni se obično nazivaju dokazi u vidu ostalih otisaka i nastaju kada predmet poput obuće ili gume vozila ostavi trag na površini. Ostali tragovi koji se možda mogu analizirati su oznake na mecima ili čahurama, otisci uha, otisci usana, neke mrlje krvi, tragovi ujeda i otisci rukavica. Za razliku od analize papilarnih linija, nije vjerovatno da će analiza tih ostalih šablona omogućiti individualizaciju. Umjesto toga, rezultati mogu pomoći da se određeni šablon poveže sa određenom klasom ljudi ili predmeta – npr. vrstom i brojem obuće ili vrstom ili veličinom gume vozila. Takvi rezultati mogu biti važni za sužavanje fokusa istrage nuklearno bezbjednosnog događaja.

### **Analiza tragova alata i vatrenog oružja**

I-8. Analiza tragova alata i vatrenog oružja koristi oznake koje nastaju kada tvrdi predmet, kao što su alat ili udarna igla vatrenog oružja, dođe u kontakt sa relativno mekim predmetom. Poređenje tragova alata i oružja se može smatrati specijalizovanim oblikom analize otisaka. Analiza tragova koje ostavi alat ili udarna igla se može iskoristiti da se suzi fokus istrage i ukazivanjem na određene proizvođače ili procese proizvodnje alata ili vatrenog oružja, ili eliminisanjem drugih. Ti tragovi se možda mogu pronaći na samom nuklearnom ili radioaktivnom materijalu ili na posudi korištenoj za skladištenje ili transport materijala, ili na drugim predmetima nađenim na licu mjesta ili na drugim licima mjesta od interesa za istragu.

### **Analiza dlaka**

I-9. Ljudi i životinje normalno ostavljaju dlake. Te dlake mogu ostati na licu mjesta ili se prenijeti na drugog pojedinca na licu mjesta ili na drugu lokaciju od interesa u istražne svrhe. Zbog toga se u istrazi nuklearno bezbjednosnog događaja treba razmotriti mogućnost da su dlake možda pale na nuklearni i drugi radioaktivni materijal van regulatorne kontrole ili u njegovu blizinu. Mikroskopska analiza dlaka je korisnija u pogledu karakteristike klase nego individualne karakteristike. Odnosno, rezultati analize mogu povezati dlaku sa određenom vrstom osobe (na osnovu npr. prirodne ili vještačke boje kose) više nego sa jedinstvenim pojedincem. Takvi rezultati mogu biti korisni da se određene osobe isključe iz kruga onih koji su mogući izvor dlake, čime se istraga sužava.

### **Analiza vlakana**

I-10. Analiza vlakana mikroskopskim ispitivanjem ima dugu istoriju upotrebe u forenzici. Vlakna mogu biti od sintetičkih materijala kao što su akril, najlon ili poliester, te botanička vlakna, kao što su ona koja se koriste u mnogim užadima ili koncima. Ovakva ispitivanja su slična onima koja se obavljaju na dlakama i povlače slična ograničenja, odnosno da se može utvrditi karakteristika klase, ali je individualizacija nemoguća. U skorije vrijeme se na vlaknima koriste moderniji metodi instrumentalne analize, kao što su infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom. Instrumentalni metodi daju dodatne informacije od potencijalne vrijednosti za istragu. Sve skupa, rezultati analize vlakana mogu potvrditi da se prenos vlakna desio kad je jedan predmet došao u kontakt s drugim, čime se potvrđuje veza ljudi, mjesta ili predmeta sa nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom van regulatorne kontrole.

---

<sup>5</sup> Vidi: [https://www.fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints\\_biometrics/iafis/iafi](https://www.fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints_biometrics/iafis/iafi)

## **Ispitivanje pisanog dokaznog materijala**

I-11. Ispitivanje pisanog dokaznog materijala uključuje poređenje i analizu dokumenata te sredstava štampanja i pisanja povezanih s njima. Ciljevi takvih ispitivanja uključuju:

- identifikovanje ili eliminisanje pojedinaca kao izvor rukopisa;
- utvrđivanje da li je dokument proizvod mehaničkih ili elektronskih uređaja kao što su štampači, kopir-aparati i faksovi;
- identifikovanje ili eliminisanje određenih mašina kao izvor štampanja ili kucanja;
- otkrivanje izmjena, dodavanja ili brisanja na dokumentu;
- dešifrovanje i rekonstrukcija oštećenih, izbrisanih ili teško razumljivih dijelova dokumenta;
- procjenu starosti dokumenta;
- prepoznavanje i očuvanje drugih fizičkih dokaza koji bi mogli biti prisutni na dokumentu, kao što su otisci prstiju, dlake, vlakna i drugi biološki materijal.

I-12. Zbog toga, kad god se pronađu dokumenti u vezi sa nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom van regulatorne kontrole, treba razmotriti takva ispitivanja pri izradi plana forenzičkog ispitivanja.

## **Analiza boja, premaza i drugih površinskih materijala**

I-13. Analiza boja, premaza i drugih polimernih materijala može biti vrijedna za istragu nuklearno bezbjednosnog događaja, posebno u situacijama u kojima se pronađu posude u vezi sa nuklearnim i drugim materijalom. Takve posude možda imaju natpise ili druge oznake na sebi ili unutar njih. Slično tome, posude mogu imati polimernske materijale korištene za npr. oblaganje materijala ili zaptivanje. Analiza komponenti boja, premaza i drugih polimernih materijala može dati rezultate koji pomažu u utvrđivanju oblasti svijeta u kojima su nastali.

## **Analiza eksploziva**

I-14. Analiza eksploziva se obavlja na nizu materijala. Kod konfigurisane eksplozivne naprave koja nije detonirala, i eksploziv i druge komponente naprave imaju vrijednost dokaza. Ako je naprava detonirala, dokazi od interesa uključuju: nesagorjeli ili neiskorišteni barut, tečnost ili eksplozivna smjesa; šrapnele naprave, uključujući i nedetonirani ili nesagorjeli eksploziv; i predmete u neposrednoj blizini eksplozije na kojima mogu biti rezidue eksploziva ili šrapneli naprave. Tumačenje analitičkih rezultata možda može ukazati na određenu grupu ili pojedinca na osnovu konstrukcije, materijala izrade i evidencija o kupovini takvih materijala. Posljedično tome, na sve planove forenzičkog ispitivanja će uticati eventualno prisustvo eksploziva na licu mjesta.

## **Forenzička medicina**

I-15. Kroz svoje dvije osnovne grane, kliničku forenzičku medicinu i forenzičku patologiju, doktori forenzičari mogu dati stručno znanje u slučajevima povezanim sa nuklearnom forenzikom.

I-16. Klinička forenzička medicina uključuje kliničko ispitivanje živih bića u slučajevima povreda, opekotina, eksploziva i komplikacija koje se dešavaju u vezi sa efektima i

posljedicama nuklearno bezbjednosnog događaja. Struka kliničke forenzike se bavi vrstama i prirodom povreda (ili opekotina), da li su prouzrokovane ekspozicijom nuklearnom ili drugom radioaktivnom materijalu, datumom povreda, periodom liječenja i rezultirajućim komplikacijama, te da li postoji ikakva invalidnost (privremena ili trajna).

I-17. Forenzička patologija uključuje primjenu medicinskog znanja na ispitivanje ljudskih ostataka. Primarno sredstvo za te svrhe je autopsija. Tipični ciljevi forenzičke patologije uključuju utvrđivanje uzroka i načina smrti, utvrđivanje prirode i obima povreda i utvrđivanje identiteta kod ljudskih ostataka.

I-18. Mnogi laboratorijski metodi se mogu koristiti kao pomoć forenzičkoj medicini, uključujući i one metode povezane sa ispitivanjima nDNK i mtDNK (vidi tačku I-4), metode snimanja ljudi (npr. rendgensko snimanje, magnetna rezonansa i CAT sken) i moderne instrumentalne metode (npr. gasna hromatografija–masena spektrometrija, tačna hromatografija i induktivno spregnuta plazma masena spektrometrija).

I-19. Kod žrtava nuklearno bezbjednosnog događaja, forenzička patologija može biti korisna za utvrđivanje da li je žrtva podlegla efektima ekspozicije zračenju ili zbog nekog drugog uzroka. Kod nuklearno bezbjednosnog događaja u kojem postoji disperzija nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala, nalazi ispitivanja u forenzičkoj patologiji se možda mogu pokazati korisnim u procjenjivanju udaljenosti svake žrtve od tačke disperzije.

## IZRASTAJUĆE DISCIPLINE NAUKE O FORENZICI

### **Analiza digitalnih dokaza**

I-20. Važnost analize digitalnih dokaza – najčešće podataka u binarnom obliku – raste sa ekspanzijom i vrsta uređaja kojima se takvi podaci mogu snimiti i brojem takvih uređaja u upotrebi kod pojedinaca, poslovnih djelatnosti i organa vlasti. Forenzički metodi se mogu koristiti da se pronađu podaci na određenom mediju i unutar operativnog sistema ili aplikacija. Potencijalni izvori digitalnih dokaza uključuju, ali nisu ograničeni na:

- desktope, laptope i tablete, kao i čvrste diskove, memorijske kartice i USB stikove;
- mobilne telefone;
- bezbjednosne i nadzorne kamere, poput onih koje koriste banke na bankomatima i u mnogim poslovnim djelatnostima, te u nekim stambenim četvrtima ili zajednicama;
- saobraćajne kamere, korištene za snimanje prekršaja ili praćenje protoka saobraćaja;
- prenosne medijske plejere;
- digitalne foto-aparate.

Digitalni sistemi instrumenata i kontrole u objektu takođe mogu dati digitalne dokaze. U kontekstu istrage nuklearno bezbjednosnog događaja, takvi uređaji ili dokazi sa njih se mogu pronaći na ili u blizini lica mjesta gdje je nuklearni ili drugi radioaktivni materijal zaplijenjen, duž ruta gdje je materijal mogao putovati i sa osoba osumnjičenih za povezanost sa događajima koji su kulminirali zapljenom materijala. Preovladavanje digitalnih uređaja za snimanje možda može omogućiti da kretanje nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala bude mapirano hronološki i geografski.

## **Aneks II**

### **TEHNIKE KARAKTERIZACIJE**

#### **UOBIČAJENO KORIŠTENE TEHNIKE U NUKLEARNO FORENZIČKIM ANALIZAMA**

II-1. Ovaj aneks je zasnovan na Poglavlju 21 reference II-1 i opisuje neke od najviše uobičajenih tehnika korištenih u nuklearno forenzičkim analizama, koje su prikazane u tabeli 3 Poglavlja 5. Ovaj spisak tehnika je reprezentativan i nije iscrpan. Da bi se ove informacije dopunile, u referenci II-2 su dati ishodi koordiniranog istraživačkog projekta na temu primjene nuklearne forenzike u suzbijanju nezakonitog prometa nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala.

#### **Fizička karakterizacija, uključujući vizuelni pregled i fotografisanje**

II-2. Vizuelni pregled uzorka može dati informacije u vezi sa njegovim identitetom, posebno ako postoje serijski brojevi ili druge identifikujuće oznake. Kao alternativa, veličina i oblik mogu biti dovoljni da se neki predmeti identifikuju. Kombinacija mjerenja dimenzija i težine uzorka se može koristiti da se izračuna gustina. Kod nekih hemijskih spojeva, boja materijala može biti važan indikator. Upotreba kalibrisane skale dužine ili boja olakšava dokumentovanje tih fizičkih mjerenja.

#### **Optička mikroskopija**

II-3. Optička mikroskopija je prvi metod za pregled uzorka korištenjem uvećanja. Optički mikroskop koristi svjetlosnu optiku za uvećanje te metode osvjetljenja uzorka odbijanjem ili transmisijom da prikaže uvećane slike uzorka oku korisnika. Gledanje uzoraka pod transmisijskim polarizovanim svjetlom takođe može otkriti informacije o sastavu i homogenosti uzorka. Svjetlosni mikroskopi mogu odmah uvećati sliku do 1000 puta.

#### **Skenirajuća elektronska mikroskopija i spektrometrija X-zracima**

II-4. Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) daje uvećanja slike i do 10.000 puta konvencionalnim izvorom snopa ili žarnom niti kao izvorom snopa, ili 500.000 puta sa izvorom emisije elektrona poljem. Kod SEM-a, precizno fokusirani elektronski snop skenira uzorak. Interakcija energetskog upadnog elektronskog zraka i uzorka daje elektrone povratnog raspršenja, sekundarne elektrone i X-zrake. Mjerenjem signala proizvedenog kao funkcija pozicije skeniranja, može se prikazati slika, ili mapa uzorka. Svaka vrsta signala prenosi različite informacije o uzorku. Naprimjer, sekundarni elektroni prenose informacije visoke rezolucije o morfologiji uzorka. Mapa relativnog intenziteta povratno raspršenih elektrona će pokazati prostornu distribuciju sastava materijala snimanog uzorka na osnovu prosječnog atomskog broja.

II-5. X-zraci generisani tokom SEM-a ili analize elektronskom mikrosondom su takođe način da se izmjeri elementarni sastav uzorka. X-zraci se mogu analizirati kvantitativno bilo kojim od dva metoda. Prvo, energijski disperzivan rendgenski spektrometar (EDX) koristi poluprovodnički detektor da istovremeno mjeri energiju i brzinu upadnih X-zraka. Drugo, u konfiguraciji elektronske mikroskopske sonde, rendgenski spektrometar sa disperzijom talasne dužine (WDX) koristi analizatorski kristal da odabrane X-zrake sekvencijalno razloži u gasni proporcionalni brojač. Analiza je ograničena na prostornu rezoluciju od približno 1  $\mu\text{m}$ . Granice detekcije analize je približno 0,1%, što zavisi od elementa. SEM se u kombinaciji sa EDX i WDX može koristiti da se mapiraju rasprostranjenost i prostorna distribucija elemenata u uzorku.

## **Rendgenska fluorescentna analiza**

II-6. Rendgenska fluorescentna analiza (XRF) je korisna kod kvantifikacije elemenata u širokom rasponu uzoraka metodom bez razaranja. Upadni rendgenski snop pobuđuje karakteristične X-zrake u čvrstom uzorku, koji se broje na poluprovodničkom ili proporcionalnom brojaču. Granice detekcije za XRF je u rasponu od 10 milionitih dijelova (ppm). Uprkos emitovanim niskim energijama X-zraka, analiza lakih elemenata (npr. bor, ugljik i kisik) je moguća korištenjem korekcija masene apsorpcije i analizatorskog kristala.

## **Rendgenska difrakciona analiza**

II-7. Rendgenska difrakciona analiza (XRD) je metod utvrđivanja hemijske strukture kristalnog materijala. Rendgenski snop koji ulazi na kristalne rešetke se podvrgava konstruktivnoj i destruktivnoj interferenciji, što zavisi od razmaka rešetke, talasne dužine X-zraka i upadnog ugla snopa. Rotiranjem uzorka u odnosu na fiksirani izvor X-zraka, dešavaju se varijacije u interferenciji, što vodi karakterističnim difrakcionim slikama. Te slike se mogu uporediti sa referentnim spektrima da se utvrdi specifična kristalna faza. XRD ne može proizvesti difrakcione slike iz amornog (nekristalnog) materijala.

## **Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom**

II-8. Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom je korisna za utvrđivanje hemijskih spojeva. Uzorak se izlaže širokom pojasu infracrvenih frekvencija, a intenzitet reflektovanog ili transmisijskog infracrvenog zračenja se mjeri kao funkcija frekvencije. Iz toga se gradi infracrveni apsorpcioni spektar. Apsorpcija na specifičnim frekvencijama je karakteristična za određene veze. Odatle infracrveni spektar identifikuje razne veze i funkcionalne grupe unutar molekula. Takođe postoje kompilacije infracrvenih spektara koje pomažu u identifikaciji nepoznatih spojeva ili bar njihovom stavljanju u određene molekularne klase.

## **Tehnike radioaktivnog brojanja**

II-9. Svaki radioaktivni izotop emituje zračenje poznatih vrsta i energija na poznatoj brzini određenom njegovom aktivnošću. Mjerenjem zračenja emitovanog iz uzorka je moguće kvantifikovati količinu svakog prisutnog izmjerenog izotopa. Postoje četiri vrste zračenja koje se mogu razmotriti za mjerenje: alfa, beta, gama i neutronska. Svaka vrsta zračenja ima svoja svojstva i metode detekcije. Dvije najvažnije metode za nuklearnu forenziku su gama i alfa spektrometrija, a one su dalje opisane u tačkama II-10 do II-13.

II-10. Zbog lakoće mjerenja i činjenice da je to tehnika bez razaranja i ne zahtijeva pripremu uzorka, gama spektrometrija je prva tehnika koja se koristi kad se vrši početna kategorizacija zaplijenjenog nuklearnog ili drugog radioaktivni materijal kao dio nuklearno forenzičkih ispitivanja. Mjere se gama zraci (odnosno fotoni sa energijama u opsegu od 10 keV do više od 500 keV), iako su oni oslabljeni materijalom pakovanja ili strukturalne zaštite, posebno olovom. Početna mjerenja radi kategorizacije na licu mjesta se vrše prenosnim gama spektrometrima, npr. ručnim identifikatorom radionuklida baziranom na natrij jodidu ili prenosnim detektorima sa germanijem visoke čistoće. U laboratorijama se koriste sofisticiraniji sistemi gama spektrometrije sa većom osjetljivošću i višom rezolucijom. Odatle se većom rezolucijom mogu mjeriti gama zraci sa manjom rasprostranjenošću. Energije jedna blizu druge se mogu odvojiti u spektru. Komercijalno dostupan softver se koristi za identifikovanje u niskoenergetskom spektru posmatranom za plutonij i uran, i omogućava izračun izotopskog sastava materijala. Međutim, treba imati u vidu da se neki nuklidi, kao što su  $^{242}\text{Pu}$  ili  $^{236}\text{U}$ , ne mogu detektovati gama spektrometrijom; umjesto toga se koristi masena spektrometrija.

II-11. Gama spektrometrija takođe igra ključnu ulogu u analizi neutronske aktivacije, gdje se koristi za mjerenje nuklida nastalih aktivacijom uzoraka u reaktoru ili generatoru neutrona.

II-12. Alfa spektrometrija detektuje alfa čestice, koje su joni  $\text{He}^{2+}$  sa energijama u opsegu 3–8 MeV. Alfa spektrometrija je tehnika sa razaranjem. Alfa čestice se lako zaustavljaju zbog njihove jake interakcije sa materijom, pa se odatle zahtijeva radiohemijska priprema uzorka za brojanje alfa spektrometrijom.

II-13. Radiohemija praćena alfa spektrometrijom je važna za mjerenje aktivnosti  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239+240}\text{Pu}$ . Radiohemijska separacija plutonija i americija je posebno važna pošto alfa čestice emitovane iz  $^{241}\text{Am}$  i  $^{238}\text{Pu}$  imaju slične energije i odatle se preklapaju u spektru. Slično tome, alfa energije  $^{239}\text{Pu}$  i  $^{240}\text{Pu}$  su bliske i ne mogu se razdvojiti u spektru. Posljedično tome, one se mjere kao zbir (odnosno  $^{239+240}\text{Pu}$ ). Atomski omjer  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  se dobija pomoću masene spektrometrije.

### Hemijske analize

II-14. Hemijska titracija i kulometrija kontrolisane jačine struje su standardni metodi za utvrđivanje elementarne koncentracije neptunija, plutonija, urana ili drugih značajnih komponenti materijala sa nuklearnim gorivom radi obračuna mjerenja ili verifikacija obračuna. Kod hemijske titracije, uzorak se navodi na reakciju sa tačno izmjerenom količinom odabranog reagensa poznatog sastava, što vodi završetku reakcije ili karakterističnoj krajnjoj tački dobro poznate stehiometrijske reakcije. Između ostalog, namjena metoda titracije je u skladu sa načinom detekcije krajnje tačke (npr. potenciometrijska i spektrofotometrijska titracija). Korištenjem kulometrije kontrolisane jačine struje, element koji se treba analizirati se selektivno oksidira ili redukuje na metalnoj elektrodi koja se konstantno drži na odabranoj jačini struje. Broj elektrona izgubljenih kroz oksidaciju ili dobijen kroz redukciju je mjera količine elementa prisutnog u uzorku.

II-15. Preciznost i tačnost tih metoda je veća od 0,1% korištenjem tipične veličine uzorka od nekoliko stotina miligrama. Ti metodi su ustaljeni i rutinski se koriste u laboratorijama za verifikaciju mjerenja nuklearnog materijala i provjeru poštovanja zaštitnih mjera. Oni zbog toga mogu biti veoma efikasni za karakterizaciju nuklearnog materijala pod uslovom da su uzorci veličine najmanje nekoliko desetina jednog grama.

### Radiohemija

II-16. Mnogi uzorci su previše kompleksni za mjerenje svih prisutnih radioaktivnih izotopa bez početne separacije i pročišćavanja. Koristeći sve razlike u hemijskim svojstvima elemenata, moguće je napraviti aranžmane da se elementi ili grupe elemenata razdvoje da se omogući mjerenje prisutnih izotopa metodima radioaktivnog brojanja ili masenom spektrometrijom. Izmjereni izotopi su kvantitativno povezani sa izvornim uzorkom referencom na interni izotopski standard nazvan „spajk“ (*spike*). Koraci hemijske separacije i pročišćavanja pojačavaju i senzitivnost i selektivnost ove tehnike. Radiohemija je posebno važna u cilju omogućavanja mjerenja izotopa prisutnih pri niskoj aktivnosti i koji se najbolje mjere po njihovim alfa emisijama ili masenom spektrometrijom. U kombinaciji sa tehnikama radioaktivnog brojanja i masenom spektrometrijom, radiohemija ima potencijal mjerenja do nivoa femtograma ( $10^{-15}$  g) za neke izotope.

### Radiografija

II-17. Radiografske tehnike mogu biti korisne za utvrđivanje prostorne distribucije i aktivnosti radionuklida u uzorku. Naprimjer, analiza tragova fisije i analiza tragova alfa čestica mogu locirati i kvantifikovati aktinide unutar uzorka korištenjem poluprovodničkih



detektora nuklearnih tragova, a metode korištenja fotografskih filmova ili modernih uređaja zasnovanih na tehnologijama CCD senzora (*charged couple device*) mogu locirati i identifikovati alfa i beta emitere.

### **Masena spektrometrija**

II-18. Masena spektrometrija se koristi za utvrđivanje izotopskog sastava elemenata u datom materijalu. Masena spektrometrija takođe može dati kvantifikaciju (često nazvana „analiza; test“ (*assay*) kad se primjenjuje na glavne sastavne dijelove uzorka tih elemenata dodavanjem poznate količine konkretnog izotopa. To je poznato kao masena spektrometrija sa razrjeđenjem izotopa (IDMS). Metodima masene spektrometrije se mogu analizirati i radioaktivni i stabilni izotopi. U masenoj spektrometriji se atomi i molekuli pretvaraju u pozitivno ili negativno nabijene jone. Joni se zatim dijele u skladu sa svojim omjerom mase i naboja, a mjere se intenziteti rezultirajućih jonskih snopova razdvojenih po masi. Tehnike elementarne masene spektrometrije generalno imaju visoku selektivnost zbog koraka analize mase osim u specifičnim slučajevima izobarskih interferencija. Masena spektrometrija nudi krajnje visoku preciznost i tačnost analize, kao i veliku osjetljivost na rasprostranjenost.

### **Termalna jonizacija sa masenom spektrometrijom**

II-19. Kod termalne jonizacije sa masenom spektrometrijom (TIMS), uzorak se stavlja na metalnu nit koja se zagrijava prolaskom električne struje držane u visokom vakuumu. Ako je potencijal jonizacije datog elementa dovoljno nizak u poređenju sa radnom funkcijom niti, onda se dio atoma tog elementa jonizira putem interakcije sa površinom niti na visokoj temperaturi. Mase se zatim identifikuju u masenom spektrometru u visokom vakuumu korištenjem magnetskog sektora. Specifičnost TIMS analize odražava i korake hemijske separacije i temperaturu jonizacije. TIMS ima mogućnost da rutinski mjeri omjere izotopa veličine nanograma ( $10^{-9}$  g) ili pikograma ( $10^{-12}$  g) u uzorcima ili, kod rijetkih uzoraka, sve do nekoliko desetina femtograma ( $10^{-15}$  g) korištenjem posebnih tehnika predkoncentracije. TIMS rutinski mjeri razlike u omjerima mase izotopa reda veličine 1 ppm.

### **Induktivno spregnuta plazma sa masenom spektrometrijom**

II-20. Analiza induktivno spregnutom plazmom sa masenom spektrometrijom (ICP-MS) zahtijeva da uzorak bude uveden kao rastvor u induktivno spregnutu plazmu, gdje visoka temperatura plazme razdvaja uzorak na njegove sastavne atome i jonizira ih. Pored mjerenja omjera izotopa, ICP-MS je koristan i kao osjetljiv alat za analizu elemenata i kao metod za precizno kvantifikovanje elemenata u tragovima kao sastavnih dijelova uzorka. Opseg granice detekcije se kreće od 0,1 ppb do približno 10 ppb u rastvoru. ICP-MS je problematičan kod mjerenja nekih elemenata sa malim atomskim brojevima zbog interferencije sa pozadinom ili loše efikasnosti jonizacije (npr. ugljik, kisik, fosfor, kalij, silicij i sumpor).

### **Masena spektrometrija sa sekundarnim jonima**

II-21. Masena spektrometrija sa sekundarnim jonima (SIMS) se koristi i za elementarnu i za izotopsku analizu uzoraka, uključujući i male čestice. SIMS koristi precizno fokusirani primarni jonski snop (npr.  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ga}^+$  or  $\text{O}_2^+$  da erodira površinu uzorka). Proces erodiranja proizvodi sekundarne jone (karakteristične za uzorak) koji se mogu analizirati masenim spektrometrom. U modu *mikroskop*, relativno veliki primarni jonski snop bombarduje uzorak, a položaj rezultirajućih sekundarnih jona u prostoru se održava i uvećava putem masenog spektrometra. Detektor snimanja koji je osjetljiv na položaj prikazuje i snima izotopsku sliku. U modu *mikrosnop*, precizno fokusirani primarni jonski snop skenira uzorak na način sličan elektronskom mikroskopu. Rezultirajući sekundarni jonski signal se zatim mjeri i stavlja u korelaciju sa položajem primarnog jonskog snopa

da bi napravio izotopsku sliku. Ablacija površine uzorka od strane fokusiranog jonskog snopa daje profil dubine koji je izuzetno vrijedan za dokumentovanje gradijenata sastava ili izmjena na površini.

### **Gasna hromatografija–masena spektrometrija**

II–22. Gasna hromatografija–masena spektrometrija (GC–MS) je tehnika korisna za detektovanje i mjerenje organskih sastavnih dijelova u tragovima (odnosno, veličine ppm) u velikom uzorku. U GC–MS, volatilne komponente uzorka se razdvajaju u gasnom hromatografu i identifikuju u masenom spektrometru. Maseni spektrometar jonizira i fragmentira svaku komponentu onako kako ona izlazi iz gasne kolone. Može se koristiti mnogo metoda jonizacije, ali najviše uobičajen kod GC–MS je jonizacija elektronima. Maseni spektrometar mjeri intenzitet jona raznih masa, bilo simultanom ili uzastopnom detekcijom, zavisno od vrste masenog spektrometra. Rezultirajući grafikon relativnog intenziteta u odnosu na omjer mase i naboja je maseni spektar. Postoje obimne zbirke masenih spektara koje pomažu da se identifikuju nepoznati spojevi detektovani korištenjem GC–MS.

### **Transmisijska elektronska mikroskopija**

II–23. Kod transmisijske elektronske mikroskopije (TEM), energetski elektronski snop prolazi kroz ultratanak uzorak (debljine oko 100 nm). TEM ima mogućnost većeg uvećanja nego SEM i u stanju je da snimi krajnje finu strukturu uzorka. Elektroni koji prođu se mogu podvrgnuti efektima difrakcije, što se može koristiti kao rendgenska difrakciona analiza da se identifikuju kristalne faze u materijalu.

### **REFERENCE**

- (II–1) KRISTO, M.J., "Nuclear Forensics", Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd edn (L'ANNUNZIATA, M.F., Ed.), Elsevier, Oxford (2012).
- (II–2) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).

## Aneks III

### PRIMJERI EDUKCIJE, OBUKE, VJEŽBI I ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH AKTIVNOSTI

III-1. U ovom aneksu se opisuju neke aktivnosti izgradnje kapaciteta koje se realizuju na međunarodnom nivou.

#### EDUKACIJA

III-2. IAEA je 2010. godine uspostavila Međunarodnu mrežu edukacije o nuklearnoj bezbjednosti (INSEN) da bi osigurala efektivne prakse nuklearne bezbjednosti putem razvijanja, razmjene i promovisanja izvrsnosti u edukaciji. INSEN obuhvata obrazovne i istraživačke institute koji su uključeni ili planiraju da se uključe u edukacije o nuklearnoj bezbjednosti. Članovi INSEN-a saraduju na izradi udžbenika, nastavnih sredstava i instruktivnog materijala, kontinuiranoj edukaciji nastavnog osoblja, razmjeni studenata u cilju unapređenja razmjena informacija, istraživanju i razvoju u cilju promocija povjerenje u tehnike, procjeni magistarskih i doktorskih radova, i obavljanju mjerenja efektivnosti učinka u edukaciji o nuklearnoj bezbjednosti.

#### OBUKA

III-3. Radi ispunjavanja zahtjeva razne ciljne publike, IAEA je kreirala niz kurseva obuke koji obuhvataju različite aspekte nuklearne forenzike kao podrške istragama nuklearno bezbjednosnih događaja. Ti kursevi uključuju: „Uvod u nuklearnu forenziku“, „Metodologije nuklearne forenzike“, te povezani kurs pod nazivom „Upravljanje radiološkim licem mjesta“. Više informacija je dostupno u katalogu IAEA-e o obuci o nuklearnoj bezbjednosti, koji se može naći na *web* strani Odjeljenja IAEA-e za nuklearnu bezbjednost<sup>6</sup>.

III-4. INTERPOL takođe daje obuku međusektorskim multinacionalnim grupama koje čine zaposleni na provođenju zakona i u nauci o najboljim praksama u upravljanju radiološkim licem mjesta.

III-5. Pored toga, države članice IAEA-e izvode kurseve obuke i unutar svoje države i na međunarodnom nivou.

#### VJEŽBE

III-6. Međunarodna tehnička radna grupa za nuklearnu forenziku (ITWG) izvodi brojne vježbe zasnovane na analitici i scenarijima, dajući priliku laboratorijama da procijene svoj rad na analizi, kao i da demonstriraju svoje mogućnosti. Radna grupa za vježbe u okviru ITWG-a je ključna u planiranju, izvođenju i izvještavanju o kolaborativnim vježbama vezanim za određeni materijal – takođe nazvanim „testovi ukrug“ (*round robins*, tokom kojih svaka od laboratorija učesnica dobija identične uzorke nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala kao i u nekim slučajevima nenuklearne dokaze, i zadatak da obavi analize. Učesnici obavljaju analize i izvještavaju o nalazima u rokovima od 24 sata, 1 sedmica i 2 mjeseca. Uključenost u ova ispitivanja je potpuno dobrovoljna i otvorena za laboratorije koje same iskazuju svoje mogućnosti mjerenja. Rezultati su šifrirani, tako da se rezultati svake laboratorije iskazuju anonimno i laboratorije su poznate samo koordinatorskoj vježbi. Ishodi vježbi demonstriraju individualni laboratorijski rad u odnosu na iskazane analitičke kapacitete uz istovremeno utvrđivanje korisnosti raznih analitičkih metoda primijenjenih na isti uzorak. Ova ispitivanja obuhvataju

<sup>6</sup> Vidi: <http://www-ns.iaea.org>

međunarodne laboratorije i razne materijale. Završene su tri kolaborativne vježbe ITWG-a:

- (a) Vježba 1998–2000 sa 6 laboratorija koje su analizirale plutonij oksid.
- (b) Vježba 2000–2002 sa 10 laboratorija koje su analizirale visoko obogaćeni uran oksid.
- (c) Vježba 2010 sa 9 laboratorija koje su analizirale visoko obogaćeni uran.

III–7. Grupa za implementaciju i procjenu Globalne inicijative za suzbijanje nuklearnog terorizma (GICNT) izvodi vježbe scenarija za stolom i seminare. Cilj vježbi je bio:

- (a) razvoj i unapređivanje zajedničkog razumijevanja nuklearno forenzičkih mogućnosti i principa;
- (b) naglašavanje važnosti nuklearne forenzike kreatorima politika i donosiocima odluka;
- (c) razgovor o odnosima raznih krugova (uključujući provođenje zakona, sudstvo, politike i tehničke krugove) uključene u nuklearnu forenziku;
- (d) ispitivanje aspekata politika kod razmjene informacija radi unapređenja istraga nuklearno bezbjednosnih događaja;
- (e) utvrđivanje potencijalnih kooperativnih partnerstava u razmjeni informacija i unutar države i na međunarodnom nivou.

#### ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

III–8. Da bi se izgradilo povjerenje u nuklearnu forenziku, unaprijedilo proučavanje nuklearno forenzičkih potpisa, olakšao razvoj državnih biblioteka nuklearne forenzike i unaprijedila međunarodna saradnja, IAEA je inicirala sljedeće koordinirane istraživačke projekte:

- (a) 2008–2011: Primjena nuklearne forenzike u suzbijanju nezakonitog prometa nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala (referenca III–1)
- (b) 2013–danas: Identifikacija nuklearno forenzičkih potpisa s velikom pouzdanošću u cilju razvoja državnih biblioteka nuklearne forenzike

III–9. Više informacija o svim koordiniranim istraživačkim projektima je dostupno na *web* strani IAEA-e<sup>7</sup>.

#### REFERENCE

(III–1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).

---

<sup>7</sup> Vidi: <http://www-crp.iaea.org>

## RJEČNIK

**analiza velikog uzorka (bulk analysis).** Analiza bilo cijelog uzorka ili dijela uzorka u cilju utvrđivanja prosječnih svojstava mjenog dijela.

**lanac čuvanja dokaza (chain of custody).** Procedure i dokumenti kojima se opravdava integritet fizičkih dokaza praćenjem postupanja s njima i njihovog skladištenja od mjesta uzimanja do konačnog odlaganja. Ostali izrazi koji se koriste za ovaj proces su „lanac dokaza“, „lanac fizičkog čuvanja“ i „lanac posjedovanja“.

**karakterizacija (characterization).** Utvrđivanje prirode radioaktivnog materijala i pratećih dokaza.

**karakteristika klase (class characteristic).** Atribut ili karakteristika zajednički za sve pripadnike klase ljudi ili stvari.

**nadležni organ (competent authority).** Institucija vlasti ili institucija koju odredi država da vrši jednu ili više funkcija nuklearne bezbjednosti. Naprimjer, nadležni organi mogu obuhvatati regulatorna tijela, organe za provođenje zakona, carinsku i graničnu kontrolu, obavještajne i bezbjednosne agencije, zdravstvene zavode itd.

**imenovana nuklearno forenzička laboratorija (designated nuclear forensic laboratory).** Laboratorija za koju država utvrdi da ima mogućnost prijema i analize uzoraka nuklearnog i/ili drugog radioaktivnog materijala u svrhu podrške nuklearno forenzičkim ispitivanjima.

**ispitivanje (examination).** Postupak koji se koristi za dobijanje informacija iz dokaza da bi se došlo do zaključaka u vezi sa prirodom veza i/ili vezama koje se odnose na dokaze.

**individualizacija (individualization).** Mogućnost povezivanja forenzičkog rezultata ili skupa rezultata sa jednim jedinim izvorom, npr. osobom, mjestom ili proizvodnim procesom.

**državna biblioteka nuklearne forenzike (national nuclear forensics library).** Administrativno organizovana zbirka informacija o nuklearnom i drugom radioaktivnom materijalu proizvedenom, korištenom ili uskladištenom u državi.

**nuklearno forenzičko tumačenje (nuclear forensic interpretation).** Proces stavljanja u vezu karakteristika uzorka sa postojećim informacijama o vrstama materijala, porijeklu i načinima proizvodnje nuklearnog ili drugog radioaktivnog materijala, ili sa ranijim slučajevima u kojima je bio sličan materijal.

**nauka o nuklearnoj forenzici ili nuklearna forenzika (nuclear forensic science or nuclear forensics).** Disciplina nauke o forenzici koja uključuje ispitivanje nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala ili drugih dokaza kontaminiranih radionuklidima u kontekstu sudskih radnji.

**radiohronometrija (radiochronometry).** Upotreba mjerenja proizvoda radioaktivnog raspada u uzorku materijala radi utvrđivanja vremena proteklog od zadnjeg izdvajanja potomka od roditelja (a odatle i „starosti“ materijala u mjenom uzorku).

**radiološko lice mjesta (radiological crime scene).** Lice mjesta na kojem se desila kriminalna radnja ili druga namjerna neovlaštena radnja sa nuklearnim ili drugim radioaktivnim materijalom ili se sumnja na nju.

**potpis (signature).** Karakteristika ili skup karakteristika određenog uzorka koji omogućavaju poređenje tog uzorka sa referentnim materijalima.

**element u tragovima (trace element).** Element u uzorku koji ima prosječnu koncentraciju od manje od 1000 µg/g ili 0,1% sastava matrice.