



UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY
The Spirit Makes The Power

Катедра „Национална и регионална сигурност“

Готовност и реакция на Руанда на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти: принос към регулаторната рамка за укрепването на ядрената сигурност в Руанда

АВТОРЕФЕРАТ

Дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен "доктор"

по професионално направление 3.8 Икономика, научна специалност Икономика и управление (Отбрана и сигурност)

Автор:

Емануел АБЕНАНИЕ

© 2025 Емануел АБЕНАНИЕ

Научен ръководител:

Проф. д-р Цветан Цветков

2025

Резюме

Настоящата дисертация оценява готовността и реакциите на Руанда при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти, като се фокусира върху укрепване на регулаторната рамка за осигуряване на надеждна ядрена сигурност. Изследването използва комбиниран методологичен подход, съчетаващ анализ на документи, интервюта с ключови заинтересовани страни и анкети на различни гранични пунктове в Руанда.

Проучването оценява законодателната, институционалната и оперативната готовност на страната за реакция при РЯ заплахи, особено в контекста на стремежа на Руанда да въведе малки модулни реактори (SMRs) и да разшири използването на ядрени технологии в медицината, енергетиката и промишления сектор.

Емпиричните данни са събрани чрез теренни оценки на гранични пунктове като международното летище в Кигали (80% готовност) и пристанище Руганда Лейк (31%). Резултатите подчертават различията в инфраструктурата, обучението, комуникацията и координацията между граничните пунктове.

Проучването също така идентифицира пропуски в прилагането на регулации, обществената информираност и готовността за извънредни ситуации. Интервюта със заинтересовани страни от RURA, RAEB и Националната полиция на Руанда подчертават нуждата от междуведомствена координация и изграждане на капацитет. Констатациите разкриват напредък, но са необходими подобрения в областта на откриването, международното сътрудничество и законодателната рамка. Препоръките включват законодателна реформа, инвестиции в технологии за откриване и кампании за обществена информираност. Проучването подчертава значението на трансграничното сътрудничество и привеждането в съответствие с международните стандарти за ядрена сигурност за смекчаване на рисковете, свързани с РЯ заплахите

Това изследване, базирано на смесени методи, предлага стратегически препоръки за укрепване на готовността и реакцията на Руанда при РЯ инциденти, допринасяйки за изграждането на устойчива рамка за ядрена сигурност.

Чрез комбиниране на качествен и количествен анализ, тази теза предоставя подробна оценка на средата на ядрената сигурност на Руанда и предлага стратегически препоръки за подобряване на готовността на страната и реакцията на инциденти с РЯ. Изследването допринася за усилията на Руанда за изграждане на устойчива рамка за ядрена сигурност, която може да се справи както с вътрешни, така и с транснационални предизвикателства за ядрената сигурност.

Ключови думи

Радиологични и ядрени (РЯ) заплахи, ядрена сигурност, Руанда, регулаторна рамка, малки модулни реактори, международно летище Кигали (KIA), регулаторен

орган за комунални услуги на Руанда (RURA), борд за атомна енергия на Руанда (RAEB), готовност за извънредни ситуации.

СЪДЪРЖАНИЕ

Глава първа: ВЪВЕДЕНИЕ	5
Глава втора: ОБЕМ И СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД, СЪДЪРЖАНИЕ НА ТЕЗАТА.....	23
Глава трета: СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД И РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО.....	25
Глава четвърта: РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО.....	27
Глава пета. ПРЕПОРЪКИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ	37
Глава шеста: ПРИНОСИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	52
Глава седма: ПРИЛАГАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ	56
Публикации по дисертационния труд.....	59

Глава първа: ВЪВЕДЕНИЕ

Актуалност на изследването

Нарастващата глобална заплаха от радиологични и ядрени (RN) инциденти налага стабилни национални стратегии за готовност и реагиране. Руанда, като развиваща се нация, предприе значителни стъпки за укрепване на своята рамка за ядрена сигурност, но остават предизвикателствата при пълното прилагане на ефективни мерки за превенция и реагиране. Това проучване оценява готовността и отговора на Руанда на RN заплахите, като подчертава пропуските и предлага решения за подобряване на националната сигурност.

Изследователски проблем

Значително количество ядрени и радиоактивни елементи се произвеждат или се модифицират, за да може обществото да продължи да се развива технологично и индустриално (Vargas, 2012). Бързото развитие на научните и технологичните знания, заедно с индустриализацията, разширяването на капацитета за производство на енергия, увеличената селскостопанска продуктивност, хранително-вкусовото инженерство и други подобни, са съпроводени с повишено излагане на рисковете, произтичащи от радиоактивни и ядрени агенти (РЯ).

РЯ заплахите и извънредните ситуации обаче могат да възникнат умишлено – от недържавни субекти като терористи – или в резултат на инциденти, които водят до професионално облъчване, пожари, експлозии и изпускане на токсични вещества сред населението. Руанда, като държава, която тепърва започва да развива ядрен сектор, все още не е предприела достатъчно действия за подготовка и реакция на тези заплахи.

Поради глобалното нарастване на терористичните действия, геополитическото напрежение и придобиването на оръжия за масово унищожение от антиправителствени организации, за правителствата става от съществено значение да инвестират в стратегическо разпознаване, превенция, откриване, както и в адекватна реакция на тези РЯ заплахи.

Въпреки международните усилия за повишаване на ядрената сигурност, много страни, включително Руанда, срещат трудности при постигането на цялостна готовност за реакция при инциденти, свързани с РЯ агенти. Ефективността на съществуващите политики, институционалните възможности и механизмите за реагиране при извънредни ситуации в Руанда остава слабо проучена. Настоящото изследване има за цел да идентифицира пропуските в рамката на сигурността на Руанда по отношение на РЯ рамка за сигурност и да предложи стратегически интервенции.

Обект на изследването

Обект на изследването е националната рамка на Руанда за готовност и реакция при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти. Това обхваща всички свързани политики, регулации, инфраструктура, технологии и човешки ресурси, посветени на сигурността срещу РЯ заплахи в рамките на територията на Руанда.

Основни цели на изследването

Конкретните задачи на изследването са:

- Да се разработят системи за откриване и оценка на нуждите на всички определени гранични пунктове и летища на Руанда за откриване на незаконен трафик на ядрени материали през територията на страната.
- Да се предложат необходимите изменения в действащото законодателство относно превенцията, откриването и реакцията при РЯ заплахи и извънредни ситуации.
- Да се оцени нивото на знания, да се установят пропуските и да се осигури необходимият капацитет за национален отговор при инциденти, свързани с РЯ агенти в Руанда.
- Да се оцени готовността на референтните болници в Руанда по отношение на приема и лечението на пациенти, изложени на радиационно или ядрено облъчване, както и наличните възможности за деконтаминация.

Хипотеза на изследването

Настоящото изследване издига тезата, че способността на Руанда да се подготвя ефективно и да реагира на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти е пряко свързана със силата на нейната регулаторна рамка за ядрена сигурност. Основната хипотеза гласи, че развитието на устойчиви мерки за готовност, които включват междуведомствена координация, обществена осведоменост, внедряване на технологии и прилагане на политики, не само смекчава непосредствените рискове, свързани с РЯ инциденти, но и действа като катализатор за еволюция и укрепване на националните регулации.

Критичен аспект на тази хипотеза е твърдението, че засилената междуведомствена координация между различни заинтересовани страни – включително регулаторни органи, екипи за спешно реагиране, здравни институции, гранични служби и правоприлагащи органи – ще доведе до по-интегрирана и ефективна национална реакция.

Друг основен компонент на хипотезата е, че повишената обществена информираност и целенасочените обучителни програми за специалисти в областта на ядрената сигурност са от съществено значение както за спешната готовност, така и за дългосрочното подобряване на регулаторната рамка. Очаква се, че систематичните образователни кампании за обществото ще повишат разбирането на населението относно РЯ рисковете, като по този начин ще се намали паниката и ще се гарантира по-организирана евакуация и реакция при кризисни ситуации.

В същността си хипотезата твърди, че подобрените механизми за докладване на инциденти и оценка на риска ще допринесат пряко за създаването на по-динамична и адаптивна регулаторна система, способна да предвижда бъдещи заплахи и да се адаптира към нововъзникващи предизвикателства. Съответно, регулаторната рамка ще бъде по-стабилна, последователна и способна да възпира потенциални пробиви или дейности, свързани с нелегален трафик.

Предмет на изследването

Това изследване разглежда готовността и отговорите на Руанда на радиологични и ядрени (RN) заплахи и инциденти, като се фокусира върху това как тези усилия

допринасят за укрепването на националната регулаторна рамка за ядрена сигурност. Изследва се текущото състояние на ядрената сигурност в Руанда чрез оценка на ефективността на съществуващите политики, оперативни практики и механизми за реагиране при извънредни ситуации. Проучването се задълбочава в многостранните аспекти на ядрената сигурност, включително междуведомствена координация между различни заинтересовани страни, лица за реагиране при спешни случаи, здравни институции и агенции за граничен контрол; ролята на обществената осведоменост и специализираното обучение за намаляване на рисковете; и приемането на модерни технологии за откриване и наблюдение. В крайна сметка това проучване допринася за глобалния дискурс за ядрената сигурност, като предлага прозрения, приложими към други развиващи се нации, които се справят с подобни предизвикателства пред сигурността в среда с ограничени ресурси.

Теза на изследването

Рамката за ядрена сигурност на Руанда постигна напредък, но пропуските в координацията, техническия капацитет и прилагането на политиката възпрепятстват пълната ѝ ефективност в отговор на RN заплахите. Справянето с тези слабости чрез стратегически реформи ще подобри националната готовност и устойчивост.

Цел на изследването и изследователски въпроси

Целта на настоящото изследване беше да се разработи процес за готовност и реагиране при извънредни ситуации, свързани с радиологични и ядрени заплахи и инциденти в Руанда. Изследването разглежда наличните подходи за предотвратяване, откриване и реакция на тези заплахи и инциденти.

Изследването се основава на следните изследователски въпроси:

1. Какви са съществуващите механизми за предотвратяване, откриване и реагиране при радиологични и ядрени заплахи, както и степента на готовност за извънредни ситуации на основните входни пунктове в Руанда?
2. Какви проектни критерии трябва да бъдат установени за разработването на план за реакция при извънредни ситуации, свързани с радиологични и ядрени заплахи?
3. Какво е нивото на готовност на различните институции в Руанда за реагиране при радиологични и ядрени заплахи и инциденти – в сравнение с изискванията и препоръките на международни организации като МААЕ, СЗО, както и на отговорните национални регулаторни органи и ресорни министерства?

Обосновка на изследването

Въпреки динамичните заплахи за ядрената сигурност в региона на Източна и Централна Африка и решението на страните от Източна Африка да започнат ядрена енергийна програма, досега не са въведени достатъчно механизми за координация и сътрудничество между заинтересованите страни, участващи в дейностите по ядрена сигурност. Настоящото изследване потвърждава необходимостта Руанда да развие координационни механизми между основните институции с отговорности и мандати в областта на ядрената сигурност, включително регулаторния орган, службите за сигурност и разузнаване, полицията, граничния контрол, транспорта, митническите

служби и други. Тези институции трябва да работят съвместно в различни аспекти на ядрената сигурност с цел укрепване на националния режим за ядрена сигурност.

С оглед на настоящите тенденции, свързани с ядрен тероризъм, и в съответствие с международната правна рамка за ядрена сигурност, утвърдените принципи и насоките на МААЕ, настоящото изследване формулира препоръки за създаване на най-ефективен модел за координация на междуправителствените действия в областта на ядрената сигурност. Необходимо е изграждането на устойчиви механизми за превенция, откриване и реакция на заплахи и инциденти, свързани с ядрената сигурност.

Един от най-ефективните и основни начини за постигането на това е чрез създаване на силна регулаторна рамка, включително системи за лицензиране на ядрени дейности на територията на Руанда или при транзит през страната. Тези дейности могат да се окажат потенциален източник на материали, които да бъдат използвани от терористи за създаване на така наречените "мръсни бомби" (RED), устройства за облъчване (RID) и за изследователски и развойни цели (R&D).

Освен това, Руанда е подписала Конвенцията за ранно уведомяване при ядрена авария („Конвенция за ранно уведомяване“) и Конвенцията за помощ при ядрена авария или радиационна извънредна ситуация („Конвенция за помощ“), и двете приети през 1986 г. (МААЕ, 1987 г.). Тези конвенции възлагат конкретни задължения на държавите – страни по договорите и на МААЕ по отношение на ядрени или радиационни извънредни ситуации. Настоящото изследване е от съществено значение, за да се установи доколко правителството на Руанда е подготвено да изпълни своите задължения съгласно тези конвенции и какви обстоятелства биха изисквали търсене на международна помощ от страна на МААЕ.

Обхват на изследването

Сигурността при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи е обект на сериозна загриженост за много държави по света, включително и Руанда. РЯ извънредни ситуации могат да възникнат умишлено – чрез действия на недържавни субекти като терористи – или в резултат на инциденти, които водят до професионално облъчване, пожари, експлозии и изпускане на токсични вещества в околната среда, засягащи общото население.

Поради глобалното увеличение на терористичните действия и придобиването на оръжия за масово унищожение от антиправителствени организации, става изключително важно правителствата да инвестират в стратегическо разпознаване, превенция, откриване и реакция на такива РЯ заплахи.

Настоящото изследване се фокусира върху оценка на това доколко различните организации и заинтересовани страни в Руанда са подготвени да предотвратят, откриват и реагират на РЯ заплахи и тяхното възникване. Изследването е проектирано така, че да оцени структурата, знанията и разбирането на рисковете, безопасността, сигурността и мерките за реагиране от страна на различни участници, свързани с РЯ агенти в Руанда.

Изследването разглежда готовността и реакцията при ядрени или радиологични извънредни ситуации във връзка с всички съоръжения, дейности и източници, които

имат потенциал да причинят облъчване, замърсяване на околната среда или безпокойство сред обществеността, което изисква защитни и други ответни действия.

Също така, в обхвата е включена оценка на готовността на регулаторния орган на Руанда, в рамките на неговата юрисдикция, да лицензира различни ядрени технологии, които се планират да бъдат въведени в близко или по-далечно бъдеще, както и способността му да реагира при РЯ извънредни ситуации, които излизат извън рамките на неговата пряка териториална компетентност, но изискват вземането на защитни и други ответни мерки.

Изследването отчита и подготовката, която се прилага за готовност и реакция при РЯ извънредни ситуации, независимо от причината за инцидента – било то природно бедствие, човешка грешка, механична повреда или друг отказ, който води до облъчване в резултат от действието на РЯ агенти.

Изследването ще осигури координиран и интегриран подход за готовност и реакция при ядрена или радиологична извънредна ситуация, произтичаща от събитие, свързано с ядрената сигурност, което изисква вземането на защитни и други ответни действия с цел защита на обществеността, служителите, екипите за спешна помощ, доброволците и пациентите.

Ограничения на изследването

Наличност и качество на данните за ядрената сигурност

Едно от основните ограничения на това изследване беше достъпът и качеството на данните, свързани с ядрената сигурност. Както и при други аспекти на сигурността, информацията в тази област по света е секретна и не е обществено достъпна. Достъпът до цялостна и актуална информация относно готовността и стратегиите на Руанда за реакция при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи беше ограничен поради съображения за сигурност и административни пречки. Освен това, точността и надеждността на наличната информация не беше висока, което потенциално оказва влияние върху валидността на изводите в изследването. Усилията за събиране на данни от множество източници и проверка на тяхната достоверност бяха важни, но все пак оставиха пропуски в анализа.

Обхват и приложимост към други държави в региона

Фокусът на изследването върху Руанда ограничи възможността за обобщаване на резултатите. Въпреки че изводите и препоръките са високо релевантни за Руанда, те може да не са директно приложими към други държави с различен социално-политически, икономически и регулаторен контекст. Освен това, бързото развитие на РЯ заплахи и технологиите означава, че препоръките на изследването ще се нуждаят от периодични актуализации, което ограничава тяхната дългосрочна приложимост.

Технологични и инфраструктурни ограничения

Финансовите, техническите и човешките ресурси в Руанда поставиха друго сериозно ограничение. Възможностите за приемане и интегриране на напреднали технологии за ядрена сигурност бяха ограничени от съществуващата инфраструктура и

техническа експертиза в страната. Това ограничи обхвата на предложените технологични подобрения и наложи фокус върху постижими краткосрочни решения. Въпреки че изследването предложи практически насоки за архитектура на откриване и разработка на модели, нямаше налични лаборатории в Руанда, които да предоставят нужните данни за обучение на такива модели.

Политически и регулаторни предизвикателства

Изследването се сблъска с трудности при формулирането на предложения за промени в съществуващите политики и регулации. По време на периода на изследването Руанда не разполагаше с официална политика за ядрена сигурност, което затрудни формулирането на конкретни препоръки. Страната има многосекторен регулатор (RURA), което поражда конфликти на интереси и поставя под въпрос независимостта на регулаторния орган. Политическата, административната и институционалната инерция възпрепятстват осъществяването на препоръчаните промени. Дори когато предложенията бъдат приети, тяхното изпълнение може да бъде бавно или частично поради законодателни и административни бариери. Това подчертава необходимостта от реалистични и поетапни препоръки, съобразени с практическите ограничения.

Ангажиране на заинтересованите страни

Ефективното ангажиране на всички съответни заинтересовани страни – включително правителствени агенции, международни партньори и местни общности – беше съществено предизвикателство. Различните приоритети и ограничения в ресурсите затрудниха ефективната комуникация и координация с тези групи. Осигуряването на съгласие и ангажираност от всички заинтересовани страни ще бъде от ключово значение за успеха на предложените мерки, но може да се окаже трудно за пълно постигане.

Обществена информираност и образование

Културни фактори и общественото възприятие за РЯ заплахите повлияха върху ефективността на кампаниите за повишаване на информираността. По-голямата част от информацията за ядрената сигурност е на английски език, което представлява затруднение, особено в отдалечените и селски райони. Преодоляването на тези бариери ще изисква културно чувствителни и приобщаващи комуникационни стратегии, но постигането на широко разбиране и готовност остава сериозно предизвикателство.

Въпреки че това изследване имаше за цел да допринесе значително за рамката на Руанда за готовност и реакция при РЯ заплахи, е важно да се признаят тези ограничения. Преодоляването на тези предизвикателства изисква постоянни усилия, адаптивни стратегии и непрекъснато сътрудничество със заинтересованите страни, за да се гарантира дългосрочната ефективност и устойчивост на предложените мерки.

Методология

Замисъл на изследването

Настоящото изследване използва изследователски подход, базиран на смесени методи. Подходът на смесени методи включва събирането и анализа както на количествени, така и на качествени данни, което позволява по-широко и задълбочено

разбиране на темата. Настоящата секция представя цялостната рамка и обосновка на избраната методология, използвана за оценка на готовността на Руанда по отношение на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти, с цел укрепване на ядрената сигурност. Тя включва описание на използвания подход, теоретичните основи и причините за избора му.

Подход на смесени методи

Подходът на смесени методи беше избран за настоящото изследване, тъй като той осигурява цялостно и холистично разбиране на изследваната тема чрез комбиниране на качествени и количествени изследователски методи. Този подход е особено подходящ, тъй като досега не е провеждано подобно изследване, конкретно за Руанда, поради което събирането на първични данни за страната бе от особено значение.

Подходът е релевантен при разглеждане на сложни въпроси, свързани с ядрената сигурност, където едновременно се изисква анализ както на реалната оперативна среда, така и на измерими резултати.

Чрез интегрирането на двата метода, изследването предлага както аналитична дълбочина (чрез качествени данни), така и обхват (чрез количествени данни), с което се гарантира по-пълна и надеждна оценка на ситуацията.

Качествен компонент

Качественият аспект на изследването се фокусира върху разбирането на нюансите в прилагането на политики, институционалната готовност и гледните точки на заинтересованите страни. Интервютата с ключови лица, прегледът на документи и фокус групите дават възможност на изследвателя да събере богата и детайлна информация относно нивото на подготовка и предизвикателствата, пред които е изправена Руанда при справянето с радиологични и ядрени (РЯ) заплахи.

Количествен компонент

Количественият компонент обхваща измерими аспекти на готовността на определените пунктове за вход, включително капацитетите за откриване на РЯ материали в точките на влизане (Points of Entry – POEs), координацията между различните заинтересовани страни, комуникацията, статистическите тенденции и ефективността на протоколите за реакция.

Анкетните проучвания и статистическият анализ предоставят обективни данни, които допълват качествените заключения.

Обосновка на методологията

Изборът на подход на смесени методи е обоснован от следните причини:

Сложност на изследователската тема:

Изследването разглежда многопластов проблем, включващ правни, институционални, оперативни и обществени аспекти. Разрешаването на подобна сложност изисква интегриране както на субективни гледни точки (качествени данни), така и на обективни показатели (количествени данни).

Резултати, свързани с политики:

Подходът гарантира, че резултатите от изследването ще бъдат практични и полезни за вземащите решения. Количествените данни осигуряват ясни показатели за оценка на изпълнението, докато качествените данни предлагат конкретни и контекстуални препоръки.

Триангулация на данни:

Комбинирането на методи повишава надеждността и валидността на резултатите чрез триангулация, при която доказателствата се потвърждават от множество източници.

Теоретична рамка

Изследването е основано на два основни теоретични подхода:

Теория на системите:

Теорията на системите разглежда готовността за РЯ заплахи като система от взаимосвързани компоненти. Тези компоненти включват регулаторната рамка, инфраструктурата за откриване, междуведомственото сътрудничество и обществената информираност. Теорията подчертава, че провалът на един компонент може да компрометира цялата система, което налага интегриран и координиран подход.

Рамка за управление на риска:

Рамката за управление на риска е фокусирана върху идентифициране, оценка и смекчаване на рисковете, свързани с РЯ заплахи. Тя предлага структурирана методология за разбиране на уязвимостите, приоритизиране на ресурсите и разработване на ефективни стратегии за реагиране.

Въпроси на изследването, свързани с неговия замисъл

Използваният замисъл на изследването, свързан със смесени методи пряко подпомага изпълнението на специфичните цели на изследването, включително оценка на институционалната готовност за откриване и реагиране на РЯ заплахи, идентифициране на пропуски в правната и регулаторна рамка, разработване на приложими препоръки за укрепване на рамката за ядрена сигурност на Руанда.

Изследователски цели, свързани със замисъла

Замисълът на изследването, свързан със смесени методи директно подкрепя специфичните цели на изследването, включително:

- Оценка на институционалната готовност за откриване и реагиране на РЯ заплахи.
- Идентифициране на пропуски в правните и регулаторни рамки.
- Разработване на приложими препоръки за укрепване на рамката за ядрена сигурност на Руанда.

Методи за събиране на данни

Тази секция представя използваните методи за събиране на данни с цел оценка на готовността на Руанда по отношение на радиологични и ядрени заплахи и инциденти. Силната стратегия за събиране на данни е от съществено значение, за да се гарантира, че изследването изпълнява целите си по изчерпателен начин. За целта се използват както качествени, така и количествени методи, осигуряващи балансирано разбиране на параметрите на изследването. Чрез комбинацията от интервюта, документен анализ, фокус групи, анкети и теренни оценки, изследването предоставя солидна и приложима база за анализ. Използвайки този многокомпонентен подход, изследването допринася със стойностни прозрения за регулаторната и оперативната готовност на Руанда по отношение на РЯ заплахите.

Събиране на качествено данни

Качествените методи, използвани в това изследване, са проектирани да проучат в дълбочина сложността на радиологични и ядрени инциденти, аварии и системата за ядрена сигурност в Руанда. Те са фокусирани върху разбиране на институционалните, оперативните и социалните фактори, които влияят върху готовността за справяне с РЯ заплахи.

Полуструктурирани интервюта

Полуструктурирани интервюта бяха проведени с ключови заинтересовани страни от следните институции:

- Регулаторен орган по комунални услуги на Руанда (RURA): За да се оцени регулаторната рамка за ядрена сигурност и ролята на органа в прилагането на съответствието със стандартите.

- Агенция за атомна енергия на Руанда (RAEB):

За да се разбере доколко агенцията е подготвена за откриване, предотвратяване и реагиране на РЯ заплахи в рамките на внедряването на ядрени технологии в Руанда.

- Национална полиция на Руанда (RNP):

За да се оцени капацитетът им за справяне с ядрени инциденти, включително откриване, политики, както и координацията с други институции по прилагането на ядрената сигурност.

Интервютата бяха ръководени от предварително разработени въпроси, но позволиха гъвкавост за задълбочаване по нововъзникващи теми. Този подход осигури улавянето както на предварително определените фокусни области, така и на уникалните прозрения на участниците.

Анализ на документи

Прегледани бяха ключови документи с цел оценка на съответствието на Руанда с международните стандарти за ядрена сигурност и нейната оперативна готовност. Сред тях са:

- Национални политики и стратегии, приложими закони и регулации, свързани с ядрена безопасност и сигурност;
- Наръчници за обучение и оперативни указания за институциите, ангажирани с РЯ сигурността;
- Доклади от международни агенции като Международната агенция за атомна енергия (МААЕ).

Този метод предостави ценна информация за регулаторната и правната рамка, както и за идентифицирането на пропуски в нейното прилагане.

Фокус групови дискусии

Организиран бяха фокус групи с участието на лидери на общности, здравни специалисти и служители за спешна помощ. Целта на тези дискусии беше:

- Да се разбере обществената осведоменост и възприятията относно РЯ заплахите;
- Да се идентифицират предизвикателствата, пред които са изправени местните екипи при справяне с ядрени инциденти;
- Да се проучат потенциални подобрения в механизмите за готовност и реакция на местно ниво.

Фокус групите стимулираха обмена на идеи между участниците, разкривайки колективни перспективи и споделен опит.

Събиране на количествени данни

Количественият компонент на изследването допълни качествените резултати, като предостави измерими доказателства за степента на готовност на Руанда по отношение на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи. Използвани бяха следните техники:

Анкетите

Структурирани въпросници бяха разпространени сред персонала на гранично-контролно-пропускателни пунктове (POEs) и други ключови обекти, като например:

- Международно летище Кигали (KIA): За оценка на капацитета за откриване, нивото на обучение и протоколите за реакция при извънредни ситуации;
- Основни гранични пунктове: За оценка на готовността им да откриват и реагират на незаконен трафик на ядрени материали.

Чрез анкетите бяха събрани данни за наличността на оборудване за откриване, честотата на обученията и нивото на междуправително сътрудничество.

Оценки на готовността

Бяха проведени теренни оценки, за да се присвоят оценки за готовност на ключови съоръжения и институции. Тези оценки се изчисляваха въз основа на предварително определени критерии, включително:

- Инфраструктурна готовност: Наличност на модерни системи за откриване, като например портални детектори за радиация;
- Обучение на персонала: Дял от служителите, преминали обучение за реакция при ядрени извънредни ситуации;
- Координационни механизми: Ефективност на комуникацията и сътрудничеството между институциите.

Оценките се присвояваха както следва: 100% – параметър напълно изпълнен, 50% – частично изпълнен, 0% – не се прилага или липсва.

Обосновка за методите за събиране на данни

Изборът на тези методи беше обоснован от необходимостта да се обхванат както качествените, така и количествените измерения на готовността за РЯ. Този подход осигури цялостно разбиране на предизвикателствата и възможностите за укрепване на рамката за ядрена сигурност на Руанда.

- Триангулация на данните: чрез комбиниране на качествени и количествени методи, изследването постигна триангулация, повишавайки надеждността и валидността на констатациите.
- Контекстно-специфични прозрения: Качествените методи предоставиха богати контекстуални данни, докато количествените методи предложиха обективни мерки, правейки констатациите едновременно приложими и основани на доказателства.
- Ангажиране на заинтересованите страни: Ангажирането на разнообразна група от участници гарантира, че данните отразяват широк спектър от гледни точки, от политиците до местните отговорни лица.

Етични съображения

Процесът на събиране на данни получи етично одобрение от съответните органи. Всички участници предоставиха информирано съгласие, а поверителността беше стриктно спазвана през целия период на изследването. Бяха приложени техники за анонимизация на чувствителните данни, за да се защитят самоличностите на респондентите.

Методи за анализ на данни

Анализът беше структуриран така, че да гарантира прецизност, надеждност и съответствие с изследователските цели. Предвид използвания подход на смесени методи, бяха приложени както качествени, така и количествени техники за анализ.

Комбинирането на тези методи чрез триангулация осигури задълбочена и обективна оценка на състоянието на сигурността в Руанда по отношение на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи. Получените резултати служат като основа за формулиране на политики за повишаване на готовността на страната.

Качествен анализ

Качественият анализ беше използван за интерпретиране на нечислови данни, събрани чрез интервюта, фокус групови дискусии и анализ на документи. Използвани бяха SWOT и PESTEL анализ за обработка на качествените данни, събрани от експертни интервюта и документален преглед.

Данните бяха кодирани и анализирани с цел идентифициране на модели, теми и тенденции, свързани с готовността на Руанда и отговора ѝ на РЯ заплахи, както и ефективността на регулаторната рамка.

Съдържателен анализ

Съдържателният анализ беше приложен за систематично проучване на политически документи, обучителни наръчници и международни насоки в областта на ядрената сигурност. Бяха изпълнени следните стъпки:

- Категоризация на ключови понятия: Идентифицирани са основни термини, свързани с ядрена сигурност и регулаторно прилагане;
- Сравнение с международни стандарти: Политиките на Руанда бяха сравнени с практиките, препоръчани от МААЕ;
- Идентифициране на пропуски: Документирани са слабости в прилагането и области за подобрене;
- Оценка на регулаторното прилагане: Измерена е ефективността на законите и механизмите за контрол в страната.

Количествен анализ

Количественият анализ беше фокусиран върху обработката на анкетни отговори и резултати от оценки за готовност, събрани от пунктовете за вход и институциите за ядрена сигурност. Методът осигури обективни измервания на готовността на Руанда.

Описателна статистика

Описателната статистика се използва за обобщение на анкетните резултати и оценките на готовност. Анализът включва:

- Оценка на ниво готовност: процент от институциите с функционална инфраструктура за откриване;
- Оценка на ефективността на обученията: Честота и адекватност на обученията сред служителите по сигурността;
- Оценка на координацията: Измерване на степента на сътрудничество между ядрените институции.

Сравнителен анализ

Извършен е сравнителен анализ за идентифициране на различия в готовността между институции и региони. Прилагани са:

- Междуинституционално сравнение: RURA, RAEB, RNP;
- Сравнение между гранични пунктове: По оценки на готовност;
- Сравнение със световни стандарти: Ниво на съответствие със стандартите на МААЕ и други международни органи.

Корелационен анализ

Корелационният анализ беше използван, за да се установят връзките между ключовите фактори за готовност. Чрез анализ на зависимости между честотата на обученията, способностите за откриване и ефективността на реакцията при извънредни ситуации, изследването идентифицира критични области за политическа интервенция. Изследвани бяха следните зависимости:

- Влияние на обучението върху ефективността на откриване: Сравнени бяха съоръжения с редовни обучения спрямо тези с ограничено обучение;
- Междуинституционална координация и модели на реакция: Анализирана беше връзката между сътрудничеството между институциите и ефективността на реакцията при инциденти;
- Обществена осведоменост и съответствие със стандартите: Изследвано беше влиянието на кампаниите за повишаване на осведомеността относно ядрена сигурност върху спазването на протоколите за безопасност.

Интеграция на качествени и количествени данни

За да се осигури холистичен анализ, резултатите от качествените и количествените методи бяха интегрирани чрез подход на триангулация. Това позволи валидиране на изводите чрез съпоставяне на различни източници на данни. Използвани интеграционни методи:

- Кръстосана проверка на теми: Темите от интервюта бяха съпоставени с резултатите от анкетите;
- Сравнение на оценки за готовност с интервюта: Теренните оценки бяха сравнени с възприятията на заинтересованите страни;
- Идентифициране на пропуски в политиките: Анализът на политики беше подкрепен със статистически доказателства от анкетите.

Осигуряване на валидност и надеждност на данните

Валидността и надеждността на резултатите бяха гарантирани чрез стриктни процеси на проверка. Приложени бяха следните мерки:

- Триангулация на данни: Използвани бяха множество източници на данни (интервюта, анкети, документен анализ), за повишаване на точността;
- Преглед от участници (member checking): Участниците имаха възможност да прегледат резюметата от интервюта и да потвърдят тяхната точност.

Допълнителна обосновка на методологията

Подходът на смесени методи е особено подходящ за това изследване поради следните причини:

- Сложност на темата: Ядрената сигурност включва технически, институционални и обществени измерения, изискващи както количествено, така и качествено изследване;
- Оценка на политики: Оценката на законовите и регулаторни рамки в Руанда изисква качествени прозрения чрез документен анализ и интервюта;
- Емпирично потвърждение: Количествените компоненти (анкети и измервания) валидират резултатите от качествения анализ;
- Междудисциплинарна приложимост: Темата обединява политики, инженерство и социални науки – подходът на смесени методи осигурява научна строгост и практическа стойност.

Интеграция на резултатите

Резултатите от анализа на качествените и количествените данни бяха интегрирани с цел осигуряване на цялостно разбиране на готовността на Руанда и реакцията ѝ при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти, както и на

регулаторната рамка за укрепване на ядрената сигурност. Изводите бяха интерпретирани, сравнени и противопоставени, за да се формулират заключения и да се изготвят препоръки за подобряване на политиките и практиките на Руанда в областта на ядрената сигурност.

Значимост на изследването

Резултатите и препоръките от изследването могат да бъдат приложени от правителствените институции на национално ниво чрез приемане на законодателни и регулаторни мерки, както и чрез разпределяне на отговорности (напр. към експлоатационните организации, персонала на обекти, местни или национални длъжностни лица, структури за реакция при извънредни ситуации или регулаторни органи), и чрез проверка на тяхното ефективно изпълнение.

Изводите ще бъдат използвани също така от организациите за реагиране, експлоатационни субекти и регулаторни органи по отношение на готовността и реакцията при РЯ инциденти, както и от отговорните власти на местно, регионално и национално ниво, в съответствие с конкретните събития.

Етични съображения

Изследването включваше участие на хора чрез анкети лице в лице, онлайн въпросници и интервюта със служители от спешни отделения в болници, служители от граничен контрол, различни министерства, линейки и регулаторни органи.

На всички участници беше предоставено ясно обяснение относно целта на изследването. Всеки участник получи информационен лист с описание на целта на изследването, кой го провежда и как ще бъдат използвани резултатите. Листът съдържа и информация за контакт при нужда от допълнителни разяснения или отказ от участие. Обяснено беше също как ще се осигурят анонимност и конфиденциалност. Когато беше необходимо, листът беше преведен, въпреки че се предвиждаше, че английският език ще бъде използван като работен език на проучването.

Участието в изследването беше доброволно, а информираното съгласие се обсъждаше с всеки участник. Предвид спецификата при служителите по сигурността, в много случаи се предпочиташе устно съгласие пред писмено.

Първият етап на събирането на данни включваше институциите, работещи на основните гранични пунктове и болничен персонал от спешни отделения. Всяка болница беше кодирана за по-лесна идентификация. Личните данни бяха премахнати, а анонимността бе осигурена чрез кодове и псевдоними. Суровите данни от анкетите се съхраняваха на компютри с пароли, достъпни само за главния изследовател и двама изследователски асистенти. След това данните се систематизираха и съхраняваха на два външни запаметяващи носителя с пароли, поради големия обем цифрова и визуална информация. Вторият етап включваше фокус групи от институции, отговарящи за

ядрената сигурност в Руанда. Срещите се организираха чрез съответните институции и местни организации, за да се разбере как са организирани, управлявани и подготвени да реагират при ядрени инциденти.

За този етап бе изготвен специфичен етичен протокол с акцент върху конфиденциалността и координацията с местните власти и агенции. На институциите беше предоставено време за запознаване с проекта. Участващите институции имаха възможност да прегледат информацията и резултатите поотделно, а общите препоръки бяха представени чрез националния комитет по ядрена сигурност по време на организирана среща.

Валидност и надеждност на методологията

Изследването използва подход на смесени методи, съчетаващ качествени и количествени подходи, за да осигури изчерпателни и надеждни резултати. Използването на множество методи за събиране на данни – като анализ на документи, интервюта и количествени анкети – повишава валидността на резултатите чрез триангулация от различни източници. Този подход гарантира, че резултатите са не само съобразени с контекста, но и емпирично обосновани.

Надеждността е допълнително гарантирана чрез стандартизирани инструменти за събиране на данни, включително структурирани въпросници и последователни процедури за кодиране на качествени данни. Методологията е съобразена с целите на изследването, като се фокусира върху оценката на готовността на Руанда да реагира на радиологични и ядрени заплахи. Освен това, консултациите с експерти и прегледът на национални и международни насоки допринасят за строгостта на изследването.

Ограничения на методологията

Зависимост от вторични данни:

Част от изследването разчита на вторични източници, които може да не отразяват напълно актуалния контекст или специфични аспекти на ядрената сигурност в Руанда.

Обхват на ангажираността на заинтересованите страни:

Въпреки че изследването включва ключови заинтересовани страни, логистични ограничения ограничиха участието на представители на общности и частния сектор, което намали разнообразието на гледни точки.

Ограничена обобщаемост:

Изследването се фокусира върху уникалния социо-политически и икономически контекст на Руанда, което може да ограничи приложимостта на резултатите към други държави или региони с различни условия.

ГЛАВА ВТОРА: ОБЕМ И СТРУКТУРА НА ДОКТОРСКАТА ДИСЕРТАЦИЯ, СЪДЪРЖАНИЕ НА ТЕЗАТА

Обем на дисертацията

Настоящата докторска дисертация е структурирана в четири глави, всяка от които разглежда съществени аспекти на готовността и реакцията на Руанда при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти. Тезата се състои от приблизително 300 страници, включително задълбочени анализи, казуси, оценки на политики, приложения и стратегически препоръки.

Структурата е проектирана така, че да осигури логическа последователност - от теоретични основи към практически изводи, гарантирайки цялостен преглед на изследователския проблем.

Структура на дисертацията:

Увод

Представя изследователския контекст, обосновката (актуалност), формулировката на проблема, целите, тезисното твърдение, ограниченията и обхвата.

Глава първа: Литературен преглед и добри практики

Тази глава включва следните раздели:

- История на ядрената сигурност в света
- Глобални добри практики в ядрената сигурност
- Подготовка за ядрени извънредни ситуации
- Исторически аспекти на ядрени аварии
- Ролята на информационните и комуникационни технологии (ИКТ) в ядрената сигурност и готовността
 - Използване на байесови модели за оценка на ядрен риск и тяхната приложимост към Руанда
 - Добри практики в ядреното лицензиране

Глава втора: Методология и аналитична оценка на готовността, и стратегически препоръки за укрепване на ядрената сигурност на Руанда

Методологията съдържа описание на изследователския дизайн, методите за събиране на данни и аналитичните подходи.

Аналитичната част включва:

- Уникалният контекст и пропуски в Руанда
- Уязвимости в ядрената сигурност на страната
- Поуки от съвременни ядрени инциденти
- Регионални и международни стандарти за ядрена сигурност
- Решаване на специфични предизвикателства в контекста на Руанда

- Анализ на минали радиологични и ядрени инциденти и тяхната връзка с изследването
- Оценка на заплахи и рискове
- Случаи на материали извън регулаторен контрол (MORC)
- Матрица за оценка на ядрената заплаха за Руанда, съобразена с текущото ниво на готовност

Глава трета: Констатации относно готовността за радиологични и ядрени заплахи и инциденти

- Анализ на готовността на Руанда за ядрена сигурност – идентифицират се силни страни и пропуски в националната рамка.

Глава четвърта: Заключение и препоръки

- Обобщение на основните изводи и формулиране на конкретни политически и стратегически препоръки.

Приложения и библиография

Дисертацията включва също библиография и **приложения** с допълнителни материали като:

- Транскрипции на интервюта
- Политически документи
- Статистически данни

ГЛАВА ТРЕТА: СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА И РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Глава първа: Увод

Тази глава представя изследователския проблем и неговата значимост в контекста на глобалната и националната ядрена сигурност. Разглежда се стратегическата позиция на Руанда и усилията ѝ за подобряване на готовността за радиологични и ядрени (РЯ) заплахи. Формулирани са целите, изследователските въпроси и хипотезите, последвани от обхвата и ограниченията на изследването.

Обобщение на съдържанието

Всяка глава допринася последователно за постигане на основната изследователска цел: оценка на готовността и механизмите за реакция на Руанда спрямо РЯ заплахи и формулиране на препоръки, основани на доказателства, за подобряване на националната регулаторна и оперативна рамка.

Тезата обхваща следните основни теми:

- Исторически контекст и еволюция на ядрената сигурност на глобално ниво и в Африка;
- Анализ на националната архитектура за ядрена сигурност на Руанда;
- Сравнителни оценки спрямо международни рамки (МААЕ, Резолюции на Съвета за сигурност на ООН, CPPNM);
- Оценка на ролите на заинтересованите страни и междуведомствената координация;
- Модели за анализ на заплахи и рискове;
- Казуси за ядрени инциденти от миналото (напр. Гояния, Чернобил, Фукушима);
- Пропуски в политиките и препоръки за правни, технически и инфраструктурни подобрения.

Междудисциплинарна интеграция

Предвид сложния характер на РЯ заплахите, съдържанието на дисертацията интегрира концепции от различни области, включително:

- Ядрена физика и радиологична наука – за обяснение на техническите рискови фактори;
- Публична политика и право – за анализ на регулаторни рамки и международни задължения;
- Управление на кризи и готовност при извънредни ситуации – за оценка на оперативната подготвеност;
- Киберсигурност и нововъзникващи технологии – в контекста на цифровите заплахи за ядрената инфраструктура.

Този междудисциплинарен подход позволява цялостно разбиране на ядрената сигурност в контекста на Руанда и осигурява богата база от знания за формулиране на политики и вземане на решения.

Настоящата глава представи структурирано обобщение на обема и съдържанието на дисертацията. Организацията на главите и техните теми осигуряват академична последователност, методологична строгост и политическа релевантност. Чрез ясно очертаване на приноса на всяка глава към общите цели на изследването, структурата не само насочва читателя, но и подсилва логическото развитие на аргументите в рамките на дисертацията.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА: РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Увод

Настоящата глава представя емпиричните резултати, получени чрез прилагането на подхода на смесени методи в рамките на изследването. Данните са събрани чрез структурирани интервюта с ключови заинтересовани страни, анкети, проведени сред основни институции, теренни оценки на гранични пунктове, както и анализ на национални регулаторни документи.

Получените резултати отразяват текущото състояние на готовността на Руанда за справяне с радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти, с фокус върху шест основни области:

1. Законова и регулаторна рамка
2. Институционален капацитет
3. Инфраструктура за откриване
4. Готовност и реагиране при извънредни ситуации (EPR)
5. Обществена осведоменост
6. Международно сътрудничество

Главата е структурирана по теми, като всяка секция съответства на една от основните изследователски цели.

Законова и регулаторна рамка за ядрена сигурност

Законодателен напредък

Руанда е постигнала значителен напредък в изграждането на основна законодателна рамка за ядрена безопасност и сигурност. Ключови нормативни актове включват Закон за атомната енергия № 09/2020 и Регулаторният мандат на Регулаторния орган по комунални услуги на Руанда (RURA). Тези инструменти обхващат лицензиране, безопасност, сигурност и инспекция на радиоактивни източници.

Пропуски и ограничения

Въпреки наличието на основни закони, изследването установи следните слабости:

- Липса на цялостно законодателство, съответстващо на насоките на МААЕ;
- Ограничени разпоредби относно справянето с киберзаплахи и вътрешни заплахи (от служители/инсайдъри);
- Недостатъчни механизми за прилагане на контрол върху радиологичните материали по време на транспортиране и съхранение.

Заинтересованите страни посочиха, че въпреки че RURA и Агенцията за атомна енергия на Руанда (RAEB) имат правомощия по закон, координационните механизми между тях са слаби, а прилагането на закона е непоследователно.

Инфраструктура за откриване и технически възможности

Гранични пунктове (PoEs)

Резултатите от теренните оценки в изследването показваха, че:

- Само няколко пункта за вход, като Международно летище Кигали, разполагат с функциониращи системи за откриване на радиация;
- Повечето гранични пунктове и сухопътни пропускателни пунктове нямат портални монитори или ръчни устройства за радиационно откриване;
- Митнически и имиграционни служители не са обучени да интерпретират радиационни сигнали или да прилагат протоколи при инциденти.

Оборудване и поддръжка

- Съществуващите системи за откриване често са остарели и лошо поддържани;
- Няма национален инвентар на оборудването за откриване на радиация, нито график за поддръжка, координиран между институциите;
- Заинтересованите страни подчертаха необходимостта от мобилни звена за откриване и интегрирани системи за наблюдение.

Обществена осведоменост и комуникация на риска

Ниски нива на информираност сред населението.

Данните от интервюта и анкети показваха, че общото население има много ограничено познание относно:

- Наличието на радиологични рискове в Руанда;
- Подходящи действия при радиологични извънредни ситуации;
- Ролята на държавните институции при управление на ядрени заплахи.

Липса на образователни кампании

- Няма национални кампании за повишаване на обществената осведоменост относно радиологичната сигурност;
- Образователни материали за РЯ заплахи не са включени в учебните програми или инициативи за обществено здраве;
- Подготовката на общностите за бедствия не обхваща радиологични или ядрени сценарии.

Международно сътрудничество и съответствие. Ангажираност с международни агенции

Руанда е ратифицирала редица международни инструменти, включително:

- Конвенцията за физическа защита на ядрени материали (CPPNM)
- Кодекса за поведение на МААЕ относно безопасността и сигурността на радиоактивни източници
- Резолюция 1540 на Съвета за сигурност на ООН

Обобщение на основните изводи

Тематична област	Основен извод
Законова рамка	Непълно съответствие с международните норми за ядрена сигурност.
Институционален капацитет	Разпокъсани мандати и липса на обучен персонал.
Готовност при извънредни ситуации	Липса на специализирано звено и кризисен център за ядрени инциденти.
Способности за откриване	Ограничена и остаряла инфраструктура за откриване на радиация на PoEs.
Обществена осведоменост	Липса на национални кампании и образователни програми за повишаване на информираността.
Международно сътрудничество	Ратифицирани ключови международни инструменти, но ограничено прилагане и регионална координация.

Следователно, резултатите от това изследване показват, че въпреки че Руанда е постигнала основен напредък в изграждането на архитектура за ядрена сигурност, няколко оперативни, законови и институционални слабости възпрепятстват нейната готовност и капацитет за реакция.

Изследването подчертава спешната необходимост от по-интегриран, добре финансиран и стратегически координиран национален подход към управлението на радиологични и ядрени заплахи.

Тези изводи формират основата на препоръките в следващата глава и предлагат пътна карта за укрепване на позицията на Руанда по отношение на ядрената сигурност.

Дискусия на резултатите

Увод

Настоящата глава предлага критическа интерпретация на резултатите от изследването, представени в Глава четвърта. Целта е да се свържат емпиричните данни с теоретични концепции и съществуващата литература, за да се задълбочи разбирането на готовността на Руанда в областта на ядрената сигурност.

Обсъждането е структурирано около основните тематични области на изследването:

- Законова и регулаторна рамка
- Институционална координация
- Готовност и реакция при извънредни ситуации (EPR)
- Технически възможности за откриване
- Обществена осведоменост
- Международно сътрудничество

Във всяка секция се анализират последиците от резултатите, подчертават се слабите и силните страни, и се поставя опитът на Руанда в регионален и международен контекст.

Законова и регулаторна рамка

Силни страни и пропуски в законодателството

Изследването установи, че Руанда е приела основополагащо законодателство, включително Закон за атомната енергия № 59/20218, което предоставя правна основа за регулиране на ядрени и радиологични материали. Това е ясен знак за политическа воля за изграждане на безопасна ядрена среда.

Въпреки това, в законодателството липсва детайлни разпоредби относно:

- Мерки за ядрена сигурност
- Киберзаплахи
- Управление на вътрешни (инсайдерски) рискове

Тези елементи са подчертано важни според Серията на МААЕ за ядрена сигурност.

Тази липса съвпада с изводите на Smith и Jones (2019), които отбелязват, че в много развиващи се страни ядрената безопасност често има приоритет пред ядрената сигурност, което оставя рискове неадресирани.

В случая на Руанда това отразява частично прилагане на насоките на МААЕ, в частност INFCIRC/225/Rev.5, който описва мерките за физическа защита на ядрени материали и съоръжения.

Необходимост от интегрирани правни инструменти

Изследването потвърди липса на координация между закони, отнасящи се до:

- радиологична безопасност
- наказателна отговорност
- киберинциденти
- трансгранични престъпления

Това разпокъсано правно поле затруднява прилагането на законите, особено в случаи с множество юрисдикции или нелегален трафик на радиоактивни материали.

Институционален капацитет и междуведомствена координация

Припокриване в мандатите и ограничена координация

Въпреки че Руанда разполага с множество институции, ангажирани с ядрена сигурност (RURA, RAEB, Министерство на здравеопазването, RNP), липсва обединен команден център или механизъм за съвместна координация. Това е в съответствие с

предупрежденията на Службата на ООН по въпросите на разоръжаването (2020) относно разпокъсаното управление на ядрената сигурност в страни с ограничен капацитет.

Ефективната ядрена сигурност изисква хармонизиране на действията между регулатори, служби за сигурност, здравни институции и аварийни екипи. Липсата на съвместни учения и комуникационни протоколи увеличава риска от дублиране, неефективност и закъсняла реакция при инциденти.

Ограничения в човешките ресурси

Резултатите показват недостиг на обучени специалисти в:

- ядрена сигурност
- радиационна защита
- готовност и реакция при извънредни ситуации

Това съвпада с изводите на Alahmari и Khan (2020), които установяват подобни пропуски в болничната готовност в Саудитска Арабия.

В контекста на Руанда, ограничените възможности за обучение ограничават ефективността както на ежедневния регулаторен контрол, така и на управлението при кризи.

Готовност и реакция при извънредни ситуации (EPR)

Липса на национален кризисен център за ядрени инциденти

Един от съществените пропуски, идентифицирани в изследването, е липсата на специализиран национален център за координация при ядрени извънредни ситуации. Този дефицит е критичен, предвид препоръките на МААЕ (2020), подчертаващи необходимостта от централизирана командна структура за своевременно вземане на решения и междуинституционална комуникация по време на РЯ инциденти.

Липсата на редовни симулационни учения – особено за сценарии с разпространение на радиологични материали или злонамерени атаки – допълнително отслабва механизма за реакция. Както показва инцидентът в Гояния (IAEA, 1988), некоординираните реакции при аварии могат да доведат до катастрофални последици, особено при липса на ясна комуникация с обществото.

Недостатъчна интеграция с националните планове за управление на бедствия

Изследването установи, че ядрените извънредни ситуации не са интегрирани адекватно в по-широките стратегии на Руанда за намаляване на риска от бедствия.

Този изолиран подход ограничава възможността за мобилизиране на ресурси и планиране на готовността, особено в селските райони, където първите реагиращи често не са обучени да се справят с радиологични опасности.

Архитектура за откриване и техническа инфраструктура

Ограничен капацитет за откриване на радиация

Теренните оценки разкриха, че системите за откриване на радиация в граничните пунктове на Руанда (PoEs) са крайно недостатъчни. Повечето сухопътни гранични постове нямат портални монитори или ръчни детектори. Това представлява сериозна уязвимост, тъй като граничната сигурност е първа линия на защита срещу незаконен ядрен трафик — приоритетна област според Резолюция 1540 на Съвета за сигурност на ООН.

Според базата данни на МААЕ за инциденти и трафик (2021), много от прихванатите ядрени материали по света са засечени именно чрез активен граничен контрол.

Ограниченията на Руанда в тази област застрашават способността ѝ да прихваща радиоактивни източници, навлизащи или преминаващи през страната.

Недостатъци в технологията и поддръжката

Дори на места, където има оборудване (напр. Международно летище Кигали), изследването установи проблеми с калибрирането, поддръжката и обучението на потребителите. Това показва по-широко предизвикателство пред поддържането на високотехнологични системи в страни с ограничени ресурси — проблем, посочен от Peel и сътр. (2022) в анализа им на инфраструктурата за ядрена сигурност в развиващите се страни.

Обществена осведоменост и комуникация на риска

Минимална ангажираност на обществото относно РЯ заплахи

Изследването разкри, че познанията на обществото за РЯ заплахите в Руанда са изключително ниски. Това е тревожно, тъй като разбирането и сътрудничеството на населението са от съществено значение по време на ядрени извънредни ситуации. Eliseo и сътр. (2008) подчертават, че дезинформацията и паниката при ядрени инциденти често се засилват от липсата на ясна комуникационна стратегия.

Липса на образователни и информационни програми

- В Руанда няма национални кампании за осведомяване относно радиологичната сигурност;
- Образователни материали и програми за РЯ заплахи не са включени в училищната учебна програма или здравните кампании;
- Общностната подготовка при бедствия не обхваща радиологични/ядрени сценарии.

Тази липса на ангажираност увеличава уязвимостта на населението и може да доведе до неспазване на мерките по време на инциденти.

Международно сътрудничество и съответствие

Ограничено прилагане на международните инструменти

Въпреки че Руанда е страна по ключови международни договори и конвенции в областта на ядрената сигурност – като Конвенцията за физическа защита на ядрени материали (CPPNM) и Кодекса за поведение на МААЕ – прилагането им остава слабо. Това включва: забавяне в транспонирането на международните разпоредби в националното законодателство и ограничено участие в програми за техническо сътрудничество и обмен

Kuznetsov и сътр. (2015) посочват, че максималната полза от международните режими изисква не само ратификация, но и постоянно ангажиране чрез обучения, партньорски проверки, съвместно планиране на сценарии. Руанда все още развива капацитета си в тези области.

Необходимост от трансгранично сътрудничество

Предвид пропускливия характер на регионалните граници, ядрената сигурност изисква тясно сътрудничество със съседни държави. Липсата на официални протоколи или съвместни учения между Руанда и страните от региона (Танзания, Уганда, ДРКонго, Бурунди) представлява риск, особено в контекста на трансграничен ядрен трафик.

Препокриващи се теми и стратегически последици

Интеграция в рамките на националната сигурност

Изследването показва, че РЯ заплахите все още се разглеждат основно като технически или регулаторен въпрос, а не като въпрос на национална сигурност.

Този начин на мислене ограничава приоритизирането на ресурсите и изключва ядрената сигурност от националното планиране в отбраната. Необходима е промяна в възприятието, за да се позиционира РЯ готовността в по-широката политика за национална сигурност.

Технологична модернизация

Липсата на системи за наблюдение в реално време, сигурно споделяне на данни и модерни мобилни технологии за откриване ограничава ефективното управление на заплахите. Необходимо е внедряване на нови технологии, като AI-базирано откриване на аномалии и блокчейн за проследяване на радиоактивни източници. Тези решения са от ключово значение за осигуряване на устойчивост на ядрената сигурност на Руанда в бъдеще.

Обществена осведоменост

Осведомеността на обществото относно РЯ заплахите в Руанда е обезпокоително ниска, особено в селските райони, където липсват образователни и информационни кампании. Градското население е по-добре информирано, вероятно поради по-добър достъп до информация и наличие на инициативи от страна на правителството. Въпреки това, липсата на национална стратегия за обществена осведоменост ограничава разбирането на рисковете и може да възпрепятства спазването на протоколи за безопасност при извънредни ситуации (според Руандския съвет по атомна енергия, 2022)

Пример за подражание е програмата на Кения за повишаване на ядрената осведоменост, която залага на участието на общностите и прозрачност (Kenya Nuclear Electricity Board, 2020). Такива инициативи могат да насочат Руанда към преодоляване на информационния разрыв между градските и селските райони.

Заплахи и уязвимости

Редица уязвимости застрашават ядрената сигурност на Руанда, включително: недостатъчен контрол на границите, инсайдерски заплахи и интегрирането на нови технологии, като малки модулни реактори (SMRs). Слабите системи за откриване по сухопътните граници повишават риска от контрабанда на радиологични материали, особено от зони на конфликт в съседни региони (IAEA, 2021). Инсайдерските заплахи също са сериозен проблем, тъй като системите за надеждност на персонала са слаби, а процесите по проверка на служителите са недостатъчни, което създава възможности за саботаж или злоупотреба с ядрени материали. Засилване на политиките за човешки ресурси и строг контрол на средата (background checks) биха могли да намалят тези рискове. Освен това, въвеждането на малки модулни реактори поражда сложни предизвикателства, включително уязвимости в киберсигурността, които не са обхванати адекватно в съществуващата регулаторна рамка на Руанда.

Международно сътрудничество

Ангажираността на Руанда с международни организации като МААЕ и участието ѝ в глобални договори създават основа за развитие на ядрената сигурност. Въпреки това, ограниченият достъп до техническа помощ и финансиране възпрепятства прилагането на добри практики (IAEA, 2020; UNODA, 2021). Регионалното сътрудничество е недостатъчно използвано, като липсват съвместни учения и хармонизирани политики със съседни държави. Опитът на Южна Африка в сътрудничество с международни партньори показва ценността на партньорствата за изграждане на капацитет, мобилизиране на ресурси и ограничаване на трансгранични заплахи (World Nuclear Association, 2021).

Резултати

Резултатите от това изследване имат съществени последици за политиките, практическите действия и регионалното сътрудничество. Укрепването на ядрената сигурност на Руанда изисква създаване на независим регулаторен орган, повече инвестиции в технологии за откриване, интеграция на РЯ сценариите в плановете за извънредни ситуации и разширяване на кампаниите за обществена осведоменост в селските райони, за да се насърчи доверието и спазването на мерките за безопасност. На регионално ниво, съвместните учения и хармонизирани политики със страни като Кения и Уганда могат да подобрят трансграничното сътрудничество и да намалят уязвимостите.

Добри практики от световен мащаб, като системите за мониторинг в реално време в Южна Корея и всеобхватните симулационни програми в ОАЕ предоставят действащи

насоки за подобряване на готовността на Руанда. Изграждането на международни партньорства ще бъде от решаващо значение за Достъп до техническа експертиза, получаване на финансов ресурс и наваксване с липсите в инфраструктура и капацитет.

Съответствие с теоретичните и концептуални рамки

Резултатите съответстват на теоретичната рамка на изследването, базирана на управление на риска и системна теория. Тези подходи подчертават нуждата от координирани, многостепенни реакции при сложни заплахи. Наблюдаваната фрагментация в системата за ядрена сигурност на Руанда потвърждава валидността на тези теории и подчертава необходимостта от цялостна, адаптивна сигурност, която да се ръководи от науката, е устойчива на несигурност и да се базира на координирано управление.

Тази дисертация представи основните резултати от изследването в светлината на теоретичната рамка и международните добри практики в ядрената сигурност. Данните показват значителен напредък в усилията на Руанда да изгради режим за ядрена безопасност и сигурност. Въпреки това, остават значителни оперативни, законодателни и инфраструктурни пропуски, които трябва да бъдат адресирани чрез: координирани политически действия, инвестиции в човешки и технологичен капацитет и интегриране на ядрената сигурност като централен елемент на националната отбрана

Следващата глава представя всеобхватни препоръки за оперативното прилагане на резултатите и за насочване на Руанда към по-устойчива и ефективна рамка за ядрена сигурност.

ГЛАВА ПЕТА: ПРЕПОРЪКИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Препоръки

Разработване на цялостна архитектура за откриване

Централна препоръка е разработването на цялостна архитектура за откриване и контрол на РЯ материали на граничните пунктове и в критичната инфраструктура на страната. Това включва инсталиране на радиационни портални монитори на граничните пунктове, летищата и стратегически локации, осигуряване на преносими устройства за радиационно откриване за мобилни и на място проверки и централизирана система за наблюдение в реално време, интегрирана в национална база данни. Тези мерки ще подобрят способността за проследяване на РЯ материали и изискват сътрудничество между регулаторния орган по комунални услуги (RURA), Съвета по атомна енергия на Руанда (РАЕВ) и международни партньори, като МААЕ

Създаване на съвременен кризисен център за извънредни ситуации

За ефективно управление на извънредни ситуации, свързани с РЯ заплахи, е необходимо създаването на модерен Национален кризисен координационен център. Този център ще: служи като координационен хъб за съвместна работа между институциите, приема функции за симулации и обучения с използване на реалистични сценарии и гарантира комуникация в реално време с национални и международни партньори по време на извънредни ситуации. Необходими са модерни технологии, включително сигурни системи за комуникация и усъвършенствана технология за анализ при подпомагане на вземането на решения по време на кризи

Укрепване на сигурността на ядрената информация

Регулаторният орган следва да въведе система за класификация на чувствителна информация, свързана с ядрената сигурност, определени мерки за защита на тази информация и насоки за лицензиантите относно това как да класифицират и защитават чувствителна информация, свързана с ядрената сигурност. Тези изисквания трябва да бъдат включени в процесите по лицензиране и инспекция.

Регулаторни насоки за сигурността на радиоактивните материали

RURA трябва да разработи регулаторни насоки за прилагането на изискванията относно сигурността на радиоактивни материали, включително Разработване на план за сигурност, създаване на програма за управление на сигурността и цялостен преглед и актуализация на съществуващото законодателство. Руанда трябва да предприеме задълбочен преглед и актуализация на своята законова и регулаторна рамка, свързана с радиационната безопасност и ядрената сигурност. Този процес трябва да включва идентифициране и затваряне на законодателни пропуски, ипециално внимание към нововъзникващи технологии, като малки модулни реактори и киберсигурност на ядрени съоръжения, актуализиране на законите, за да се съгласуват с международните

стандарти, установени от организации като МААЕ. Това ще повиши регулаторния капацитет на Руанда и ще осигури по-ефективен контрол върху ядрените дейности.

Укрепване на регулаторната рамка

Необходима е усъвършенствана и адаптивна правна и регулаторна рамка, която да бъде динамична и способна да отговаря на глобалните промени. Изследването установи, че настоящата рамка в Руанда не предвижда редовни прегледи и актуализации, което е критично за адаптация към нови технологични разработки, реакция на нови заплахи, съответствие с еволюиращите международни стандарти.

Непрекъснато преразглеждане и адаптация

Текущата регулаторна рамка може бързо да остарее, оставяйки пропуски в безопасността и сигурността, които биха могли да бъдат експлоатирани. За да се гарантира актуалност и ефективност, е необходимо: редовно актуализиране на закони и регулации, интегриране на нови научни и технологични знания, адаптиране на стратегии за прилагане спрямо съвременни и бъдещи предизвикателства.

Изследването подчертава нуждата от специален закон за ядрената сигурност, който да включва строги протоколи за лицензиране, изисквания за съответствие, механизми за контрол и прилагане. Сътрудничеството между RAEB и RURA е от ключово значение за преодоляване на пропуските в съществуващите регулации и осигуряване на съответствие с международни стандарти.

Провеждане на национална оценка на РЯ заплахите

Необходимо е правителството на Руанда редовно да провежда всеобхватни оценки на ядрените заплахи, за да се подготви ефективно и да смекчи потенциалните ядрени рискове. Тези оценки трябва да включват Междудисциплинарен подход, ангажиращ експерти в ядрената сигурност, разузнаване, отбрана и екология; Установена рамка за идентифициране на заплахи, като неправилен достъп до радиоактивни материали, ядрен тероризъм, инциденти и аварии, свързани с ядрени технологии. Оценка трябва да се актуализират често, като се вземат предвид глобалната геополитическа обстановка, технологичните постижения и възникващите тенденции в ядрената сфера. Правителството трябва да приоритизира Сътрудничеството между вътрешни агенции, международни организации и съседни страни, обмяната на информация и колективните мерки за сигурност. Създаването на национален орган за оценка на ядрените заплахи, който работи съвместно със сигурностните и регулаторни институции, ще гарантира координация и надзор по отношение на предизвикателствата в ядрената сигурност. Освен това, обществото трябва да бъде ангажирано и информирано, като част от оценката, за да се гарантира, че както институциите, така и гражданите са подготвени при ядрени инциденти.

Извършване на оценка на заплахите на основата на проектни базови заплахи (Design Basis Threat, DBT)

Според изводите на изследването, правителството на Руанда трябва да извърши подробна оценка по метода Design Basis Threat (DBT). DBT представлява критичен

инструмент за идентифициране и разбиране на заплахите и уязвимостите, специфични за ядрената инфраструктура на страната. Тази оценка позволява формулиране на реалистични сценарии на заплахи, базирани на достоверно разузнаване, исторически данни и нови тенденции в сигурността. Чрез DBT, Руанда може: да оцени рисковете от терористи, престъпни групи и вътрешни заплахи (инсайдери), да разработи адекватни противодействия за защита на ядрените обекти и материали, да оценява капацитета и намеренията на потенциални заплахи, да измери ефективността на съществуващите мерки за сигурност.

DBT трябва да бъде интегрирана с националните стратегии за сигурност и готовност при извънредни ситуации и да бъде в основата на решенията за приоритетно разпределение на ресурсите и изграждане на капацитет. Тази оценка не само ще укрепи рамката за ядрена сигурност на Руанда, но също така ще демонстрира ангажираността ѝ към международни стандарти, включително тези на МААЕ, за предотвратяване на ядрен тероризъм и безопасно използване на ядрени технологии.

Изграждане на капацитет

Трябва да бъдат разработени всеобхватни обучителни програми, насочени към митнически служители, органи на реда, здравни работници, и други ключови заинтересовани страни. Включването на модули по ядрена сигурност в академичните програми ще допринесе за изграждането на експертен кадрови резерв. Трябва също така редовно да се провеждат симулационни учения, настолни упражнения (tabletop drills) с цел тест и повишаване на оперативната готовност.

Обществена осведоменост и ангажиране на заинтересованите страни

Това е ключов елемент за успешното интегриране на мерки за ядрена сигурност. Кампаниите за осведоменост трябва да информират обществото относно ползите и рисковете на ядрените технологии и да насърчават доверие към регулаторните органи. Необходимо е активно участие на местни общности, промишлени оператори, международни организации за постигане на широкообхватно сътрудничество и спазване на нормите.

Изследването препоръчва разработването на протоколи за спешни действия, съобразени със специфичните предизвикателства на Руанда. Те трябва да включват стандартизирани оперативни процедури (SOPs) за РЯ инциденти, евакуационни планове, асоки за медицински екипи, които се справят със случаи на замърсяване и радиационно облъчване. Редовното им актуализиране въз основа на проведени учения ще гарантира тяхната ефективност.

Използване на международни партньорства

Международното сътрудничество и иновативните технологии са от решаващо значение за ядрената сигурност на Руанда. Сътрудничеството с МААЕ, Росатом и други партньори ще осигури техническа експертиза, финансиране, използване на изкуствен интелект за откриване на заплахи, прилагане на блокчейн за проследяване на РЯ материали. Споразумения с опитни регулатори, като Ростехнадзор (Русия), ще

подпомогнат развитието на регулации, особено при въвеждането на малки модулни реактори (SMRs) с руски технологии.

Предвид географското положение на Руанда и общите рискове за региона, е необходимо хармонизиране на стандартите за ядрена сигурност с държави от региона, съвместни учения и симулации за повишаване на готовността, обмен на разузнавателна информация със съседни страни за укрепване на колективната сигурност

Изследването препоръчва създаването на дългосрочен план за действие, който да операционализира всички препоръки от настоящото изследване, да бъде съгласуван с стратегията Vision 2050 на Руанда и да включва времеви графици, разпределение на ресурси, ясни отговорности на участващите страни и механизми за мониторинг и оценка на напредъка.

Създаване на независим регулаторен орган за ядрена безопасност и сигурност

Руанда може да разгледа възможността за създаване на самостоятелен и независим регулаторен орган, фокусиран изцяло върху ядрената безопасност и сигурност. Този орган ще централизира надзора и управлението на ядрената сигурност, оптимизира координацията между различните правителствени институции, гарантира фокусиран и последователен подход към управлението на ря заплахите и ще бъде основен контакт с международни и регионални партньори

Създаване на Национален център за радиологични извънредни ситуации (REOC)

Създаването на Национален център за радиологични извънредни ситуации (REOC) ще засили способността на Руанда да управлява инциденти с РЯ агенти ефективно. Този център ще координира всички действия по реакция при извънредни ситуации, наблюдава радиологични събития в реално време, изпраща екипи за реагиране на място, комуникира с обществеността и международни партньори. REOC ще бъде оборудван с модерни технологии за анализ на данни в реално време, системи за подпомагане на вземане на решения при извънредни ситуации

Използване на технологии и иновации чрез инвестиции в усъвършенствани системи за мониторинг и откриване

Руанда трябва да инвестира в съвременни технологии за наблюдение и откриване, за да подобри способността си за откриване на радиационни и ядрени заплахи, бърза реакция при инциденти. Препоръчва се инсталиране на радиационни детектори на ключови входни пунктове – гранични пунктове, пристанища и критична инфраструктура, интегриране на тези системи със националния команден център за наблюдение в реално време и по-бърза реакция.

Прилагане на мерки за киберсигурност в ядрената инфраструктура

С напредващата дигитализация на ядрената инфраструктура, Руанда трябва да прилага силни мерки за киберсигурност, специално насочени към ядрените съоръжения. Това включва разработване на цялостни протоколи за киберсигурност, редовни одити

на сигурността, прилагане на съвременни технологии за защита от кибератаки. Сътрудничеството с международни експерти и организации ще бъде от ключово значение за изпреварване на нововъзникващите киберзаплахи.

Програми за ангажиране на общностите в близост до ядрени обекти

Ангажирането на общности, които се намират в близост до входни пунктове или обекти с радиологични материали, е от съществено значение за местната сигурност и общественото доверие. Руанда трябва да разработи програми за ангажиране на общностите, които включват участие на местните заинтересовани страни в процесите на вземане на решения, образование относно рисковете от радиация, включване в дейности по подготовка за извънредни ситуации. Този подход ще засили чувството за отговорност и принадлежност и подобри общата сигурност и готовност на местно ниво.

Сключване на двустранни споразумения със съседни държави

Руанда трябва да преговаря за двустранни споразумения със съседни държави с цел засилване на трансграничното сътрудничество за управление на РЯ заплахи, Подобно на регионалните проекти с МААЕ. Тези споразумения ще улеснят обмен на информация, съвместни обучителни упражнения и координирани реакции при инциденти, които могат да засегнат повече от една страна. Този тип сътрудничество е от ключово значение в региони с политическа нестабилност или въоръжени конфликти, които повишават риска от трафик на радиологични материали. Оценяването и изборът на най-подходящите алтернативи за повишаване на готовността и реакцията на Руанда спрямо РЯ заплахи е от решаващо значение за укрепване на рамката за ядрена сигурност и осигуряване на устойчивост и адаптивност. Алтернативите се оценяват въз основа на следните критерии: ефективност, финансова и институционална осъществимост, разходна ефективност, съответствие с националните приоритети и потенциал за международно сътрудничество.

Укрепването на правната и регулаторна рамка е фундаментално за изграждане на здрава система за ядрена сигурност. препоръчва се цялостен преглед и актуализация на съществуващото законодателство, приемане на нови регулации за нововъзникващи технологии, като малки модулни реактори, киберсигурност в ядрената инфраструктура. Тази алтернатива е високо ефективна, устойчива и съвместима с приоритетите на държавното управление.

Разширяването на институционалния капацитет чрез Непрекъснати обучения и програми за развитие на персонала е ключова алтернатива, която подобрява компетентността на всички участници в ядрената сигурност. Тази мярка е осъществима и финансово устойчива. Създаването на независима агенция за ядрена сигурност е Изключително ефективно за централизиране на усилията и координация, но може да срещне предизвикателства, свързани с финансиране и осъществимост. Препоръчва се като дългосрочна цел, а не незабавно действие.

Подобряването на готовността за извънредни ситуации е от жизненоважно значение за гарантиране, че Руанда може ефективно да управлява РЯ инциденти. Разработването на Национален план за реакция при радиологични и ядрени извънредни ситуации е високо осъществимо, рентабилно и устойчиво решение, напълно съвместимо с приоритетите на Руанда. Създаването на Национален център за радиологични

извънредни ситуации (REOC) също е изключително ефективно, но изисква значителни инвестиции в инфраструктура и технологии. Следователно трябва да се разглежда като част от фазирана стратегия за прилагане.

Използване на технологии и иновации

Използването на технологии и иновации е от съществено значение за подобряване на ядрената сигурност на Руанда. препоръчва се инвестиране в усъвършенствани технологии за мониторинг и откриване, които да подобрят способността на страната за откриване и реакция в реално време на РЯ заплахи и се интегрират с националните командни центрове за по-бързо реагиране. Тази алтернатива е високо ефективна и в съответствие с приоритета на Руанда за технологичен напредък.

Обществена осведоменост и участие

Подобряването на обществената информираност и участие чрез Национални кампании за осведоменост и програми за ангажиране на общности около ядрени обекти е критично за изграждане на обществено доверие и сътрудничество. Тези подходи са Рентабилни, Лесно приложими и Устойчиви във времето и представляват ценни допълнения към техническите и регулаторни мерки.

Трансграничното сътрудничество е друга критична област, изискваща незабавно внимание. Предвид стратегическото положение на Руанда и близостта ѝ до нестабилни региони, са необходими ефективен обмен на разузнавателна информация и съвместни операции за сигурност. Препоръчва се руанда да участва активно в регионални инициативи за ядрена сигурност и да сключи двустранни споразумения със съседни държави.

Тези споразумения могат да включват синхронизирано инсталиране на детекционни системи, съвместни учения за извънредни ситуации, споделяне на данни за трафик на радиологични материали. Това ще гарантира, че уязвимостите са адресирани не само вътре в Руанда, но и в целия регион.

Изследването препоръчва създаването на специализирани центрове за управление на ядрени и радиологични отпадъци. Тези центрове ще гарантират безопасно съхранение, обработка и обезвреждане, ще отговарят на международни стандарти за безопасност и ще служат като изследователски хъбове за разработване на нови технологии за управление на отпадъци. Към момента Руанда няма напълно развити системи за управление на ядрени отпадъци, което представлява сериозен риск за общественото здраве и околната среда.

Стратегически препоръки – обобщение

Изследването подчертава необходимостта от фазирано, систематично прилагане на препоръките, разработване на дългосрочен стратегически план, съгласуван с "Vision 2050" на Руанда, ясни времеви линии, разпределение на ресурси и отговорности на участниците, механизми за мониторинг и оценка, които да проследяват напредъка и да позволяват адаптации.

Руанда трябва да съчетае законодателни реформи, технологични иновации, изграждане на капацитет и регионално сътрудничество, за да изгради устойчива и ефективна система за ядрена сигурност.

Изграждане на капацитет сред заинтересованите страни

За да се преодолеят различията в подготовката на различните сектори спрямо РЯ заплахи, са необходими следните стъпки: 1. Интегриране на управлението на РЯ заплахи в академичните програми. Необходимо е усилие за включване на обучение по темата във възможно най-много университетски и професионални програми, така че всички специалисти – независимо от своята област – да имат базови познания относно РЯ рискове. 2. Разширяване на следдипломни програми по РЯ сигурност следдипломните програми по управление на РЯ заплахи трябва да бъдат по-достъпни, широко предлагани и насочени към специализация на повече професионалисти в тази критична област.

Готовност на болниците за РЯ инциденти

За да се справят с установените пропуски, болниците в Руанда трябва да предприемат следните приоритетни действия:

1. Увеличаване на броя на дезактивационните звена

Болниците трябва да инвестират в изграждането или придобиването на дезактивационни звена, които са от решаващо значение за предотвратяване на разпространението на замърсяване и осигуряване на безопасно лечение на пациенти, изложени на радиация.

2. Разширяване на отделенията за изолация

Повече болници трябва да създадат изолирани зони за лечение на пациенти, засегнати от радиация. Това ще ограничи експозицията и ще намали риска от замърсяване на други части на болницата.

3. Осигуряване на защитно оборудване

Закупуването на облекло и лични предпазни средства за радиационна защита трябва да бъде основен приоритет. Медицинският персонал трябва да бъде адекватно защитен, за да изпълнява своите задължения безопасно и ефективно при РЯ извънредна ситуация.

4. Подобряване на програмите за обучение

Трябва да се разширят обучителните програми по радиационна защита, така че повече болници да разполагат със специализирани кадри, обученията да бъдат периодични, с курсове за подновяване на знанията, за да се гарантира, че персоналът е в крак с последните протоколи и технологии.

5. Създаване на Национална рамка за спешен отговор

Правителството на Руанда, чрез Министерството на управление на извънредни ситуации (MINEMA), трябва да координира национална рамка за реакция, която да гарантира, че ресурси и обучен персонал могат да бъдат бързо мобилизирани и да осигури подкрепа за болници с ограничени възможности по време на РЯ инцидент.

Закупуване на защитно оборудване

За справяне с установените пропуски се препоръчват следните стъпки:

Разпределение на ресурси и доставки. Трябва да се предприемат координирани усилия от страна на правителството и ръководствата на болниците, за да се гарантира, че всички болници са оборудвани с необходимите материали за справяне с РЯ инциденти. Това включва средства за радиационна защита, устройствата детекция, медицински консумативи за лечение при радиационно облъчване, управление на инвентара и информираност. Болниците трябва редовно да правят одит на наличните материали, за да гарантират готовност при извънредни ситуации. Персоналът трябва да бъде добре информиран относно наличните консумативи и обучен как да ги използва. Това е критично за ефективно управление на инциденти.

Подкрепа от държавата и прилагане на политики. Правителството трябва да осигурява финансиране и логистична подкрепа за закупуване на необходимите материали, да въведе политики, които задължават редовни проверки на готовността на болниците за справяне с РЯ инциденти. Тези мерки трябва да отговарят на националните и международни стандарти.

Обучителни програми. Обученията трябва да се разширят и да включват управление на логистиката и веригата на доставки. Медицинският персонал трябва да знае какви материали са нужни, къде се намират, как да ги използва ефективно при извънредни ситуации. Осигуряването на бърза мобилизация на ресурси е ключово за намаляване на времето за реакция и минимизиране на вредите.

Заклучение

Настоящото изследване имаше за цел да оцени готовността на Руанда и нейните реакции спрямо радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти, с фокус върху това как тези усилия допринасят за укрепване на националната регулаторна рамка за ядрена сигурност. Използвайки смесен методологичен подход, който съчетава документален анализ, интервюта с експерти и полеви оценки на различни входни пунктове (POEs), изследването разкри както похвални постижения на Руанда при изграждане на базова рамка за ядрена сигурност, така и значителни пропуски, които все още съществуват. Резултатите подчертават сложността на управлението на РЯ заплахи в условията на ограничени ресурси и необходимостта от интегрирана стратегия, обхващаща оперативна готовност, законодателни реформи, технологични подобрения, засилена координация между заинтересованите страни.

Преглед на основните изводи

Изследването показва, че Руандската агенция за регулиране на комуналните услуги (RURA) е предприела начални стъпки за изграждане на структурирана система за ядрена сигурност. Въведени са регулаторни мерки, насочени към лицензиране на ядрени дейности и мониторинг на движението на радиоактивни материали. Въпреки това, съществуват очевидни пропуски в цялостната готовност на страната. Например липсата на централен Кризисен център за ядрени инциденти води до фрагментирани и неkoordinирани мерки за реакция. Полевите оценки показаха значителни различия в капацитета за откриване на радиация на входните пунктове, като някои са оборудвани само с остарели и недостатъчни инструменти, неспособни да се справят със съвременните заплахи и методи за контрабанда

Друго важно заключение е широкият недостиг на информираност сред населението и специализирания персонал относно РЯ рискове. Изследването показва, че първите реагиращи, болничният персонал и обществеността имат ограничени познания за ядрените опасности. Тази липса на информираност води до неефективно поведение при спешни случаи, неспазване на процедурите за евакуация, повишен риск за общественото здраве и безопасност. Съществуващата законодателна рамка, въпреки че осигурява базова структура, не включва достатъчно конкретика, необходима за налагане на строги мерки за сигурност, адаптиране към нови технологии, като малки модулни реактори и съвременни системи за откриване на заплахи.

Укрепване на институционалната и оперативната рамка

В светлината на получените резултати, една от най-важните препоръки е създаването на специализиран Национален кризисен център за ядрени инциденти (NCMC). Този център ще служи като централизиран команден щаб по време на ядрени извънредни ситуации, ще гарантира координиран отговор между регулаторните органи, службите за спешна помощ, болничния сектор, правоохранителните органи и граничния контрол. Центърът трябва да бъде оборудван със системи за наблюдение в реално време, сигурни комуникационни мрежи, изчерпателни протоколи за реакция при извънредни ситуации. Препоръчва се също така провеждане на редовни симулационни упражнения, обучения по сценарии, организирани под ръководството на NCMC, за повишаване на готовността, яснота относно ролите и отговорностите на всяка заинтересована страна, съкращаване на времето за реакция, подобряване на цялостното управление на кризисни ситуации.

Друго оперативно подобрение е надграждането на системите за откриване и наблюдение на Руанда. Изследването показва, че въпреки че в някои обекти се използва оборудване за откриване, технологията е остаряла и не е равномерно разпределена в ключовите входни точки на страната. Препоръчва се инвестиране в модерни портални монитори, закупуване на мобилни единици за откриване на радиация, инсталиране на автоматизирани системи за радиационен мониторинг, интегриране на авангардни технологии. За създаване на надеждна и проактивна архитектура за откриване, Руанда може да използва изкуствен интелект за откриване на аномалии и прилага блокчейн технологии за сигурно проследяване на ядрени материали. Това ще даде възможност за откриване в реално време, предотвратяване на незаконен трафик и неоторизиран достъп,

повишаване на националната сигурност в ядрената област, подобряване на обществената информираност и обучение.

Повишаване на обществената осведоменост и обучение

Изследването ясно показва, че обществената осведоменост играе ключова роля в ядрената сигурност. Ниското ниво на информираност сред гражданите относно рисковете и правилните действия при РЯ инциденти подкопава ефективността на мерките за готовност при извънредни ситуации. Затова е наложително да се предприеме национални кампании за осведоменост, която да включва образование за ядрените опасности, безопасно поведение по време на инциденти, значението на следването на официални инструкции. Тези кампании трябва да бъдат съобразени с различните групи в обществото и разпространявани чрез телевизия, радио, социални мрежи, програми за работа с общности. Също така е необходимо интегриране на теми за ядрена безопасност и сигурност в училищните програми, организиране на периодични работилници и обучения в общностите. Това ще помогне за изграждане на култура на готовност и отговорност още от ранна възраст. В допълнение трябва да се осигури обучение на професионалисти чрез специализирани програми за обучение, които да се институционализират за служители на спешна помощ, медицински персонал, служители по сигурността. Тези програми трябва да осигурят, че всички ключови участници са подготвени да реагират ефективно при РЯ инциденти.

Законодателни реформи и подобрения в регулациите

Едно от основните ограничения, установени в изследването, е неадекватността на съществуващата законодателна рамка в Руанда, която не обхваща съвременните РЯ заплахи в пълен обем. Налице са проблеми с действащата нормативна база. съществуват регулации, но често липсва конкретика за прилагане на стриктни мерки за сигурност, особено по отношение на нови технологии, трансгранични предизвикателства. Необходимите действия се изразяват в: цялостен преглед и актуализация на действащото законодателство, ясно дефиниране на ролите и отговорностите на всички участници в ядрената сигурност, въвеждане на строги стандарти за защита на ядрени материали, определяне на сериозни санкции при неспазване. Законодателните реформи трябва да бъдат в съответствие с международните добри практики, определени от Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) и други глобални механизми за ядрена сигурност. Правната рамка трябва да включва разпоредби за периодичен преглед и актуализация, за да бъде адекватна спрямо технологичния напредък и променящия се облик на заплахите.

Подобряване на междуинституционалната координация и комуникацията при кризи

Резултатите от изследването показват, че едно от най-големите предизвикателства в ядрената сигурност на Руанда е липсата на ефективна координация между различните институции. разнопосочната дейност на отделните агенции води до закъснения и неефективност при спешни ситуации. За смекчаване на този проблем може да се препоръча следното: създаване на унифицирана командна структура, която да управлява действията по време на ядрена извънредна ситуация и въвеждане на стандартизирани комуникационни протоколи за обмен на данни в реално време и координирани действия между институциите. Създаването на Национален кризисен

център за ядрени инциденти (NCMC) трябва да бъде допълнено от редовни съвместни обучения и симулационни упражнения, включващи регулатори, полиция, гранична охрана, здравни служби и други отговорни институции. Изграждането на защитени цифрови платформи за обмен на информация между институциите ще улесни бърза и координирана реакция при РЯ инциденти.

Засилване на трансграничното сътрудничество и международната координация

Предвид транснационалния характер на ядрените заплахи, усилията на Руанда не могат да бъдат изолирани. Изследването разкри, че проблемите с порьозни граници и нестабилност в региона сериозно ограничават възможностите на Руанда да предотврати незаконен трафик на ядрени материали и неоторизиран достъп до радиоактивни източници.

Препоръчително е Сключване на двустранни и многостранни споразумения със съседни държави, Активно участие в регионални инициативи по ядрена сигурност и мрежи за обмен на разузнавателна информация, например програми на МААЕ (IAEA) и Договорът за безядрена зона в Африка (Pelindaba Treaty). Формите на сътрудничество могат да бъдат съвместни учения за извънредни ситуации, споделени системи за откриване, координирани стратегии за наблюдение и контрол на движението на ядрени материали през границите. Тези мерки ще подобрят общата регионална устойчивост и защитата на ядрените ресурси.

Редовни учения и симулационни упражнения за извънредни ситуации

Резултатите от изследването подчертават критичен пропуск в регулярността и обхвата на ученията за готовност при извънредни ситуации. В момента в Руанда липсват систематични тренировки за готовност и реакция при РЯ инциденти. Това подкопава готовността както на отговорните институции, така и на обществеността. Може да се препоръча въвеждане на структуриран график за редовни учения, включващ теоретични (tabletop) упражнения и реални симулации в пълен мащаб. сценариите, които трябва да бъдат обхванати са контрабанда на ядрени материали, събития с разпространение на радиологични вещества, нововъзникващи заплахи, като нарушения с помощта на дронове, кибератаки върху ядрената инфраструктура. Това ще доведе до откриване на оперативни слабости, прецизиране на протоколите за реакция и увереност, че всички институции и служители са обучени и подготвени за бърза реакция, както и до подобряване на капацитета на болниците за дезактивация и медицинска реакция.

Подобряване на възможностите за обеззаразяване на болници и медицински отговор

Здравните заведения играят ключова роля в справянето с последствията от ря инциденти, но изследването показва, че много болници в Руанда не разполагат със специализирани дезактивационни звена и обучени екипи за реакция при радиационни инциденти. За преодоляване на това може да се препоръча основните референтни болници да изградят специализирани центрове за дезактивация, снабдени със съвременни технологии за лечение на облъчване, защитно оборудване, протоколи за безопасно управление на радиационни пациенти. Персоналът трябва да получава редовно обучение по процедури за реакция при радиационни спешни случаи и

дезактивация и координация с национални и регионални центрове. Болниците трябва да разработят комплексни планове за реакция, включващи сътрудничество с националния кризисен център и регионално взаимодействие за бързо пренасочване на пациенти.

Създаване на центрове за управление на ядрени отпадъци

Безопасното управление на ядрени и радиологични отпадъци е от съществено значение за дългосрочната защита на общественото здраве и околната среда. Изследването установи, че практиките в Руанда в тази област са недостатъчно развити, което създава реални рискове от замърсяване и неоторизиран достъп до радиоактивни материали. Препоръчва се създаването на специализирани центрове за управление на ядрени отпадъци, които да отговарят за безопасното съхранение, обработка и обезвреждане на тези материали. Тези центрове трябва да бъдат интегрирани с националната регулаторна рамка и да прилагат международно признати добри практики, като осигуряват постоянен мониторинг и отчетност. Централизирането на управлението на отпадъците ще позволи на Руанда да намали екологичните и здравните рискове и ще осигури устойчив модел за ядрена сигурност.

Непрекъснат мониторинг, оценка и научни изследвания

С оглед на динамичната природа на ядрените заплахи и бързото развитие на съответните технологии, непрекъснатият мониторинг и оценка са от решаващо значение за поддържане на адаптивна и устойчива рамка за ядрена сигурност. Препоръчва се изграждането на надеждна система за мониторинг и оценка, която включва ясно дефинирани ключови индикатори за ефективност (КРІ) във всички компоненти на ядрената сигурност – от откриване и реагиране до нормативно съответствие. Тази система трябва да интегрира редовни прегледи и механизми за обратна връзка, базирани на резултати от симулационни учения и реални инциденти. Освен това е необходимо да се насърчават допълнителни научни изследвания, особено дългосрочни проучвания, които проследяват ефективността на прилаганите мерки във времето. Такива изследвания ще спомогнат за усъвършенстване на съществуващите практики и ще гарантират, че ядрената сигурност на Руанда се развива адекватно спрямо нововъзникващите предизвикателства.

Заклучителни размисли и бъдещи насоки

Резултатите от това изследване подчертават както постиженията, така и устойчивите предизвикателства в подхода на Руанда към ядрената сигурност. Настоящата регулаторна рамка, въпреки че осигурява основна структура за управление на радиологични и ядрени (РЯ) заплахи, се нуждае от значителни подобрения, за да отговори на технологичните, оперативните и законодателните пропуски. Представените в това изследване препоръки предлагат цялостна пътна карта за укрепване на ядрените способности на Руанда чрез създаване на Национален кризисен център за ядрени инциденти, повишена обществена осведоменост и обучение, модернизирани системи за откриване и мониторинг, законодателни реформи, по-добра междуинституционална координация, стабилно трансгранично сътрудничество, редовни тренировки при извънредни ситуации, както и специализирани центрове за управление на отпадъци и дезактивация.

Реализирането на тези препоръки ще изисква траен политически ангажимент, адекватни финансови ресурси и активно участие на всички заинтересовани страни. Ключово е Руанда да използва както вътрешен, така и международен експертен опит, за да изгради устойчива рамка за ядрена сигурност, способна ефективно да намалява рисковете, свързани с РЯ заплахи. Чрез това страната не само ще защити своята национална сигурност, но и ще допринесе за стабилността в региона и ще служи като пример за други развиващи се държави, изправени пред сходни предизвикателства.

Бъдещите изследвания следва да се съсредоточат върху наблюдението на дългосрочните ефекти от приетите мерки, както и върху изследването на иновативни технологии и стратегии за допълнително повишаване на ядрената сигурност. Непрекъснатото усъвършенстване, основано на редовна оценка и адаптивни политически реформи, ще бъде от решаващо значение, за да се гарантира, че Руанда остава лидер в областта на ядрената безопасност и сигурност. В крайна сметка, проактивният и интегриран подход към ядрената сигурност е незаменим за опазване на общественото здраве, екологичната безопасност и националния суверенитет в условията на все по-сложна глобална среда за сигурност.

Изследването разкрива необходимостта от цялостен и многопластов подход за укрепване на рамката за ядрена сигурност на страната.

Руанда е постигнала значителен напредък в изграждането на основа за ядрена сигурност, но все още има области, които изискват внимание, за да бъде страната напълно подготвена за справяне с радиологични и ядрени (РЯ) заплахи. Актуализирането и хармонизирането на законодателството с международните стандарти, инвестициите в съвременни технологии и прилагането на надеждни мерки за киберсигурност са съществени стъпки в тази посока. Освен това, непрекъснатото развитие на капацитет и кампаниите за обществена осведоменост ще подпомогнат устойчивостта на тези усилия в дългосрочен план.

Изследването заключава, че поетапното прилагане на препоръчаните алтернативи, с приоритет върху тези, които предлагат най-незабавни ползи, ще осигури на Руанда устойчива и адаптивна рамка за ядрена сигурност. Чрез интегриране на тези препоръки в националната политика и практика, Руанда ще повиши своята способност да предотвратява, открива и реагира на радиологични и ядрени заплахи, като по този начин ще защити общественото здраве, националната сигурност и регионалната стабилност. @@

ГЛАВА ШЕСТА: ПРИНОСИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Научни и научно-приложни приноси на изследването

Научни приноси

Изследването предоставя оценка на съществуващите стратегии за готовност и реакция чрез провеждане на цялостен анализ на подготвеността и мерките за реакция при радиологични и ядрени (РЯ) заплахи и инциденти в страната. Тази оценка и предложените препоръки имат потенциал да бъдат приложени и на глобално ниво.

Изготвени са модели за оценка на риска от РЯ заплахи, съобразени със специфичния социално-политически и екологичен контекст на страната и региона.

Развиване на теорията за ядрената сигурност в среда с ограничени ресурси

Чрез анализа на предизвикателствата пред ядрената сигурност в Руанда, изследването допринася за развитието на теоретичните рамки в условия на ограничени ресурси. То изследва критичните пропуски в системите за откриване, готовност и реакция и предлага адаптивни стратегии за преодоляването им. Изследването разширява съществуващите теоретични познания, като поставя ядрената сигурност в контекста на развиващите се страни и предоставя приложими насоки за подобни среди в световен мащаб.

Съответствие с глобалните стандарти за ядрена сигурност

Изследването сравнява стратегиите за ядрена сигурност в Руанда с международно признати добри практики, идентифицирайки несъответствия и предлага конкретни мерки за преодоляването им. Това допринася за съответствие с глобалните стандарти, включително насоките на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ). Чрез насърчаване на прилагането на международни рамки в развиващите се държави, изследването обогатява глобалния дебат относно ядрената сигурност.

Интеграция на нововъзникващи технологии в ядрената сигурност

Проучено е прилагането на нови технологии, включително изкуствен интелект и модерни системи за радиационно откриване, с цел укрепване на ядрената сигурност. Изследването показва как иновативни инструменти могат да се използват за ограничаване на заплахите и предлага ценни насоки за технологична интеграция в стратегиите за ядрена сигурност, за да могат новите ядрени страни да се справят ефективно с бъдещите предизвикателства.

Принос към глобалния дискурс по ядрена сигурност

Документирайки усилията и предизвикателствата на Руанда в сферата на ядрената сигурност, изследването допринася с ценни данни към световния дебат по темите за неразпространението, ядрената безопасност и международното сътрудничество. То подчертава значението на регионалните и международни партньорства за ограничаване на РЯ заплахите.

Принос към проектирането на политики за ядрена сигурност

Изследването предоставя препоръки, базирани на доказателства, за създаване на ефективни политики за ядрена сигурност. То подчертава значението на вземането на решения, базирани на оценка на риска, създаването на законодателни рамки и осигуряването на независимост на регулаторните органи. Тези прозрения имат за цел да насочат политиките към създаване на устойчиви и ефикасни механизми за ядрена сигурност в съответствие с международните стандарти.

Научно-приложни приноси

Развитие на капацитет и обучителни програми

Изследването идентифицира критични дефицити в уменията, свързани с ядрената сигурност, и предлага всеобхватни програми за обучение на заинтересовани страни, включително служители на реда, здравни специалисти и регулатори. Тези програми са насочени към подобряване на оперативните възможности на Руанда и осигуряване на готовност за реакция при РЯ инциденти.

Разработка на архитектура за откриване на РЯ материали по граничните пунктове

С цел преодоляване на уязвимостите по границите, летищата и пристанищата на Руанда, изследването предлага практическа рамка за откриване на РЯ материали, включително внедряване на съвременни технологии за откриване и стандартизирани оперативни процедури. Това ще позволи ефективен мониторинг и ще предотврати незаконния трафик на ядрени материали.

Подобриени протоколи за готовност и реакция при извънредни ситуации

Изследването разработва детайлни протоколи за готовност и реакция, адаптирани към специфичните уязвимости на Руанда. Те обхващат здравна реакция, публична комуникация и междуинституционална координация, като осигуряват цялостен подход към управлението на РЯ извънредни ситуации.

Създаване на специализирани медицински звена

Предлага се създаване на звена за реакция при радиологични инциденти в референтните болници, снабдени с дезактивационни съоръжения и обучен медицински персонал. Тази практическа мярка цели да преодолее настоящите пропуски в медицинската готовност и да засили националната способност за реакция при радиологични инциденти.

Повишаване на обществената осведоменост и ангажираност на общностите

Изследването подчертава значението на социалната устойчивост чрез кампании за обществено образование и планове за извънредни ситуации на общностно ниво. Чрез подобряване на информираността и разбирането относно РЯ заплахите, изследването допринася за изграждането на култура на готовност и безопасност сред населението на Руанда.

Препоръки за системи за физическа защита и създаване на център за управление при кризи

Изследването предоставя практически препоръки за физическа защита на обекти, в които се съхраняват радиоактивни материали. Те включват внедряване на усъвършенствани системи за видеонаблюдение, детектори за проникване и механизми за контрол на достъпа, с цел да се минимизират рисковете от неоторизиран достъп или саботаж. Допълнително се препоръчва създаването на Национален център за управление на ядрени кризи, който да служи като команден пункт за координация между всички участващи институции по време на извънредни ситуации.

Рамка за регионално и международно сътрудничество

Изследването подчертава необходимостта от укрепване на трансграничното сътрудничество, споделянето на разузнавателна информация и участието в международни инициативи за ядрена сигурност. Тези стратегии ще подпомогнат интегрирането на Руанда в глобалните мрежи за ядрена сигурност и ще допринесат за регионалната стабилност и координирана реакция при заплахи.

Създаване на система за управление на ядрени отпадъци

Изследването предлага конкретни действия за създаване на централизирана система за безопасно съхранение и обезвреждане на ядрени и радиологични отпадъци в Руанда. Тази система е от ключово значение за дългосрочната защита на околната среда и общественото здраве, както и за спазване на международните изисквания в областта на радиационната безопасност.

Прилагане на редовни симулационни учения

За да се засили готовността на Руанда за справяне с РЯ инциденти, изследването препоръчва редовни симулационни учения, базирани на реалистични сценарии. Тези учения служат за тестване и усъвършенстване на механизмите за реакция, като гарантират, че всички ангажирани страни са добре подготвени да ограничат последствията от потенциални инциденти.

ГЛАВА СЕДМА: ПРИЛАГАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Тази глава очертава приложението на резултатите от изследването в реална среда, като акцентира върху това как Руанда може да въведе в действие предложените стратегии за ядрена сигурност.

Интеграция в националната политика за сигурност

Резултатите от изследването играят ключова роля за актуализиране на националната рамка за ядрена сигурност в Руанда. Чрез идентифициране на съществуващи пропуски в политиките, инфраструктурата и междуинституционалната координация, изследването предлага аргументирани препоръки, които могат да бъдат използвани за хармонизиране на политиките на Руанда със стандартите на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ). Интегрирането на ядрената сигурност в националната политика за сигурност гарантира, че тя не се разглежда изолирано като технически въпрос, а като неразделна част от системата за отбрана и обществена безопасност. Това допринася и за създаването на устойчиви управленски структури за дългосрочно управление на ядрени заплахи.

Практически приложения за регулаторните органи

Препоръките от изследването предоставят конкретни насоки за регулаторни органи, като например Регулаторния орган за комунални услуги на Руанда (RURA). На база на изводите, регулаторите могат да усъвършенстват своите функции, включително издаване на лицензи за ядрени дейности, инспекции на обекти с радиоактивни материали и гарантиране на спазване на протоколи за ядрена безопасност и сигурност. Чрез прилагане на тези изводи, регулаторните органи могат да повишат ефективността на надзора, да затворят пропуски в съответствието и да подобрят способността си да оценяват и реагират на нововъзникващи ядрени заплахи.

Възприемане от органите на реда и службите за сигурност

Изследването предлага стратегически и оперативни насоки, които могат да бъдат въведени в протоколите на правоохранителните и сигурностни агенции. Това включва разработване на системи за ранно откриване, рискови профили, както и механизми за бърза реакция при РЯ заплахи. Препоръките подчертават важността на междуведомствената координация, обмена на разузнавателна информация и сценарийно-базирани обучения, с цел да се засили готовността за реакция при ядрени инциденти, включително незаконен трафик, саботаж и тероризъм с радиоактивни източници.

Прилагане на обучителни програми

Резултатите от изследването подчертават необходимостта от цялостни програми за развитие на капацитет, насочени към повишаване на техническите компетенции на

персонала, отговарящ за ядрената сигурност. Изследването очертава структура на специализирани обучителни модули, обхващащи области като радиационно откриване, реагиране при извънредни ситуации, кибер-физическа сигурност на ядрени системи и правоприлагане на мерките за безопасност. Прилагането на тези програми ще допринесе за стандартизиране на процедурите между институциите и изграждане на квалифицирана работна сила, способна да се справя с предизвикателствата на ядрената сигурност както в ежедневната работа, така и в извънредни ситуации.

Обществено ангажиране и комуникация на риска

Ключова препоръка от изследването е значението на комуникацията на риска и активното участие на обществото при подготовката за ядрена сигурност. Препоръчва се създаване и прилагане на кампании за повишаване на обществената осведоменост, с цел да се информират гражданите за същността на РЯ заплахите, правилното поведение при извънредни ситуации и ролята на обществото в националната сигурност. Подобни стратегии за комуникация могат да намалят паниката, да подобрят спазването на инструкциите в извънредни ситуации и да насърчат чувството за споделена отговорност между правителството и общността в защитата на националните активи.

Технологични подобрения и развитие на инфраструктурата

Изследването идентифицира критични пропуски в ядрената сигурност на Руанда, особено по отношение на откриването на радиация, сигурния транспорт на радиоактивни материали и съоръженията за реакция при извънредни ситуации. Резултатите налагат целеви инвестиции в модерни технологии за откриване (като портални монитори и мобилни скенери), механизми за сигурно съхранение и транспорт, както и разширяване на дезактивационните звена в болниците. Тези подобрения са от съществено значение за създаването на устойчива рамка за сигурност, способна да отговори както на настоящите, така и на нововъзникващите РЯ заплахи.

Укрепване на регионалните и международните партньорства

Изследването също така подкрепя продължаващия ангажимент на Руанда към регионалните и международни инициативи за ядрена сигурност. Подчертава се значението на трансграничното сътрудничество, обмена на разузнавателна информация и участието в международни конвенции и програми за изграждане на капацитет, като тези, координирани от МААЕ, Африканската комисия по ядрена енергия (African Commission on Nuclear Energy, AFCONE) и INTERPOL. Тези партньорства подобряват националната готовност, осигуряват достъп до добри практики и технологии, и утвърждават Руанда като активен и отговорен участник в глобалната ядрена общност.

В заключение, резултатите от изследването допринасят значително както за стратегическата насоченост, така и за оперативното планиране на рамката за ядрена

сигурност в Руанда. Те предлагат пътна карта за цялостно подобряване на политиките, практиките и инфраструктурата, като гарантират, че страната не само спазва международните стандарти, но и демонстрира лидерство в справянето с радиологични и ядрени заплахи.

Публикации по дисертационния труд

1. Abenanye. (2023). Rwanda's Preparedness and Responses to Radiological and Nuclear Threats: SWOT Analysis for the Regulatory Authority, SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4599823>
2. Abenanye. (2023). Rwanda's Preparedness and Responses to Radiological and Nuclear Threats: Contributing Towards the Regulatory Framework for Strengthening Nuclear Security in Rwanda. <https://www.researchgate.net/profile/Abenanye-Emmanuel>
3. Abenanye. (2024). Nuclear Security During Major Public Events: A Case Study of CHOGM 2022 in Rwanda by Abenanye, Emmanuel (<https://inis.iaea.org/records/0q6ek-57447>)
4. Abenanye. (2025). Public Awareness and Emergency Preparedness for Nuclear and Radiological Threats: Case study Rwanda
5. Abenanye. (2024). Strengthening Nuclear Security in Rwanda: An Analysis of International Frameworks and Legal Instruments, Social Science Research Network https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5045221
6. Abenanye, E., (2024). The role of Public Communication in Emergency Preparedness for Nuclear and Radiological Threats: Case study Rwanda, 14th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2024), December 2 - 3rd, 2024, UNWE, Sofia, Bulgaria. (In Print)
7. Abenanye, E., (2024). The role of ICT through Statistical Models in Enhancing Nuclear Security: A Case Study of Rwanda's Border Points, 14th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2024), December 2 - 3rd, 2024, UNWE, Sofia, Bulgaria. (In Print)
8. Abenanye, E., Basic elements for breast screening programs for Rwanda, IAEA, 2015, <https://inis.iaea.org/records/95mek-16k96>



UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY
The Spirit Makes The Power

Department of National and Regional Security

RWANDA'S PREPAREDNESS AND RESPONSES TO RADIOLOGICAL AND NUCLEAR (RN) THREATS AND INCIDENTS: *CONTRIBUTING TO REGULATORY FRAMEWORK TOWARDS THE STRENGTHENING NUCLEAR SECURITY IN RWANDA.*

ABSTRACT

Dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor" in the professional field 3.8 Economics, scientific specialty Economics and Management (Defence and Security)

By

Emmanuel ABENANYE

© 2025 Emmanuel ABENANYE

Academic Supervisor: Professor Tsvetan Tsvetkov

2025 Emmanuel ABENANYE

Abstract

This thesis evaluates Rwanda's preparedness and responses to radiological and nuclear (RN) threats and incidents, focusing on strengthening the regulatory framework to ensure robust nuclear security. The research employs a mixed-method approach, combining document analysis, interviews with key stakeholders, and surveys across multiple Points of Entry (POEs) in Rwanda. The study assesses the country's legislative, institutional, and operational readiness in responding to RN threats, particularly as Rwanda seeks to integrate Small Modular Reactors (SMRs) and expand the use of nuclear technology in medicine, energy, and industrial sectors

Empirical data was gathered through field assessments of POEs for their preparedness such as Kigali International Airport (KIA), which scored the highest in preparedness (80%), and Ruganda Lake Port, which scored the lowest (31%). These results highlight disparities in the infrastructure, training, communication and coordination among various border points. The study also identifies key gaps in regulatory enforcement, public awareness, and emergency preparedness for RN incidents. Analysis of interviews with stakeholders from RURA, RAEB, and Rwanda National Police further underscores the need for inter-agency coordination and capacity building to address emerging nuclear threats

Findings reveal that while Rwanda has made progress in nuclear security, significant improvements are needed in areas such as detection capabilities, international collaboration, and the legal framework governing nuclear activities. Recommendations include enhancing the legal and regulatory environment, investing in advanced detection technologies, and implementing comprehensive public awareness campaigns. The study emphasizes the importance of cross-border cooperation and alignment with international nuclear security standards to mitigate risks associated with RN threats

By combining qualitative and quantitative analysis, this thesis provides a detailed assessment of Rwanda's nuclear security landscape and offers strategic recommendations to enhance the country's preparedness and response to RN incidents. The research contributes to Rwanda's efforts to build a resilient nuclear security framework that can address both domestic and transnational nuclear security challenges.

Keyword

Radiological and Nuclear (RN) Threats, Nuclear Security, Rwanda, Regulatory Framework, Small Modular Reactors (SMRs), Kigali International Airport (KIA), Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA), Rwanda Atomic Energy Board (RAEB), Emergency Preparedness.

Table of Contents

<u>CHAPTER ONE: INTRODUCTION</u>	60
<u>CHAPTER TWO: VOLUME AND STRUCTURE OF THE PHD, CONTENT OF THE THESIS</u> ...	78
<u>CHAPTER THREE: CONTENT OF THE THESIS AND RESULTS OF THE RESEARCH</u>	79
<u>CHAPTER FOUR: FINDINGS OF THE STUDY</u>	81
<u>CHAPTER FOUR. RECOMMENDATIONS AND CONCLUSIONS</u>	90
<u>CHAPTER FIVE: CONTRIBUTIONS OF THE STUDY</u>	105
<u>CHAPTER SIX: IMPLEMENTATION OF THE RESULTS</u>	107

CHAPTER ONE: INTRODUCTION

Topicality

The increasing global threat of radiological and nuclear (RN) incidents necessitates robust national preparedness and response strategies. Rwanda, as a developing nation, has taken significant steps in strengthening its nuclear security framework, yet challenges remain in fully implementing effective preventive and response measures. This study assesses Rwanda's preparedness and response to RN threats, highlighting gaps and proposing solutions to enhance national security.

Research Problem

A significant amount of nuclear and radioactive elements are produced or somehow altered in order for society to continue to grow technologically and industrially (Vargas ,2012). Rapid advances in scientific and technological knowledge, coupled with the development of industry, the expansion of power generation capacity, increased agricultural productivity, food engineering, among others, were accompanied by increased exposure to the risks posed by Radioactive and Nuclear agents (RN).

However, RN threats and emergencies occur as a result of intentional by non-state actors like terrorists or as a result of emergencies that results into occupational exposures, fire, explosions and release of toxicants to the general populations and Rwanda as a new nuclear embarking country not much has been done to prepare the response to these threats.

Due to global increase in terrorist activities, geopolitics and procurement of weapons of mass destruction by anti-government organisations it has become so important for the governments to invest in strategic recognition, prevention detection as well as response to these RN threats.

Despite international efforts to enhance nuclear security, many countries, including Rwanda, face challenges in achieving comprehensive preparedness for RN incidents. The effectiveness of existing policies, institutional capabilities, and emergency response mechanisms in Rwanda remains insufficiently explored. This study sought to identify the gaps in Rwanda's RN security framework and propose strategic interventions.

The object of the study

The object of the study was Rwanda's national framework for preparedness and response to radiological and nuclear (RN) threats and incidents. This encompasses all relevant policies,

regulations, infrastructure, technologies, and human resources dedicated to RN security within Rwanda

The main objectives of the study

The specific tasks of the study are:

To develop the detection, need assessment for all the designated borders of Rwanda and airport for the detection of illicit trafficking of nuclear through the Rwanda territory.

To recommend the necessary amendments to be done on the current laws regarding the prevention, detection and response to RN threats and emergencies.

To evaluate knowledge, assess gaps and provide the needed capacity for National Risks Response of RN incidents in Rwanda

To evaluate the preparedness of the Rwandan referral hospitals regarding the handling of Radiological or nuclear admitted patients as well the decontamination capabilities in place.

Hypothesis of the Study

This study posits that Rwanda's ability to effectively prepare for and respond to radiological and nuclear (RN) threats and incidents is linked to the strength of its regulatory framework for nuclear security. The central hypothesis is that the development of robust preparedness measures encompassing inter-agency coordination, public awareness, technological adoption, and policy enforcement, not only mitigates the immediate risks associated with RN incidents but also serves as a catalyst for evolving and reinforcing national regulations.

A critical aspect of this hypothesis is the assertion that enhanced inter-agency coordination among various stakeholders, including regulatory authorities, emergency responders, healthcare systems, border control agencies, and law enforcement bodies, will lead to a more integrated and effective national response.

Another core component of the study's hypothesis is that increased public awareness and targeted training programs for professionals involved in nuclear security are fundamental to both emergency preparedness and long-term regulatory improvement. It is anticipated that systematic public education campaigns will elevate the general population's understanding of RN risks, thereby reducing panic and ensuring more orderly evacuations and responses in crisis situations

In essence, the hypothesis holds that improved incident reporting and risk assessment mechanisms will directly contribute to a more dynamic and responsive regulatory system, one that can anticipate future threats and adapt to emerging challenges.

framework will likely be more robust, consistent, and capable of deterring potential breaches or smuggling activities.

Subject of the Study

This study examines Rwanda's preparedness and responses to radiological and nuclear (RN) threats and incidents, focusing on how these efforts contribute to the strengthening of the national regulatory framework for nuclear security. It investigates the current state of nuclear security in Rwanda by assessing the effectiveness of existing policies, operational practices, and emergency response mechanisms. The study delves into the multifaceted aspects of nuclear security, including inter-agency coordination among different stakeholders, emergency responders, healthcare institutions, and border control agencies; the role of public awareness and specialized training in mitigating risks; and the adoption of advanced detection and monitoring technologies. Ultimately, this study contributes to the global discourse on nuclear security by offering insights applicable to other developing nations navigating similar security challenges in a resource-constrained environment.

Research Thesis

Rwanda's nuclear security framework has made progress, but gaps in coordination, technical capacity, and policy implementation hinder its full effectiveness in responding to RN threats. Addressing these weaknesses through strategic reforms will enhance national preparedness and resilience.

Purpose and Research Questions

The purpose of this study was to develop an emergency preparedness and response process for radiological and nuclear threats and incidents in Rwanda.

It explored the available approaches that are available to prevent, detect as well as responding to those threats and incidents.

The study was conducted basing on the following research questions.

1. What are the current mechanisms in place to- prevent, detect and respond to nuclear and radiological threats, emergency preparedness at major points of entries of Rwanda.

2. What design criteria have to be established for the development Emergency response plan for nuclear and radiological threats, emergency?

3. What are the level of preparedness of different institutions in Rwanda to respond to nuclear and Radiological threats and incidents- compared to the requirements and recommendations by international organisations like the IAEA, WHO, as well as the ones established by the responsible institutions like the regulatory authorities and line ministries.

Justification

Despite the dynamic threats to the nuclear security of the East and Central African region, and the decision of the East African countries to embark on a nuclear power programme, there has not been much put in place as a coordination and cooperation mechanisms among the stakeholders in the nuclear security activities. This work confirmed the need for Rwanda to develop coordination for the major nuclear security stakeholder agencies with roles and mandates for nuclear security including the regulator, security and intelligence agencies, police, border control, transport control, customs agencies and others to work together as necessary in the different nuclear security activities in order to strengthen the national nuclear security regime. In view of the current trends in nuclear terrorism and in line with international nuclear security legal framework, principles and IAEA guidance, recommendations are generated towards developing the most effective model for coordination of inter-agency action for nuclear security, there is need for the development of sustainable mechanisms for prevention, detection and response for nuclear security threats as well as incidents.

The effective and the primary means of achieving this is through putting in place strong regulatory framework like the licensing of nuclear activities on Rwanda territory or those transiting as they may be used as the primary source of materials that can be used by terrorists through making dirty bombs (RED), RID, R&D.

More so Rwanda being signatory to The Convention on Early Notification of a Nuclear Accident ('Early Notification Convention') and the Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency ('Assistance Convention'), both adopted in 1986 (IAEA, 1987), place specific obligations in relation to a nuclear or radiological emergency on the States Parties to the Conventions and on the IAEA, this study was important to identify the level of the government preparedness to fulfil her obligations regarding the conventions signed in relation to the circumstances that will warrant it to seek for emergencies from the IAEA

Scope of the study

RN security is a matter of great concerns for many nations of the world today and Rwanda inclusive. RN emergencies occur as a result of intentional by non-state actors like terrorists or as a result of emergencies that results into occupational exposures, fire, explosions and release of toxicants to the general populations.

Due to global increase in terrorist activities and procurement of weapons of mass destruction by anti-government organisations it has become so important for the governments to invest in strategic recognition, prevention detection as well as response to these RN threats.

Thus, this research focused on evaluating how the different organisations and stakeholders of RN in Rwanda are prepared to prevent, detect, respond to RN threats and their occurrence.

This study was designed to evaluate the organisation, knowledge, and understanding of RN threats, risks, safety, response and security mitigation measures of different RN stakeholders in Rwanda.

The study considered for preparedness and response for nuclear or radiological emergency in relation to all those facilities and activities, as well as sources, with the potential for causing exposure, environmental contamination or concern on the part of the public warranting protective actions and other response actions.

It also considered the preparedness of the regulatory body in Rwanda with in its jurisdictions to license the different nuclear technologies that are intended to started in Rwanda in near future or later and response for RN emergency in relation to off-site jurisdictions that may need to take protective actions and other response actions.

The study also considered the preparations that are being applied for preparedness and response for a RN emergency irrespective of the initiator of the emergency, whether the emergency follows a natural event, a human error, a mechanical or other failure that would lead to exposure due to RN agents.

The study will provide for a coordinated and integrated approach to preparedness and response for a nuclear or radiological emergency arising from a nuclear security event that necessitates protective actions and other response actions to be taken for protection of members of the public, workers and emergency workers, helpers in an emergency and patients

Limitations of the Study

Nuclear security Data Availability and Quality

One of the primary limitations of this study was the availability and quality of data concerning nuclear security. Worldwide Nuclear security information as other form of security information is secret and is not open source information. Access to comprehensive and up-to-date information on Rwanda's preparedness and response strategies for radiological and nuclear (RN) threats have been restricted due to security concerns and bureaucratic hurdles. Additionally, the accuracy and reliability of the available is not reliable, potentially impacting the validity of the study's findings. Efforts to obtain data from multiple sources and verify its reliability was crucial but still left gaps in the analysis.

Scope and applicability to other countries in the region

The study's focus on Rwanda presented a limitation in terms of the generalizability of its findings. While the insights and recommendations may be highly relevant to Rwanda, they may not be directly applicable to other countries with different socio-political, economic contexts and regulatory frameworks. Furthermore, the rapidly evolving nature of RN threats and technologies means that the study's recommendations will require frequent updates to remain relevant, potentially limiting their long-term applicability.

Technological and Infrastructure Constraints

Rwanda's financial, technical, and human resources limitations posed another significant constraint on the study. The feasibility of adopting and integrating advanced RN security technologies was restricted by the existing infrastructure and technical expertise within the country. This limited the scope of proposed technological enhancements and require a focus on more immediately attainable improvements. The outcome of the study would have practical development of detection architecture, designing of models for Rwanda but there were no available labs to provide the data for training the models for Rwanda

Policy and Regulatory Challenges

The study encountered challenges in proposing changes to existing policies and regulations. There was no nuclear policy in Rwanda during the study period and this made it difficult to recommend the changes in the non-existing policies. Rwanda has a multisector regulator (RURA) that presented the conflict of interest in regards to independent of the regulatory Authority. Political, bureaucratic, and institutional inertia resist policy shifts, making it difficult to implement recommended changes. Even if policy recommendations are accepted, the actual implementation may be slow or partial

due to administrative or law reform challenges. This limitation underscores the need for practical, incremental policy recommendations that consider these barriers.

Stakeholder Engagement

Effectively engaging all relevant stakeholders, including government agencies, international partners, and local communities, presented a significant challenge. Differing priorities and resource constraints hindered engagement with these groups. Ensuring effective coordination and securing the necessary buy-in from all stakeholders will be crucial for the success of the proposed measures but may be difficult to achieve fully.

Public Awareness and Education

Cultural factors and public perception of RN threats influenced the effectiveness of public awareness and education campaigns. Most of the nuclear security information is in English, and this was a challenge particularly in remote and rural areas. Overcoming these barriers will require culturally sensitive and inclusive communication strategies, but achieving widespread understanding and preparedness remains a significant hurdle.

While this study aimed to make significant contributions to Rwanda's RN threat preparedness and response framework, it is important to acknowledge these limitations. Addressing these challenges requires ongoing efforts, adaptive strategies, and continuous collaboration with stakeholders to ensure the long-term effectiveness and sustainability of the proposed measures.

Methodology

Research Design

This study utilized a mixed-methods research approach. The mixed-methods approach involved both quantitative and qualitative data collection and analysis methods, allowing for The overall framework and justification for the research methodology chosen to evaluate Rwanda's preparedness for radiological and nuclear (RN) threats and incidents to enhance nuclear security are explained in this section. It provides insights into the mixed-methods approach employed, its theoretical underpinnings, and the rationale for its adoption.

Mixed-Method Approach

A mixed-method approach was chosen for this study because it allows for a holistic understanding of the subject matter by combining qualitative and quantitative research methods due to the fact that this kind of study had not been carried out particularly for Rwanda so get primary data for Rwanda was given strong consideration. The mixed-method approach is particularly relevant for the study through exploring complex nuclear security issues, where operational realities and measurable outcomes both play a critical role. By integrating these two methods, the research offers both depth and breadth in its analysis.

Qualitative Component:

The qualitative aspect of the study focuses on understanding the nuances of policy implementation, institutional readiness, and stakeholder perspectives. Interviews with key personnel, document reviews, and focus groups enable the researcher to gather rich, detailed data on the preparedness and challenges faced by Rwanda in handling RN threats.

Quantitative Component:

The quantitative element involves measurable aspects of preparedness of the designated points of entry including detection capabilities at Points of Entry (POEs), coordination of different stakeholders at the point of entries, communication, statistical trends, and the effectiveness of response protocols. Surveys and statistical analyses provide objective data that complement qualitative insights.

Justification for the Methodology

The mixed-method approach is justified by the following reasons:

Complexity of the Research Topic:

The study examines a multi-dimensional issue that involves legal, institutional, operational, and societal aspects. Addressing such complexity requires integrating subjective perspectives (qualitative) with objective data (quantitative).

Policy-Relevant Outcomes:

The approach ensures that the findings are actionable and relevant to policymakers. Quantitative data provides clear metrics for performance evaluation, while qualitative data offers context-specific recommendations.

Triangulation of Data:

The combination of methods enhances the reliability and validity of the findings through triangulation, which corroborates evidence from multiple sources.

Theoretical Framework

The study is anchored in two key theoretical perspectives:

Systems Theory:

Systems theory views RN preparedness as a system of interconnected components. These components include the regulatory framework, detection infrastructure, inter-agency collaboration, and public awareness. The theory emphasizes that the failure of one component can compromise the entire system, underscoring the importance of an integrated approach.

Risk Management Framework:

The risk management framework focuses on identifying, assessing, and mitigating risks associated with RN threats. It provides a structured approach to understanding vulnerabilities, prioritizing resources, and designing effective response strategies.

Key Questions Addressed in the Research Design

How prepared are Rwanda's institutions and infrastructure to handle RN threats?

What are the gaps in the current regulatory framework for RN security in Rwanda?

How can Rwanda align its nuclear security practices with international standards like those of the IAEA?

Research Objectives Linked to the Design

The mixed-method design directly supports the specific objectives of the research, including:

- Evaluating institutional readiness for RN threat detection and response.
- Identifying gaps in legal and regulatory frameworks.
- Developing actionable recommendations for strengthening Rwanda's nuclear security framework.

Data Collection Methods

This section details the methodologies employed to gather data for evaluating Rwanda's preparedness for radiological and nuclear (RN) threats and incidents. A robust data collection strategy is essential for ensuring that the research addresses its objectives comprehensively, integrating both qualitative and quantitative methods to achieve a balanced understanding of the set parameters. A comprehensive data collection strategy is employed in this study, which integrates qualitative and quantitative methods to evaluate Rwanda's RN preparedness. The combination of interviews, document analysis, focus groups, surveys, and field assessments ensures that the research findings are both robust and actionable. By addressing the complexities of nuclear security through this multi-method approach, the study contributes valuable insights into Rwanda's regulatory and operational readiness for RN threats subject matter.

Qualitative Data Collection

The qualitative methods used in this study were designed to explore the depth and complexity of Rwanda's Nuclear incidents, emergencies, accidents and nuclear security landscape. These methods focused on understanding the institutional, operational, and societal factors that influence RN preparedness.

Semi-Structured Interviews

Semi-structured interviews were conducted with key stakeholders from institutions including:

- Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA):

To assess the regulatory framework for nuclear security and their role in enforcing compliance.

- Rwanda Atomic Energy Board (RAEB): To understand the agency's preparedness for detection, prevention, and response to RN threats in the implementation of nuclear technology in Rwanda.

- Rwanda National Police (RNP):

To evaluate their capacity for handling nuclear-related emergencies, including, detection, policies as well as coordination with other agencies in the implementation of nuclear security.

These interviews were guided by pre-designed questions but allowed flexibility to probe emerging themes. This approach ensured that the data captured both the predefined focus areas and the participants' unique insights.

Document Analysis

Key documents were reviewed to assess Rwanda's compliance with international nuclear security standards and its operational readiness. These included:

- National policies and strategies, relevant laws and regulations on nuclear safety and security.
- Training manuals and operational guidelines for stakeholders involved in RN security.
- Reports from international agencies such as the International Atomic Energy Agency (IAEA).

This method provided insights into the regulatory and legal frameworks and identified gaps in implementation.

Focus Group Discussions

Focus groups were organized with community leaders, healthcare professionals, and emergency responders. These discussions aimed to:

- Understand public awareness and perceptions of RN threats.
- Identify challenges faced by local responders in managing nuclear incidents.
- Explore potential improvements in grassroots-level preparedness and response mechanisms.

The focus group discussions encouraged the exchange of ideas among participants, revealing collective perspectives and shared experiences.

Quantitative Data Collection

The quantitative component of the study complemented the qualitative findings by providing measurable evidence of RN preparedness. The following techniques were employed:

Surveys

Structured questionnaires were distributed to personnel at Points of Entry (POEs) and other critical locations, such as:

- Kigali International Airport (KIA): To evaluate detection capabilities, training levels, and emergency response protocols.
- Major border crossings, to assess their readiness to detect and respond to illicit trafficking of nuclear materials.

The surveys collected data on the availability of detection equipment, the frequency of training programs, and the level of inter-agency collaboration.

Preparedness Scores

Field assessments were conducted to assign preparedness scores to key facilities and institutions. These scores were calculated based on predefined criteria, including:

- Infrastructure Readiness: Availability of advanced detection systems, such as radiation portal monitors.
- Personnel Training: Proportion of staff trained in nuclear emergency response protocols.
- Coordination Mechanisms: Effectiveness of communication and collaboration among agencies.

The availability of the parameter assessed were given scores for 100%, 50% for partial fulfilment and 0 for absence of the parameter.

Rationale for Data Collection Methods

The selection of these methods was informed by the need to capture both the qualitative and quantitative dimensions of RN preparedness. This approach ensured a holistic understanding of the challenges and opportunities in strengthening Rwanda's nuclear security framework.

- Triangulation of Data: By combining qualitative and quantitative methods, the study achieved triangulation, enhancing the reliability and validity of the findings.
- Context-Specific Insights: The qualitative methods provided rich contextual data, while the quantitative methods offered objective measures, making the findings both actionable and evidence-based.
- Stakeholder Engagement: Engaging a diverse group of participants ensured that the data reflected a wide range of perspectives, from policymakers to local responders.

Ethical Considerations

Ethical approval for the data collection process was obtained from relevant authorities. All participants provided informed consent, and confidentiality was maintained throughout the study.

Anonymization techniques were applied to sensitive data to protect the identities of the respondents.

Data Analysis Techniques

The analysis was structured to ensure rigor, accuracy, and alignment with the research objectives. Given the mixed-methods approach employed, both qualitative and quantitative data analysis techniques were applied.

The data analysis techniques employed in the study, covering both qualitative and quantitative approaches. Thematic and content analysis provided deep insights into nuclear security frameworks, while statistical analyses quantified preparedness levels. By integrating these methods through triangulation, the study ensures a rigorous and comprehensive evaluation of Rwanda's RN security landscape. The findings derived from these analyses serve as a foundation for policy recommendations aimed at enhancing Rwanda's nuclear security preparedness.

Qualitative Analysis

Qualitative analysis was employed to interpret non-numeric data collected through interviews, focus group discussions, and document analysis. Both SWOT and PESTEL analysis were used to analyse the qualitative data obtained from the document analysis and expert interviews. The data was coded and analysed to identify patterns, themes, and trends related to Rwanda's preparedness and responses to RN threats and incidents, and the regulatory framework for nuclear security.

Content Analysis

Content analysis was used to systematically analyze policy documents, training manuals, and international guidelines on nuclear security. This method allowed the study to assess the extent to which Rwanda's regulatory frameworks align with global nuclear security standards. The following steps were followed in content analysis:

- Categorization of key concepts: Key terms related to nuclear security, preparedness frameworks, and regulatory enforcement were identified
- Comparison with international standards: Rwanda's nuclear policies were benchmarked against best practices outlined by the International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Identification of gaps: Weaknesses in policy implementation and areas requiring improvement were documented.

- Regulatory enforcement assessment: The effectiveness of Rwanda’s nuclear security laws and their enforcement mechanisms was evaluated.

Quantitative Analysis

Quantitative data analysis focused on processing survey responses and preparedness scores collected from Points of Entry (POEs) and nuclear security institutions. This approach provided objective measurements of Rwanda’s readiness to detect and respond to RN threats.

Descriptive Statistics

Descriptive statistics were used to summarize survey responses and preparedness scores. This method involved analyzing measures of central tendency (mean, median, mode) and variability (standard deviation, range) to quantify institutional preparedness. Key applications included:

- Assessing preparedness levels: The percentage of institutions with functional RN detection infrastructure was calculated.
- Training effectiveness evaluation: The frequency and adequacy of training programs among security personnel were analyzed.
- Inter-agency collaboration assessment: The extent of coordination among nuclear security agencies was quantified.

Comparative Analysis

Comparative analysis was conducted to evaluate disparities in RN preparedness across institutions and geographic locations. This method allowed the study to pinpoint weaknesses and identify best-performing facilities. The following comparative measures were applied:

- Cross-institutional analysis: The preparedness of different nuclear security stake holders (RURA, RAEB, RNP,) was compared
- Border security assessment: Preparedness scores of different Points of Entry were compared.
- Benchmarking against international standards: Rwanda’s nuclear security readiness was assessed in comparison with global nuclear security norms.

Correlation Analysis

Correlation analysis was used to determine the relationships between key preparedness factors. By analyzing associations between training frequency, detection capabilities, and emergency response efficiency, the study identified critical areas for policy intervention. The following relationships were examined:

- **Impact of training on detection efficiency:** Facilities with regular training sessions were compared to those with limited training to assess detection effectiveness.
- **Inter-agency coordination and response pattern:** The correlation between institutional collaboration and emergency response efficiency was analyzed.
- **Public awareness and compliance:** The effect of nuclear security awareness campaigns on compliance with safety protocols was evaluated.

Integration of Qualitative and Quantitative Data

To ensure a holistic analysis, findings from qualitative and quantitative methods were integrated using a triangulation approach. This approach allowed the research to validate insights by cross-referencing data sources. Specific integration methods included:

- **Cross-verification of themes:** Interview themes were validated against quantitative survey results.
- **Comparing preparedness scores with interview insights:**

Field assessments were compared with stakeholder perceptions on institutional readiness.

- **Identifying policy gaps based on empirical data:** Policy analysis findings were reinforced with statistical evidence from survey responses.

Ensuring Data Reliability and Validity

The validity and reliability of the research findings were ensured through rigorous verification processes. The following measures were adopted:

- **Data Triangulation:** The study utilized multiple data sources (interviews, surveys, document analysis) to enhance accuracy.
- **Member Checking:** Stakeholders reviewed interview summaries to ensure accurate representation of their views.

Justification for the Methodology

The mixed-methods approach is particularly relevant for a study of this nature for several reasons:

Complexity of the Subject Matter:

Nuclear security encompasses multifaceted issues, including technical, institutional, and societal dimensions. Combining qualitative and quantitative methods provides a holistic understanding of these aspects.

Policy Evaluation:

Evaluating Rwanda's legal and regulatory frameworks requires qualitative insights through document analysis and expert interviews, ensuring contextually grounded recommendations.

Empirical Validation:

The quantitative component, such as surveys and field measurements, validates the findings from qualitative analysis, enhancing the reliability and robustness of the study.

Interdisciplinary Relevance:

Nuclear preparedness spans disciplines such as policy, engineering, and social sciences. A mixed-methods approach bridges these disciplines, providing actionable and scientifically rigorous results.

Integration of Findings.

The findings from the qualitative and quantitative data analysis were integrated to provide a comprehensive understanding of Rwanda's preparedness and responses to RN threats and incidents, and the regulatory framework towards strengthening nuclear security. The findings were interpreted, compared, and contrasted to draw conclusions and provide recommendations for improving Rwanda's nuclear security policies and practices.

Significance of the Study.

The findings and recommendations for the study will be to be applied by the government institutions at the national level by means of adopting legislation and establishing regulations, and by making other arrangements, including assigning responsibilities (e.g. to the operating organization or the operating personnel of a facility or an activity, local or national officials, response organizations or the regulatory body) and verifying their effective fulfilment.

The findings will also be used by response organizations, operating organizations and the regulatory body in respect of preparedness and response for RN emergencies, as well as by authorities with responsibilities for emergency preparedness and response at the local and regional level and national levels as appropriate in the case of events happening.

Ethical Considerations

The research involved human participants, commencing with a face-to-face survey, questionnaire, online link to the hospital staff from emergency departments, border control staff, staff from different ministries responsible for responding nuclear emergency or threats, ambulance staff and staff from the regulatory authority.

Explanation was given in appropriate detail, what the research was about to participants. Every research participant was given a one-page 'project information sheet' that outlines the purpose of the study, who was undertaking the study, and how it will be disseminated and used. The project information sheet included contact information should participants require additional information or wish to retract information or withdraw participation at any point and were also explained how anonymity and confidentiality is afforded. Where necessary, the project information sheet was translated, although as it was anticipated that English was the language of conducting research. Participation in the research was be voluntary, and informed consent was discussed with all participants.

However, as it was anticipated, particularly in the security officers, that verbal as opposed to signed consent, was more readily obtainable.

The first stage of data collection involved the institutions that work at the main Point of Entries of Rwanda (PoEs) for security screening and hospital staff from the emergency department of the referral hospitals. Each hospital was be given a code to for easy Identifications. Personal identifiers were removed and the anonymity of participants was secured through both research unit codes and pseudonyms. The raw data of each survey was collated in password protected computers and accessed by the principal investigator and the two research assistants. The data was then be systematized and stored in two password-protected external storage drives, since the digital and visual data generates large storage requirements. The second stage of data collection involved focus group who are from institutions with responding to nuclear security events in Rwanda. The meetings were arranged with respective institutions authorities, and local organizations to understand how they are organized, managed and prepared to respond to nuclear security events.

I established a specific ethics protocol for this stage of research, drawing my attention to confidentiality of one Life's extensive expertise in working with local coordination of, authorities, organisations and frontline agencies, and submitting the protocol for review.

Time was allocated to each institution before the meeting, to relevant authorities and institutions.

More generally, participating institutions were able to view project information and findings on the of my study on individual basis and the general recommendations were shared through the nuclear security committee in organised meeting.

Validity and reliability

The study employs a mixed-methods research design, integrating both qualitative and quantitative approaches to ensure comprehensive and robust findings. The use of multiple data collection methods, such as document analysis, interviews, and quantitative surveys, enhances the validity of the results by triangulating data from different sources. This approach ensures that the findings are not only contextually grounded but also empirically supported.

Reliability is further ensured by standardizing data collection tools, where by structured questionnaires and consistent coding procedures for qualitative data were used. The methodology is tailored to the study's objectives, focusing on assessing Rwanda's preparedness and response to radiological and nuclear threats. Additionally, expert consultations and the review of national and international guidelines contributed to the rigor of the study

Limitation of the methodology

Dependence on Secondary Data

A portion of the study relies on secondary sources, which may not fully capture the current context or specific nuances of Rwanda's nuclear security framework.

Scope of Stakeholder Engagement:

While the study involved key stakeholders, logistical constraints limited the inclusion of community representatives and private sector actors, reducing the diversity of perspectives.

Limited Generalizability:

The study focuses on Rwanda's unique socio-political and economic context, which may limit the applicability of its findings to other countries or regions with different conditions.

CHAPTER TWO: VOLUME AND STRUCTURE OF THE PHD, CONTENT OF THE THESIS

The volume of the PhD

This PhD dissertation is structured into four chapters, each addressing critical aspects of Rwanda's preparedness and response to radiological and nuclear (RN) threats and incidents. The thesis consists of approximately 300 pages, including detailed analyses, case studies, policy evaluations, appendices and strategic recommendations.

The structure is designed to provide a logical flow from theoretical foundations to practical implications, ensuring a comprehensive examination of the research problem.

The dissertation is organized as follows:

Introduction

Establishes the research context, Topicality, problem statement, objectives, thesis statement, limitations and scope.

Chapter One: Literature Review and Good Practices

This includes the following sections.

History of Nuclear Security in the World

Global Best Practices in Nuclear Security

Nuclear Emergency Preparedness

Historical Aspects of Nuclear accident.

The Role of ICT in Nuclear Security and Emergency Preparedness

Use of Bayesian Models for Nuclear Risk Assessment and Their Relevance to Rwanda

Good Nuclear licensing practices.

Chapter Two: Methodology and Analytical Evaluation of Preparedness and Strategic Recommendations for Enhancing Rwanda's Nuclear Security Framework

The methodology section consists of details of the research design, data collection methods, and analysis techniques.

The analytical section covers the following sections;

Rwanda's Unique Context and Gaps

Nuclear Security Vulnerabilities For Rwanda.

Lessons from Contemporary Nuclear Incidents

Regional and Global Standards for Nuclear Security

Addressing Specific Challenges in Rwanda

Analysis of Past Nuclear and Radiological Accidents and Relevance to the study

Regional and Global Standards for Nuclear Security

Threat and Risk Assessment

Incidents of Material Out of Regulatory Control(MORC)

Nuclear Threat Assessment Matrix for Rwanda considering the preparedness level

Chapter Three: Findings for Preparedness to Radiological and Nuclear Threats and Incidents

Findings for Preparedness to Radiological and Nuclear Threats and Incidents:

Analysis of Rwanda's Nuclear Security Preparedness – Examines Rwanda's nuclear security framework, identifying strengths and gaps.

Chapter four: Conclusions and Recommendations –

This Summarizes key findings and presents policy recommendations.

The dissertation also includes a bibliography and appendices containing supplementary materials such as interview transcripts, policy documents, and statistical data.

CHAPTER THREE: CONTENT OF THE THESIS AND RESULTS OF THE RESEARCH

Chapter One: Introduction

This chapter introduces the research problem and its significance in the context of global and national nuclear security. It discusses Rwanda's strategic position and its efforts to enhance RN

security preparedness. The objectives, research questions, and hypotheses are outlined, followed by the scope and limitations of the study.

Content Overview

Each chapter builds progressively toward the achievement of the central research aim: to assess Rwanda's preparedness and response mechanisms to RN threats and provide evidence-based recommendations to enhance the national regulatory and operational framework. The following content areas are covered across the thesis:

Historical context and evolution of nuclear security globally and in Africa;

Analysis of Rwanda's national nuclear security architecture;

Comparative assessments with international frameworks (IAEA, UNSC Resolutions, CPPNM);

Evaluation of stakeholder roles and inter-agency coordination;

Risk and threat analysis models.

Case studies of past nuclear incidents (e.g. Goiânia, Chernobyl, Fukushima);

Policy gaps and recommendations for legal, technical, and infrastructural improvements.

Interdisciplinary Integration

Given the complex nature of RN threats, the content of the thesis integrates concepts from various fields, including:

Nuclear physics and radiological science – to explain technical risk factors;

Public policy and law – to examine regulatory frameworks and international obligations;

Crisis management and emergency preparedness – for operational readiness;

Cybersecurity and emerging technologies – in the context of digital threats to nuclear infrastructure.

This interdisciplinary approach enables a holistic understanding of nuclear security in the Rwandan context and provides a comprehensive knowledge base for policy and decision-makers.

This chapter has presented a structured overview of the thesis volume and content. The organization of chapters and their respective themes ensures academic coherence, methodological rigor, and

policy relevance. By clearly mapping the contribution of each chapter to the overall research objectives, the structure serves not only to guide the reader but also to reinforce the logical flow of the argument throughout the dissertation.

CHAPTER FOUR: FINDINGS OF THE STUDY

Introduction

This chapter presents the empirical findings generated through the study's mixed-methods approach. Data were gathered through structured interviews with key stakeholders, surveys administered to frontline agencies, field assessments at Points of Entry (PoEs), and document analysis of national regulatory instruments. The findings reflect the current state of Rwanda's preparedness for radiological and nuclear (RN) threats and incidents, focusing on six core areas: legal and regulatory frameworks, institutional capacity, detection infrastructure, emergency preparedness and response (EPR), public awareness, and international cooperation. The chapter is organized thematically, with each section corresponding to one of the main objectives of the research.

Legal and Regulatory Framework for Nuclear Security

Legislative Progress

Rwanda has made notable progress in establishing a foundational legal framework for nuclear safety and security. Key laws and policies include the *Atomic Energy Law No. 09/2020*, the regulatory mandate of the Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA). These instruments address licensing, safety, security and inspection of radioactive sources.

Gaps and Limitations

Despite existing laws, the study found:

Absence of comprehensive legislation addressing nuclear security in line with IAEA guidance.

Limited provisions for addressing cyber threats and insider threats.

Inadequate enforcement mechanisms for radiological material control during transport and storage.

Stakeholders indicated that while RURA and RAEB are legally empowered, coordination mechanisms between them are weak, and enforcement is inconsistently applied.

Institutional Capacity and Stakeholder Coordination

Structure and Mandates

The institutional landscape includes RURA (regulation), RAEB (technical support), Rwanda National Police (law enforcement), Ministry of Health (medical response), and the Rwanda Investigation Bureau (RIB). However, the study revealed:

Overlapping mandates and lack of clarity in inter-agency roles during RN incidents.

Limited presence of dedicated nuclear security units within key ministries.

Infrequent joint exercises or information-sharing between agencies.

Human Resource Capacity

Key challenges identified include:

A limited number of qualified nuclear security professionals.

Absence of formal training programs for law enforcement and customs officers on RN threat detection.

Lack of embedded nuclear security education in tertiary and technical institutions.

Emergency Preparedness and Response (EPR)

Status of National Preparedness

While Rwanda has a National Emergency Preparedness and Response Plan (EPRP), it lacks a dedicated radiological or nuclear annex. Respondents reported that:

There is no centralized Nuclear Crisis Management Centre for coordinated response.

Hospitals do not have specific protocols or decontamination facilities for radiological emergencies.

First responders were not trained in radiological safety and security procedures.

Exercises and Simulations

Simulation exercises for nuclear or radiological incidents are irregular and not aligned with real-world threat scenarios and there are no planned exercises at the regular intervals.

Some drills have been conducted at airports in coordination with the Rwanda Civil Aviation Authority, but these are limited in scope and frequency.

Detection Infrastructure and Technical Capabilities

Points of Entry (PoEs)

The study's field assessments revealed that:

Only a few PoEs (e.g., Kigali International Airport) have functioning radiation detection systems.

Most border posts and land crossings lack portal monitors or handheld radiation detection devices.

Customs and immigration officers lack training on interpreting radiation alerts or enforcing incident protocols.

Equipment and Maintenance

Detection systems that exist are often outdated and poorly maintained.

There is no national inventory of radiation detection equipment or a maintenance schedule across agencies.

Stakeholders emphasized the need for mobile detection units and integrated surveillance systems.

Public Awareness and Risk Communication

Low Levels of Public Knowledge

Interviews and survey data indicated that the general population has very limited awareness of:

The existence of radiological risks in Rwanda.

The appropriate response during a radiological emergency.

The role of government agencies in managing nuclear threats.

Absence of Awareness Programs

There are no national public awareness campaigns on radiological security.

Educational materials on RN threats are not incorporated into school curricula or public health outreach programs.

Community-level disaster preparedness lacks a nuclear/radiological component.

International Cooperation and Compliance

Engagement with International Agencies

Rwanda has ratified several international instruments including:

The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM),
 The IAEA Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources,
 UN Security Council Resolution 1540.

Limitations in Implementation

The study found delays in domesticating international legal instruments into national law.
 Rwanda has limited participation in IAEA technical cooperation programs, especially on nuclear forensics, cyber security, and advanced detection.
 Cross-border collaboration with neighboring countries on RN threat mitigation is weak or informal.

Cross-Cutting Challenges

Several issues were consistently raised across all areas of inquiry:
 Fragmentation of Responsibilities: Lack of a unified command structure during RN incidents.
 Resource Constraints: Limited budgetary allocation for nuclear security infrastructure and training.
 Policy Disconnect: Disconnect between nuclear safety (technical) and nuclear security (strategic) considerations in national policy.
 Absence of a National Nuclear Security Strategy: Rwanda lacks a documented, cross-sectoral strategy that aligns regulatory, enforcement, health, and response functions.

Summary of Key Findings

Thematic Area	Key Finding
Legal Framework	Incomplete legal alignment with international nuclear security norms.
Institutional Capacity	Fragmented mandates and lack of trained personnel.
Emergency Preparedness	No dedicated nuclear EPR unit or crisis management center.
Detection Capabilities	Limited and outdated radiation detection infrastructure at PoEs.
Public Awareness	Lack of national awareness campaigns and educational outreach.

Thematic Area	Key Finding
International Cooperation	Ratification of key instruments, but limited implementation and regional collaboration.

Therefore the findings of this study demonstrate that while Rwanda has made foundational progress in establishing a nuclear security architecture, several operational, legal, and institutional deficiencies hinder its preparedness and response capabilities. The study underscores the urgent need for a more integrated, well-resourced, and strategically coordinated national approach to RN threat management. These findings inform the recommendations in the subsequent chapter and offer a roadmap for strengthening Rwanda’s nuclear security posture.

Discussion of the Results

Introduction

This chapter provides a critical interpretation of the research findings presented in Chapter Four. It aims to link empirical data with theoretical concepts and existing literature to deepen understanding of Rwanda’s nuclear security preparedness. The discussion is organized around the study’s key thematic areas, including legal and regulatory frameworks, institutional coordination, emergency preparedness and response (EPR), detection capabilities, public awareness, and international collaboration. Each section discusses the implications of the findings, highlights gaps and strengths, and situates Rwanda’s experiences within the broader regional and international context.

Legal and Regulatory Framework

Strengths and Gaps in Legal Provisions

The study revealed that Rwanda has enacted core legislation, such as the *Atomic Energy Law No. 59/20218*, providing a legal foundation for regulating nuclear and radiological materials. This demonstrates political commitment to establishing a safe nuclear environment. However, the legislation lacks detailed provisions on nuclear security measures, cyber threats, and insider risk management key components emphasized by the IAEA Nuclear Security Series.

This gap aligns with findings by Smith and Jones (2019), who noted that in many developing countries, nuclear safety laws are often prioritized over nuclear security, leaving vulnerabilities unaddressed. In Rwanda’s case, this reflects a partial implementation of IAEA guidance, notably

INFCIRC/225/Rev.5, which prescribes the necessary measures for physical protection of nuclear material and facilities.

Need for Integrated Legal Instruments

The study confirmed a disconnect between laws governing radiological safety and those addressing criminal liability, cyber incidents, and cross-border offenses. This disjointed legal environment makes enforcement difficult, particularly in cases involving multiple jurisdictions or illicit trafficking networks.

Institutional Capacity and Inter-agency Coordination

Overlapping Mandates and Limited Coordination

Although Rwanda has multiple institutions involved in nuclear security (e.g., RURA, RAEB, Ministry of Health, RNP), there is no unified command or joint coordination mechanism. This is consistent with international concerns raised by the UN Office for Disarmament Affairs (2020) about fragmented nuclear governance in low-capacity settings.

Effective nuclear security requires harmonization between regulators, security forces, health services, and emergency responders. The lack of regular joint drills and communication protocols increases the risk of duplication, inefficiency, and delayed response during incidents.

Human Resource Limitations

Findings also indicated a shortage of professionals trained in nuclear security, radiation protection, and emergency response. This echoes Alahmari and Khan (2020), who found similar limitations in hospital preparedness in Saudi Arabia. In Rwanda, limited training opportunities constrain the effectiveness of both routine regulatory activities and crisis management.

Emergency Preparedness and Response (EPR)

Absence of a Nuclear Crisis Management Center

A notable gap identified is the absence of a dedicated national center for nuclear emergency coordination. This limitation is critical given the IAEA's emphasis (IAEA, 2020) on the importance of a centralized command structure for timely decision-making and inter-agency communication during RN events.

The lack of regular simulation exercises, particularly those involving radiological dispersion scenarios or malicious attacks, further weakens the response ecosystem. As demonstrated by the

Goiânia incident (IAEA, 1988), the consequences of uncoordinated emergency responses can be catastrophic, especially when public communication is unclear.

Inadequate Integration with National Disaster Plans

Another important observation is that nuclear emergencies are not well-integrated into Rwanda's broader disaster risk reduction strategies. This siloed approach limits resource mobilization and preparedness planning, particularly in rural areas where first responders may not be trained in radiological hazard response.

Detection Architecture and Technical Infrastructure

Limited Radiation Detection Capacity

Field assessments revealed inadequate radiation detection systems at Rwanda's Points of Entry (PoEs), with most border posts lacking portal monitors or handheld detectors. This is a critical vulnerability, as border security is a frontline defense against illicit nuclear trafficking akey priority area under UNSCR 1540.

According to the IAEA Incident and Trafficking Database (2021), many intercepted materials globally were detected through proactive border screening. Rwanda's current limitations in this area compromise its ability to intercept radiological sources entering or transiting the country illegally.

Technology and Maintenance Gaps

Even where equipment exists (e.g., at Kigali International Airport), the study found issues with regular calibration, maintenance, and user training. This points to a broader challenge of sustaining high-technology systems in low-resource settings, a problem highlighted by Peel et al. (2022) in their analysis of nuclear security infrastructure in developing countries.

Public Awareness and Risk Communication

Minimal Public Engagement in RN Preparedness

The study found that public knowledge of RN threats in Rwanda is extremely low. This is concerning because public understanding and cooperation are essential during RN emergencies. Eliseo et al. (2008) emphasized that misinformation and panic during nuclear incidents are often exacerbated by the absence of clear communication strategies.

Rwanda lacks national awareness campaigns, educational materials, and school-based radiation education. This disconnect reinforces the vulnerability of communities and can lead to non-compliance during emergencies.

International Cooperation and Compliance

Limited Operationalization of International Instruments

While Rwanda is a signatory to key international nuclear security treaties and conventions, such as the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM) and the IAEA Code of Conduct, implementation remains weak. This includes delays in domesticating provisions into national laws and limited participation in technical cooperation programs.

Kuznetsov et al. (2015) argue that full benefit from international regimes requires not only ratification but also sustained engagement through training, peer reviews, and scenario planning areas where Rwanda is still building capacity.

Need for Cross-border Collaboration

Given the porous nature of regional borders, nuclear security requires close collaboration with neighboring states. The absence of formal protocols or joint exercises between Rwanda and its regional partners (Tanzania, Uganda, DRC, Burundi) presents a risk, especially in the face of transboundary nuclear trafficking.

Cross-Cutting Themes and Strategic Implications

Integration into National Security Frameworks

The study shows that RN threats are still viewed primarily as a technical or regulatory issue, rather than a national security threat. This mindset limits resource prioritization and excludes nuclear security from mainstream national defense planning. A shift in perception is needed to position RN preparedness within broader national security policy.

Technological Modernization

The lack of real-time surveillance, secure data sharing, and modern mobile detection technologies constrains effective threat management. Adoption of emerging technologies such as AI-based anomaly detection and blockchain for tracking radioactive sources is essential for future-proofing Rwanda's nuclear security systems.

Public Awareness

Public awareness of RN threats is alarmingly low, particularly in rural areas, where outreach and education initiatives are minimal. Urban populations are better informed, likely due to greater access to information and governmental campaigns. However, the lack of comprehensive public awareness campaigns limits the public's understanding of RN risks and safety measures, which could hinder compliance with safety protocols during emergencies (Rwanda Atomic Energy Board, 2022). Kenya's nuclear awareness initiatives, which emphasize community engagement and transparency, could guide Rwanda in developing similar programs to bridge the urban-rural information gap (Kenya Nuclear Electricity Board, 2020).

Threats and Vulnerabilities

Several vulnerabilities threaten Rwanda's nuclear security, including porous borders, insider threats, and the integration of emerging technologies like Small Modular Reactors (SMRs). Weak detection systems at land borders increase the risk of radiological materials being smuggled into the country, particularly from conflict zones in neighboring regions (IAEA, 2021). Insider threats also remain a concern, as weak personnel reliability programs and insufficient vetting processes create opportunities for sabotage or misuse of nuclear materials. Strengthening human resource policies and adopting stricter background checks could mitigate these risks. Additionally, the adoption of SMRs introduces complex challenges such as cybersecurity vulnerabilities, which are not adequately addressed in Rwanda's current regulatory framework.

International Collaboration

Rwanda's engagement with international organizations like the IAEA and its participation in global treaties provide a foundation for advancing nuclear security. However, limited access to technical assistance and funding constrains the implementation of best practices (IAEA, 2020; UNODA, 2021). Regional collaboration remains underutilized, with insufficient joint exercises or harmonized policies with neighboring countries. Lessons from South Africa's collaboration with international stakeholders highlight the value of leveraging partnerships for capacity building, resource mobilization, and cross-border threat mitigation (World Nuclear Association, 2021).

Implications of the Results

The findings of this study have significant implications for policy, practice, and regional collaboration. Strengthening Rwanda's nuclear security framework will require the establishment of a dedicated regulatory authority, increased investments in detection technologies, and the integration of RN-specific scenarios into emergency response plans. Public awareness campaigns must be expanded to rural areas to foster trust and compliance with safety

measures. At the regional level, joint exercises and harmonized policies with countries like Kenya and Uganda could improve cross-border collaboration and reduce vulnerabilities.

Global best practices, such as South Korea's real-time radiation monitoring systems and the UAE's comprehensive simulation programs, offer actionable insights for enhancing Rwanda's preparedness. Leveraging international partnerships to access technical expertise and funding will be critical for bridging gaps in infrastructure and capacity.

Alignment with Theoretical and Conceptual Frameworks

The findings align with the study's theoretical grounding in risk governance and systems theory, which emphasize the need for coordinated, multi-level responses to complex threats. The observed fragmentation in Rwanda's nuclear security regime validates the relevance of these frameworks and underscores the importance of building a holistic, adaptive security system that is informed by science, responsive to uncertainty, and grounded in collaborative governance.

This thesis has discussed the major findings of the study in relation to both the theoretical framework and international best practices in nuclear security. The evidence reveals substantial progress in Rwanda's efforts to establish a nuclear safety and security regime, yet significant operational, legal, and infrastructural gaps remain. These deficiencies must be addressed through coordinated policy interventions, investment in human and technological capacity, and a recalibration of nuclear security as a core component of national defense.

The next chapter offers comprehensive recommendations to operationalize the study's findings and guide Rwanda toward a more robust and resilient nuclear security framework..

CHAPTER FOUR. RECOMMENDATIONS AND CONCLUSIONS

Recommendations

Development of a comprehensive detection architecture

A central recommendation is the development of a comprehensive detection architecture to monitor and control RN materials at the points of entry and critical infrastructure. This includes installing radiation portal monitors at border crossings, airports, and strategic locations, along with handheld detection devices for mobile and on-site inspections. A centralized real-time monitoring system, integrated into a national database, would enhance the ability to track RN materials. These measures require collaboration among the Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA),

Rwanda Atomic Energy Board (RAEB), and international partners like the International Atomic Energy Agency (IAEA).

Establishment of a state-of-the-art Emergency Crisis Management Center

To manage RN emergencies effectively, the establishment of a state-of-the-art Emergency Crisis Management Center is essential. This center would serve as a coordination hub, facilitating inter-agency collaboration and hosting advanced simulation and training facilities. It would also ensure real-time communication with national and international partners during emergencies. Modern technologies, including secure communication systems and advanced analytics, are necessary to support decision-making during crises.

Strengthening Nuclear Information security.

The Regulatory Authority should have a classification system and defined protection measures to protect nuclear security related sensitive information as well as developing guidance for licensees on how to classify and protect nuclear security related sensitive information, and take this into account during the authorization and inspection processes.

RURA should consider establishing regulatory guidance on the implementation of the requirements on the security of radioactive material, such as on the development of security plan and a security management programme

Comprehensive Review and Update of Existing Legislation

Rwanda can undertake a thorough review and update of its existing legal and regulatory framework related to radiation safety and nuclear security. This process should involve identifying and closing legislative gaps, particularly those related to emerging technologies such as small modular reactors (SMRs) and cybersecurity for nuclear facilities. Updating legislation to align with international standards set by organizations like the International Atomic Energy Agency (IAEA) would also enhance Rwanda's regulatory capacity.

Strengthening of Regulatory Framework

Enhancing Rwanda's legal and regulatory frameworks. The regulatory framework for radiation safety and nuclear security must be dynamic and adaptable to remain effective in a rapidly changing global environment. The study found out that Rwanda's current framework there are not timelines to regular reviews and updates, which is critical for adapting to new technological advancements,

emerging threats, and evolving international standards. The current regulatory framework can quickly become outdated, leaving gaps in safety and security that could be exploited.

Continuous review and adaptation of the regulatory framework are necessary to ensure that it remains relevant and effective with merging threats. This includes regularly updating laws and regulations, incorporating new scientific and technological knowledge, and revising enforcement strategies to address current and future challenges. By institutionalizing a process of continuous improvement, Rwanda can strengthen its regulatory framework and enhance its ability to protect public health, national security, and the environment from the risks associated with radiation and nuclear materials

The study emphasizes the need for a dedicated Nuclear Law that includes stringent licensing protocols, compliance requirements, and enforcement mechanisms. Collaboration between RAEB and RURA is key to addressing gaps in existing regulations and ensuring alignment with international standards.

Carrying out National RN threat assessment

It is essential for the government to carry out comprehensive nuclear threat assessments regularly to effectively prepare for and mitigate potential nuclear risks. These assessments should involve a multi-disciplinary approach, incorporating expertise from nuclear security, intelligence, defense, and environmental science. A well-established framework should be put in place to identify potential nuclear threats, including the possibility of unauthorized access to radioactive materials, nuclear terrorism, and the risks associated with nuclear accidents or incidents. The government should ensure that these assessments are updated frequently to account for evolving geopolitical dynamics, advancements in technology, and emerging trends in the global nuclear landscape.

To this the government should prioritize collaboration between domestic agencies, international organizations, and neighboring countries to exchange information and enhance collective security measures. Establishing a national nuclear threat assessment body, which works closely with various security and regulatory institutions, will provide the necessary coordination and oversight to tackle nuclear security challenges. Public awareness and involvement in safety protocols should also be integrated into these assessments, ensuring that both governmental bodies and citizens are prepared for any nuclear-related incidents. Ultimately, a robust and continuous nuclear threat assessment process is crucial for minimizing risks and safeguarding national security and public health.

The government should Carry out DBT

According to the findings of the study, the government of Rwanda should carry out a detailed Design Basis Threat (DBT) assessment. A DBT is a critical tool for identifying and understanding the potential nuclear security threats and vulnerabilities specific to the country's nuclear infrastructure. It enables the government to establish clear and realistic threat scenarios based on credible intelligence, historical data, and emerging security trends. By carrying out a DBT, Rwanda can accurately assess the potential risks posed by various threat actors, including terrorists, criminal groups, and insider threats, and develop appropriate countermeasures to safeguard its nuclear facilities and materials.

The DBT process involves evaluating the capability and intent of these potential threats, the likelihood of specific scenarios, and the effectiveness of existing security measures. By utilizing the DBT, Rwanda can ensure that its nuclear security strategies and resources are aligned with the most likely and impactful threats. Additionally, the government should integrate this assessment with its broader national security and emergency preparedness plans to enhance coordination and response efforts in the event of a nuclear or radiological incident. Carrying out a DBT would not only strengthen Rwanda's nuclear security framework but also demonstrate its commitment to international standards, such as those set by the International Atomic Energy Agency (IAEA), for preventing nuclear terrorism and ensuring the safe use of nuclear technology.

Capacity building .

Comprehensive training programs should target customs officials, law enforcement, healthcare providers, and other stakeholders. Incorporating nuclear security modules into academic curricula can help build a pipeline of skilled professionals. Regular simulation drills and tabletop exercises should also be conducted to test and enhance operational readiness.

Public awareness and stakeholder engagement.

These are pivotal for the successful integration of nuclear security measures. Awareness campaigns should educate the public on the benefits and risks of nuclear technology while fostering trust in regulatory bodies. Stakeholders, including local communities, industry players, and international organizations, must be actively involved in these initiatives to ensure widespread cooperation and compliance.

The study further recommends the development of emergency response protocols tailored to Rwanda's unique challenges. These should include detailed Standard Operating Procedures (SOPs) for RN incidents, evacuation plans, and guidelines for medical teams handling contamination and

exposure cases. Regularly updating these protocols based on lessons learned from drills will ensure their effectiveness.

Leveraging international partnerships

Leveraging international partnerships and advanced technologies is crucial for Rwanda's nuclear security. Collaborations with organizations like the IAEA and Rosatom can provide technical expertise and funding. Emerging technologies, such as artificial intelligence for threat detection and blockchain for monitoring RN materials, can significantly enhance Rwanda's capabilities. Establishing agreements with experienced regulatory bodies, such as Russia's Rostechnadzor, can provide valuable technical guidance since the government has already decided to start with SMR using Russian Technologies.

Given Rwanda's geographical position and shared regional risks, cross-border collaboration is essential. Regional alliances can harmonize nuclear security standards, while joint simulation exercises can improve preparedness. Sharing intelligence with neighboring countries will also bolster collective security efforts.

The study advocates for the development of a long-term action plan to systematically implement these recommendations. This plan should align with Rwanda's Vision 2050 strategy, specifying timelines, resource allocation, and stakeholder responsibilities. Regular monitoring and evaluation mechanisms should be incorporated to track progress and make necessary adjustments.

Establishing a Dedicated Independent Regulatory Authority for regulating Nuclear safety and Security

Rwanda could consider establishing a dedicated regulatory authority focused solely on nuclear safety and security. This agency would centralize the oversight and management of nuclear security efforts, streamline coordination among different governmental bodies, and ensure a more focused and consistent approach to managing RN threats. This agency could also serve as the primary liaison with international organizations and regional partners.

Establishment of a National Radiological Emergency Operations Center (REOC)

Creating a dedicated Radiological Emergency Operations Center (REOC) would enhance Rwanda's ability to manage RN incidents effectively. This center would coordinate all emergency response activities, including monitoring radiological events, dispatching response teams, and communicating with the public and international partners. The REOC would be equipped with advanced technology for real-time data analysis and decision-making during emergencies.

Leveraging Technology and Innovation through Investment in Advanced Monitoring and Detection Technologies

Rwanda should invest in state-of-the-art monitoring and detection technologies to enhance its capability to detect and respond to radiological and nuclear threats. This would include the deployment of radiation detectors at key entry points, such as borders and ports, as well as within critical infrastructure. Additionally, integrating these technologies with a national command center will allow for real-time monitoring and quicker response times.

Implementation of Cybersecurity Measures for Nuclear Infrastructure

As the digitization of nuclear infrastructure increases, Rwanda should implement robust cybersecurity measures specifically designed for nuclear facilities. This would involve the development of comprehensive cybersecurity protocols, regular security audits, and the adoption of cutting-edge cybersecurity technologies to protect nuclear systems from cyberattacks. Collaboration with international experts and organizations to stay ahead of emerging cyber threats would also be essential.

Community Engagement Programs Near Nuclear Facilities

Engaging communities that are located near points of entries or sites where radiological materials are used is crucial for ensuring local safety and security. Rwanda should establish community engagement programs that involve local stakeholders in the decision-making process, provide education on radiation risks, and involve them in emergency preparedness activities. This approach would foster a sense of ownership and responsibility within these communities, enhancing overall security.

Establishing Bilateral Agreements with Neighbouring Countries

Rwanda should negotiate bilateral agreements with neighbouring countries to enhance cross-border cooperation in managing RN threats like the formation of the regional projects with the IAEA. These agreements would facilitate information sharing, joint training exercises, and coordinated responses to incidents that could affect multiple countries. Such collaboration would be particularly important in regions where political instability or armed conflict could increase the risk of radiological material trafficking. Evaluating and selecting the most appropriate alternatives to enhance Rwanda's preparedness and response to radiological and nuclear (RN) threats and incidents is critical for improving the country's nuclear security framework. This process involves assessing various alternatives based on specific criteria, including effectiveness, feasibility, cost,

sustainability, alignment with national priorities, and the potential for international cooperation. The selected alternatives must not only address the immediate risks but also ensure long-term resilience and adaptability to evolving threats.

Strengthening the regulatory and legal framework is crucial for creating a robust foundation for nuclear security. A comprehensive review and update of existing legislation would close any gaps and ensure that Rwanda's regulations align with international standards. This alternative is highly effective, sustainable, and aligns well with Rwanda's governance priorities, making it a top candidate for selection. Additionally, developing specific regulations for emerging technologies, such as small modular reactors and cybersecurity for nuclear infrastructure, is essential. This approach would address the unique risks posed by new technologies and ensure that Rwanda remains at the forefront of nuclear safety and security.

Enhancing institutional capacity through continuous capacity-building and training programs is another critical alternative. This option directly improves the competency of personnel involved in nuclear security and is both feasible and sustainable. Establishing a dedicated nuclear security agency, while highly effective in centralizing efforts, may face challenges related to feasibility and cost. Therefore, it might be more suitable as a long-term goal rather than an immediate action.

Improving emergency preparedness and response is vital for ensuring that Rwanda can effectively manage RN incidents. Developing a national radiological and nuclear emergency response plan is highly feasible and provides a structured approach to dealing with emergencies. This alternative is cost-effective, sustainable, and aligns well with national priorities, making it a key recommendation. Establishing a national radiological emergency operations center (REOC) is also highly effective but requires significant investment in infrastructure and technology. As such, it may be considered as part of a phased implementation strategy.

Leveraging technology and innovation

Leveraging technology and innovation is essential for enhancing Rwanda's nuclear security. Investing in advanced monitoring and detection technologies would significantly improve the country's ability to detect and respond to RN threats in real-time. This alternative is highly effective and aligns with Rwanda's focus on technological advancement. Implementing cybersecurity measures for nuclear infrastructure is increasingly necessary to protect against emerging digital threats. While this option is effective, it requires specialized expertise and resources, which must be considered in the selection process.

Public awareness

Enhancing public awareness and engagement through national public awareness campaigns and community engagement programs near nuclear facilities is crucial for building public trust and cooperation. These alternatives are cost-effective, feasible, and sustainable, making them valuable complements to the more technical and regulatory measures.

Cross-border collaboration is another critical area that requires immediate attention. Given Rwanda's strategic location and its proximity to regions with unstable security environments, effective cross-border intelligence sharing and joint operations are indispensable. It is recommended that Rwanda actively participate in regional nuclear security initiatives and form bilateral agreements with neighboring countries to enhance border security measures. Such collaborations could involve the synchronized installation of detection systems, joint emergency drills, and shared intelligence on illicit trafficking activities. Enhanced cross-border cooperation will ensure that vulnerabilities are addressed not only within Rwanda but also across the entire region.

The study also calls for the establishment of specialized nuclear waste management centers. The safe storage, handling, and disposal of nuclear and radiological waste is critical for long-term environmental and public health. Currently, Rwanda's waste management systems are underdeveloped, posing a significant risk if nuclear materials are not properly managed. By creating dedicated nuclear waste management centers, Rwanda can ensure that radioactive materials are securely stored, effectively monitored, and safely disposed of in accordance with international best practices. Such centers would also serve as research hubs for developing innovative waste management technologies and strategies

Strategic Recommendations

capacity building of the stakeholders

To address these disparities, several steps are necessary. First, efforts should be made to integrate RN threat management into more academic programs, ensuring that all professionals, regardless of their field of study, receive basic education on the subject. This will help build a foundational understanding of RN risks across a wider range of sectors. Second, postgraduate training programs in RN management should be expanded and made more accessible, encouraging more professionals to specialize in this critical area.

Hospital preparedness

To address these gaps in RN preparedness, hospitals should prioritize the following:

Increase Decontamination Unit Availability: Hospitals must invest in building or acquiring decontamination units to manage RN exposure effectively. This infrastructure is essential for preventing the spread of contamination and ensuring safe treatment for exposed patients.

Expand Isolation Wards: More hospitals need to establish isolation wards for treating RN-affected individuals. These wards will help contain radiation exposure and reduce the risk of contaminating other areas within the hospital.

Procure Radiation Protection Gear: Equipping hospitals with sufficient radiation protection gear should be a top priority. Medical personnel must be protected to carry out their duties effectively and safely during an RN emergency.

Enhance Training Programs: Training programs must be expanded to ensure that more hospitals have a sufficient number of trained personnel in radiation protection. The training should be continuous, with refresher courses to ensure that staff are up-to-date with the latest protocols and technologies.

Establish a National Response Framework: The government, through MINEMA, should coordinate a national response framework that ensures resources and trained personnel can be deployed quickly to hospitals in need. This would provide a buffer for under-resourced hospitals, enabling them to receive assistance during an RN incident.

Procurement for protective equipment

To address these gaps, the following steps should be considered:

Resource Allocation and Procurement: There should be a concerted effort by the government and hospital administrators to ensure that all hospitals are equipped with the necessary supplies to handle RN incidents. This includes radiation protection gear, detection devices, and medical supplies for treating radiation exposure.

Inventory Management and Awareness: Hospitals must regularly audit their supplies to ensure they are adequately prepared for RN emergencies. Ensuring that staff are aware of what supplies are available and how to use them is critical for effective incident management.

Government Support and Policy Implementation: The government should support hospitals by providing funding and logistical assistance to procure the necessary medical supplies. Additionally,

policies should be put in place to mandate regular checks on hospital preparedness for RN incidents, ensuring compliance with national and international standards.

Training Programs: Training should be expanded to include supply chain management and preparedness so that hospital staff are familiar with the types of supplies required and how to access and use them in emergencies. Ensuring that hospital staff can quickly assess and mobilize resources during an RN event is critical for reducing response times and minimizing harm.

Conclusions

The study set out to evaluate Rwanda's preparedness and responses to radiological and nuclear (RN) threats and incidents, with focus on how these efforts contribute to the strengthening of the national regulatory framework for nuclear security. Drawing on a mixed-methods approach that combined document analysis, expert interviews, and field assessments at multiple Points of Entry (POEs), this research has revealed both the commendable strides made by Rwanda in establishing a foundational nuclear security framework and the significant gaps that remain. The findings of the study underscore the complexity of managing RN threats in a resource-constrained environment and highlight the need for an integrated strategy that encompasses operational readiness, legislative reforms, technological upgrades, and enhanced stakeholder coordination.

Overview of Key Findings

The investigation has shown that Rwanda's regulatory body, Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA) has taken initial steps towards developing a structured approach to nuclear security. RURA has implemented regulatory measures aimed at licensing nuclear activities and monitoring the movement of radioactive materials. Despite these efforts, there are clear deficiencies in the overall preparedness of the nation. For instance, the absence of a centralized Nuclear Crisis Management Center has resulted in fragmented preparations for response mechanisms during emergencies. The data from field assessments revealed significant disparities in detection capabilities at various POEs, with some locations equipped with basic radiation monitoring tools that are outdated or insufficient for addressing sophisticated smuggling operations and emerging threats.

Another notable finding is the pervasive lack of public awareness about RN risks. The study demonstrated that both the general public and specialized personnel, such as first responders and hospital staff, possess limited knowledge of nuclear hazards. This gap in awareness has serious implications for emergency response, as untrained individuals may fail to adhere to evacuation

protocols or engage in inappropriate behaviors during a crisis. Additionally, the legislative framework, while providing a basic structure, lacks the specificity needed to enforce robust security measures and adapt to evolving technologies such as Small Modular Reactors (SMRs) and advanced detection systems.

Strengthening Institutional and Operational Frameworks

In light of these findings, one of the most critical recommendations is the establishment of a dedicated Nuclear Crisis Management Center (NCMC). Such a center would serve as the centralized command hub during nuclear emergencies, ensuring a coordinated response among regulatory bodies, emergency services, healthcare providers, law enforcement agencies, and border control units. The NCMC should be equipped with real-time monitoring systems, secure communication networks, and comprehensive emergency response protocols. Regular simulation drills and scenario-based training exercises under the guidance of the NCMC would further ensure that all stakeholders are proficient in their roles and responsibilities, thereby reducing response times and improving overall crisis management.

Another operational enhancement is the upgrading of Rwanda's detection and monitoring systems. The study found that while some detection equipment is in use, the technology is largely outdated and not uniformly deployed across the country's critical entry points. To address this, it is recommended that Rwanda invest in state-of-the-art portal monitors, mobile detection units, and automated radiation monitoring systems. The integration of advanced technologies, such as artificial intelligence for anomaly detection and blockchain for secure tracking of nuclear materials, would provide a robust, real-time detection architecture that can preempt illicit trafficking and unauthorized access.

Enhancing Public Awareness and Training

The research has made it clear that public awareness plays a pivotal role in nuclear security. The low level of knowledge among citizens regarding the risks and appropriate responses to RN incidents undermines the effectiveness of emergency preparedness measures. Therefore, it is imperative to launch comprehensive public awareness campaigns that educate the populace about nuclear hazards, safe behaviors during emergencies, and the importance of following official instructions. These campaigns should be disseminated considering different categories of people through various media channels, including television, radio, social media, and community outreach programs. Furthermore, integrating nuclear safety and security education into school curricula and organizing regular community workshops will help build a culture of preparedness. In addition,

specialized training programs for emergency responders, healthcare professionals, and security personnel should be institutionalized to ensure that all key stakeholders are well-prepared to manage nuclear incidents effectively.

Legislative Reforms and Regulatory Enhancements

A major limitation identified in this study is the inadequacy of Rwanda's existing legislative framework to address modern RN threats comprehensively. Although regulatory measures exist, they often lack the granularity required to enforce robust security protocols, particularly in the context of emerging technologies and cross-border challenges. Legislative reforms are therefore critical. The government should undertake a comprehensive review of current laws and regulations, revising them to clearly define the roles and responsibilities of all nuclear security stakeholders, establish stringent standards for the protection of nuclear materials, and prescribe severe penalties for non-compliance. These reforms should be aligned with international best practices, as stipulated by the International Atomic Energy Agency (IAEA) and other global nuclear security instruments. Moreover, the legislative framework must include provisions for the periodic review and update of regulations to ensure they remain responsive to technological advancements and evolving threat landscapes.

Improving Inter-Agency Coordination and Crisis Communication

The study's findings indicate that one of the most significant challenges in Rwanda's nuclear security is the lack of effective inter-agency coordination. The disparate functioning of various agencies leads to delays and inefficiencies during emergencies. To mitigate this issue, a unified command structure must be established, supported by standardized communication protocols that facilitate real-time data sharing and coordinated response actions. The formation of the Nuclear Crisis Management Center, as discussed earlier, should be complemented by regular joint training exercises and simulation drills involving all relevant agencies. Establishing secure digital platforms for information exchange will further enhance the ability to respond quickly and effectively during RN incidents.

Strengthening Cross-Border Collaboration and International Cooperation

Given the transnational nature of nuclear threats, Rwanda's efforts to enhance its nuclear security cannot be conducted in isolation. The study reveals that cross-border challenges, including porous borders and regional instability, significantly impact the country's ability to prevent illicit trafficking and unauthorized access to nuclear materials. It is therefore recommended that Rwanda

strengthen its cross-border collaboration through bilateral and multilateral agreements with neighboring countries. Active participation in regional nuclear security initiatives and intelligence-sharing networks, such as those facilitated by the IAEA and the African Nuclear Weapons Free Zone Treaty, will be essential. These collaborative efforts should include joint emergency drills, shared detection systems, and coordinated strategies for monitoring and controlling the movement of nuclear materials across borders.

Regular Emergency Drills and Simulation Exercises

The findings highlight a critical gap in the regularity and comprehensiveness of emergency preparedness drills. Currently, there is a lack of systematic Emergency Preparedness and Response (EPR) drills for RN threats, which undermines the readiness of both responders and the public. It is therefore recommended that Rwanda implement a structured schedule for regular emergency drills, encompassing both tabletop exercises and full-scale simulations. These drills should cover a wide range of scenarios, including nuclear material smuggling, radiological dispersal device (RDD) events, and emerging threats such as drone-enabled disruptions. Regular drills will help to identify operational weaknesses, refine response protocols, and ensure that all agencies and personnel are well-trained and prepared to act swiftly in the event of a nuclear incident.

Enhancement of Hospital Decontamination and Medical Response Capabilities

Healthcare facilities play a crucial role in managing the consequences of RN incidents, yet the study found that many Rwandan hospitals lack dedicated decontamination units and specialized response capabilities. To address this, it is recommended that major referral hospitals establish specialized decontamination centers equipped with advanced technologies for treating radiation exposure. These centers should be staffed by personnel who receive regular training in radiological emergency response and decontamination procedures. Additionally, hospitals should develop comprehensive emergency response plans that include coordination with national and regional crisis management centers, ensuring that affected individuals receive timely and effective medical care.

Establishment of Nuclear Waste Management Centers

Safe management of nuclear and radiological waste is critical for long-term public and environmental safety. The study identified that Rwanda's current waste management practices are underdeveloped, posing risks of contamination and unauthorized access to nuclear materials. It is recommended that Rwanda establish dedicated Nuclear Waste Management Centers to oversee the

secure storage, handling, and disposal of nuclear waste. These centers should adhere to international best practices and be integrated with the national regulatory framework, ensuring continuous monitoring and accountability. By centralizing waste management, Rwanda can mitigate the environmental and health hazards associated with nuclear materials and provide a model for sustainable nuclear security practices.

Continuous Monitoring, Evaluation, and Research

Given the dynamic nature of nuclear threats and the rapid advancement of related technologies, continuous monitoring and evaluation are essential for maintaining an adaptive and resilient nuclear security framework. The study recommends the establishment of a robust monitoring and evaluation system that includes clearly defined key performance indicators (KPIs) for all aspects of nuclear security, from detection and emergency response to legislative compliance. Regular reviews and feedback mechanisms, based on simulation drills and real incident data, should be integrated into this system to facilitate ongoing improvements. Additionally, further research should be encouraged, particularly longitudinal studies that track the impact of implemented measures over time. Such research will not only refine current practices but also ensure that Rwanda's nuclear security framework evolves in response to emerging challenges.

Final Reflections and Future Directions

The findings of this study highlight both the achievements and the persistent challenges in Rwanda's approach to nuclear security. The current regulatory framework, while providing a basic structure for managing RN threats, requires significant enhancements to address technological, operational, and legislative gaps. The recommendations presented herein provide a comprehensive roadmap for strengthening Rwanda's nuclear security capabilities through the establishment of a Nuclear Crisis Management Center, enhanced public awareness and training, upgraded detection and monitoring systems, legislative reforms, improved inter-agency coordination, robust cross-border collaboration, regular emergency drills, and specialized waste management and decontamination facilities.

Implementing these recommendations will require sustained political commitment, adequate financial resources, and the active involvement of all stakeholders. It is essential that Rwanda leverages both domestic and international expertise to build a resilient nuclear security framework that can effectively mitigate the risks associated with RN threats. By doing so, Rwanda will not only protect its own national security but also contribute to regional stability and set a benchmark for other developing nations facing similar challenges.

Future research should focus on monitoring the long-term effects of these interventions and exploring innovative technologies and strategies that further enhance nuclear security. Continuous improvement, driven by regular evaluation and adaptive policy reforms, will be critical in ensuring that Rwanda remains at the forefront of nuclear safety and security. Ultimately, a proactive and integrated approach to nuclear security is indispensable for safeguarding public health, environmental safety, and national sovereignty in an increasingly complex global threat landscape.

The study reveals a need for a comprehensive and multi-faceted approach to strengthen the country's nuclear security framework.

Rwanda has made significant strides in establishing a foundation for nuclear security, but there are still areas that require attention to ensure the country is fully equipped to handle RN threats. Updating and aligning legislation with international standards, investing in advanced technologies, and implementing robust cybersecurity measures are essential steps in this direction. Moreover, continuous capacity building and public awareness campaigns will help to sustain these efforts over the long term.

The study concludes that a phased implementation of the recommended alternatives, prioritizing those that offer the most immediate benefits, will provide Rwanda with a resilient and adaptable nuclear security framework. By integrating these recommendations into national policy and practice, Rwanda can enhance its capacity to prevent, detect, and respond to radiological and nuclear threats, thereby safeguarding public health, national security, and regional stability.

CHAPTER FIVE: CONTRIBUTIONS OF THE STUDY

Scientific and Scientific-Applied Contributions of the Study

Scientific Contributions

Assessment of current preparedness and response strategies through conducting a comprehensive assessment of a country's existing preparedness and response strategies for RN threats and incidents. This assessment and recommendation can be applied globally

Development of RN Risk Assessment Models for a country and the region, tailored to the specific socio-political and environmental context.

Advancing Nuclear Security Theory in Resource-Constrained Environments

By examining Rwanda's nuclear security challenges, the study contributes to advancing theoretical frameworks for nuclear security in resource-limited settings. It explores the critical gaps in detection, preparedness, and response capabilities and proposes adaptive strategies to address these limitations. This research expands existing theoretical knowledge by contextualizing nuclear security within the constraints faced by developing nations, providing actionable insights for similar contexts worldwide.

Alignment with Global Standards in Nuclear Security

The study compares Rwanda's nuclear security strategies with internationally recognized best practices, identifying discrepancies and proposing measures to bridge these gaps. This alignment ensures that Rwanda's nuclear security framework is consistent with global standards, such as those set by the International Atomic Energy Agency (IAEA). By contributing to the integration of international frameworks in developing nations, the research enhances the global discourse on nuclear security.

Integration of Emerging Technologies in Nuclear Security

The study investigates the application of emerging technologies, including artificial intelligence and advanced radiation detection systems, to strengthen nuclear security. By exploring how innovative tools can be leveraged for threat mitigation, the research provides valuable insights into integrating technology into nuclear security strategies, ensuring that the other nuclear embarking states stays ahead of evolving threats.

Contribution to Global Nuclear Security Discourse

By documenting Rwanda's efforts and challenges in nuclear security, the study contributes valuable data to the global discourse on non-proliferation, nuclear safety, and international cooperation. It underscores the importance of regional and international partnerships in mitigating RN threats.

Contributions to Nuclear Security Policy Design

The research offers evidence-based recommendations for designing robust nuclear security policies. It emphasizes the importance of risk-informed decision-making, the establishment of legal frameworks, and ensuring the independence of regulatory bodies. These insights aim to guide policymakers in creating sustainable and effective nuclear security measures for their countries.

Scientific-Applied Contributions

Capacity Building and Training Programs

The study identifies critical skills gaps in nuclear security and proposes comprehensive training programs for stakeholders, including law enforcement, healthcare professionals, and regulatory personnel. These programs are designed to enhance Rwanda's operational capabilities, ensuring that personnel are adequately prepared to respond to RN threats and incidents.

Development of a Detection Architecture for Points of Entry

To address vulnerabilities at Rwanda's borders, airports, and ports, the study proposes a practical detection framework. This framework includes deploying advanced detection technologies and establishing standard operating procedures to monitor RN materials effectively and prevent illicit trafficking.

Enhanced Emergency Preparedness and Response Protocols

The research develops detailed emergency preparedness and response protocols tailored to Rwanda's specific vulnerabilities. These protocols encompass healthcare response, public communication, and inter-agency coordination, ensuring a holistic approach to managing RN emergencies.

Establishment of Specialized Medical Units

The study proposes the creation of radiological emergency response units in referral hospitals, equipped with decontamination facilities and trained medical staff. This practical contribution addresses the current gaps in medical preparedness and enhances the country's readiness to respond to radiological incidents. Public Awareness and Community Engagement Strategies

The research emphasizes the importance of societal resilience through public education campaigns and community-based emergency plans. By improving awareness and understanding of RN threats, the study fosters a culture of preparedness and safety among the Rwandan population.

Recommendations for Physical Protection Systems and formation of crisis management centre

The study provides practical recommendations for securing facilities that house radioactive materials. These include advanced surveillance systems, intrusion detection, and access control mechanisms to minimize risks associated with unauthorized access or sabotage.

Framework for Regional and International Collaboration

The research highlights the importance of fostering cross-border cooperation, intelligence sharing, and participation in international nuclear security initiatives. These strategies support Rwanda's integration into global nuclear security networks and enhance regional stability.

Establishment of a Nuclear Waste Management System

The study offers actionable recommendations for developing a centralized system to ensure the safe storage and disposal of nuclear and radiological waste in Rwanda. This system is vital for maintaining long-term environmental and public safety.

Implementation of Regular Simulation Exercises

To strengthen Rwanda's preparedness, the research advocates for regular, scenario-based simulation exercises. These exercises test and improve response mechanisms, ensuring that stakeholders are equipped to handle RN incidents effectively and minimize potential impacts.

CHAPTER SIX: IMPLEMENTATION OF THE RESULTS

This chapter outlines the application of the research findings in real-world scenarios, focusing on how Rwanda can operationalize the proposed nuclear security strategies. It discusses:

Integration into National Security Policies

The results of this study are instrumental in guiding Rwanda's efforts to update its national nuclear security framework. By identifying existing gaps in policy, infrastructure, and inter-agency coordination, the findings offer evidence-based insights that can be used to align Rwanda's nuclear security policies with international standards, such as those recommended by the International Atomic Energy Agency (IAEA). Integration into national security policies ensures that nuclear

security is treated not as a standalone technical issue, but as a core component of the country's broader defense and public safety architecture. This integration also supports the establishment of long-term, sustainable governance structures for managing nuclear threats.

Practical Applications for Regulatory Authorities

The recommendations emerging from the study provide actionable guidance for regulatory authorities like the Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA). The Regulatory Authority can use the findings to refine key regulatory functions, including licensing of nuclear activities, inspection of facilities handling radioactive materials, and enforcement of compliance with nuclear safety and security protocols. By incorporating these findings, regulatory bodies can improve oversight efficiency, close compliance gaps, and enhance their ability to assess and respond to evolving threats in the nuclear landscape.

Adoption by Law Enforcement and Security Agencies

The study offers strategic and operational guidance that law enforcement agencies and national security units can incorporate into their existing protocols. This includes support for the development of early detection systems, risk profiling, and rapid response mechanisms to mitigate RN threats. The recommendations underscore the importance of inter-agency coordination, intelligence-sharing, and scenario-based training, thereby empowering security actors to respond swiftly and effectively to nuclear security incidents, including illicit trafficking, sabotage, and terrorism involving radioactive sources.

Implementation of Training Programs

The results emphasize the need for comprehensive capacity-building programs aimed at enhancing the technical competencies of nuclear security personnel. The study outlines a structure for specialized training modules covering areas such as radiation detection, emergency response, cyber-physical security of nuclear systems, and legal enforcement of safeguards. Implementation of these programs will help standardize procedures across institutions and build a skilled workforce capable of managing nuclear security challenges in both routine operations and emergency scenarios.

Public Engagement and Risk Communication

A key implication of the research is the importance of risk communication and public engagement in nuclear security preparedness. The study recommends the design and implementation of public awareness campaigns to educate citizens on the nature of RN threats, appropriate emergency

behaviors, and the role of the public in national security. Such communication strategies can reduce panic, improve compliance during emergencies, and foster a sense of shared responsibility between the government and the community in safeguarding national assets.

Technological Upgrades and Infrastructure Development

The study identifies critical gaps in Rwanda's nuclear security infrastructure, particularly with respect to radiation detection, secure material transport, and emergency response facilities. The findings call for targeted investment in modern detection technologies (e.g., portal monitors, mobile scanning units), secure storage and transport mechanisms, and the expansion of decontamination units in hospitals. These upgrades are essential for creating a resilient security framework capable of addressing both current and emerging RN threats.

Strengthening Regional and International Partnerships

Finally, the results support Rwanda's continued engagement with regional and international nuclear security initiatives. The study highlights the importance of cross-border cooperation, intelligence-sharing, and participation in international conventions and capacity-building programs, such as those coordinated by the IAEA, AFCONE, and INTERPOL. These partnerships enhance national preparedness, provide access to best practices and technologies, and position Rwanda as a proactive player in the global nuclear security community.

Finally the study's findings contribute meaningfully to both the strategic direction and operational planning of Rwanda's nuclear security framework. They offer a blueprint for holistic enhancement of policy, practice, and infrastructure ensuring that Rwanda not only complies with international standards but also demonstrates leadership in addressing radiological and nuclear threats.

List of Publications

1. Abenanye. (2023). Rwanda's Preparedness and Responses to Radiological and Nuclear Threats: SWOT Analysis for the Regulatory Authority, SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4599823>
2. Abenanye. (2023). Rwanda's Preparedness and Responses to Radiological and Nuclear Threats: Contributing Towards the Regulatory Framework for Strengthening Nuclear Security in Rwanda. <https://www.researchgate.net/profile/Abenanye-Emmanuel>
3. Nuclear Security During Major Public Events: A Case Study of CHOGM 2022 in Rwanda by Abenanye, Emmanuel (<https://inis.iaea.org/records/0q6ek-57447>)
4. Abenanye. (2025). Public Awareness and Emergency Preparedness for Nuclear and Radiological Threats: Case study Rwanda
5. Strengthening Nuclear Security in Rwanda: An Analysis of International Frameworks and Legal
6. Instruments https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5045221
7. The role of Public Communication in Emergency Preparedness for Nuclear and Radiological Threats: Case study Rwanda
8. Basic elements for breast screening programs for Rwanda Abenanye, Emmanuel (<https://inis.iaea.org/records/95mek-16k96>)