



**ИЗРАДА ПРЕЛИМИНАРНЕ
ТЕХНИЧКЕ СТУДИЈЕ РАДИ
РАЗМАТРАЊА ПРИМЕНЕ
НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ У
МИРНОДОПСКЕ СВРХЕ У
РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ
ЈН-14/24**

EDF, Међународни нуклеарни развој

Јул 2025

САДРЖАЈ

1•	Подршка Републици Србији у остваривању њених циљева за развој нових нуклеарних капацитета	5
2•	Сажет приказ	7
2•1•	Радни пакет бр. 1: Мапа пута за развој нуклеарне енергије у Србији.....	7
2•2•	Радни пакет бр. 2: Процена технологије и истраживање тржишта нуклеарне енергије.....	9
2•3•	Радни пакет бр. 3: Анализе о интеграцији нуклеарних електрана на мрежу.....	10
3•	Радни пакет бр. 1: Мапа пута за подршку развоју нуклеарне енергије у енергетском миксу Србије.....	12
3•1•	Садржај.....	12
3•1•1•	Разматрања о будућем енергетском миксу Србије.....	13
3•1•2•	Приступ прекретницама МААЕ и радионица у децембру 2024.	13
3•1•3•	Развој мапе пута за нуклеарни програм	14
3•2•	Циљеви и задаци мапе пута за нуклеарну енергију.....	15
3•3•	Активности које треба приоритетно да спроведе Влада.....	15
3•3•1•	Развој кључне инфраструктуре по фазама	16
3•4•	Приоритетне препоруке за Србију	18
3•4•1•	Израда националног става: Стратегија развоја програма и повезане јавне политике	18
3•4•2•	Јавно прихватање и укључивање заинтересованих страна	19
3.4.3.	Правни и регулаторни оквир	22
3.4.4.	Покретање прелиминарних техничких студија	25
3.4.5.	Развој људских капацитета	26
3.4.6.	Индустријско учешће	28
3.4.7.	Средства и финансирање	30
3.5.	Потребни ресурси и процене трошкова за фазе 1 и 2.....	33
3.5.1.	Увод.....	33
3.5.2.	Кључне организације и њихове улоге.....	33
3.5.3.	Фаза 1 (2 године) — Активности и потребни ресурси	34
3.5.4.	Фаза 2 (5 година) — Активности и потребни ресурси	35
3.5.5.	Укратко.....	36
3.6.	Предложени временски оквир – фокус на Фазу 1 и Фазу 2.....	37
3.6.1.	Фаза 1: Припремна фаза (око 2 године).....	37
3.6.2.	Фаза 2: Припремна фаза развоја инфраструктуре (приближно 5 година).....	38

4•	Процена технологије и истраживање тржишта нуклеарне енергије	41
4•1•	Увод.....	43
4•1•1•	Позадина и обим уводне процене.....	43
4•1•2•	Квалитативни према квантитативном приступу процени.....	44
4•1•3•	Методологија и критеријуми за избор технологије.....	44
4•2•	Нуклеарна технологија	51
4•2•1•	Преглед конвенционалних нуклеарних технологија.....	51
4•2•2•	Генерација III+ и велики реактори са лаком водом.....	52
4•2•3•	Технолошка диференцијација и стратешка разматрања за Србију	53
4•2•4•	Побољшања сигурности у модерним нуклеарним технологијама	54
4•2•5•	Нуклеарна сајбер безбедност: Заштита будуће нуклеарне инфраструктуре Србије.....	57
4•3•	Процена технологија великих нуклеарних електрана (LNP)	Error! Bookmark not defined.
4•3•1•	Увод	58
4•3•2•	EPR 1200 – Европски реактор под притиском следеће генерације.....	59
4•3•3•	AP 1000 – Модерно, безбедно и ефикасно решење за нуклеарну енергију	63
4•3•4•	VVER 1200 (AES 2006) – Напредно нуклеарно решење компаније ROSATOM.....	67
4•3•5•	APR 1000 – Напредни енергетски реактор 1000	71
4•3•6•	Укупно поређење Великих нуклеарних електрана (LNPP).....	75
4•3•7•	Резиме и кључни закључци	76
4•4•	Мали модуларни реактори у развоју (SMR)	79
4•4•1•	Увод	79
4•4•2•	Улога малих модуларних ректора (SMR).....	80
4•4•3•	Зашто су мали модуларни реактори погодни за Србију?	87
4•4•4•	Процена технолошких опција за мале модуларне реакторе	889
4•4•5•	NUWARD: Мали модуларни реактор следеће генерације	90
4•4•6•	BWRX-300 - мали модуларни реактор компаније GE Hitachi.....	95
4•4•7•	Rolls-Royce SMR.....	100
4•4•8•	AP 300 SMR.....	106
4•4•9•	Holtec SMR-300	111
4•4•10•	Свеобухватно поређење малих модуларних реактора (SMR).....	116
4•4•11•	Завршна разматрања и дугорочна визија укључујући мапу пута	118
4•5•	Потенцијалне користи и изазови за Србију.....	121
4•5•1•	Увод	121

4•5•2• Улога великих нуклеарних електрана (LNPP) и малих модуларних реактора (SMR) у енергетској будућности Србије	121
4•5•3• Изазови и разматрања за Србију	122
4•6• Закључак	1244
4•6•1• Резиме налаза.....	124
4•6•2• Одривање од одговорности	125
5• Радни пакет бр. 3: Анализа понуде и потражње ради дефинисања потенцијалних будућих (2045) пласмана енергије у Србији	127
5•1• Контекст.....	127
5•2• Ограничења студије и могућа проширења.....	127
5•3• Анализа понуде и потражње.....	128
5•3•1• Документа и претпоставке.....	128
5•3•2• Оптерећење	128
5•3•3• Производња.....	132
5•3•4• Резултати	133
5•3•5• Закључак анализе понуде и потражње.....	136
6• Закључак.....	138

1• Подршка Републици Србији у остваривању њених циљева за развој нових нуклеарних капацитета

У EDF-у, са постојећом флотом од 66 нуклеарних реактора и плановима за најмање 10 нових јединица у Француској и Уједињеном Краљевству, препознајемо кључну улогу нуклеарне енергије у производњи електричне енергије без емисије угљеника.

EDF је у потпуности посвећен подршци скорашњим амбицијама за развој нових нуклеарних капацитета широм света, а посебно у Европи, помажући Србији да одговори на сопствене изазове у енергетском окружењу које се стално мења.

Влада Републике Србије је у процесу анализе **могућег укључивања нуклеарних електрана (НЕ) у енергетски микс земље, као део пута ка декарбонизацији.**

У том смислу, Влада Републике Србије активно успоставља структурни оквир за процену предуслова за спровођење мирнодопског нуклеарног програма у земљи. Процес процене биће у потпуности усклађен са Приступом прекретница Међународне агенције за атомску енергију (МААЕ).

Меморандум о разумевању (МоР) је потписан 8. априла 2024. године, између Владе Републике Србије и EDF-а. Овим документом је наглашена спремност EDF-а да подржи Србију на њеном путу ка декарбонизацији, посебно кроз изградњу нуклеарних електрана.

Писмо о намерама је потписано у августу 2024. године између Владе Републике Србије и EDF-а. Ово писмо о намерама, пре свега, има за циљ подршку српској Влади у развоју свеобухватних смерница за развој примене нуклеарне енергије.

Поред тога, EDF је, у партнерству са Egis-ом, добио уговор од Министарства рударства и енергетике Републике Србије за спровођење Прелиминарне студије о потенцијалној улози нуклеарне енергије у енергетској будућности Србије, након поступка јавне набавке бр. ЈН-14/24. Ова Прелиминарна студија, започета у новембру 2024. године, обухватила је следеће опсег активности:

- Радни пакет бр. 1: Развој нуклеарне мапе пута;
- Радни пакет бр. 2: Процену технологије и истраживање тржишта нуклеарне енергије;
- Радни пакет бр. 3: Анализу односа понуде и потражње ради дефинисања потенцијалних сценарија производње електричне енергије у Србији 2045. године.

За сваки од ова 3 радна пакета издат је потпун и посебан извештај Министарству рударства и енергетике.

Овај документ представља резиме рада завршеног у оквиру 3 радна пакета, пружајући заинтересованим странама јасан увид у резултате пројекта. Он пружа концизан преглед сваког радног пакета, истичући главне активности које су спроведене и кључне постигнуте резултате.



САЖЕТ ПРИКАЗ

2• Сажет приказ

2•1• Радни пакет бр. 1: Мапа пута за развој нуклеарне енергије у Србији

Република Србија се налази на кључној прекретници у својој енергетској транзицији. Тренутно, из угља се производи приближно 70% електричне енергије у Србији, што ствара значајне еколошке изазове. Влада Србије, посвећена диверзификацији енергије, одрживости и декарбонизацији, поставила је амбициозне циљеве, укључујући постепен престанак коришћења угља до 2050. године и повећање удела обновљивих извора енергије као што су соларна и енергија ветра. У складу са овим циљевима, потенцијално увођење нуклеарне енергије истиче се као значајна стратешка опција, способна да обезбеди поуздан, нискоугљенични базни извор енергије уз подстицај технолошког и економског раста.

Како би се олакшало доношење квалификованих одлука, EDF је, користећи своје глобално нуклеарно знање и Преглед приступа прекретницама МААЕ (енг. IAEA)¹, сарађивао са Министарством рударства и енергетике Србије у развијању свеобухватне мапе пута за развој нуклеарне енергије. Ова мапа пута пружа структурни оквир који ће водити Србију кроз кључне припремне фазе инфраструктурног развоја нуклеарне енергије.

Детаљан извештај идентификује приоритетне активности, кључне прекретнице и неопходне правне, регулаторне, техничке, финансијске и кадровске оквире. Кључни приоритети и препоруке које је дао EDF су наведени у доњем тексту.

✦ Кључни приоритети и препоруке

1. Национална стратегија и усклађивање политике:

- Успоставити јасан политички и јавни консензус у вези са применом нуклеарне енергије као дела будућег енергетског микса Србије.
- Интегрисати циљеве развоја нуклеарне енергије у шире стратегије декарбонизације и енергетске безбедности Србије.

2. Развој регулаторног и правног оквира:

- Унапредити постојећи правни оквир и успоставити независно, надлежно нуклеарно регулаторно тело усклађено са међународним стандардима и смерницама МААЕ.
- Приступити међународним конвенцијама и споразумима који су од значаја за нуклеарну сигурност, безбедност и одговорност, чиме се обезбеђује међународни кредибилитет и сарадња.

3. Техничка изводљивост и инфраструктура:

- Спровести свеобухватне студије о избору локације, дајући приоритет геолошкој стабилности, безбедности животне средине, могућностима хлађења постројења и интеграцији на мрежу.
- Спровести детаљне процене капацитета електроенергетске мреже како би се осигурала ефикасна интеграција нуклеарних капацитета и отпорност система.

¹ IAEA- МААЕ - [Међународна агенција за атомску енергију](#), прим.прев.

4. Развој људских ресурса:

- Развити снажне образовне и програме стручне обуке, користећи партнерство са међународним институцијама и афирмисаним операторима нуклеарних електрана.
- Покренути мере за развој капацитета, укључујући циљне стипендије, међународну размену и ангажовање дијаспоре.

5. Укључивање јавности и комуникација:

- Покренути свеобухватне кампање за подизање јавне свести са нагласком на транспарентност, безбедност, заштиту животне средине и друштвено-економске користи.
- Укључити заинтересоване стране путем консултација, подстичући прихватање од стране јавности и подршку нуклеарној енергији.

6. Привредни развој и економска интеграција:

- Мапирати и ојачати привредне капацитете Србије, постепено интегришући локална предузећа у ланац снабдевања нуклеарном енергијом кроз фазни развој.
- Успоставити партнерстава са међународним ланцима снабдевања нуклеарном енергијом ради подстицања економског раста, трансфера технологија и отварања нових радних места.

7. Стабилна стратегија финансирања:

- Формулисати транспарентну, диверзификовану финансијску стратегију која укључује јавна средства, међународне финансијске институције, извозно-кредитне агенције и учешће приватног сектора.
- Развити свеобухватни оквир управљања ризицима како би се обезбедила финансијска одрживост пројекта, економска исплативост и поверење инвеститора.

✦ Временски оквир реализације

- **Фаза 1 (1.–2. година):** прелиминарне студије изводљивости, успостављање националне позиције у области развоја нуклеарне енергије и почетног регулаторног оквира.
- **Фаза 2 (3.–7. година):** детаљне студије изводљивости, карактеризација локације, развој регулаторних и кадровских капацитета, спровођење поступка набавке (укључујући избор добављача) и развој структуре финансирања.
- **Фаза 3 (почиње у 8. години):** изградња, пуштање у рад и постизање оперативне спремности, што кулминира интеграцијом нуклеарне енергије у енергетску мрежу Србије.

✦ Закључак

Закључно, пратећи структурни приступ који је описао EDF у овој мапи пута, Србија може успоставити темељну инфраструктуру неопходну за успешан програм нуклеарне енергије, побољшавајући енергетску безбедност, еколошку одрживост и економски развој. Ова стратешка иницијатива позиционира Србију као регионалног лидера у енергетској транзицији и технолошким иновацијама.

2.2• Радни пакет бр. 2: Процена технологије и истраживање тржишта нуклеарне енергије

Овај одељак описује главне налазе Прелиминарне студије у процени технологија и скрининг анализе спроведене у сврху подршке Влади Србије у разматрању нуклеарне енергије као дела своје дугорочне енергетске стратегије. Овај радни пакет је реализовао Egis.

Како се Србија усмерава ка декарбонизацији и дугорочној енергетској безбедности, нуклеарна енергија се истиче као кредибилан кандидат за замену базних капацитета заснованих на фосилним горивима, док истовремено допуњује варијабилне обновљиве изворе енергије. Студија је спроведена у оквиру Радног пакета 2. Њен циљ је да пружи почетни структурисани преглед тренутно доступних нуклеарних технологија, како конвенционалних реактора великих капацитета, тако и нових малих модуларних реактора (ММР или SMR), као и да процени на који начин би они могли да подрже циљеве Србије у погледу декарбонизације, енергетске безбедности и развоја инфраструктуре.

Ова Прелиминарна студија нема за циљ да препоручи одређену технологију. Процена пружа упоредни преглед одабраних реактора генерације III/III+, са фокусом на њихову технолошку зрелост, спремност за примену, статус лиценцирања и погодност у специфичном српском контексту, укључујући компатибилност са електроенергетском мрежом, услове за избор локације и будуће регулаторне захтеве. Технологије које су разматране обухватале су конвенционалне реакторе AP1000 (Westinghouse), EPR1200 (EDF), VVER-1200 (Gidropress) и APR1400 (KHNP), као и SMR-ове попут AP300, BWRX-300, Rolls-Royce SMR, Holtec и NUWARD. Посебна пажња је посвећена томе на који начин су ове технологије усклађене са међународним безбедносним стандардима, прописима Европске уније и смерницама МААЕ.

Иако је доступност комерцијалних и специфичних података везаних за добављаче у овој фази и даље ограничена, студија пружа индикативни увид у кључне аспекте као што су структура трошкова, модели испоруке, приступи финансирању и искуства добављача. Ови налази ће послужити као основа за детаљније техно-економске студије изводљивости и могу да послуже као смернице будућој сарадњи Србије са потенцијалним добављачима и стратешком планирању.

Студија потврђује да нуклеарна енергија може имати стратешку улогу у енергетској транзицији Србије. Она представља поуздан, нискоугљенични извор електричне енергије који може да замени угаљ, а да истовремено осигура стабилност електроенергетске мреже. И конвенционални реактори и технологије SMR имају потенцијалне предности: велики реактори могу понудити економију обима и већу спремност за примену, док SMR омогућавају флексибилнију примену и ниже почетне инвестиционе трошкове. Међутим, зрелост технологије и временски оквири примене се значајно разликују међу добављачима, наглашавајући важност ближе сарадње са добављачима у наредним фазама.

Поред техничког прегледа, процена се такође дотиче кључних фактора за успешно спровођење програма: јачање националног регулаторног тела (СРБАТОМ-а), развој компетентне структуре власника/оператора и осигуравање да је избор технологије интегрисан у шире инфраструктурно планирање и доношење одлука. Почетна разматрања о друштвеним и еколошким аспектима су такође дата, укључујући управљање радиоактивним отпадом, коришћење воде, просторни утицај постројења и прихватање од стране заинтересованих страна/јавности. Ове области захтевају да се посебно обраде у будућим фазама лиценцирања и студија изводљивости.

Закључно, овај радни пакет је пружио Влади Србије почетни преглед и поређење реакторских технологија погодних за будућу примену. Пружа транспарентан, структуриран преглед главних технолошких опција и истиче области у којима ће бити потребне даље анализе, сарадња и напори за јачање капацитета. Наглашава потребу за изградњом институционалних, регулаторних и техничких капацитета паралелно са

процесом избора технологије. Иако не даје одговоре на сва питања, он обезбеђује Влади Србије неопходне алате да са већом сигурношћу и јасним прегледом настави наредне кораке у процесу доношења одлука.

2.3• Радни пакет бр. 3: Анализе о интеграцији нуклеарних електрана на мрежу

Како би се одговорило на будући раст потрошње електричне енергије у Србији, једна од потенцијалних опција јесте нуклеарна енергија. Разматрана година у студији је 2045, што је у складу са временским оквиром развоја нуклеарног програма и са смерницама које су већ поставиле надлежне институције у Србији.

Да би се добили профили производње електричне енергије, спроведена је прелиминарна анализа равнотеже понуде и потражње. Симулације су извршене коришћењем софтвера ANTAIRES симулатор©, на моделу који су обезбедили стручњаци из Електромреже Србије (ЕМС), а који се и иначе користи за потребе Националног плана развоја. Да би се спровела ова анализа, било је неопходно поставити претпоставке о укупном производном капацитету у Србији, као и о потражњи за електричном енергијом. Претпоставке се заснивају на подацима из ИНЕКП-а (ИНЕСР)² и на основу информација доступних српском оператору преносног система у тренутку прикупљања података.

Разматрано је пет различитих опција за нове нуклеарне производне капацитете: 2x400 MW, 1x1000 MW, 1x1200 MW, 4x400 MW и 2x1200 MW.

Главни налази студије су:

- Нуклеарна енергија утиче на производњу електричне енергије из лигнита и гасних електрана у Србији, при чему се у сценарију 2x1200MW производња из лигнита смањује за 66%, а из гаса за 8%.
- Србија постаје нето извозник електричне енергије у сценарију 2x1200 MW.

² ИНЕСР – ИНЕКП, Интегрисани национални енергетски и климатски план, прим.прев.



РАДНИ ПАКЕТ БР. 1

**МАПА ПУТА ЗА ПОДРШКУ
РАЗВОЈУ НУКЛЕАРНЕ
ЕНЕРГИЈЕ У ЕНЕРГЕТСКОМ
МИКСУ СРБИЈЕ**

3• Радни пакет бр. 1: Мапа пута за подршку развоју нуклеарне енергије у енергетском миксу Србије

3•1• Садржај

Развој нуклеарног програма је сложен, дугорочан подухват који захтева структурни и фазни приступ, од процене националне спремности до успостављања система управљања, сигурности и техничких оквира. Амбиција Србије да диверзификује свој енергетски микс, уз истовремено испуњавање климатских обавеза, подразумева повећање енергетске ефикасности, проширење капацитета обновљивих извора енергије и разматрање нуклеарне енергије као сигурног, нискоугљеничног извора базне енергије.

У том контексту, EDF-у је било поверено да уради прелиминарну **мапу пута за развој нуклеарног програма** у Србији. Ово је елаборирано у оквиру **Радног пакета бр. 1 („Мапа пута за подршку развоју нуклеарне енергије у енергетском миксу Србије“)**, у складу са уговором о услугама потписаног са Министарством рударства и енергетике 2024. године. Ова мапа пута има за циљ да помогне српским властима у идентификовању кључних прекретница, инфраструктурних захтева и процеса управљања који су неопходни за успешно покретање нуклеарног програма.

Овај документ је такође припремљен у оквиру **Писма о ангажовању потписаног у августу 2024. године између Владе Републике Србије и EDF-а**. Циљ му је да пружи стратешка разматрања и практичне препоруке за почетне кораке Србије у развоју националног нуклеарног програма. Ове препоруке се ослањају на EDF-ово богато искуство као водећег светског нуклеарног оператера, и на међународно признате смернице, посебно документ **Приступ прекретницама МААЕ** за изградњу нуклеарне инфраструктуре.

Ова мапа пута обухвата:

- Лекције научене из EDF-овог новог нуклеарног развоја: EDF има богато искуство у **раду и изградњи нуклеарних реактора**, уз истовремену снажну експертизу у декарбонизацији енергетских системима. Са **66 реактора у погону широм света**, укључујући EPR блокове у Француској, Кини и Финској, EDF има доказану репутацију у испоруци сигурне, поуздане и нискоугљеничне нуклеарне енергије.
- У **децембру 2024. године је одржана радионица у Београду**, где су EDF и кључни актери у Србији истражили 19 инфраструктурних питања идентификованих у Приступу прекретницама МААЕ. Ови разговори су помогли у обликовању плана, са посебним фокусом на **приоритетне области**.

Ова напомена даје преглед кључних компоненти нуклеарне мапе пута Србије, фокусирајући се на неопходне ране активности и приоритетна инфраструктурна питања, како би се поставила чврста основа за будући успех. Такође одражава заједничке увиде са радионице из децембра 2024. године и пружа практичан путоказ за напредак Србије ка њеном циљу развоја сигурног и одрживог програма нуклеарне енергије. Ове смернице ће служити као живи документ, који ће се развијати како Србија буде напредовала на свом путу ка томе да постане регионални лидер у енергетској транзицији.

3.1.1. Разматрања о будућем енергетском миксу Србије

Србија се налази у кључном стадијуму у својој енергетској транзицији, са циљем модернизације енергетског сектора, побољшања енергетске сигурности и усклађивања са међународним обавезама за смањење емисије гасова стаклене баште.

Данас, у производњи електричне енергије у Србији доминира угаљ, уз помоћ ког се **производи 70% електричне енергије у земљи**, а допуњава га претежно хидроенергија. Међутим, **застареле термоелектране на угаљ** и све већи притисци на животну средину условиће смањење улоге угља у националном енергетском миксу.

Интегрисани национални енергетски и климатски план (ИНЕКП) Србије за период **од 2021 до 2030**, са пројекцијама до 2050. године, наглашава да постизање детаљне декарбонизације зависи од прогресивног смањења производње електричне енергије на бази фосилних горива - пре свега угља, који је тренутно највећи извор CO₂ емисија у земљи. У складу са тим правцем, Стратегија развоја енергетског сектора Републике Србије до 2040. године (са пројекцијама до 2050. године) поставља за циљ потпуно укидање производње енергије из угља до 2050. године. Штавише, очекује се да ће климатске промене утицати на поузданост и капацитет хидроелектрана, које су витални део енергетске инфраструктуре Србије.

Као одговор на ове изазове, енергетска стратегија Србије наглашава диверзификацију и декарбонизацију. ИНЕКП дефинише три главна стуба за будући енергетски микс земље:

- 1. Обновљиву енергију (соларну и ветроенергију)** – брзо се може распоредити и неопходна је за краткорочне циљеве;
- 2. Хидроенергију** – модернизација и проширење хидроелектрана ради обезбеђивања континуиране поузданости и конкурентности;
- 3. Нуклеарну енергију** – потенцијална дугорочна опција за сигурно снабдевање базним оптерећењем, посебно у алтернативном сценарију S-N, који предвиђа увођење до приближно 1 GW нуклеарног капацитета након 2040. године (иако није укључена у референтни основни сценарио плана).

Увођење нуклеарне енергије би такође допринело економском и технолошком развоју Србије. Нуклеарни програм не само да обезбеђује чисту електричну енергију, већ и стимулише иновације, побољшава привредне капацитете и ствара висококвалификована радна места у различитим секторима. Ово је у складу са ширим циљем Србије да постане регионални лидер у енергетској транзицији и технолошком напретку.

Србија је нагласила своју усклађеност са регулаторним оквиром ЕУ тако што је прво Влада формално усвојила Интегрисани национални енергетски и климатски план (ИНЕКП) 25. јула 2024. године, а затим, 29. новембра 2024. године, Народна скупштина усвојила комплементарну Стратегију развоја енергетског сектора до 2040. године, са пројекцијама до 2050. године. Заједно, ова два документа пружају краткорочни и дугорочни оквир за енергетску транзицију земље.

3.1.2. Приступ прекретницама МААЕ и радионица у децембру 2024.

Кључна прекретница у овом заједничком напору била је **радионица у децембру 2024. године у Београду**, организоване у оквиру Радног пакета бр. 1, као део уговора са ЕД-а и Министарства рударства и енергетике. Ова дводневна радионица окупила је кључне актере из институционалне, научне и академске сфере у Србији како би размотрили **Приступ прекретницама МААЕ** и његових **19 инфраструктурних** питања кључних за развој националног нуклеарног програма.

Током радионице, EDF је поделио своја знања у овим кључним областима и омогућио детаљну дискусију о њиховој практичној примени у Србији. Догађај је пружио платформу кључним заинтересованим странама за

размену идеја и сарадњу на дефинисању нуклеарних приоритета Србије. Кључни закључци и препоруке са ове радионице интегрисани су у ову мапу пута и служиће као основа за будуће активности.

Посебан фокус је стављен на **приоритетна инфраструктурна питања** која су неопходна у овој раној фази развоја нуклеарног пута Србије. Она укључују:

- Дефинисање јасног националног става и обезбеђивање политичке усклађености међу институцијама.
- Јачање правног и регулаторног оквира ради усклађивања са међународним стандардима.
- Спровођење прелиминарних техничких студија, укључујући (i) избор локације, идентификовање одговарајућих локација на основу техничких, еколошких и безбедносних критеријума и (ii) процену капацитета мреже како би се осигурала њена спремност за интеграцију нуклеарне енергије.
- Развој радне снаге и јачање капацитета: успостављање образовних и програма обуке у сарадњи са универзитетима и међународним организацијама.
- Јавно ангажовање и комуникација: стицање поверења јавности кроз транспарентну комуникацију о предностима и сигурности нуклеарне енергије.
- Укључивање привреде: обезбеђивање успешног нуклеарног програма и стварање могућности за економски раст, отварање радних места и развој компетенција.
- Обезбеђивање поузданих и транспарентних стратегија финансирања и обезбеђивања средстава.

3.1.3. Развој мапе пута за нуклеарни програм

Развој програма нуклеарне енергије је стратешка одлука која захтева темељну припрему и вођство у свакој фази. Изменама и допунама Закона о енергетици (Службени гласник РС бр. 94/2024) додат је потпуно нов одељак XIIа (Чл. 365а–365в) под називом „Нуклеарна енергија“, који структурира Програм развоја нуклеарне енергије Србије у три узастопне фазе:

1. Фаза 1 – Испитивање оправданости приступа развоју нуклеарне енергије (чл. 365а, став 3)

Припрема техничких, економских, правних, финансијских и еколошких анализа; преглед институционалних капацитета и расположивост кадрова; као и активности раног информисања јавности.

2. Фаза 2 – Развој Програма нуклеарне енергије (чл. 365а, ставови 4 - 6)

Детаљна прелиминарна анализа локације, процена билатералних или регионалних модела сарадње и састављање Интегрисаног извештаја који ће бити основа за сачињавање „Стратегије за мирнодопско коришћење нуклеарне енергије“, коју ће усвојити Народна скупштина.

3. Фаза 3 – Спровођење Програма нуклеарне енергије (чл. 365а, став 7)

Покреће се само ако је то предвиђено Стратегијом; обухвата лиценцирање, изградњу и рад нуклеарне електране, а детаљна правила ће бити утврђена посебним законом.

Чланом 365б се Министарство рударства и енергетике именује за главног координатора за фазе 1–2, у партнерству са другим релевантним државним телима и заинтересованим странама, и наводи се петнаест

конкретних задатака које је потребно извршити (израда мапе пута, анализа потенцијалних локација, оснивање нуклеарног информативног центра, израда плана развоја кадрова, итд.).

Члан 365в дозвољава финансирање фаза 1–2 из државног буџета и других законом дозвољених извора.

3.2• Циљеви и задаци мапе пута за нуклеарну енергију

Пратећи смернице документа **Пристап прекретницама МААЕ**, нуклеарни програм се дефинише и спроводи кроз три главне сукцесивне фазе, од студија претходне изводљивости до почетка комерцијалног рада. Свака фаза представља кључни корак у осигуравању да су сви технички, правни, економски и организациони аспекти адекватно припремљени.

Нуклеарна мапа пута пружа Србији структурни оквир да би предвидела и обезбедла дугорочне, кључне задатке неопходне за успешан развој нуклеарног програма, као што су развој ланаца снабдевања, прихватање јавности, развој кадрова, финансирање и усклађеност са прописима. Заснована је на **прелиминарном плану**, у ком су истакнуте кључне прекретнице и одређен кључни пут за напредак програма.



3.3• Активности које треба приоритетно да спроведе Влада

МААЕ је идентификовала **19 инфраструктурна питања** потребних за успешан развој нуклеарног програма. Ове области обухватају објекте, опрему, људске и финансијске ресурсе, као и законодавни и регулаторни оквир. Обезбеђивање свеобухватног развоја ове инфраструктуре је од виталног значаја за Србију како би остварила своје нуклеарне амбиције.



Радионица у децембру 2024. године у Београду је пружила детаљан увид у ових 19 инфраструктурних питања. Радионица је омогућила кључним заинтересованим странама у Србији из институционалног, научног и академског сектора да идентификују најважнија подручја којима треба дати приоритет у наредним годинама. Дискусије са ове радионице чине основу препорука наведених у наставку.

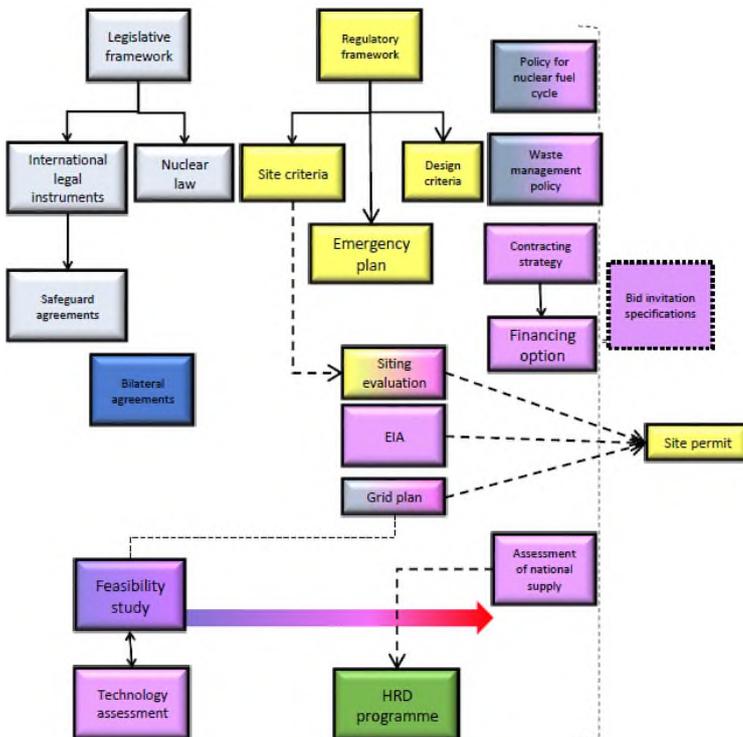
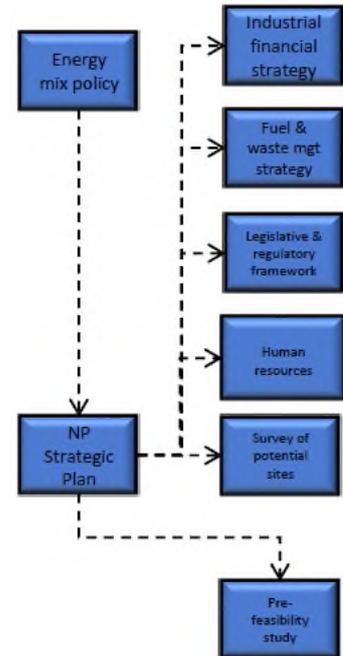
3.3.1. Развој кључне инфраструктуре по фазама

3.3.1.1. Фаза 1: 1. до 3. година

Током Фазе 1, Србија се мора фокусирати на спровођење прелиминарних процена, утврђивање националног става и припрему законодавног и регулаторног оквира. До краја Фазе 1, влада би требало да буде спремна да донесе квалификовану одлуку о томе да ли ће наставити са нуклеарним програмом.

✦ Приоритетне активности:

- Изградња националног става о нуклеарној енергији, укључујући дугорочну стратегију и развој јавне политике.
- Покретање програма за укључивање заинтересованих страна и јавне консултације.
- Правни и регулаторни оквир.
- Спровођење прелиминарних техничких студија, укључујући процену локације и капацитета мреже.
- Развој оквира за јачање кадровских капацитета.
- Процена потенцијала за укључивање локалне привреде.
- Подизање свести о стратегијама обезбеђивања средстава и финансирања.



3.3.1.2. Фаза 2: 2. до 7. година

У Фази 2, фокус се помера на детаљну процену локације, студије изводљивости и развој структуре управљања. Ова фаза ће припремити Србију да распише надметања или преговара о билатералним споразумима са испоручиоцем нуклеарне технологије.

✦ Приоритетне активности:

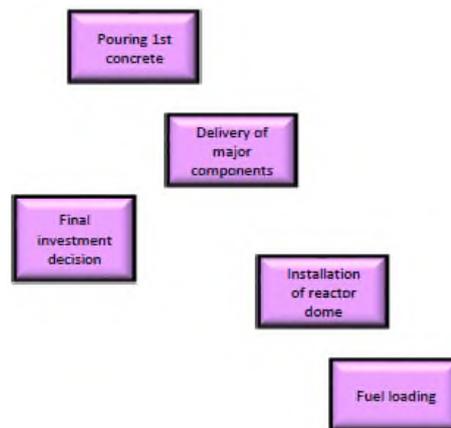
- Припрема и издавање дозвола за локацију и грађевинска одобрења.
- Финализација правног и регулаторног оквира, укључујући националну политику (циклус горива, управљање отпадом).
- Успостављање управљачких структура и улога кључних организација.
- Јачање људских капацитета и партнерстава са међународним институцијама.
- Спровођење процене технологије и поступака избора добављача.

3•3•1•3• Фаза 3: 7. до 10. година

Фаза 3 обухвата активности изградње и пуштања у рад, са фокусом на обезбеђивање усклађености са безбедносним и оперативним стандардима.

✦ Приоритетне активности:

- Закључивање главних уговора за изградњу нуклеарне електране (посебно са преферираним понуђачем испоручиоца технологије).
- Завршетак организације управљања пројектом будућег власника-оператора.
- Покретање припремних радова на локацији.
- Затварање финансијске конструкције и доношење коначне инвестиционе одлуке.
- Финализација грађевинских дозвола и лиценци.
- Завршетак обуке оператора и регулаторног особља.
- Пуштање у рад нуклеарне електране.



На крају **Фазе 3**, нуклеарна електрана је спремна за пуштање у рад и накнадну интеграцију на националну енергетску мрежу. Ова прекретница означава кулминацију опсежних активности планирања, изградње и пуштања у рад спроведених у оквиру чврстог управљачког и регулаторног оквира.

С обзиром на тренутне околности у Србији, неколико кључних задатака у оквиру нуклеарне мапе пута би требало сматрати приоритетима за хитно поступање. До данас није донета никаква формална одлука у вези са применом нуклеарне енергије у Србији. Иако је изменама закона о нуклеарној енергији укинута законска забрана о развоју нуклеарне енергије, Србији и даље недостаје свеобухватан правни оквир, надлежна регулаторна тела и неопходна техничка стручност за спровођење пројекта нуклеарне електране.

Сходно **Приступу прекретницама МААЕ**, пуштање у рад нуклеарне електране – без обзира на изабрану технологију – захтева припремни период од најмање **10 до 15 година**. Овај период обухвата низ критичних активности, укључујући успостављање правног и регулаторног оквира, опсежне активности планирања и изградње, као и обезбеђивање одговарајућих лиценци и дозвола.

У овом контексту, кључно је да српска Влада приоритетно приступи конкретним активностима које постављају темеље за успешан развој нуклеарног програма. Ове препоруке су наведене у наредним одељцима. Поред тога, међународни споразуми о сарадњи са земљама које имају искуство у области нуклеарне енергије или са мултилатералним организацијама могли би да убрзају програм обезбеђивањем регулаторног знања, техничке експертизе и подршке у изградњи капацитета.

3.4• Приоритетне препоруке за Србију

3.4.1• Израда националног става: Стратегија развоја програма и повезане јавне политике

Добро дефинисан национални став је темељ сваког успешног нуклеарног програма. Он успоставља дугорочну визију владе за развој нуклеарне енергије, обезбеђује политичко усклађивање и осигурава доследност у планирању и доношењу одлука. Пре покретања формалних студија о техничким и финансијским импликацијама нуклеарне енергије, од пресудне је важности да српска Влада обезбеди јасну стратегију и скуп политика које ће водити ка развоју програма. Овај национални став мора да размотри улогу нуклеарне енергије у електроенергетском миксу Србије, кључне аспекте планирања и специфичне циљеве у вези са нуклеарним капацитетом.

Национални став служи двома основним сврхама:

1. **Дефинисању дугорочне стратегије земље** за развој нуклеарне енергије.
2. **Успостављању јавних политика** за надгледање и развијање нуклеарног програма и усклађивање са економским, друштвеним, еколошким и развојним циљевима Србије.

Како би се овај национални став изградио, мора се развити неколико кључних компоненти:

- **Национална енергетска политика:** дефинисање улога нуклеарне енергије у будућем енергетском миксу Србије, поставити јасно планирана разматрања и идентификовати специфичне циљеве капацитета за нуклеарну енергију.
- **Стратешки циљеви:** опис политичких, економских, друштвених и еколошких циљева повезаних са нуклеарном енергијом, осигуравајући усклађеност са ширим националним развојним циљевима Србије.
- **Управљање и организациона структура:** креирање детаљног оквира за управљање нуклеарним сектором. Ово укључује разграничење надлежности између заинтересованих страна, оснивање организације која ће у име владе пратити развој програма и именовање будућег власника/оператора нуклеарног постројења.

Национални став ће послужити као основа за политичку одлуку о наставку развоја нуклеарне енергије. Стога би то требало да буде прва област на коју ће се усмерити пажња у оквиру нуклеарне мапе пута.

3.4.1.1• Национална енергетска политика као први градивни елемент

Национална енергетска политика би требало да разјасни улогу нуклеарне енергије у дугорочној енергетској стратегији Србије. Она мора интегрисати нуклеарну енергију у шире циљеве декарбонизације и енергетске безбедности земље, детаљно наводећи како ће допринети и еколошкој одрживости и економском развоју. Ова политика може бити обликована кроз низ политичких докумената, што показују искуства земаља попут Француске или Велике Британије:

- **Енергетски путеви до 2050**, референтна студија француског Националног оператора мреже (RTE) дефинисала је и анализирала 6 детаљних сценарија, закључујући како је сценарио са нуклеарном енергијом повољнији.
 - Према тространом споразуму о партнерству потписаном у марту 2025. године између Министарства рударства и енергетике Републике Србије (МРЕ), Француске агенције за развој (AFD), и RTE International (RTEi), и уз подршку механизма фонда FEXTE, RTEi ће израдити националну „Студију енергетских путева до 2050. године” за Србију.

Надовезујући се на оригинални референтни рад RTE-а, који је анализирао шест детаљних енергетских сценарија, српска верзија студије ће додатно усавршити и проширити пројекције за увођење нуклеарне енергије, допуњујући увиде ИНЕКП-овог сценарија S-N.

- **План од 10 тачака за зелену индустријску револуцију:** ова иницијатива је поставила јасне циљеве декарбонизације, мобилисала инвестиције владе Велике Британије и имала за циљ стварање зелених радних места, уз истовремено промовисање иновација у енергетским технологијама.
- **Бела књига о енергетици:** овај документ је пружио свеобухватну стратегију за енергетску транзицију Велике Британије, посвећујући пажњу дугорочним циљевима, интересима потрошача, секторским инвестицијама и развоју радне снаге до 2050. године.

3.4.1.2. Фазни приступ стратегији и управљању

Развој свеобухватног националног става мора пратити фазни приступ. У Великој Британији је то постигнуто оснивањем посебног тела задуженог за надгледање националне нуклеарне стратегије и управљање спровођењем нуклеарног програма.

Развијање снажног националног става обезбедиће чврст темељ за развој нуклеарног програма Србије и осигурати да су одлуке засноване на кохерентној и дугорочној стратегији. Овај корак је неопходан не само за обезбеђивање политичке подршке већ и за стицање поверења јавности и привлачење потенцијалних инвеститора и међународних партнера.

У фазама 1 и 2 нуклеарног програма Министарство рударства и енергетике, у сарадњи са другим релевантним државним органима и заинтересованим странама, је задужено да делује као Организација за спровођење програма нуклеарне енергије Републике Србије (*енг.* NEPIO). Да би се ова улога ефикасно испунила, препоручује се да МРЕ:

✦ Препоруке 1

- Осигура да NEPIO** има јасно предвиђена овлашћења, ресурсе и одговорности извештавања.
- Успостави снажну међуресорну координацију** за интегрисање енергетских, еколошких, финансијских и безбедносних аспеката.
- Спроводи и координира претходне студије изводљивости.**
- Припреми стратегију и план за укључивање заинтересованих страна, рано и транспарентно ангажујући јавност** ради изградње свести и прихватања програма.
- Координира свеобухватну самопроцену развоја националне инфраструктуре нуклеарне енергије у Србији**, као припремни корак за подношење захтева за Мисију интегрисаног прегледа нуклеарне инфраструктуре (*енг.* INIR) коју подржава МААЕ. Овај процес би требало систематски да процени напредак Србије у вези са 19 инфраструктурних питања дефинисаних у Приступу прекретницама МААЕ. Рана самопроцена ће помоћи у идентификовању недостатака, одређивању приоритета активности и демонстрирању посвећености Србије најбољим међународним праксама за земље које приступају нуклеарној инфраструктури.
- Тражи техничку помоћ и стручне партнерске прегледе** од међународних организација као што су МААЕ и искусне земаље партнери.

3.4.2. Јавно прихватање и укључивање заинтересованих страна

Јавно прихватање је кључни фактор за успешан развој програма нуклеарне енергије. Изградња поверења, обезбеђивање транспарентности и ангажовање заинтересованих страна на свим нивоима кључни су за неговање дугорочне јавне подршке. Ово захтева **стратешки план комуникације и добро осмишљен**

програм ангажовања заинтересованих страна који ће одговарати на забринутост, промовисати социо-економске користи и обезбедити отворени дијалог са заједницом. Циљ није само да се обезбеди почетно прихватање јавности, већ и да се оно одржи током целог животног циклуса нуклеарне електране (НЕ)— од планирања и изградње до рада и декомисије.

Свеобухватан **програм јавног прихватања и укључивања заинтересованих страна** требало би да буде заснован на следећим кључним покретача:

- **Разумевање забринутости и очекивање заједнице:** обезбедити да се потребе и страхови локалних заједница узму у обзир.
- **Развијање свеобухватне комуникационе стратегије:** прилагођавање порука националној, регионалној и локалној јавности и обезбеђивање доследности и транспарентности.
- **Изградња дугорочних односа кроз консултације:** редовно сарађивање са заједницама и заинтересованим странама ради стварања поверења и заједничког разумевања.
- **Подстицање социо-економског развоја:** показати додатну вредност нуклеарних пројеката поред производње електричне енергије, као што су отварање радних места, побољшање квалитета живота и развој инфраструктуре.
- **Обезбеђивање надзора од стране независних трећих лица:** јачање јавног поверења укључивањем спољних организација у праћење и извештавање о пројектним активностима.

3.4.2.1• Кључни елементи стратегије јавног прихватања и комуникације

Ефикасну стратегију јавног прихватања треба развити кроз две главне области:

1. **Кампање за комуникацију са јавношћу и подизање свести**
2. **Промовисање локалног и националног друштвено-економског развоја**

1. Кампања за комуникацију са јавношћу и подизање свести

Комуникацијска стратегија мора бити транспарентна, добро структурирана и прилагодљива потребама различитих циљних група. Она треба да стави нагласак на безбедност, заштиту животне средине и предности нуклеарне енергије, а и да се истовремено бави уобичајеним бригама као што су здравствени ризици, управљање отпадом и спремност за ванредне ситуације.

✦ Кључне активности:

- **Анализа перцепције јавности и њених забринутости:** спровести анкете и студије како би се разумео став јавности према нуклеарној енергији и идентификовали главни проблеми.
- **Припрема јасне поруке засноване на доказима:** прилагодити поруке различитим групама заинтересованих страна, истичући предности нуклеарне енергије у решавању енергетских потреба и циљева декарбонизације Србије.
- **Развој циљних односа:** изградити везе са научним друштвима, изабраним званичницима, медијима, пољопривредницима, лекарима и другим креаторима јавног мњења. Ови односи помажу у ширењу тачних информација и неговању локалне подршке.
- **Координација са институционалним заинтересованим странама:** сарађивати са владиним агенцијама, локалним самоуправама, регулаторним телима и организацијама надлежним за управљање отпадом како би се осигурале усклађене поруке и политике.

- **Организовање јавних консултација:** укључивање заједнице у отворене дијалоге о нуклеарној енергији путем јавних расправа, информативних сесија и посета локацијама, осигуравајући усклађеност са нуклеарним законом и регулаторним оквиром.

2. Промовисање локалног и националног друштвено-економског развоја

Нуклеарни пројекат може понудити значајне друштвено-економске могућности за локалне и националне заједнице. Проактивно промовисање ових погодности је од кључног значаја за добијање и одржавање подршке јавности.

✦ Кључне активности:

- **Утврдити и осмислити локалне инфраструктурне пројекте:** Ускладити нову инфраструктуру са захтевима пројекта и потребама локалног становништва.
- **Подстицање партнерства са локалним предузећима:** Дати приоритет локалним добављачима и пружаоцима услуга, осигуравајући да пројекат доприноси регионалном економском расту.
- **Развити свеобухватне програме обуке:** Сарадња са образовним институцијама и техничким школама како би се обезбедила циљана обука за локално становништво, припремајући их за могућности запошљавања у оквиру пројекта.
- **Промовисати дугорочно отварање радних места:** Истакните могућности запошљавања не само током изградње, већ и током оперативне фазе. Ово би требало да обухвати директне послове у постројењу и индиректне послове у сродним индустријама.

3•4•2•2• Обезбеђивање транспарентности и доброг управљања

Транспарентност је темељ јавног поверења. Пружање поузданих, доступних и правовремених информација о нуклеарној сигурности, статусу пројекта и потенцијалним утицајима од суштинског је значаја за одржавање поверења јавности. **Француски Закон о транспарентности** служи као модел примера, гарантујући јавни приступ информацијама и представљајући транспарентност као основни аспект нуклеарне сигурности и управљања.

Поштујући ове принципе, Србија може да успостави висок ниво поверења и кредибилитета код својих грађана. Транспарентност и добро управљање не само да ће повећати поверење јавности, већ ће и помоћи у привлачењу потенцијалних инвеститора који виде јавну подршку као кључни показатељ стабилности пројекта.

3•4•2•3• Јавно прихватање: Доказана методологија за дугорочни успех

Јавно прихватање није једнократна активност, већ континуирани процес. Временом се развија и мора се неговати кроз редовно ангажовање и одговорну комуникацију. Развијање јавне подршке значајно ће олакшати спровођење нуклеарног програма Србије и помоћи у обезбеђивању финансирања и партнерства међународне заједнице.

✦ Препоруке 2:

Током фазе 1, NEPIO ће:

- i. **Развити план ангажовања заинтересованих страна**, као део Свеобухватног извештаја, којим се јасно дефинише улога сваке организације, утврђују приоритетне групе заинтересованих страна — укључујући и суседне државе — разматрају њихова кључна питања кроз прилагођене методе укључивања и одређују конкретни потребни алати и приступи.
- ii. **Спровести анкете** како би се утврдило знање јавности и пријемчивост за нуклеарну енергију.
- iii. **Развити алате за информисање јавности** који одговарају на резултате истраживања и да објашњавају **интерес Владе за спровођење нуклеарне енергије и њене потенцијалне користи**.
- iv. **Обезбедити обуке за циљану комуникацију** за српске званичнике који су укључени у нуклеарни програм.

3.4.3. Правни и регулаторни оквир

Успостављање свеобухватног, транспарентног правног и регулаторног оквира је од суштинског значаја за успешно спровођење програма нуклеарне енергије. Он пружа основу за обезбеђивање **сигурности, безбедности и заштите животне средине** које су неопходне у области нуклеарне енергије, а истовремено има кључну улогу у стицању поверења јавности и обезбеђивању инвестиција. Без чврстог оквира, реализација пројекта ризикује кашњења, повећање трошкова и смањење подршке јавности.

Добро структуриран правни и регулаторни оквир треба да буде развијен у складу са **безбедносним и сигурносним стандардима МААЕ (Међународна агенција за атомску енергију) и најбољим међународним праксама**, осигуравајући да нуклеарни програм Србије буде кредибилан и усклађен са светским нормама. Ово обухвата неколико критичних компоненти:

1. Ажурирање и јачање домаћих стандарда

Србија је већ постигла одређени ниво усклађености између домаћих прописа и међународних стандарда нуклеарне безбедности. Међутим, потребан је даљи рад како би се у потпуности интегрисале најбоље праксе које се развијају, посебно у областима као што су приправност и реаговање у ванредним ситуацијама, заштита од зрачења, управљање радиоактивним отпадом и сајбер безбедност.

2. Јачање капацитета и надлежности регулаторног органа

Србија већ има независно регулаторно тело надлежно за нуклеарну и радијациону сигурност и безбедност. У контексту покретања програма нуклеарне енергије, унапређење техничке експертизе, ресурса и оперативних капацитета ће бити кључно. У наредном периоду, напори ће бити усмерени на јачање институционалног оквира регулаторног тела, техничких вештина и инспекцијских капацитета, уз подршку програма техничке помоћи МААЕ (ТП) и сарадње са другим међународним партнерима. Компетентан и адекватно ресурсима подржан регулатор остаје кључан за очување поверења јавности и обезбеђивање највиших стандарда сигурности током целокупног животног циклуса нуклеарног постројења.

3. Утврђивање специфичних националних захтева

Србија мора пажљиво дефинисати специфичне националне захтеве за пројектовање нуклеарних електрана, избор локације и оперативне стандарде. Ови захтеви треба да се утврде рано како би се избегле скупе модификације пројекта и кашњења током процеса лиценцирања. Регулаторни оквир такође мора да садржи одредбе за процене утицаја на животну средину и јавне консултације као део процеса одобравања.

4. Дизајнирање прилагођеног процеса лиценцирања

Ефикасан процес лиценцирања је од кључног значаја за обезбеђивање правовремене имплементације пројекта уз одржавање највиших безбедносних стандарда. Србија треба да осмисли систем лиценцирања који олакшава пренос техничких информација о пројектовању постројења и демонстрацији безбедности, а истовремено да омогући флексибилност у случају нових технолошких достигнућа. То ће допринети смањењу административних препрека и обезбедити јасан оквир за носиоце пројекта.

3.4.3.1. Тренутни статус и наредни кораци

Србија ће спровести свеобухватну процену свог правног и регулаторног оквира како би утврдила недостатке у односу на међународне стандарде сигурности и најбоље праксе, у припреми за развој програма мирнодопске примене нуклеарне енергије. Та процена треба да обухвати и анализу придржавања Србије кључним међународним конвенцијама и уговорима.

Приступање кључним међународним конвенцијама од суштинског је значаја за изградњу сигурног, кредибилног и међународно признатог нуклеарног програма. Сигурносне конвенције обезбеђују заштиту људи и животне средине, споразуми о гаранцијама и безбедносни инструменти подржавају обавезе о неширењу нуклеарног оружја, а оквири одговорности пружају правну извесност инвеститорима и јавности. Конвенције о заштити животне средине јачају транспарентност и регионално поверење, док усклађивање са нуклеарним инструментима ЕУ олакшава интеграцију Србије у европски енергетски оквир. Рана усклађеност ће помоћи јачању регулаторног окружења у Србији, убрзати развој пројеката и побољшати сарадњу са међународним партнерима.

Следи опсежан списак кључних међународних конвенција и уговора у којима Србија треба да буде (или провери да ли већ јесте) потписница, како би у потпуности подржала развој свог програма мирнодопске примене нуклеарне енергије:

1. Конвенције МААЕ у вези са безбедношћу
 - a. **Конвенција о нуклеарној сигурности (CNS)** (1994)
 - b. **Заједничка конвенција о сигурности управљања истрошеним горивом и о сигурности управљања радиоактивним отпадом** (1997)
 - c. **Конвенција о раном обавештавању о нуклеарним несрећама** (1986)
 - d. **Конвенција о помоћи у случају нуклеарних несрећа или радиолошке опасности** (1986)
2. Инструменти у области нуклеарне безбедности и заштите
 - a. **Уговор о неширењу нуклеарног оружја (NPT)** (1968)

- b. **Свеобухватни споразум о гаранцијама (safeguards) (CSA)** са МААЕ
 - c. **Додатни протокол уз Споразум о гаранцијама**
 - d. **Конвенција о физичкој заштити нуклеарног материјала (CPPNM) (1980)**
 - e. **Амандман на Конвенцију о физичкој заштити нуклеарног материјала (CPPNM амандман) (2005)**
3. Грађанскоправна одговорност у случају нуклеарне штете
- a. **Бечка конвенција о грађанској одговорности за нуклеарне штете (1963)** (и пожељно њен Протокол из 1997)
 - b. **Конвенција о допунској накнади за нуклеарну штету (CSC) (1997)** — или барем разматрање о придруживању (*напомена: алтернативно, неке земље се одлучују за Париску конвенцију и Бриселску допунску конвенцију, али су оне под оквиром ОЕСД-а и више су европски усмерене*)
4. Остали релевантни уговори и споразуми
- a. **Конвенција о процени утицаја на животну средину у прекограничном контексту (Еспоо конвенција) (1991)**
 - b. **Архуска конвенција о приступу информацијама, учешћу јавности у одлучивању и приступу правди у питањима животне средине (1998)**
 - c. **Конвенције Међународне организације рада (International Labor Organization, ILO)** које се односе на заштиту радника од зрачења
5. Регионални инструменти и инструменти везани за ЕУ (како Србија напредује ка усклађивању са ЕУ)
- a. Усклађеност са **ЕУРАТОМ Уговором**
 - b. Учешће у заштитним мерама и програмима сарадње Еуратома.

✦ Препоруке 3

Током Фазе 1, НЕПЮ треба да:

- i. Спроведе детаљан преглед постојећих закона и прописа како би се утврдиле празнине и области за побољшање и утврди **временски план за усклађивање са релевантним међународним стандардима и најбољим праксама.**
- ii. **Почевши крајем Фазе 1 и настављајући у Фази 2: Јачање капацитета и надлежности Независног тела за нуклеарну сигурност**
 - a. **Координирати развој мапе пута регулаторног оквира на високом нивоу која је усклађена са предвиђеним програмом нуклеарне енергије.** Овај план треба да узме у обзир постојећа међународна искуства, постојећи регулаторни оквир Србије за радијациону сигурност и нуклеарну безбедност и утврди области које треба унапредити. Независно тело за сигурност треба да се активно консултује током овог процеса и на крају ће бити одговоран за израду, усвајање и спровођење неопходних детаљних прописа.
 - b. Обезбедити **адекватне ресурсе и особље** ради ефикасног надзора и спровођења прописа, те утврђивање потенцијалних виших руководилица за регулаторно тело.

- с. **Подстицати међународну сарадњу**, партнерство са искусним земљама и организацијама, као што су МААЕ и Европска комисија, ради приступа техничкој помоћи и регулаторној експертизи.

3.4.4. Покретање прелиминарних техничких студија

Србија се налази на критичној раскрсници у дефинисању свог будућег енергетског микса. Стратегија земље мора пажљиво уравнотежити **енергетску сигурност, економски раст, декарбонизацију и отпорност система**. Развијено је неколико сценарија за процену енергетске будућности Србије, од којих сваки укључује различите комбинације **обновљивих извора енергије, хидроенергије, природног гаса и нуклеарне енергије**. Међутим, ови сценарији морају бити анализирани холистички, избегавајући поређења заснована искључиво на **Економској цени енергије (енг. Levelized Cost of Energy - LCOE)**. Иако је LCOE важна метрика, она не узима у обзир шире системске користи као што су отпорност, потенцијал за смањење емисије угљеника и енергетски суверенитет.

Оптимални енергетски микс за Србију зависиће од више фактора, укључујући:

- **Потенцијал за обновљиве изворе енергије:** Процена капацитета земље за развој соларне, ветро и хидроенергије.
- **Потенцијал за нуклеарну енергију:** Процена изводљивости и утицаја увођења нуклеарне енергије као извора базне ниско-угљеничне електричне енергије.
- **Капацитет мреже и интеграција система:** Обезбеђивање да систем располаже довољним капацитетом за прикључење нових извора енергије и нуклеарних електрана великих капацитета.
- **Трошкови технологије и доступност инвестиција:** Балансирање краткорочне приступачности са дугорочним предностима.
- **Могућности увоза и извоза:** Коришћење регионалних енергетских тржишта за оптимизацију понуде и потражње.

Регионална сарадња је од кључног значаја у случају енергетске стратегије Србије, како за обезбеђивање безбедности снабдевања, тако и за повећање конкурентности земље у производњи електричне енергије. **Министарство рударства и енергетике** покренуло је регионални кризни план у партнерству са **Северном Македонијом и Албанијом** како би развило мере за ванредне ситуације за поремећаје у снабдевању енергијом током зиме 2022-2023. У оквиру тог напора, успостављена је заједничка радна група са циљем да се размотре ризици по снабдевање и испитају могућности сарадње на великим стратешким енергетским пројектима.

Штавише, **Интегрисани национални енергетски и климатски план (ИНЕКП)** наглашава значај регионалне сарадње у постизању транзиције Србије ка чистој енергији. Изградња нових интерконекија и диверзификација рута снабдевања су од суштинског значаја за побољшање отпорности и стабилности.

Изводљивост и конкурентност пројекта нуклеарне електране у великој мери зависе од **доступности одговарајућих локација**. Утврђивање и обезбеђивање ових локација је кључни корак у Фази 1 нуклеарне мапе пута. Процес селекције мора узети у обзир широк спектар техничких, еколошких и логистичких фактора како би се осигурало да одабране локације испуњавају све сигурносне и оперативне захтеве.

✦ Кључни критеријуми за избор локације обухватају:

- **Геолошке карактеристике:** Стабилност и погодност локације да издржи сеизмичке и еколошке ризике.
- **Капацитет хлађења:** Близина поузданих извора воде за потребе хлађења, што је од суштинског значаја за рад нуклеарних електрана.
- **Индуковане опасности:** Процена оближњих индустријских активности, густине насељености и потенцијалних спољних опасности.
- **Интеграција мреже и доступност транспорта:** Доступност преносне инфраструктуре и приступ за изградњу и одржавање.

✦ **Препоруке 4:**

- i. **Унапређење анализе сценарија енергетског микса:** у оквиру трипартитног споразума о партнерству са AFD и RTEi, српска студија „Енергетски путеви до 2050. године“ пружиће свеобухватну, вишекритеријумску анализу будућег енергетског микса земље. Ова студија ће се надовезати на ИНЕКП сценарио S-N и применити проверену методологију RTEi-а, која укључује разматрања отпорности, декарбонизације и енергетског суверенитета изван основног поређења трошкова, истовремено појашњавајући потенцијалну улогу нуклеарне енергије у транзицији Србије.
- ii. **Спровођење компаративне анализе локације,** утврђујући потенцијалне локације нуклеарних електрана на основу геолошке подобности, капацитета хлађења, индукованих опасности и логистичких фактора. Проценити и рангирати ове локације користећи транспарентне, стандардизоване критеријуме како би се донела добро информисана одлука о жељеној локацији.
- iii. **Проценити нуклеарну интеграцију у мрежу:** за сваку локацију која је ушла у ужи избор, анализирати техничке и финансијске захтеве за повезивање нуклеарних капацитета с електроенергетским системом и припремити планове за јачање мреже, укључујући нове далеководне или интерконеције, како би се осигурала стабилна и отпорна интеграција нуклеарне енергије.
- iv. **Осигурати да су релевантне технички компетентне организације заступљене у NEPIO**

3.4.5. Развој људских капацитета

Развој људских капацитета је темељ одрживог развоја нуклеарног програма Србије. То је дугорочан процес који захтева континуирано улагање и прилагођавање. Успешан нуклеарни програм захтева не само техничку експертизу, већ и добро заокружену радну снагу способну да подржи сваку фазу нуклеарног животног циклуса - од планирања и изградње до рада, одржавања и декомисије. Успостављање свеобухватног оквира за образовање и обуку је од кључног значаја за постизање овог циља.

Србија мора дати приоритет развоју **људских ресурса** на институционалном и техничком нивоу како би осигурала безбедно, ефикасно и одрживо увођење нуклеарне енергије. То ће подразумевати изградњу **мултидисциплинарне радне снаге** састављене од инжењера, техничара, регулаторних стручњака, инспектора за безбедност, руководилаца пројеката и стручњака за комуникације.

На основу међународних референтних модела за земље које уводе нуклеарни програм, типична расподела потреба за радном снагом по различитим фазама програма нуклеарне енергије могла би бити следећа:

- Фаза 1 и 2 (припремна и претпројектна фаза):
 - Око 60–70% усмерено на изградњу институционалних и регулаторних капацитета (правни стручњаци, стручњаци за лиценцирање, тимови за комуникацију с јавношћу, аналитичари политике);
 - Око 30–40% у техничким областима предизводљивости (студије мреже, анализа локације, стручњаци за утицај на животну средину).
- Фаза 3 (уговарање и изградња):
 - Структура радне снаге се помера на 70–75% техничких и инжењерских стручњака (грађевински, машински, нуклеарни и електроинжењери, инспектори за осигурање квалитета, руководиоци пројеката);
 - 25–30 % наставља са регулаторним надзором и ангажовањем заинтересованих страна како би надгледали безбедност и транспарентност.
- Фаза рада (пуштање у рад и рад нуклеарне електране):
 - Приближно 65–70% оперативног особља постројења (оперотери реактора, инжењери одржавања, службеници за безбедност);
 - 15–20 % посвећено регулаторној инспекцији и надзору;
 - 10–15 % у јавној комуникацији, приправности за ванредне ситуације и дугорочном развоју политике.

У целини посматрано, развој одрживе нуклеарне радне снаге ће захтевати комбинацију програма високог образовања, специјализоване стручне обуке, међународних упућивања и партнерстава са успостављеним нуклеарним организацијама. Рано улагање у изградњу људских капацитета је од кључног значаја за одржавање рокова пројекта, обезбеђивање безбедности и испуњавање међународних стандарда.

Сарадња са међународним организацијама као што су МААЕ, Европска мрежа за нуклеарно образовање (ENEN) и IZEN (Међународни институт за нуклеарну енергију); Развој домаће експертизе, увођење стипендија за специјализоване степене у областима везаним за нуклеарну енергију и финансирање **међународних могућности студирања за националне таленте**; партнерство са етаблираним нуклеарним земљама како би се **стекла обука на радном месту и менторство** од искусних стручњака: то су кључна разматрања која треба узети у обзир како би се развила здрава радна снага.

✦ Препоруке 5:

- i. **Сарађивати са искусним партнерима:** Сарадња са МААЕ, европским институцијама и искусним индустријским партнерима на осмишљавању програма обуке и размени најбољих пракси.
- ii. **Проценити тренутне способности и идентификовати будуће потребе:** Спровести свеобухватну евалуацију постојећих вештина, знања и компетенција у енергетском сектору Србије како би се успоставила основа за планирање људских ресурса.
- iii. **Извршити анализу недостатака (gap-анализу):** Утврдите конкретне недостатке у вештинама и развијте циљану стратегију за њихово решавање, осигуравајући да је радна снага спремна да испуни захтеве сваке фазе нуклеарног програма.
- iv. **Имплементирати јасан акциони план:** Развити националну стратегију изградње људских капацитета, која треба да обухвата образовне програме, техничку обуку, менторство и међународну сарадњу.

- v. **Развити платформу за ангажовање српске дијаспоре:** Сарадња са Министарством спољних послова и амбасадама Србије широм света како би се утврдила стручност српских грађана који живе у иностранству и предложили атрактивни планови који подстичу њихов повратак и допринос развоју Србије.

Добро обучена радна снага је од суштинског значаја за обезбеђивање безбедности, ефикасности и одрживости нуклеарног програма Србије. Улагањем у изградњу људских капацитета сада, Србија не само да ће испунити захтеве својих нуклеарних амбиција, већ ће поставити темеље за **дугорочни економски раст, иновације и самосталност**.

3.4.6. Индустијско учешће

Укључивање индустрије је кључни стуб за обезбеђивање успешне имплементације и дугорочне одрживости нуклеарног програма Србије. Добро развијена локална индустријска база не само да ће смањити зависност од спољних добављача, већ ће створити и могућности за економски раст, отварање радних места и трансфер технологије. Интеграцијом српске индустрије у глобални ланац нуклеарног снабдевања, земља може да се позиционира као активни учесник у међународном нуклеарном сектору, истовремено јачајући своје домаће капацитете.

Свеобухватна стратегија за индустријско укључивање треба да се фокусира на два главна циља:

1. **Мапирање и процену постојећих индустријских способности:** Идентификовати индустрије и компаније које имају потенцијал да допринесу нуклеарном ланцу снабдевања, проценити њихову спремност и обезбедити циљану подршку како би се испунили захтеви нуклеарне индустрије.
2. **Подстицање партнерства и трансфер знања:** Изградити партнерство између српских компанија и искусних међународних нуклеарних добављача ради лакшег преноса технологије, унапређења стандарда квалитета и јачања домаће стручности.

Кључне компоненте индустријског развоја

✘ Мапирање и процена индустријских способности

Први корак у развоју индустријског учешћа је мапирање тренутне индустријске структуре Србије и процена који сектори потенцијално могу да допринесу нуклеарном програму. Ово мапирање треба да идентификује локалне компаније у областима као што су грађевинарство, инжењерство, производња, логистика и информационе технологије. Способности сваке компаније треба проценити у односу на специфичне захтеве нуклеарних пројеката, као што су прецизна производња, поштовање безбедносних стандарда и осигурање квалитета.

✘ Стратегија фазне локализације

С обзиром на сложеност нуклеарних пројеката, треба усвојити **стратегију фазне локализације**. Ова стратегија почиње укључивањем локалних компанија у помоћне услуге (нпр. грађевински радови, логистика и грађевински материјали) и постепено се шири на напредније компоненте и системе како локална индустрија стиче искуство и капацитете. Овај приступ минимизира ризике док максимизира локално учешће током времена.

- **Фаза 1:** фокус на основним услугама, као што су грађевинарство, припрема локације, логистика и помоћна подршка;
- **Фаза 2:** проширење на производњу компоненти, електричне системе и машинску опрему;
- **Фаза 3:** развој напредних производних капацитета за компоненте специфичне за нуклеарну област, инструменталне системе и системе управљања.

✘ Усклађеност са нуклеарним стандардима и безбедносном културом

Нуклеарна индустрија послује под **строгим стандардима квалитета и безбедности**, укључујући ISO 19443, који се посебно односи на добављаче у нуклеарном сектору. Локалне компаније морају бити обучене да усвоје ове стандарде и укључе јаку безбедносну **културу** у своје пословање. Усклађеност није само технички услов, већ и основни аспект изградње поверења са међународним партнерима и обезбеђивања дугорочног успеха пројекта.

✘ Изградња дугорочних међународних партнерстава

Успостављање партнерства са искусним међународним добављачима и нуклеарним операторима је од суштинског значаја за убрзавање изградње локалних капацитета. Ова партнерства могу помоћи српским компанијама да испуне стандарде нуклеарне индустрије, смање криве учења и интегришу се у глобални ланац нуклеарног снабдевања. Велико искуство EDF-а у управљању сложеним екосистемима ланца снабдевања може послужити као модел за овај процес.

✘ Учествовање у глобалним ланцима нуклеарног снабдевања

Поред доприноса националном нуклеарном програму, домаће компаније могу тражити могућности да учествују у глобалним ланцима нуклеарног снабдевања, пружајући производе и услуге за пројекте у Европи и другим регионима. Изградња капацитета за испуњавање међународних нуклеарних стандарда квалитета и сигурности повећала би конкурентност локалних индустрија и отворила могућности за дугорочни раст, диверзификацију и интеграцију у глобални нуклеарни сектор.

✘ **Препоруке 6:**

- i. **Мапирање националних и регионалних индустријских способности**
 - a. **Спровести детаљну процену постојећих индустријских капацитета** и проценити њихову спремност за учешће у нуклеарним пројектима.
 - b. **Идентификовати секторе са високим потенцијалом за укључивање** и проценити ниво инвестиција потребних за испуњавање нуклеарних стандарда.
- ii. **Програм Академије добављача**
 - a. **Покренути прелиминарне тренинге у вези са нуклеарном технологијом и основама изврности добављача**, посвећене кључним индустријским актерима и члановима NEPIO-а.
 - b. **Дефинисати наменски план развоја добављача**, уз подршку искусних партнера.

Добро спроведена стратегија индустријског развоја не само да ће подржати успех нуклеарног програма Србије, већ ће створити и трајне економске користи подстичући локалне иновације, отварање радних места

и међународну конкурентност. Изградњом јаке мреже способних локалних добављача, Србија може да се етаблира као кључни играч у регионалној и глобалној нуклеарној индустрији.

3.4.7. Средства и финансирање

Обезбеђивање свеобухватне и одрживе стратегије финансирања од суштинског је значаја за остваривање нуклеарних амбиција Србије. Развој програма нуклеарне енергије је **дугорочан, капитално интензиван подухват** који захтева значајна финансијска средства. Стога, ефикасна стратегија мора комбиновати **учешће јавног и приватног сектора**, искористити **међународне могућности финансирања** и осигурати да је финансијска структура стабилна, транспарентна и усклађена са међународним стандардима.

3.4.7.1. Кључни извори средстава

1. **Јавно финансирање:** Финансирање под вођством владе игра кључну улогу у раним фазама програма како би се подмирили трошкови студија изводљивости, развој регулаторног оквира и изградњу капацитета. Директне јавне инвестиције показују националну посвећеност и помажу у привлачењу спољних инвеститора.
2. **Извозне кредитне агенције (Export Credit Agencies, ECA):** ECA пружају важну финансијску подршку, посебно током **фазе 2 и фазе 3** нуклеарне мапе пута. Њихово учешће може бити у облику **техничке помоћи, гаранција и дугорочних кредита** за припрему пројеката и грађевинске активности.
3. **Развојне банке и међународне финансијске институције:** Институције као што су **Европска инвестициона банка (ЕИБ) и Светска банка** могу понудити концесијске кредите за развој инфраструктуре и активности изградње капацитета везане за нуклеарни програм.
4. **Учешће приватног сектора и јавно-приватна партнерства (Public-Private Partnership, PPP):** Приватни сектор може играти значајну улогу у финансирању и управљању одређеним аспектима пројекта, посебно кроз PPP моделе. Овај приступ може смањити финансијски терет који трпи влада и промовисати већу ефикасност

3.4.7.2. Развијање снажне финансијске стратегије

Да би Србија привукла и обезбедила међународно финансирање, од кључног је значаја да се успостави **свеобухватан пословни модел и регулаторни и уговорни оквир** који је усклађен са најбољим праксама у финансирању пројеката. Кључни елементи успешне стратегије финансирања обухватају:

1. Чврст пословни модел и могућност финансирања

Чврст пословни случај је од суштинског значаја за обезбеђивање финансирања и обезбеђивање дугорочне одрживости пројекта. Мора да обухвати:

- **Пројекцију прихода:** Јасно дефинисати очекиване зараде, укључујући продају електричне енергије и могућности извоза.
- **Структуру трошкова:** Обезбедити транспарентну и реалну процену укупних трошкова пројекта, укључујући трошкове изградње, рада и затварања.
- **Мере за ублажавање ризика:** Идентификовати потенцијалне ризике и навести стратегије за управљање и ублажавање истих.

2. Свеобухватна анализа ризика

Утврђивање, процена и расподела ризика су од суштинског значаја за обезбеђивање финансирања нуклеарне електране. Кључни ризици које треба решити обухватају:

- **Грађевинске ризике:** Кашњења и прекорачења трошкова.
- **Регулаторне ризике:** Неизвесност везана за лиценцирање и усклађеност.
- **Ризике за набавке:** Изазови у набавци нуклеарних компоненти; потенцијална потреба за **lex specialis** оквиром.
- **Тржишне ризике:** Флуктуације у ценама електричне енергије и потражње.
- **Оперативне ризике:** Технички кварови и проблеми са одржавањем.

3. Регулаторни и уговорни оквир

Развијање стабилног и транспарентног регулаторног окружења је од кључног значаја за привлачење инвеститора. Ово обухвата:

- **Оквире за лиценцирање и издавање дозвола:** Јасне и предвидиве процедуре за избор локације, изградњу и рад.
- **Уговоре и споразуме о куповини електричне енергије (Power Purchase Agreements):** Обезбедити дугорочне уговоре о продаји електричне енергије како би се смањио тржишни ризик и побољшала финансијска одрживости пројекта.

4. Конкурентно и комбиновано финансирање

Стратегија финансирања треба да истражи **механизме комбинованог финансирања** - који комбинују јавна средства са концесионим кредитима, извозним кредитима и инвестицијама приватног сектора. Примери су:

- **Јавно финансирање по преференцијалним стопама:** Влади кредити са ниским каматама за покривање трошкова пројекта у раној фази.
- **Извозни кредити са могућношћу рефинансирања:** Приступ конкурентним каматним стопама преко агенција за извозни кредит, са опцијама рефинансирања како пројекат буде напредовао.

✖ Препоруке 7:

- Проценити постојеће механизме:**
 - Спровести детаљан преглед доступних опција финансирања (нпр. регулисана база имовине, уговори о куповини електричне енергије, суверене гаранције).
 - Користити ову процену за дизајнирање регулаторног оквира са јасно подељеним одговорностима, обезбеђујући стабилност прихода за инвеститоре и приступачност за потрошаче.
- Успоставити националне модалитете финансирања:**
 - Дефинисати како ће Србија финансирати развој свог нуклеарног програма кроз наменско законодавство или специјализоване инструменте финансирања.

- b Одредити услове под којима јавни и приватни извори доприносе, пружајући јасан пут и за трошкове у раној фази и за дугорочно ширење пројекта.
- iii. **Уредити улогу државе у смањењу финансијских ризика:**
 - a Улога Владе у обезбеђивању сигурног тока прихода, као и
 - b Улога у обезбеђивању потребног дуга и капитала за пројекат.

Добро осмишљена стратегија финансирања не само да ће омогућити Србији да покрене свој нуклеарни програм, већ ће и обезбедити њену финансијску одрживост на дужи рок. Користећи међународну експертизу и могућности финансирања, Србија може да смањи ризике, привуче инвестиције и обезбеди неопходне ресурсе за остварење својих енергетских амбиција.

3.5. Потребни ресурси и процене трошкова за фазе 1 и 2

(Под претпоставком да Фаза 1 траје 2 године, а Фаза 2 траје 5 година)

3.5.1. Увод

Овај одељак даје индикативни преглед потреба за људским ресурсима, активности на макро нивоу и приближне процене трошкова за земљу која ступа у процес (овде је као пример узета Србија) која се припрема за програм нуклеарне енергије у складу са Приступом прекретница МААЕ. Конкретно:

- **Фаза 1 (2 године)** усмерена је на фазу претходне изводљивости, национално доношење одлука, рано постављање правног и регулаторног оквира и успостављање почетног координационог тела (НЕРІО).
- **Фаза 2 (5 година)** обухвата детаљне активности развоја пројекта, као што су избор локације, процена технологија/добављача, детаљна разрада регулаторног оквира и постепено јачање регулаторног тела и будућег власника/оператора.

Сви овде наведени подаци су илустративне природе и морају бити прилагођени стварним националним околностима (нпр. постојећим институционалним капацитетима, локалном тржишту рада). Активности полазе од претпоставке поједностављеног сценарија, без значајнијих политичких или финансијских кашњења.

3.5.2. Кључне организације и њихове улоге

- **НЕРІО (Организација за имплементацију програма нуклеарне енергије)**
 - Састоји се од представника владиних министарстава, академске заједнице и спољних саветника/експерата.
 - Координира националне активности, спроводи стратешке студије и повезује се са заинтересованим странама.
 - Има водећу улогу у Фази 1 и наставља да функционише као координационо тело у Фази 2, иако са постепено смањеним опсегом јер власник/оператор и регулаторно тело постепено преузимају више одговорности.
- **Регулаторно тело**
 - Законски овлашћено тело одговорно за нуклеарну сигурност, заштиту од зрачења, безбедност и заштитне мере.
 - У Фази 1 почиње изградњу капацитета, разматра законодавне недостатке и израђује свеобухватни регулаторни оквир.
 - У Фази 2, значајно се проширује како би се детаљно развили прописи, дефинисали процеси лиценцирања и надгледале почетне активности лиценцирања добављача или локације.
- **Власник/оператор**
 - Евентуални субјекат (предузеће или друштво посебне намене) који ће бити власник нуклеарне електране и њоме управљати.
 - У Фази 1, оно тек настаје или је у облику пројектне канцеларије.

- У Фази 2, он значајно расте, предузима студије изводљивости пројекта, истраживања локације, избор технологије и припрема се за евентуалну изградњу и рад.

3.5.3. Фаза 1 (2 године) — Активности и потребни ресурси

Фазу 1 мора првенствено водити NEPIO, који ће усмеравати и координирати све активности програма нуклеарне енергије, од гар-анализа правног и регулаторног оквира, до ангажовања заинтересованих страна. Имајући у виду свеобухватни циљ Фазе 1 - односно потврђивање националне посвећености развоју нуклеарног програма и успостављање почетних оквира - **већина одговорности треба да почива на NEPIO**.

Прелиминарне активности за **будуће регулаторно тело** и **власника/оператора** ће почети крајем Фазе 1 како би се убрзала Фаза 2, али обе организације остају у **почетној фази планирања**, пре него што ће бити активне у потпуности. То омогућава да се главни ресурсни захтеви за регулаторно тело и власника/оператора пренесу у Фазу 2, након што се потврди одлука Владе да се настави са програмом.

✦ Кључни циљев

- **Успоставити NEPIO и потврдити националну позицију:** Формално успоставити NEPIO, спровести претходне студије изводљивости и осигурати политички консензус о томе да ли да се настави са нуклеарном енергијом.
- **Почетна анализа законодавних и регулаторних празнина:** Утврдити недостатке у постојећим законима, предложити ново законодавство или амандмане на нуклеарну регулативу.
- **Планирање на високом нивоу:** Изнети опције финансирања, стратегије развоја људских ресурса, кампање ангажовања заинтересованих страна и следеће кораке за скрининг избора локације.
- **Ангажовање заинтересованих страна:** Започети структурирану комуникацију са јавношћу, креаторима политике, медијима и цивилним друштвом.

✦ Типично особље — Фаза 1

■ NEPIO

- укупно око 15–20 ангажованих у пуном радном времену (комбинација виших стручњака за политику, правне послове, техничке послове и комуникацију).
- 2–4 виша руководиоца (често упућени из министарстава/електропривредних предузећа); 10–15 особа на средњем/нижем нивоу.
- додатни ангажман консултаната са непуним радним временом или спољних стручњака (МАНЕ или међународни).

■ Регулаторни орган и власник/оператор

- У другом делу Фазе 1, тимови ограниченог обима (нпр. по неколико запослених у сваком) ће почети постављати темеље за регулаторно тело и власника/оператора. Ови тимови, који раде под укупном координацијом NEPIO-а, би:
 - Припремили нацрт иницијалних организационих мандата и оперативних процедура.
 - Започели са развојем буџетских и кадровских стратегија.

- Утврдили ране могућности обуке или стипендирања.
- Укључили се у прелиминарне консултације са заинтересованим странама (посебно са министарствима, локалним заједницама и индустријом).
- Сврха ових тимова ограниченог обима је да убрзају **спремност за Фазу 2**; тако да, у тренутку када званична одлука о наставку буде донета, ови субјекти могу брже да прошире своје капацитете.

3.5.4. Фаза 2 (5 година) — Активности и потребни ресурси

Када се донесе формална одлука о наставку програма, регулаторно тело и власник/оператор пролазе кроз значајно **јачање капацитета**. Ово обухвата:

- Проширење кадра регулаторног тела за подршку лиценцирању, евалуацији локације и изради даљих прописа.
- Проширење кадра власника/оператора да надгледа истраживања локације, избор добављача, студије изводљивости, преговоре о уговорима и финансирање.

✦ Кључни циљеви

- **Студије изводљивости и избор локације:** Спровести детаљна истраживања локације, процене утицаја на животну средину и консултације са заинтересованим странама које воде ка лиценцирању локације.
- **Анализа технологије/добављача:** Тражити понуде или предузети директне преговоре, проценити техничке и комерцијалне понуде и коначно одредити технологију.
- **Регулаторни оквир у пракси:** Израдити детаљне прописе и смернице за лиценцирање, инспекцијски надзор и спровођење прописа. Спровести прегледе спремности за наредне кораке лиценцирања.
- **Финансирање и уговарање:** Обезбедити услове финансирања (државне гаранције, извозни кредити, ЈПП, итд.), припремити уговоре за добављача или компанију која спроводи инжењеринг, набавку, и изградњу (EPC).
- **Интензивирање развоја људских ресурса:** Проширити кадрове регулаторног тела и власника/оператора кроз специјализоване обуке, стипендије и међународна партнерства.
- **Ангажовање заинтересованих страна:** Интензивирати јавне информативне кампање, посебно око коначног избора локације, технологије и утицаја на животну средину или сигурност.

✦ Типично особље — Фаза 2

■ NEPIO

- Улога NEPIO-а се током Фазе 2 по правилу смањује или преусмерава, јер власник/оператор и регулаторно тело постају главни носиоци спровођења програма.
- Организација се може смањити на око 10 стално ангажованих за послове координације на вишем нивоу и задатке у области јавних политика, уз консултанте са непуним радним временом, по потреби.

■ Регулаторно тело

- Мора значајно да ојача своје капацитете како би могло да води поступке лиценцирања, избора локације, процене сигурности и инспекцијског надзора.
- Раст од ~ 5 запослених у пуном ангажману на крају Фазе 1 до ~ 40–50 запослених у пуном ангажману до краја Фазе 2, укључујући стручњаке за реакторску технологију, анализу безбедности, процену животне средине, безбедност и правна питања.
- Интензивни програми обуке, техничка сарадња и рецензије су од кључног значаја (нпр. мисије МААЕ, сарадња са етаблираним регулаторима).

■ Власник/оператор

- Број запослених расте од малог пројектног тима (~ 4 људи у Фази 1) до ~ 40–60 особа до краја Фазе 2.
- Укључује руководиоце пројеката, уговорне/правне стручњаке, нуклеарне инжењере, аналитичаре сигурности, тимове за планирање, корпоративну подршку итд.
- Почиње структурирање набавке за будућу нуклеарну електрану (опрема и компоненте са дугим роковима испоруке, развој ланца снабдевања).

3.5.5. Укратко

Скраћивање Фазе 1 на **2 године** и продужење Фазе 2 на **5 година** уопштено посматрано скраћује почетни период националног доношења одлука, а продужава време за детаљан развој пројекта. Укупни ефекат је следећи:

- **Фаза 1:** Интензивнији, усмеренији временски оквир за завршетак претходне студије изводљивости, формирање НЕPIO-а, покретање активности усмерених ка заинтересованим странама и израду основног законодавног оквира.
- **Фаза 2:** Дужи временски оквир за спровођење темељних испитивања локације, јачање регулаторног тела, финализацију финансирања и спровођење детаљних припрема у области инжењерства и лиценцирања.

До краја Фазе 2 (укупно 7 година), земља би, у идеалном случају, била спремна да распише позив за достављање понуда за нуклеарну електрану, финализује уговоре или чак започне прелиминарне грађевинске активности — под условом да за то добије чврсто одобрење владе, регулаторног тела и кључних заинтересованих страна.

3.6. Предложени временски оквир – фокус на Фазу 1 и Фазу 2

У наставку је дат сажет приказ временске динамике макро-активности:

3.6.1. Фаза 1: Припремна фаза (око 2 године)

1. Успостављање НЕПЮ (месец 1.–3.)

- Владаина уредба о оснивању НЕПЮ и његов мандат.
- Именовање руководства и расподела почетних ресурса.
- Покретање прелиминарног планирања пројекта.

2. Претходне студије изводљивости и развој националног става (месец 3.–12.)

- Спровести техничке, економске и енергетске анализе система на високом нивоу.
- Прикупити ставове заинтересованих страна и ангажовати саветодавна тела.
- Развити прелиминарни национални став о нуклеарној енергији.
- **Главни резултат:** *Привремени свеобухватни извештај* (око 12. месеца).

3. Анализа законодавног и регулаторног јаза (месец 3.–18.)

- Проценити постојеће правне и регулаторне оквире у односу на стандарде МААЕ.
- Утврдити потребне нове законе, амандмане или секундарно законодавство.
- Припремити нацрте предлога за ажурирање законодавства.

4. Планирање развоја људских ресурса (месец 6.–18.)

- Идентификовати потребе радне снаге у владином, регулаторном и техничком сектору.
- Покренути партнерства са универзитетима и техничким институцијама.
- Успоставити почетне мапе пута обука и међународне сарадње.

5. Ангажовање заинтересованих страна и стратегија комуникације (у току)

- Покренути кампање подизања свести широм земље.
- Проактивно ангажовати цивилно друштво, академску заједницу, приватни сектор и медије.

6. Коначни национални став и развој стратегије (месец 15.–24.)

- Интегрисати налазе претходне студије изводљивости, повратне информације заинтересованих страна, и анализе јаза/празнина.
- Припремити свеобухватан **извештај** који сумира све резултате Фазе 1.
- Формулисати **нацрт Стратегије за развој мирнодопске употребе нуклеарне енергије**.
- **Главни резултати:**
 1. *Свеобухватни извештај* (око месеца 20.–22.).
 2. *Нацрт Националне стратегије* за усвајање у парламенту или влади.

7. Одлука о преласку на Фазу 2 (крај 2. године)

- Формална владина ревизија и одлука заснована на Свеобухватном извештају и стратегији.

3.6.2. Фаза 2: Припремна фаза развоја инфраструктуре (приближно 5 година)

1. Јачање регулаторног тела (година 1.-3.)

- Месеци 1–12:
 1. Регрутовати и обучити додатно регулаторно особље.
 2. Почети са израдом детаљних прописа.
- Година 2–3:
 3. Развити и усвојити детаљне прописе и процедуре за лиценцирање.
 4. Започети активности лиценцирања специфичне за локацију и проширити капацитете за инспекцију.

2. Проширење организације власника/оператера (година 1-5)

- Месеци 1–24: Развити пројектне и техничке тимове, започети истраживања локација, процену технологије, преговарање са добављачима.
- Година 3–5: Финализовати избор локације, потврдити технологију/добављача, напредак у финансијским аранжманима.

3. Детаљне студије изводљивости и процена утицаја на животну средину (година 1–2)

- Интензивне активности карактеризације локалитета (геолошке, хидролошке, животне средине).
- Покренути комплетно извођење Студија за процену утицаја на животну средину за локације у ужем избору.
- Припремити потребну документацију за дозволе за локацију.

4. Стратегија финансирања и структурирање уговора (почевши од 2. године)

- Дефинисати модел финансирања (јавни, приватни, ЈПП, или извозна кредитна подршка).
- Припремити прелиминарне пакете уговора за ПНГ испоручиоце (пројектовање-набавке-градња) и партнере у ланцу снабдевања.
- Ангажовати се са зајмодавцима и извозним кредитним агенцијама како би се ускладило структурирање пројекта.

5. Укључивање јавности и консултације (у току)

- Проширење комуникације са локалним заједницама у близини потенцијалних локација, представљање резултата процене утицаја на животну средину и разматрање забринутости јавности.

6. Резултати финализације Фазе 2 (године 4.–5.)

- Објединити налазе фазе 2 у *Завршни извештај о програму* који потврђује спремност.
- Достицање **2. прекретнице** МААЕ: Влада је спремна да донесе информисану одлуку о расписивању позива за достављање понуда или о почетку изградње.

7. Одлука о преласку на Фазу 3

- На основу процене коначне техничке, финансијске и регулаторне спремности.



РАДНИ ПАКЕТ #2

**ПРОЦЕНА ТЕХНОЛОГИЈЕ И
ИСТРАЖИВАЊЕ ТРЖИШТА
НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ**

4• Радни пакет бр. 2: Процена технологије и истраживање тржишта нуклеарне енергије

Ова прелиминарна техничка процена за евалуацију оправданости увођења нуклеарног енергетског програма у Србији, коју је урадила компанија Egis као технички саветник, спроведена је како би подржала Владу Републике Србије у доношењу информисаних, стратешких одлука у вези са могућим усвајањем нуклеарне енергије као дела своје дугорочне енергетске политике. Процена пружа рану, високопрофилну евалуацију технологија нуклеарних реактора које би могле помоћи Србији да постигне своје циљеве енергетске транзиције, укључујући декарбонизацију, диверсификацију и енергетску независност.

У својој суштини, ова студија има за циљ да понуди **структурисани, компаративни преглед доступних опција нуклеарних реактора**, обухватајући како конвенционалне дизајне, тако и мале модуларне реакторе (SMR) у развоју. Процена се фокусира на разумевање технолошке зрелости, спремности за примену, и укупне подобности ових технологија у односу на националне циљеве Србије, потребе енергетског система и будуће регулаторне оквира.

Како би се обезбедила чврста основа за будуће доношење одлука, студија процењује како се свака технологија усклађује са међународно признатим стандардима сигурности, регулаторним оквирима у ЕУ и смерницама Међународне агенције за атомску енергију (МААЕ). Ово укључује и преглед оквира за лиценцирање и потенцијалних изазова и путева који се могу појавити ако би Србија спроводила нуклеарни програм.

Паралелно, студија пружа **индикативне увиде у финансијска разматрања као и у она која су у вези са испоруком**, као што су капитални издаци (CAPEX), оперативни трошкови (OPEX), модели финансирања и структуре распоређивања. Ови увиди се заснивају искључиво на подацима јавно доступним или оним које добављачи деле будући да нису поверљиви. Иако су детаљни комерцијални подаци у овом тренутку ограничени, студија обезбеђује транспарентну и доследну упоредну перспективу прикладну за планирање на нивоу прелиминарне процене изводљивости.

Још један кључни циљ је истражити **друштвене димензије и димензије животне средине** повезане са применом нуклеарне енергије. То укључује стратегије управљања отпадом, питања радијационе сигурности, импликације коришћења земљишта и воде, као и проблеме јавног мњења, од којих свака игра кључну улогу у дугорочној одрживости и прихватљивости нуклеарних пројеката.

Преознајући да успешна имплементација програма нуклеарне енергије није искључиво технолошко питање, студија такође испитује **потенцијал за стратешка партнерства и разматрања ланца снабдевања**. Она узима у обзир геополитички контекст добављача технологије, могућности прикључивања српске привреде нуклеарном програму и доступност искусних међународних партнера, укључујући извођаче пројектовања, набавке и изградње (ЕРС), оператере нуклеарних електрана и снабдеваче горивног циклуса, који могу допринети спровођењу пројекта.

Процена је развијена коришћењем структурираног аналитичког приступа који комбинује техничку експертизу са јавно доступним изворима података. Циљ је био да се обезбеди уравнотежен преглед разматраних технологија, уз очување транспарентности и доследности у поређењу потенцијалних опција.

Студија такође пружа подршку усаглашавању нуклеарних амбиција Србије са ширим националним циљевима. Пружањем структурисаних увида и транспарентне логике селекције, ова процена служи као средство за омогућавање детаљнијих студија изводљивости и за укључивање добављача, регулаторних тела и финансијских институција у наредним фазама.

На крају, истраживање доприноси **јачању капацитета и преносу знања** омогућавајући кључним заинтересованим странама основно разумевање опција нуклеарне технологије и вишедимензионалних разматрања која утичу на њихову примену. Поставља јасна очекивања и критеријуме за будуће фазе рада, истовремено истичући области у којима ће бити потребни додатни подаци, ангажовање или појашњење.

Укратко, ова прелиминарна студија изводљивости у оквиру Фазе 1 пружа стратешку, рану процену опција нуклеарне технологије прилагођених контексту Србије. Она не даје коначну препоруку, већ успоставља добро информисану, методолошки исправну основу за усмеравање будућих одлука о развоју нуклеарне енергије. 1

4.1. Увод

4.1.1. Позадина и обим високопрофилне процене

Ово поглавље пружа преглед ширег контекста и циљева који обликују ову високопрофилну анализу нуклеарних технологија. Док Србија истражује нуклеарну енергију као могуће решење за задовољавање будућих енергетских потреба, кључно је спровести прелиминарну, високопрофилну процену различитих нуклеарних технологија. Ова прелиминарна процена има за циљ да информише владине заинтересоване стране пружањем широког, стратешког разумевања расположивих нуклеарних опција, од конвенционалних реактора до малих модуларних реактора (SMR) у развоју, и њихове потенцијалне усклађености са националним енергетским циљевима Србије.

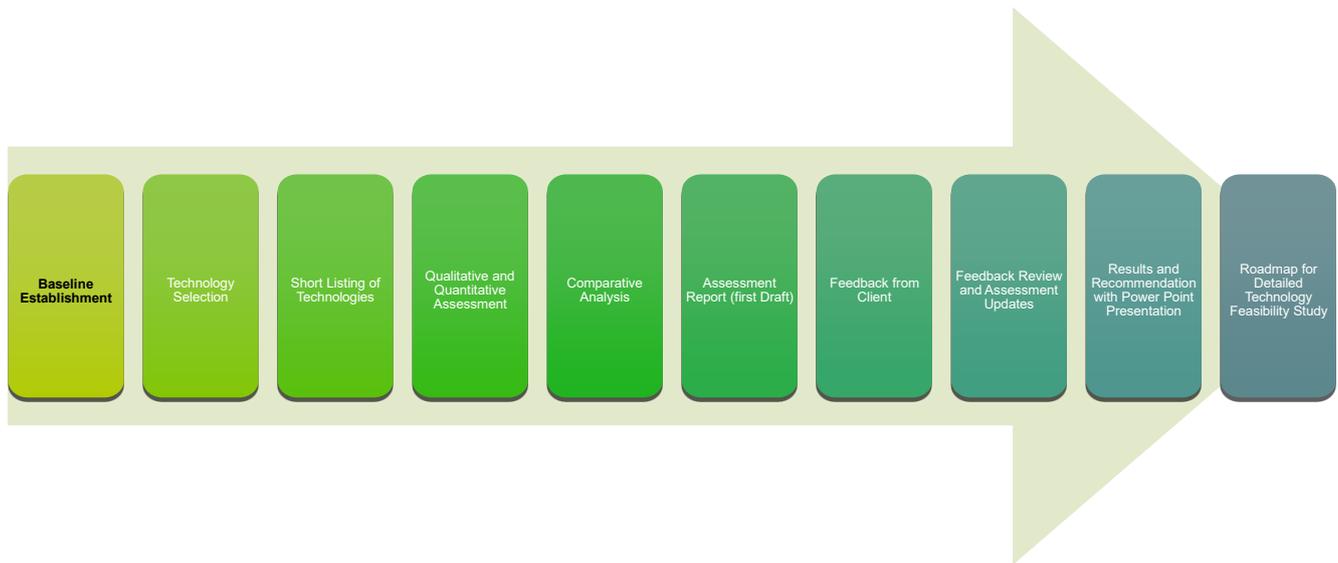
У складу са обимом услуга дефинисаним за овај задатак, процена је ограничена на технологије реактора треће генерације (Generation III) и треће генерације плус (Generation III+), укључујући и конвенционалне реакторе велике снаге и мале модуларне реакторе (SMR). Технологије четврте генерације (Generation IV) или експерименталне технологије су експлицитно искључене из ове евалуације.

Обим процене је осмишљен да да заинтересованим странама прелиминарни увид у:

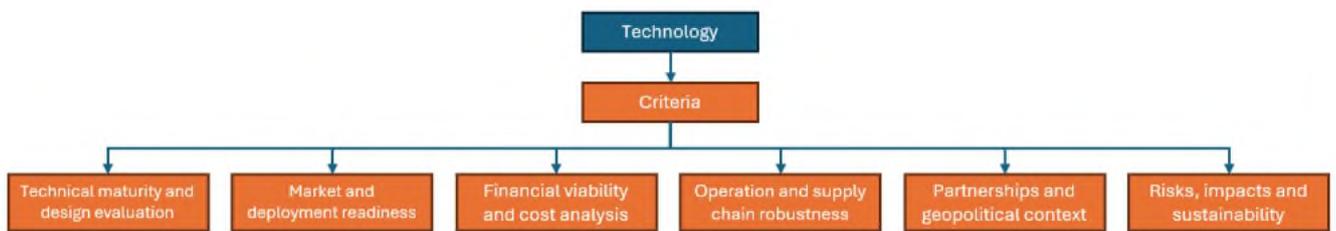
- **Технолошку зрелост:** Преглед тренутног стања нуклеарних технологија, како конвенционалних тако и малих модуларних реактора (SMR), укључујући степен развоја њиховог дизајна, оперативну историју и спремност за примену.
- **Лиценцирање и регулаторна разматрања:** Испитивање усаглашености сваке технологије са међународним сигурносним стандардима и потенцијалних регулаторних изазова за Србију (критеријуми ЕУ).
- **Економска и финансијска одрживост:** Анализа трошкова, опција финансирања и економске изводљивости у контексту буџетских ограничења и финансијских ресурса Србије.
- **Утицај на друштво и животну средину:** Процена еколошког отиска, пракси управљања отпадом и друштвеног прихватања нуклеарних технологија, који су кључни за обезбеђивање одрживости.
- **Геополитички и партнерски фактори:** Разматрање потенцијалних међународних партнерстава, солидности ланца снабдевања и геополитичких ризика повезаних са добављачима технологија, што ће бити од суштинске важности за успостављање сигурне, дугорочне сарадње.

Ова уводна процена није намењена да даје коначне препоруке већ да пружи основу за даље, детаљније студије изводљивости. Она идентификује перспективне технологије и потенцијалне изазове, креирајући путоказ за будући процес одлучивања о нуклеарној енергији у Србији. На крају, увиди прикупљени у овој прелиминарној студији ће помоћи да се нуклеарни амбиције Србије ускладе са њеним стратешким енергетским циљевима, регулаторним захтевима и економским могућностима, припремајући тло за детаљнији и информисанији процес избора технологије.

4.1.2. 1 Квалитативни према квантитативном приступу процени



Приступ процене опција нуклеарне технологије користи уравнотежену комбинацију квалитативних и квантитативних критеријума како би се обезбедила свеобухватна евалуација, као што је илустровано на слици. Овај двоструки приступ пружа холистички увид у снаге, изазове и прикладност сваке технологије за енергетске циљеве Србије.



2 Квалитативна димензија фокусира се на аспекте који захтевају стручну процену и контекстуално разумевање. Она пружа стратешку перспективу потенцијалних предности, изазова и укупног позиционирања разматраних технологија у ширем контексту развоја нуклеарног програма.

Квантитативна димензија допуњује ову перспективу укључивањем доступних података и мерљивих показатеља тамо где постоје јавно доступне информације. Ови елементи обезбеђују чињеничну основу за подршку уводне упоредне процене технологија.

Заједно, квалитативне и квантитативне процене нуде мулти-димензионалну перспективу, осигуравајући да доносиоци одлука у Србији добију темељно и уравнотежено разумевање потенцијала сваке технологије. Овај приступ користи и техничке податке и стручну интерпретацију како би усмерио предстојећи процес детаљног одабира технологија.

4.1.3. 3 Методологија и критеријуми за избор технологије

Методологија која је коришћена за идентификацију нуклеарних технологија укључених у ову прелиминарну студију изводљивости прати структуриран процес анализе, дизајниран да пружи репрезентативан преглед технологија реактора које се тренутно разматрају у међународним нуклеарним програмима.

Сprovedена је почетна анализа доступних нуклеарних реакторских технологија, обухватајући како конвенционалне реакторе генерације III/III+, тако и мале модуларне реакторе (SMR) у развоју. Ова почетна анализа обухватила је технологије које су тренутно у развоју, у процесу добијања дозвола или у изградњи кроз међународне нуклеарне програме.

Из овог ширег технолошког спектра изабран је подскуп дизајна реактора за даљу припремну процену. Циљ овог избора био је да се задржи репрезентативан спектар технологија који одражава различите концепте реактора, приступе имплементацији и индустријске екосистеме који тренутно обликују глобално нуклеарно тржиште.

Технологије које су задржане за прелиминарну процену представљају уравнотежен репрезентативни збир дизајна реактора, релевантних за међународни нуклеарни сектор и потенцијално применљивих у контексту дугорочне енергетске стратегије Србије.

3

Пратећи овај структурирани, одозго-надоле приступ, процена методично сужава списак потенцијалних технологија, обезбеђујући усаглашеност са стратешким циљевима Србије уз разматрање техничких, финансијских, еколошких и друштвених аспеката. Резултат је добро утемељен избор технологија за детаљнију процену изводљивости у Србији.

4.1.3.1. Списак технологија

Овај одељак приказује почетну листу од 15 нуклеарних технологија разматраних за евалуацију. Ове технологије, категорисане у конвенционалне реакторе и мале модуларне реакторе (SMR), представљају полазну тачку систематског процеса одабира технологија. Кроз детаљну процену засновану на стратешким, техничким, економским и еколошким критеријумима, ова листа ће бити сужена на **9**¹ технологија — **4** конвенционална реактора и **5** SMR-а — које ће напредовати до фазе претходне студије изводљивости. Следеће табеле пружају преглед ових технологија.

✕ Реактори са водом под притиском (РВП)

Назив технологије	Земља порекла	Опис
EPR 1600	Француска	Реактор са водом под притиском (РВП) великог инсталисаног капацитета, са напредним сигурносним карактеристикама, са 4 кола, развијен од стране EDF/Framatome.
EPR 1200	Француска	Мања верзија EPR-а са 3 кола са побољшаном економском изводљивошћу, развијена од стране EDF/Framatome.
APR 1400	Јужна Кореја	Напредни РВП са побољшаном сигурношћу и оперативношћу, дизајниран од стране Korea Hydro & Nuclear Power.
VVER-1200	Русија	РВП руског дизајна са савременим сигурносним функцијама и високом ефикасношћу, развијен од стране ROSATOM.

¹ Иницијални обим био је 8 технологија

Назив технологије	Земља порекла	Опис
VVER-TOI	Русија	Побољшана верзија VVER-1200 са унапређеним дигиталним контролама и већим бројем пасивних система и конструктивности, развијена од стране ROSATOM.
AP1000	САД	РВП пројектован од стране Westinghouse са пасивним сигурносним системима и предностима модуларне изградње.
HPR1000 (Хуалонг Један)	Кина	РВП три плус генерације развијен од стране China General Nuclear (CGN) и China National Nuclear Corporation (CNNC). Он интегрише карактеристике из дизајна CPR1000 и ACP1000, нудећи побољшане системе сигурности, пасивне сигурносне карактеристике, перспективе за модуларну изградњу и стандардизовану изградњу централа у пару. У погону у Кини и међународно (нпр. Пакистан), са растућим глобалним интересовањем.
APR1000	Јужна Кореја	Напредни РВП са побољшаним сигурносним системима и системима управљања, дизајниран од стране Korea Hydro & Nuclear Power.

4•1•3•2• Реактори на тешку воду (РТВ)

Име технологије	Земља порекла	Опис
CANDU	Канада	Реактор на тешку воду, који користи гориво од природног уранијума и одликује се високом ефикасношћу, развијен од стране SNC-Lavalin.

4•1•3•3• Реактори на кључалу воду (РКВ)

Име технологије	Земља порекла	Опис
ABWR	Јапан/САД	Напредни реактор на кључалу воду (РКВ) заједнички развијен од стране GE Hitachi и Toshiba, препознатљив по могућности модуларне изградње.

✱ Реактори са водом под притиском (РВП) – Мали модуларни реактори

Име технологије	Земља порекла	Опис
NUWARD	Француска	EDF-ов концепт SMR фокусира се на скалабилност и нискоугљеничка решења за локалне мреже.

Име технологије	Земља порекла	Опис
NuScale	САД	Модуларни SMR са фокусом на пасивну сигурност и могућност флексибилне имплементације.
Rolls Royce SMR	Велика Британија	Пореклом из Уједињеног Краљевства, SMR који нуди перспективе модуларне изградње у скраћеном року.
SMR-300	САД	SMR компаније Holtec International дизајниран за приступачност и поузданост.
AP300	САД	Westinghouse-ова варијанта SMR-а заснована на њиховом AP1000 моделу реактора, фокусира се на сигурност и модуларност.
I-SMR	Јужна Кореја	КННП-ов SMR, прилагођен различитим применама, укључујући даљинско грејање и десалинизацију.
ACP100	Кина	Кинески дизајнирани SMR развијен од стране Националне кинеске нуклеарне корпорације (CNNC), фокусирајући се на удаљене и мале енергетске потребе.
RITM 200N	Русија	Руски SMR развијен од стране Afrikantov OKBM JSC, за употребу у ледоломцима и удаљеним локацијама, високо компактни и робусни.

✦ **Реактори са кључалом водом (РКВ) - Мали модуларни реактори**

Име технологије	Земља порекла	Опис
BWRX-300	САД	Мали модуларни реактор са кључалом водом компаније GE Hitachi са поједностављеним дизајном и нижим трошковима.

4•1•3•4• Резултати процене

✦ **Конвенционална нуклеарна електрана – LNPP²**

² **Оправдање: EPR1200 Оперативна спремност и економичност**

EPR1200 је еволуција EPR1600, развијен посебно да реши изазове са којима се сусрећу први пројекти као што су Flamanville 3 и Olkiluoto 3. Иако EPR1200 још увек није пуштен у рад, његов дизајн укључује кључна поједностављења као што су смањена снага постројења, повећана стандардизација и побољшана конструктивност, која имају за циљ смањење капиталних трошкова (CAPEX) и скраћивање времена изградње. Ова побољшања су директно заснована на оперативним повратним информацијама успешно реализованих јединица EPR1600, посебно Таишан реактора у Кини. Као таква, процена оперативне и распоредиве спремности EPR1200, као и њене релативне економичности, заснива се на лекцијама и унапређеним праксама изведеним из флоте EPR1600

Technology	Overview	Strengths	Key Challenges
EPR-1600	Large European Gen III+ PWR reactor with enhanced safety and high capacity.	Proven technology; multiple redundancies; strong EU regulatory alignment; high power output.	High capital cost; long construction timelines; complex deployment for smaller grids.
EPR-1200	Smaller version of EPR-1600 with streamlined design for European markets.	Strong alignment with EU standards; advanced safety features; cost-efficiency over EPR-1600.	Early-stage commercial development; fewer operational references compared to EPR-1600.
AP1000	US Gen III+ PWR with passive safety systems and modular construction.	NRC-certified; strong operational experience; modular design shortens construction time.	Requires EU licensing; larger grid dependency; fewer European operational references.
APR1400	Korean-designed Gen III+ reactor with advanced safety and reliability.	Proven track record; EUR-certified; competitive LCOE; high capacity (1400 MWe).	Limited European deployment; public acceptance barriers outside Korea. Complex deployment for smaller grids.
VVER-1200 (AES 2006)	Russian Gen III+ reactor with modern design and advanced safety systems.	Proven operational success; double containment design; strong efficiency (1200 MWe).	Geopolitical challenges in EU markets; public perception barriers.
VVER-TOI	Upgraded version of VVER-1200 with enhanced digital controls and efficiency.	Improved constructability; advanced digital systems; reduced construction time and costs.	Limited deployment outside Russia; requires EU licensing and adaptation to WENRA standards.
HPR1000 (Hualong One)	Advanced Chinese PWR developed from CPR1000 and ACP1000 designs, featuring enhanced safety systems and modular construction. Deployed in China and Pakistan, with international expansion plans.	Modern design with triple safety redundancy; improved passive safety; international deployment experience (e.g., Karachi K2/K3); standardized twin-unit design; higher licensing maturity.	Limited licensing outside China; not yet certified by EU regulators; financing typically state-driven; geopolitical and perception concerns remain in some regions.
CANDU	Canadian-designed heavy water reactor using natural uranium.	Flexible fuel options (natural uranium, MOX); proven design; good load-following capabilities.	Water usage concerns; fewer recent commercial deployments in EU.
ABWR	Advanced boiling water reactor from Japan/USA with modular design.	NRC and international approvals; short construction time; proven operational success.	Limited deployment in Europe; public perception concerns regarding BWR technology.
APR1000	Korean Gen III reactor developed for European market with cost optimization.	EUR-certified; modular design; improved safety and constructability based on APR1400.	Limited operational deployment; requires European acceptance and public trust-building.

✦ **Мали модуларни реактор**

Summary Table			
Technology	Overview	Strengths	Key Challenges
NUWARD	EDF's French SMR concept targeting scalability and grid stability.	Strong EU alignment; modular design; ideal for decentralized grids; EUR compliance underway.	Limited deployment; early-stage design; requires pilot projects or detailed regulatory review to validate the safety and commercial use.
NuScale	US-based modular SMR with proven NRC certification and passive safety.	NRC-approved; highly scalable; load-following capabilities; rapid deployment timelines.	Requires EU-specific licensing; no operational units; high upfront financing costs.
BWRX-300	GE-Hitachi's advanced boiling water SMR with cost-efficient modular design.	Modular and cost-effective; short construction time; GDA progressing; strong global backing.	Limited operational experience; requires EU regulatory compliance and public trust.
Rolls-Royce SMR	UK-designed SMR with modular manufacturing and rapid deployment.	UK government support; short deployment timeline (~5 years); cost-effective and scalable.	Supply chain localization needed; limited global references.
Holtec SMR-300	US-based SMR with advanced passive safety and short construction timelines.	Walk-Away Safe™ passive safety; 2.5-year deployment time; modular and scalable design.	EU certification pending; localization challenges; public acceptance for non-EU design.
AP300	Westinghouse's SMR variant of AP1000, offering proven technology.	Based on licensed AP1000; passive safety; modular deployment; competitive cost and timelines.	Lacks EUR certification; limited EU experience; supply chain challenges for localization.
I-SMR (KHNP)	Korean SMR optimized for multi-purpose use, including district heating.	Boron-free operation; strong modularity; scalable for phased investments; short deployment time.	Requires EU licensing; early-stage deployment; public perception barriers for non-EU tech.
ACP-100	Chinese SMR with compact design ideal for distributed power and heating.	Modular and flexible design; short construction time (~3 years); multi-purpose applications.	No EU certification; public trust challenges; geopolitical concerns in European markets.
RITM-200	Russian SMR with proven operational success in icebreakers and remote grids.	Proven reliability; rapid deployment; strong for isolated or multi-purpose applications.	Lacks EU regulatory approval; geopolitical challenges; public perception barriers in EU.

✦ Одабране технологије за почетну процену – LNPP

Технологија	Земља	Преглед	Статус примене	Зашто је прикладно за Србију
EPR-1200	Француска	Компактна верзија EPR-1600, дизајнирана за ефикасност у трошковима и примену на глобалним тржиштима.	Још нема оперативних постројења; У развоју; Потенцијална примена у Саудијској Арабији, Пољској, Казахстану, Холандији и Словенији.	Подржан од стране EDF-а, светског лидера у нуклеарној енергији, EPR-1200 нуди проверен регулаторни пут у оквиру ЕУ, обезбеђујући усаглашеност са нуклеарним оквиром Србије. Његов економски оптимизован дизајн и напредне сигурносне карактеристике пружају дугорочно, енергетско решење унапређених перформанси за српску мрежу и индустријске потребе.
AP1000	САД	Реактор III+ генерације америчког дизајна са пасивним сигурносним системима подобним за модуларну изградњу.	У погону у САД-у, Кини, и планирана изградња у другим земљама (нпр. Индија, Пољска).	Развијен од стране Westinghouse, пасивна сигурност AP1000, могућност модуларне изградње, као и успешно спроведено лиценцирање на више тржишта, показују његову поузданост у примени. Његова флексибилност при интеграцији на мрежу и проверена операбилност чине га атрактивним решењем за развијајући енергетски микс и регулаторне амбиције Србије.
VVER-1200 (AES 2006)	Русија	Реактор III+ генерације руског дизајна, савременог концепта и са напредним сигурносним карактеристикама.	Оперативне електране у Русији, Белорусији и одабраним не-ЕУ земљама (нпр. Турска, Бангладеш).	Са снажним искуством успешне изградње и пуштања у рад, VVER-1200 је подржан од Росатом-а, глобалног лидера у нуклеарној индустрији са значајним искуством у реализацији нуклеарних пројеката по принципу „кључ у руке“. Његов висок фактор искоришћења, робусни сигурносни системи и могућност скалабилне примене пружају Србији поуздано и економично решење за базу производњу електричне енергије.
APR1000	Јужна Кореја	Мања верзија APR1400 прилагођена европским тржиштима са оптимизованим трошковима изградње.	EUR-сертификован; још нема оперативних јединица. Чешка је одабрала APR1000 за предстојеће пројекте.	Развијен од стране компаније KHNP, APR1000 је дизајниран за економичност, високе стандарде нуклеарне сигурности и прилагодљивост регулативи за тржишта ЕУ. Србија може имати користи од KHNP-овог искуства у реализацији нуклеарних пројеката, великог потенцијала за локализацију и флексибилних модела финансирања који подржавају дугорочну енергетску безбедност.

Табела 2: Списак LNPP технологија за прелиминарну анализу

◆ Одабране технологије за почетну процену - SMR

Технологија	Земља	Преглед	Статус примене	Зашто је прикладно за Србију
NUWARD	Француска	Француски концепт SMR компаније EDF усмерен на скалабилност, стабилност мреже и производњу енергије са ниским емисијама.	Дизајн у раној фази; нема оперативних постројења; усаглашавање са прописима у складу са ЕУР сертификацијом у току.	Модуларни дизајн NUWARD-а и усклађеност са ЕУ стандардима, чине га идеалним за децентрализоване мреже, усклађујући се са регулаторним оквиром Србије у ЕУ и циљевима за флексибилна, чиста енергетска решења.
BWRX-300	САД	Напредни SMR реактор на кључалу воду компаније GE Hitachi, са нагласком на економичну модуларну изградњу и оперативну ефикасност.	Ограничена оперативна примена; напредује кроз процес сертификације у Великој Британији (GDA - Generic Design Assessment).	Модуларни и економични дизајн BWRX-300 одговара фазним инвестиционим потребама Србије, док су његове напредне сигурносне карактеристике у складу са дугорочним циљевима Србије у декарбонизацији и енергетској независности.
Rolls-Royce SMR	УК	Модуларни SMR реактор развијен у Уједињеном Краљевству, конципиран за брзу изградњу и економичну реализацију пројеката, уз ослањање на напредне производне и производно-монтажне технологије.	Рано увођење планирано у Великој Британији уз јаку подршку владе; још нема оперативних јединица.	Кратки рокови имплементације и скалабилност Rolls-Royce SMR-а се уклапају у потребу Србије за фазним улагањима и флексибилним развојем енергије, нудећи економично решење прилагођено будућности .
AP300	САД	SMR варијанта AP1000 компаније Westinghouse, фокусирана на пасивну сигурност, модуларну изградњу и прилагодљивост мрежама мањег капацитета.	Засновано на провереној AP1000 технологији; још увек нема оперативних јединица; у току су регулаторне процене.	AP300 комбинује проверене функције AP1000 са скалабилношћу за мање мреже, чинећи га веома погодним за величину мреже у Србији и прописне захтеве, уз обезбеђивање сигурности и оперативне поузданости.
Holtec SMR-300	САД	Модуларни SMR компаније Holtec International са напредним пасивним сигурносним системима и кратким временом имплементације.	Нема оперативних јединица; у току регулаторна провера у различитим регионима; јак фокус на комерцијалну спремност.	Пасивне сигурносне функције (Holtec SMR-300 Walk-Away Safe™) и 2,5-годишња динамика изградње чине га атрактивном опцијом за Србију, обезбеђујући сигурност, економичност и прилагодљивост мањим мрежама и фазним инвестицијама.

Табела 3: Списак SMR технологија за прелиминарну анализу

4.2• Нуклеарна технологија

4.2.1• Преглед конвенционалних нуклеарних технологија

4.2.1.1• Основе нуклеарне технологије

✦ Основе нуклеарне технологије

Производња нуклеарне енергије зависи од два основна процеса: нуклеарне фисије и нуклеарне фузије. Обе методе мењају атомске структуре како би ослободиле енергију - фисија цепа тешки атом на два лакша атома, док фузија комбинује два лакша атома у један тежи атом. Тренутно, нуклеарна фисија је примарни метод за производњу енергије широм света због успостављене технологије и ефикасности, док нуклеарна фузија, упркос свом потенцијалу за чисту и обилну енергију, остаје у фази технолошког развоја.

У нуклеарној фисији, тешки елементи као што су уранијум или плутонијум се бомбардују неутронима, што узрокује распад тих атома и ослобађање енергије заједно са стварањем вишка неутрона који одржавају ланчану реакцију. Распад атома генерише значајну топлоту која се користи за производњу паре и покретање турбина за производњу електричне енергије. Насупрот томе, нуклеарна фузија, процес који имитира производњу енергије у звездама, захтева огроман притисак и температуру да би се постигла и одржала плазма, што је чини мање практичном у односу на данашње фисионе технологије.

Дизајни реактора значајно су се развили од 1940-их, са фокусом на унапређење сигурности, поузданости и одрживости. Научене лекције из инцидената на нуклеарним електранама Острво Три Миље, Чернобил и Фукушима подстакла су напредак у сигурносним системима и процедурама за ванредне ситуације.

Уранијум остаје примарно гориво за нуклеарне реакторе, при чему природни уранијум углавном сачињавају изотопи уранијум-238 (U-238) и уранијум-235 (U-235). Фисибилни U-235, кога је знатно мање у изотопском саставу, је кључан за одржавање нуклеарне реакције. Због тога дизајн реактора често захтева обогаћивање горива како би се повећао удео U-235, обично на ниво испод 5%.

Поред тога, неки реактори користе плутонитијум или торијум као алтернативно или додатно гориво. Плутонитијум се ствара нуклеарним реакцијама од U-238 и такође поседује фисибилне изотопе критичне за одржавање ланчане реакције. Торијум, други радиоактивни елемент распрострањен у природи, може се у реакторима конвертовати у уранијум-233 (U-233), који је такође фисибилан односно одржава ланчану реакцију.

Реактори са водом под притиском (PWR)

PWR реактори користе двокружни систем расхладне воде. Примарни хладацац тече кроз језгро реактора под високим притиском, спречавајући воду да прокључа чак и на температурама од око 325°C. Ова загрејана вода преноси своју топлотну енергију на воду у секундарном кругу у коме се та вода претвара у пару под нижим притиском у парогенератору. Посуда за одржавање притиска у примарном кругу константно одржава воду у течном стању.

Реактори са кључалом водом (BWR)

За разлику од PWR реактора, BWR реактори раде са једним кругом расхладне воде на нижем притиску, што омогућава води да кључа директно у језгру реактора на око 285°C. Око 12%–15% расхладне воде у горњем

делу језгра реактора постоји као пара. Та пара директно иде у парну турбину, које је у ствари саставни део примарног круга реактора и због тога захтева заштиту од зрачења као и сам реактор

Реактори тешке воде

Реактори са тешком водом користе као модератор оксид деутеријума (D₂O), што им омогућава да користе природни уранијум као гориво. Пошто овај тип реактора не захтева обogaћено гориво, има одређене економске и стратешке предности.

4.2.2. Генерација III+ и велики реактори са лаком водом

Глобална нуклеарна индустрија се континуирано развија од свог настанка, при чему су **реактори са лаком водом (LWR)** постали доминантна технологија за комерцијалну производњу нуклеарне енергије. Потичући од пионирских напора у **Сједињеним Америчким Државама, Француској, Немачкој, Русији, Јапану и Кореји**, LWR дизајн реактора је прошао кроз значајан напредак, укључујући **побољшане сигурносне карактеристике, унапређене перформансе и већу прилагодљивост савременим енергетским потребама**. Пошто Србија започиње своје **нуклеарно енергетско путовање**, имаће користи од овога огромног глобалног искуства и технолошких иновација које су обликовале данашњу понуду реактора.

4.2.2.1. Глобална експертиза, локална адаптација

Рано у развоју нуклеарне енергије, америчке компаније као што су Westinghouse, General Electric, Combustion Engineering, and Babcock & Wilcox поставиле су темеље за PWR и BWR реакторске технологије. Током времена, европске и азијске земље усавршавале су ова техничка решења прилагођавајући их својим националним могућностима за производњу и регулаторним оквирима. Данас, земље као што су **Француска, Немачка, Јужна Кореја и Јапан** успешно су локализовале и унапредиле своје LWR технологије, обезбеђујући своју конкурентност на међународној сцени. У међувремену, **Русија и Кина развиле су своја јединствена техничка решења дизајна реактора са водом под притиском (PWR)**, и извозе их на нова нуклеарна тржишта.

За Србију, ова глобална сцена представља јединствену прилику да изабере проверену, напредну и регионално компатибилну технологију реактора која је у складу са својим циљевима енергетске независности, декарбонизације и дугорочне економске одрживости. Искоришћавајући најбоље праксе и технолошку експертизу из развијених нуклеарних земаља (као што су Француска, Сједињене Државе, Русија), Србија може одабрати врхунски реактор уз интеграцију својих локалних способности за развој ланца снабдевања и прилагођавање регулативе.

4.2.2.2. Напредак у технологијама реактора са лаком водом

Пошто Србија даје приоритет нуклеарној сигурности, регулаторној компатибилности и економској изводљивости, избор **Генерације III+ PWR** обезбеђује приступ **провереној и глобално примењеној технологији** која је у складу са савременим енергетским потребама. Технологије као што су **EPR-1200 (Француска), AP1000 (САД), VVER-1200 (Русија) и APR1000 (Јужна Кореја)** представљају најсавременије опције, од којих свака нуди јединствене предности за енергетску безбедност Србије и компатибилност са електроенергетском мрежом.

4.2.3. Технолошка диференцијација и стратешка разматрања за Србију

Иако све побројане технологије реактора деле основне принципе технологије реактора са лаком водом (LWR), њихове разлике леже у приступу сигурности, једноставности рада и исплативости. Сваки дизајн је оптимизован да задовољи специфичне тржишне, регулаторне и потребе за имплементацијом, пружајући Србији низ опција које су баланс између сигурности, економске изводљивости и дугорочне одрживости.

4.2.3.1. Кључне разлике и карактеристике

- Европски, корејски и јапански PWR-ови – Ови дизајни се фокусирају на веће снаге постројења како би се обухватиле економије обима, обезбеђујући велике излазне снаге, побољшану ефикасност и дугорочну економску одрживост. Технологије као што су EPR-1200 (Француска) и APR1000 (Кореја) илуструју овај приступ, пружајући перформансе великог капацитета уз одржавање строгих стандарда сигурности и поштовање регулаторних захтева.
- AP1000 (САД) – Супротно томе, AP1000 ставља приоритет на једноставност и пасивну безбедност минимизирајући потребу за сложеним безбедносним системима, опсежним цевоводима и активним пумпама. Уместо ослањања на механичке пумпе за пружање хитног хлађења у случајевима несрећа, AP1000 користи системе хлађења који раде на принципу гравитације, обезбеђујући аутоматско и поуздано хлађење без спољне енергије или интервенције оператера. Ова филозофија дизајна смањује сложеност изградње и побољшава сигурност кроз инхерентне дизајнерске карактеристике.
- VVER-1200 (Русија) – Овај реактор обухвата структуру са двоструким контејнментом и напредне механизме хлађења језгра како би повећао толеранцију на несреће и обезбедио дугорочну поузданост. На основу поука из претходних нуклеарних инцидената, VVER-1200 поседује више пасивних и активних сигурносних система, усклађујући се са савременим регулаторним очекивањима, а истовремено нудећи конкурентне трошкове имплементације у великим мрежним окружењима.

4.2.3.2. Побољшања безбедности и лекције из прошлости

Модерни дизајни реактора, укључујући EPR-1200, AP1000, VVER-1200 и APR1000, интегришу лекције научене из историјских нуклеарних инцидената као што су Чернобил и Фукушима. Ове технологије укључују:

- Напредне пасивне сигурносне функције, смањујући ослањање на довод спољне енергије и људску интервенцију.
- Ојачане конструкције контејнмента да би се спречило испуштање радиоактивних материја у екстремним условима.
- Побољшани системи за хлађење у ванредним ситуацијама и системи за управљање инцидентима који обезбеђују отпорност у сценаријима потпуног прекида спољног напајања на електрани.

4.2.3.3. Оперативна дуговечност и заштита од застаревања

Сви дизајни реактора нове генерације се пројектују за **радни век од 60 година**, што представља значајно побољшање у односу на претходне дизајне са **веком трајања од 40 година**. Ово продужено трајање рада побољшава енергетску безбедност Србије, одрживост инвестиција и дугорочну одрживост обезбеђујући стабилну, ниско угљеничну електричну енергију у наредним деценијама.

4.2.4. Побољшања сигурности у модерним нуклеарним технологијама

Модерни **нуклеарни реактори генерације III+** имају значајно побољшане сигурносне маргине у поређењу са ранијим дизајнима, са десетоструким повећањем сигурносних перформанси на основу пробабилистичких процена сигурности. Ова побољшања су специфична за сваки дизајн и укључују лекције научене из претходног рада реактора, користећи напредне анализе ризика и инжењерске иновације како би се обезбедила већа отпорност и нижи оперативни ризици.

Изабране реакторске технологије за Србију, укључујући EPR-1200, AP1000, VVER-1200 и APR1000, интегришу ове безбедносне функције следеће генерације, обезбеђујући усаглашеност са међународним регулаторним очекивањима и усклађеност са посвећеношћу Србије сигурној и одрживој нуклеарној енергији.

4.2.4.1. Кључна побољшања сигурности у изабраним реакторима за Србију

- Пасивни сигурносни системи – Многи реактори генерације III+ смањују зависност од активних система хлађења, користећи уместо тога гравитацију, природну конвекцију и механизме уклањања топлоте како би се обезбедило хлађење у ванредним ситуацијама.
- Системи за хватање истопљеног језгра – Неки напредни дизајни, као што су EPR-1200 и VVER-1200, укључују системе за хватање истопљеног језгра, што спречава да се у сценарију топљења језгра угрози контејнмент.
- Ојачане структуре контејнмента – Ове технологије интегришу системе двоструког контејнмента, побољшавајући отпорност на спољне ударе и тешке хаварије.
- Управљање тешким хаваријама – Напредно гориво отпорно на топљење, побољшано планирање хитних акција и аутоматизоване сигурносне функције додатно унапређују сигурносни профил ових одабраних дизајна.

Применом ових високоотпорних технологија, Србија ће ојачати свој оквир нуклеарне сигурности, обезбеђујући дугорочну оперативну безбедност уз минимизовање ризика по јавно здравље и животну средину.

4.2.4.2. Неширење нуклеарних материјала (nonproliferation) и сигурност нуклеарног горивног циклуса

Стратегија нуклеарне енергије Србије чврсто је усклађена са међународним обавезама о неширењу нуклеарних материјала и обезбеђује строг регулаторни надзор над обогаћивањем уранијума и управљањем истрошеним горивом.

Реактори са лаком водом (LWR), укључујући изабране технологије за Србију, користе нискообогачени уранијум (LEU) са нивоом обогаћења испод 5% — стандард који минимизује ризике од ширења нуклеарних материјала док одржава ефикасну производњу енергије.

◆ Кључна разматрања у вези са неширењем нуклеарних материјала за Србију

- Строги надзор МААЕ – Сва обогаћивања уранијума и управљање искоришћеним нуклеарним горивом биће у складу са мерама Међународне агенције за атомску енергију (МААЕ), осигуравајући да не дође до пренамене у неовлашћене сврхе.
- Разматрања прераде истрошеног горива – Док поновна прерада истрошеног нуклеарног горива може смањити отпад, она такође захтева снажне безбедносне протоколе како би се спречили нежељени ризици од ширења нуклеарног материјала. Србија ће истражити најбоље праксе из Француске, Велике

Британије и Русије, где прерада успешно претвара истрошено гориво у мешано оксидно (МОХ) гориво за даље коришћење у реакторима.

- Контролисани ланац снабдевања – Приступ Србије ће стављати акценат на уговоре са провереним добављачима нуклеарне технологије, обезбеђујући сигурно снабдевање уранијумом и контролисано управљање нуклеарним горивним циклусом.

4•2•4•3• **Управљање нуклеарним отпадом и дугорочна одрживост за Србију**

Пошто Србија унапређује своју нуклеарно енергетску стратегију, одговорно управљање нуклеарним отпадом остаје кључна компонента за обезбеђивање дугорочне заштите животне средине и поштовања прописа. Све технологије реактора са лаком водом (LWR), укључујући EPR-1200, AP1000, VVER-1200 и APR1000, имају сличне изазове у вези са одлагањем отпада, првенствено у погледу складиштења и коначног одлагања истрошеног нуклеарног горива.

Најбоље праксе у свету показују различите успешне приступе управљању нуклеарним отпадом, при чему водеће земље спроводе пројекте дугорочних геолошких одлагалишта и технике прераде истрошеног горива како би смањиле обим отпада и побољшале ефикасност одлагања.

Глобално лидерство и лекције за Србију

- Доказане стратегије управљања отпадом – **Француска** и друге земље које се баве прерадом истрошеног горива солидификују високо активни радиоактивни отпад у боросиликатном стаклу, смањујући запремину отпада за преко 90% и сигурно га дугорочно држе у складиштима хлађеним ваздухом .
- Примери успешних геолошких одлагалишта – **Финска и Шведска** предњаче у свету у успостављању првих дубоких геолошких одлагалишта за истрошено нуклеарно гориво, постављајући при томе глобалне стандарде за сигурно, дугорочно одлагање
- Увид у политику управљања отпадом Сједињених Држава – САД настављају да процењују коначне опције одлагалишта за истрошено нуклеарно гориво (SNF), са тренутно ни једним оперативним лиценцираним постројењем за дубинско геолошко одлагање.

Приступ Србије одрживом управљању нуклеарним отпадом

Пошто Србија интегрише нуклеарну енергију у свој дугорочни енергетски оквир, она ће усвојити структуриран, корак-по-корак приступ управљању отпадом, следећи најбоље глобална техничка решења уз обезбеђивање усаглашености са специфичним регулаторним и еколошким приоритетима Србије:

1. Решења за привремено складиштење – Истрошено гориво се сигурно и безбедно дугорочно складишти на лицу места у сувим или мокрым складиштима у складу са највишим међународним стандардима сигурности све док се не примени трајно решење.
2. Развој регулативе и политика – Србија би требало да успостави свеобухватни правни и регулаторни оквир који је у складу са смерницама МААЕ, обезбеђујући безбедно руковање, транспорт и одлагање нуклеарног отпада.
3. Планирање дугорочног складишта – Србија би требало да сарађује са међународним партнерима у истраживању опција геолошког одлагалишта , процењујући локације које испуњавају и техничке и критеријуме друштвене прихватљивости
4. Приступ који укључује покривање трошкова – Слично међународним моделима, трошкови електричне енергије произведене нуклеарним путем укључиће одредбе за управљање отпадом и

његово трајно одлагање, обезбеђујући финансијску структуру која је самоодржива за дугорочна решења.

4.2.4.4. Економска разматрања за програм нуклеарне енергије Србије

Како Србија напредује у развоју нуклеарне енергије, економска изводљивост остаје кључни фактор у обезбеђивању дугорочне одрживости и приступачности одабраним нуклеарним технологијама. Иако нуклеарне електране захтевају значајна почетна улагања, оне нуде дугорочну економску стабилност, ниске оперативне трошкове производње електричне енергије и бенефите енергетске безбедности који се поклапају са стратешким енергетским циљевима Србије.

✦ Капитална улагања и трошковни аспекти

Глобално, трошкови изградње нуклеарних електрана значајно су варирали у зависности од фактора као што су регулаторни оквири, ефикасност ланца снабдевања, модели финансирања и **стандардизација дизајна реактора**. Историјски гледано, земље попут Кине и Јужне Кореје постигле су релативно стабилне трошкове изградње нуклеарних електрана кроз поједностављене регулаторне процесе и широко распрострањене изградње електрана са стандардизованим дизајном реактора. Насупрот томе, друга тржишта као што су Европа и Сједињене Државе доживела су значајне ескалације трошкова због продужених рокова лиценцирања, уских грла у ланцу снабдевања и поновног покретања индустрије након деценија ограничене нуклеарне изградње.

Међународне референтне вредности трошкова³

Недавни међународни референтни показатељи указују на следеће:

- Мали модулари реактори (SMR):

Трошкови изградње првих постројења ове врсте (FOAK) за мале модулари реакторе (SMR), без урачунатих трошкова финансирања током изградње, процењују се у распону од 2.500 до 7.000 € по инсталисаном kWe. Ова варијација у трошковима одражава изазове ране фазе примене, мању снагу појединачних јединица, технолошку незрелост и ограничену спремност ланца снабдевања у многим регионима. Иако SMR технологија нуди потенцијалне предности у модуларној изградњи и скалабилности, ове предности још увек нису у потпуности доказане на комерцијалном нивоу.

- Велике нуклеарне електране (LNPP):

Трошкови изградње првих постројења ове врсте (FOAK), без урачунатих трошкова финансирања током изградње, за реакторе генерације III+, као што су EPR и AP1000, обично се крећу у распону од 5.000 до 8.000 € по kWe, што је уочено у недавним пројектима широм Европе, Северне Америке и Азије. Велики реактори имају корист од економије обима у производњи електричне енергије, што може довести до нижих трошкова по инсталисаноммегавату у поређењу са SMR реакторима, посебно у стандардизованим програмима серијске изградње.

- Напомена:

Ове процене трошкова су индикативне и треба их тумачити са опрезом. На њих утичу географска локација, трошкови радне снаге, регулаторни захтеви, зрелост ланца снабдевања и стратегије реализације пројекта. Поред тога, пројекти првих постројења ове врсте (FOAK)

³ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power>
<https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-10/NZW09%20Nuclear%20Energy%20Cost%20Estimates%20for%20Net%20Zero%20World%20Initiative.pdf>

често имају веће трошкове за 20–60% у односу на касније јединице истог типа (*Nth-of-a-Kind*, NOAK), што наглашава значај стандардизације и серијске производње за смањење трошкова.

✘ Дугорочне економске користи и стабилност трошкова

Упркос великој **почетној капиталној инвестицији**, нуклеарна енергија нуди ниске трошкове горива и стабилне цене електричне енергије, чинећи је једним од најекономичнијих дугорочних енергетских решења за Србију. У поређењу са производњом електричне енергије на бази фосилних горива, нуклеарне електране имају корист од:

- **Стабилни трошкови горива** – За разлику од гаса и угља, који су подложни тржишним флукуацијама, трошкови нуклеарног горива остају стабилни и чине само 10% укупних трошкова електричне енергије.
- **Продужени животног век постројења** – Реактори нове генерације су дизајнирани за 60 + година рада, максимизирајући поврат инвестиција у Србији.
- **Ниски оперативни трошкови и трошкови одржавања** – Када су оперативне, нуклеарне електране имају ниже трошкове одржавања и горива у поређењу са конвенционалним електранама.
- **Енергетска безбедност и независност** – Диверсификацијом свог енергетског микса са нуклеарном енергијом, Србија може да смањи зависност од увозних горива и побољша стабилност мреже.

✘ Обезбеђивање економски исплативог коришћења нуклеарне енергије у Србији

Да би оптимизовала економију нуклеарног пројекта, Србија ће морати да:

- **Искористи међународне најбоље праксе** – Учење од Француске, Русије, САД, Јужне Кореје и других успешних нуклеарних тржишта помогло би Србији да контролише трошкове и побољша ефикасност.
- **Развије поједностављен регулаторни оквир** – Јасно дефинисан, на ризику заснован процес лиценцирања ће смањити неизвесност и финансијске ризике.
- **Подстакне развој локалне индустрије и радне снаге** – Јачање локалних ланаца снабдевања и нуклеарне експертизе минимизираће зависност од страних добављача и повећаће исплативост.
- **Истражити конкурентне моделе финансирања** – Србија би требало да процени различите финансијске структуре, укључујући јавно-приватне партнерства (ЈПП), кредите са гаранцијом владе и међународне механизме финансирања, обезбеђујући приступачност и дугорочну финансијску одрживост.

4.2.5. Нуклеарна сајбер-безбедност: Заштита будуће нуклеарне инфраструктуре Србије

Сајбер безбедност у нуклеарним електранама постаје критични приоритет. Са растућом дигитализацијом и међусобно повезаним оперативним технологијама, нуклеарни објекти морају бити заштићени од **сајбер претњи, сајбер-физичких напада и дигиталног шпијунирања** које би могло угрозити безбедност, сигурност и оперативну поузданост.

✘ Улога сајбер безбедности у нуклеарној сигурности и операцијама

Савремене нуклеарне електране ослањају се на **високо софистициране дигиталне контролне системе, инструменте и аутоматизацију** за праћење рада реактора, сигурносних механизма и протокола за

одговор у ванредним ситуацијама. Сајбер напад усмерен на ове системе могао би довести до прекида у раду, дезинформација или, у екстремним случајевима, угрожавања сигурности рада реактора.

Да би се ублажили ови ризици, Србија мора усвојити **чврст оквир за сајбер безбедност** који је у складу са глобалним нуклеарним стандардима сајбер безбедности и најбољим праксама, обезбеђујући да дигитална средства остану сигурна, отпорна и непробојна за сајбер претње.

✦ Сајбер безбедност као стуб безбедности нуклеарне енергије Србије

Да би нуклеарни програм Србије добио регулаторну лиценцу, оперативну ефикасност и дугорочну одрживост, сајбер безбедност мора бити **уграђена у детаљну техничку фазу избора реактора, лиценцирања, изградње и оперативног рада**. Применом проактивног, отпорног и континуирано развијајућег приступа сајбер безбедности, Србија може заштитити своју нуклеарну инфраструктуру од сајбер претњи, обезбедити националну енергетску безбедност и ускладити се са међународним нуклеарним безбедносним обавезама.

4.3• Процена технологија великих нуклеарних електрана (LNP)

4.3.1• Увод

У **Фази процене избора технологије** [видети Поглавље 4.1.3], **процењен је широк спектар пројеката LNP** [Поглавље 4.1.3.1]. Након ригорозне провере засноване на **техничкој зрелости, економској изводљивости, регулаторној спремности и прилагодљивости за изградњу Комитет за процену технологије** је саставио ужи избор четири (4) [Поглавље 4.1.3.2] водеће технологије великих PWR реактора за даљу процену у оквиру **Прелиминарне процене технологије**:

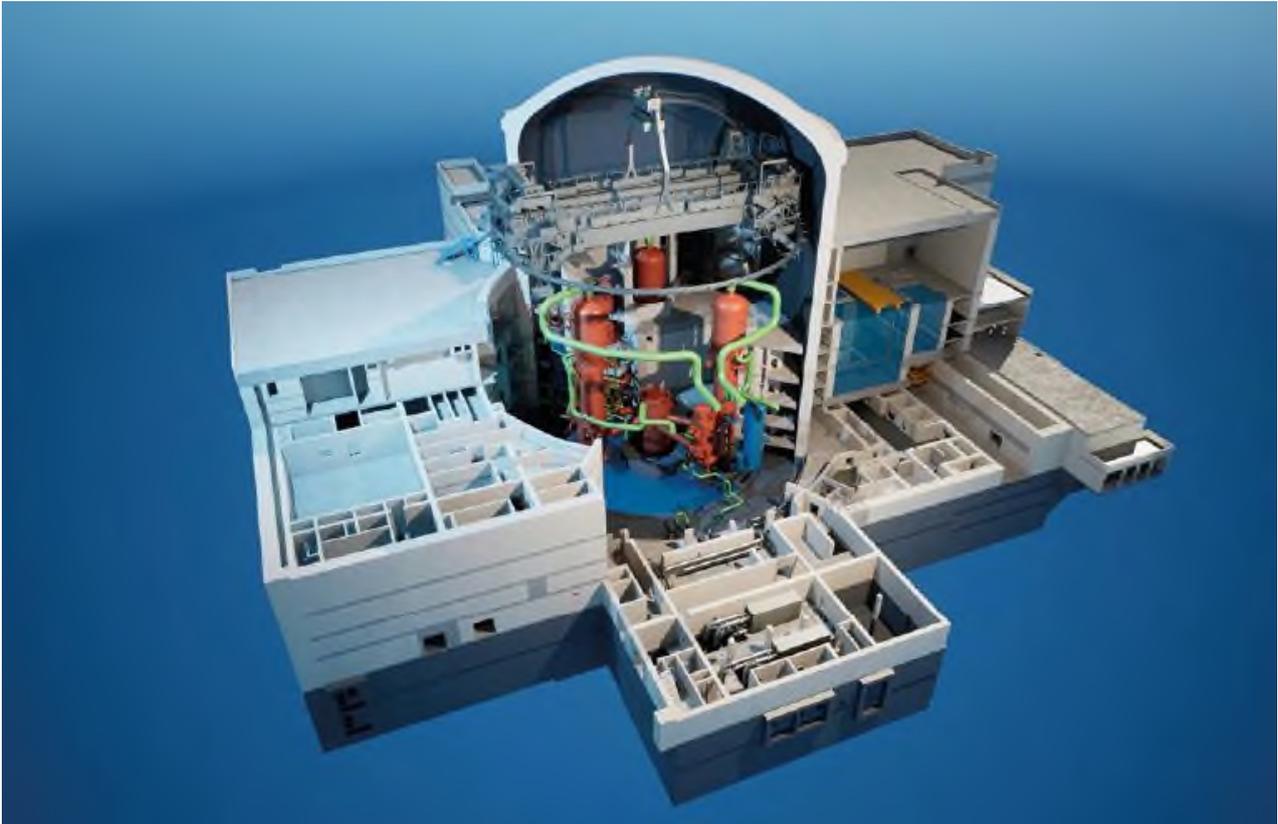
- **Framatome (EDF) (EPR1200)** [Видети Поглавље 4.3.2]
- **Westinghouse (AP1000)** [Видети Поглавље 4.3.3]
- **Rosatom (AES 2006 VVER-1200)** [Видети Поглавље 4.3.4]
- **Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) (APR100)** [Видети Поглавље 4.3.5]

4.3.1.1• Зашто су PWR реактори погодни за Србију

Комитет за процену технологије истиче снажну усклађеност између PWR технологије и циљева Србије у вези са нуклеарном енергијом због следећих фактора:

- Зрела технологија – Добро успостављен дизајн са деценијама оперативног искуства.
- Европска усклађеност – PWR реактори пројектовани су да испуњавају регулаторне стандарде ЕУ и ИАЕА, олакшавајући процес лиценцирања и одобравања за Србију.
- Доказана сигурност и поузданост – Напредни пасивни и активни сигурносни системи обезбеђују високу отпорност на акциденте
- Безбедност снабдевања горивом – Вишеструки глобални добављачи обезбеђују стабилан ланац снабдевања горивом.
- Економска исплативост – Нижи оперативни ризици, висока ефикасност и дуг век трајања чине PWR реакторе исплативом инвестицијом за енергетски сектор Србије.

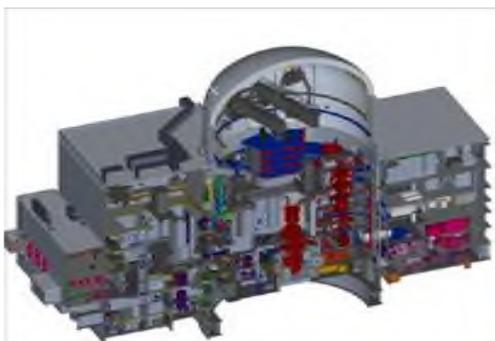
4.3.2. EPR 1200 – Европски реактор под притиском следеће генерације



EPR 1200 је **Реактор под притиском (PWR) генерације III+** који су развили **EDF и Framatome**, заснован на провереним принципима дизајна већег **EPR 1600**. EPR 1200 је посебно сачињен да обезбеди високе маргине сигурности, побољшану ефикасност и економску исплативост, што га чини идеалном опцијом за примену на европском и глобалном тржишту.

Дизајн се заснива на деценијама оперативног искуства са великим европским нуклеарним реакторима (Копвои), укључујући напредне сигурносне карактеристике, оптимизоване технике изградње и снажну регулаторну усклађеност са европским стандардима. Његов капацитет од 1200 MWe чини га погодним за средње мреже, осигуравајући компатибилност са различитим националним енергетским стратегијама.

Стратешка визија EDF-а за технологију EPR реактора заснована је на приступу европске флоте, користећи искуство, ланац снабдевања и оперативну изврсност EPR пројеката широм Европе. Овај приступ обезбеђује стандардизацију, ефикасност и дугорочну подршку земљама учесницама, што га чини идеалним моделом за нације које разматрају примену нуклеарне енергије, попут Србије.



Core Power	3300 MWth
Electrical Output (net)	1150 1200 MWe
Containment	Single
Operation Cycle	18 to 24 months
Primary Coolant System	3-loop configuration
Availability Factor	0.91
Design Plant Life	60 years
I&C	Fully digital
Fuel Assemblies	177 fuel assemblies 14ft
Spent Fuel Storage Capacity	More than 10 years
Grid Connection	Compliant with EU Requirements for Generators
Load follow flexibility	25% to 100% nominal power in 30min

Табела 4: Кључне карактеристике дизајна постројења

4.3.2.1• Предности и мане

Нуклеарни реактор EPR 1200 нуди веома напредну технологију генерације III+ са снажним сигурносним карактеристикама, високом оперативном поузданошћу и доказаним искуством у примени са EPR 1600 на кључним нуклеарним тржиштима као што су Француска, Финска и Кина. Технологија користи пасивне безбедносне системе, чврст ланац снабдевања и модуларне методологије изградње како би се осигурао ефикасан и безбедан рад.

Међутим, имплементација EPR 1200 у Србији захтева темељну процену технолошких, економских, регулаторних и логистичких разматрања. Иако високи сигурносни стандарди, потенцијал локализације и дугорочне оперативне користи чине ову опцију привлачном, фактори као што су велика капитална улагања, логистика ланца снабдевања и регулаторна адаптација захтевају пажљиво планирање и стратегије ублажавања ризика.

Овај одељак пружа структурирану анализу кључних предности, изазова и стратешких препорука за подршку доношењу информисане одлуке о примени EPR 1200 у Србији.

	Advantages	Issues and Challenges
Technology Issues	High safety standards with advanced passive systems, core catcher, and hydrogen recombiners	First-of-a-kind challenges during initial deployment including integration of EPR 1600 Lesson Learned
	Proven reliability, leveraging huge of operational experience from EPR 1600 deployments in Finland, France, and China	Challenges in licensing in certain regions
	Optimized for constructability, leveraging factory pre-fabrication, modularization, and optimized civil engineering	High initial CAPEX for construction and infrastructure development.
	Core catcher ensures effective containment and management of severe accidents	Construction timelines may face delays due to project complexity, despite modularization efforts.
	Reinforced concrete wall protects reactor and auxiliary structures from airplane crashes (commercial and military)	Seismic adaptability requires local site-specific assessments for deployment
	High availability factor (91%) ensures reliable baseload electricity generation	Advanced systems, such as three independent safety trains, increase the complexity of maintenance and require skilled personnel High water usage makes deployment challenging in water-scarce regions; alternatives like dry cooling systems could increase costs.
Non-Techno Issues	Proven deployment experience in Finland, France, and China with lessons learned from EPR 1600.	Adapting EPR 1200 to new regulatory frameworks can introduce delays in project initiation.
	Stable Supply Chain including strong in-house engineering and project management capabilities.	High upfront capital investment in infrastructure
	Significant potential for local job creation in construction and operations phases, as seen in the HPC project (UK).	Extensive operator training and knowledge transfer are required for new nuclear nations, adding to initial costs and project timelines
	Strong commitment to localization with government-backed financing and regional partnerships	Transporting large, pre-fabricated components for modular construction can face logistical issues, especially in remote or underdeveloped regions
	EDF's operational expertise and extensive deployment experience.	Transporting large, pre-fabricated components for modular construction can face logistical issues, especially in remote or underdeveloped regions
	Deployment projects planned in regions such as Europe, Asia, Africa and the Middle East.	

Слика 3: Предности и изазови EPR 1200

4.3.2.2. Стратешке препоруке

Примена EPR 1200 у Србији представља трансформативну прилику за побољшање енергетске безбедности, одрживости и економског раста. Иако технологија нуди најсавременије безбедносне карактеристике, високу ефикасност и усклађеност са стандардима ЕУ и ИАЕА, детаљна техничка студија мора бити спроведена као део Фазе 1 Развоја нуклеарне инфраструктуре како би се осигурала свеобухватна процена њене изводљивости и интеграције у регулаторни и енергетски оквир у Србији.

Кључни позитиван аспект EPR 1200 је његова доказана сигурност и поузданост, доказана огромним оперативним искуством са EPR 1600 из примене у Француској, Финској и Кини. Поред тога, његови напредни пасивни системи сигурности, хватач језгра и рекомбајнери водоника повећавају његову отпорност на сценарије тешких акцидената. Висок фактор искористивости реактора (91%), могућност праћења нивоа напона у мрежи, и потенцијал интеграције са хибридним енергетским системима чине га јаким кандидатом за растуће енергетске потребе Србије. Штавише, употреба модуларних техника изградње могла би да поједностави примену, оптимизујући временске рокове пројекта и смањујући ризике изградње на лицу места.

Међутим, неколико критичних аспеката захтева даљу анализу у следећој фази. То укључује усклађивање регулаторних прописа са нуклеарним оквиром Србије, стратегије оптимизације трошкова и локализацију ланца снабдевања и развоја радне снаге. Висока почетна капитална улагања (CAPEX), сложеност технологије и потреба за специјализованим програмима обуке морају се пажљиво проценити како би се осигурала несметана, исплатива и одржива имплементација. Поред тога, разматрања у вези са коришћењем водних ресурса, сеизмичком прилагодљивошћу и интеграцијом на мрежу морају се темељно испитати како би се осигурала дугорочна оперативна стабилност.

Да би се максимизирале користи и ублажили изазови, следећа фаза треба да се фокусира на спровођење детаљне процене технологије, сагледавање захтева за лиценцирање, финансијских модела, интеграције ланца снабдевања и стратегија за извршење пројекта изградње. Коришћењем најбољих међународних

практи, реализацијом снажних партнерстава између владе и индустрије и обезбеђивањем регулаторне спремности, Србија може да се позиционира као лидер у нуклеарним иновацијама, обезбеђујући поуздано нискоугљенично енергетско решење, спремно за будућност у деценијама које долазе.

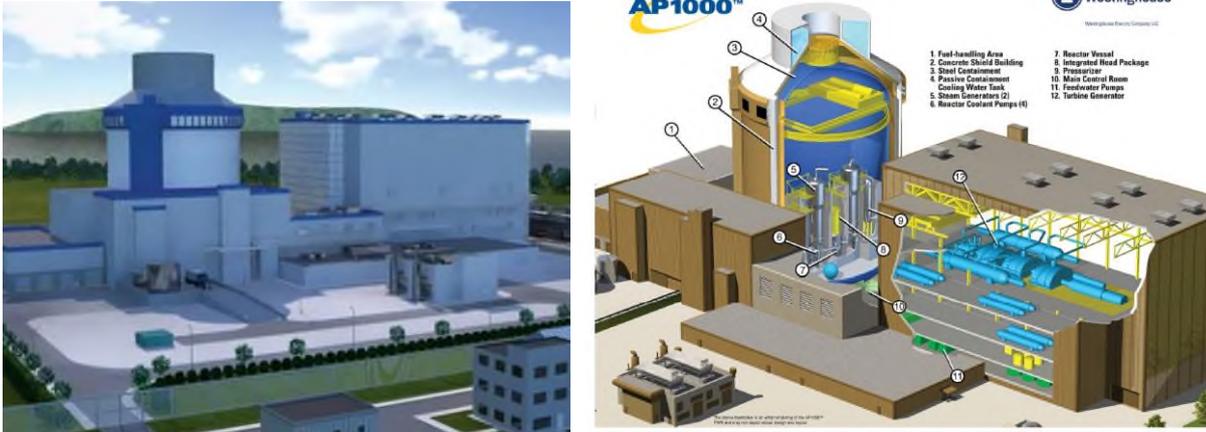
4.3.2.3. Закључак

Након свеобухватне евалуације, Комитет за процену технологије закључио је да **EPR 1200 представља високо напредну, безбедну и ка будућности оријентисану нуклеарну технологију која је у складу са дугорочним циљевима Србије по питању енергетске безбедности и декарбонизације**. Са својим сигурносним карактеристикама светске класе, високом оперативном поузданошћу и снажном интеграцијом у ЕУ ланац снабдевања нуклеарном енергијом, EPR 1200 је препознат као стратешка и перспективна инвестиција способна да подржи транзицију Србије ка стабилној, нискоугљеничној и отпорној производњи енергије.

Међутим, Комитет такође потврђује да се са неколико кључних аспеката мора пажљиво управљати како би се осигурало успешно спровођење. То укључује висока почетна капитална улагања, регулаторно прилагођавање српском оквиру и логистичке сложености. Да би се решили ови изазови, Комитет наглашава потребу за структурираним и фазним приступом, фокусирајући се на регулаторно усклађивање, стратегије финансирања, развој радне снаге и интеграцију локалног ланца снабдевања.

Уз проактивну подршку владе, снажну међународну сарадњу и добро дефинисан план имплементације, одбор саветује да **EPR 1200 може постати камен темељац српске стратегије за нуклеарну енергију**. Следећа фаза Плана развоја нуклеарне инфраструктуре биће кључна за даљу анализу ових аспеката изводљивости, осигуравајући да Србија постави чврсте темеље за своју будућност у нуклеарној енергији, гарантујући чист, стабилан и енергетски независан раст у деценијама које долазе.

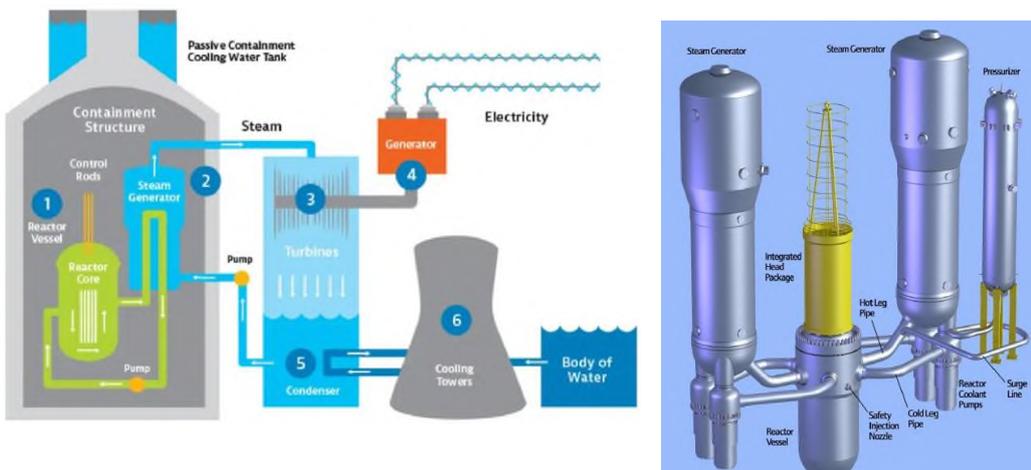
4.3.3. AP 1000 – Модерно, безбедно и ефикасно решење за нуклеарну енергију



Слика 4: План⁴ AP 1000

AP1000 је напредни реактор под притиском (PWR) генерације III+ који је пројектовала компанија Westinghouse Electric Company. Пројектован да побољша сигурност и економску ефикасност, AP1000 користи пасивне сигурносне карактеристике, модуларну конструкцију и поједностављене системске компоненте како би пружио поједностављено, али веома поуздано решење за нуклеарну енергију. Тренутно је у раду и у изградњи у више земаља и/или је планиран за изградњу, укључујући Кину, Сједињене Америчке Државе, Пољску, Украјину, Индију и Бугарску.

4.3.3.1. Кључне техничке карактеристике



⁴ Извор: Westinghouse

Reactor Thermal Power	3,415 MWth
Reactor Electrical Power	1,115 Mwe
Containment	Single
Core Inlet/Outlet Temperature	280.7°C /321.1°C
Number of Fuel Assemblies	157
Fuel Assembly Length	14 ft.
Core Damage Frequency	2.4×10^{-7}
Emergency Safeguards	Passive In-Vessel Retention System
Number of Steam Generators	2
Main Coolant Pumps	4 Canned Rotor
Refueling Interval	18 Months
Construction Period	5 Years

Табела 5: Кључне карактеристике дизајна постројења

4•3•3•2• Предности и мане

Нуклеарни реактор AP1000 представља веома напредну и економски конкурентну опцију за енергетску стратегију Србије, нудећи пасивну безбедност, модуларну конструкцију и високу поузданост. Његов поједностављени и стандардизовани дизајн смањује сложеност изградње, док модуларна израда омогућава бржу имплементацију, што га чини добрим решењем за дугорочне циљеве Србије по питању енергетске безбедности и декарбонизације. Са високим фактором искоритивости

од 93%, AP1000 обезбеђује стабилну производњу базне електричне енергије, подржавајући индустријски раст и енергетску независност.

Међутим, примена AP1000 у Србији захтева решавање кључних изазова. Висока капитална улагања захтевају снажно финансијско структурирање, коришћење владиних средстава и међународна партнерства. Поред тога, регулаторно прилагођавање српском нуклеарном оквиру и безбедносним стандардима ЕУ биће кључно за обезбеђивање усклађености. Локализација ланца снабдевања је још један кључни фактор, јер ограничења контроле извоза САД-а (10 CFR Part 810) могу ограничити приступ Србије одређеним критичним технологијама и стручности, што захтева стратешка партнерства за пренос знања.

Да би се у потпуности проценила изводљивост примене AP1000, требало би спровести детаљну техничку и економску евалуацију у Фази 1 Плана развоја нуклеарне инфраструктуре Србије. Ова студија треба да се фокусира на усклађивање прописа, механизме финансирања, логистику изградње и развој радне снаге. Уз проактивно планирање, снажну подршку владе и међународну сарадњу, AP1000 би могао постати камен темељац будућности чисте енергије у Србији, обезбеђујући сигурно, нискоугљенично и отпорно снабдевање електричном енергијом у деценијама које долазе.

	Advantages	Issues and Challenges
Technology Issues	Shorter construction period due to modular construction	First-of-a-kind challenges during initial deployment
	Advanced passive safety features, reducing human intervention	Challenges in licensing in certain regions
	Simplified and standardized design minimizes components and complexity	Supply chain readiness and localization requirements
	Modular design reduces construction risk and facilitates scalability	Supply chain localization challenges for non-US markets, due to US export control restriction (10 CFR Part 810)
	Proven performance in operational units in the USA and China	Advanced manufacturing and construction techniques require skilled workforce
	High availability factor (93%) ensures reliable baseload electricity generation	Seismic adaptability for specific sites may require customization
Non-Techno Issues	Government-backed financing available, improving affordability	High initial CAPEX, especially for early adopters
	Incremental deployment capability with potential for future plant expansion	Complex regulatory frameworks in new markets
	Supports long-term decarbonization goals and energy security	High upfront capital investment in infrastructure
	Lower operational costs due to fuel efficiency and passive safety system	Long construction timelines if non-modular approaches are adopted (due to local and regulatory constraints)
	Robust government and private investment partnerships available to facilitate project financing	Export controls limit transfer of critical technologies and engineering expertise to Serbia (10 CFR Part 810)
	Proven deployment experience in multiple countries (e.g., USA, China)	Need for sustained operator training and knowledge transfer for long-term performance
		Limited local expertise in emerging nuclear markets and EU

Слика 5: AP1000 Предности и изазови

4.3.3.3. Стратешке препоруке

За успешну имплементацију нуклеарног реактора AP1000 у Србији, неопходан је стратешки и добро структуриран приступ. Кључне препоруке укључују рано регулаторно ангажовање ради усклађивања са оквирима Србије, ЕУ и МААЕ, обезбеђујући несметан процес лиценцирања. С обзиром на велика капитална улагања, Србија би требало да истражи јавно-приватна партнерства, међународно финансирање и фазно спровођење како би оптимизовала трошкове.

Мора се развити локализована стратегија ланца снабдевања како би се побољшала исплативост, стварање радних места и смањила зависност од страног увоза, а истовремено решавати питања ограничења контроле извоза САД-а кроз алтернативне споразуме о размени знања. Обука радне снаге и програми преноса знања у сарадњи са фирмом Westinghouse и међународним нуклеарним институцијама биће од виталног значаја за дугорочни оперативни успех.

Модуларни приступ изградње AP1000 требало би искористити за смањење пројектних ризика и рокова изградње, што захтева стратешка партнерства са ЕРС фирмама за ефикасно извршење. Поред тога, студије интеграције у мрежу морају осигурати беспрекорну компатибилност са енергетском инфраструктуром Србије, истовремено подржавајући дугорочне циљеве енергетске безбедности и декарбонизације.

Детаљна студија изводљивости током Фазе 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре Србије биће неопходна за процену техничких, економских и регулаторних аспеката. Уз снажну подршку владе, међународну сарадњу и структурирано извршење, AP1000 би могао да игра кључну улогу у транзицији Србије ка сигурној енергетској будућности са ниском емисијом угљеника.

4.3.3.4. Закључак

Нуклеарни реактор AP1000 представља доказану, напредну и скалабилну технологију која се добро уклапа са дугорочним циљевима Србије по питању енергетске безбедности и декарбонизације. Са својим пасивним

системима безбедности, модуларном конструкцијом и стандардизованим дизајном, AP1000 нуди високу оперативну ефикасност, поузданост и исплативост. Његова способност да се интегрише у електроенергетску мрежу Србије и подржи будуће ширење енергетике чини га стратешким кандидатом за план развоја нуклеарне енергије земље.

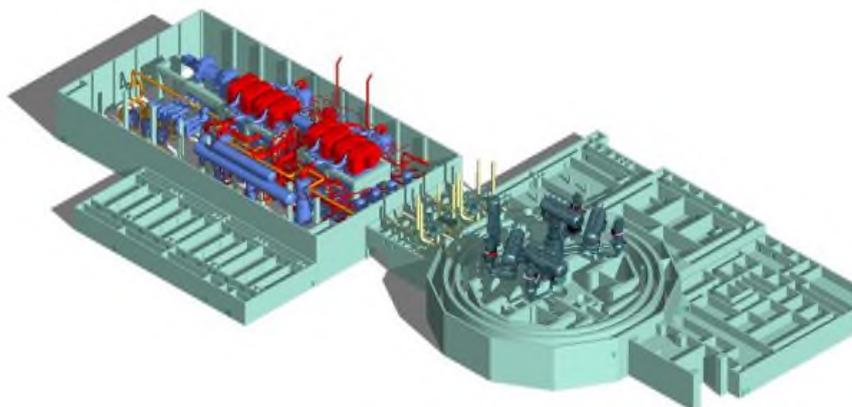
Међутим, како је навео Комитет за процену технологије, одређени изазови морају се пажљиво решити. То укључује високе почетне капиталне трошкове, регулаторну адаптацију, локализацију ланца снабдевања и ограничења контроле извоза САД-а (10 CFR Part 810), што би могло утицати на трансфер технологије. Поред тога, потреба за континуираном обуком радне снаге и трансфером знања биће кључна за обезбеђивање компетентне и квалификоване радне снаге у нуклеарној енергији у Србији.

Да би се осигурала успешна имплементација, Комитет препоручује да се спроведе детаљна студија техничке и економске изводљивости током Фазе 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре Србије. Ова студија ће проценити захтеве за лиценцирање, механизме финансирања, могућности ланца снабдевања и интеграцију у енергетску стратегију Србије. Уз проактивно регулаторно ангажовање, снажну подршку владе и међународну сарадњу, AP1000 би могао постати камен темељац чисте и безбедне енергетске будућности Србије.

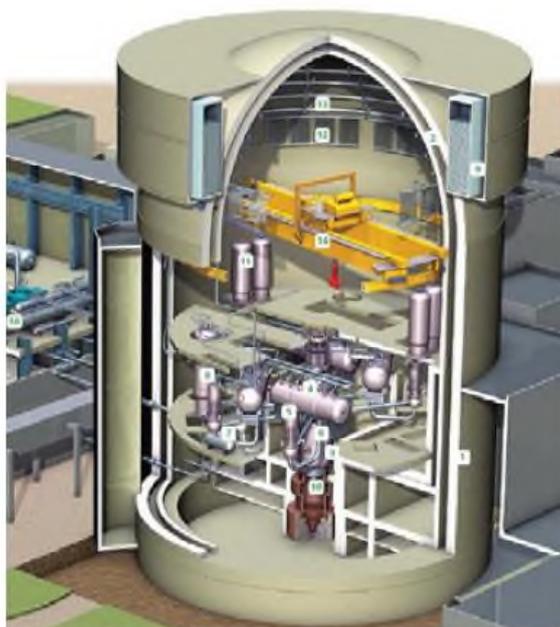
Коришћењем најбољих глобалних искустава, стратешких партнерстава и ефикасности модуларне градње, Србија може да се позиционира као регионални лидер у примени нуклеарне енергије, осигуравајући отпоран, нискоугљенични и одрживи енергетски систем за деценије које долазе.

4.3.4. VVER 1200 (AES 2006) – Напредно нуклеарно решење компаније ROSATOM

Државна корпорација Rosatom је диверзификована група компанија одговорних за свеобухватну имплементацију руске примене нуклеарне енергије. Државна корпорација поседује имовину у свим сегментима производног ланца нуклеарне индустрије, укључујући истраживање и производњу уранијума, обогаћивање и конверзију уранијума, израду горива, пројектовање и изградњу нуклеарних електрана (НЕ), рад и одржавање НЕ, инжењеринг, декомисију нуклеарних постројења, као и прераду истрошеног нуклеарног горива и радиоактивног отпада.



Слика 6: VVER 1200 – План⁵



Слика 7: Попречни пресек контејнмента^{Error! Bookmark not defined.} VVER

⁵ Извор: IAEA ARIS База података

VVER -1200 (AES-2006) је напредни реактор под притиском (PWR) генерације III+ који је развио ROSATOM, а који представља еволуцију VVER-1000 са значајним побољшањима сигурности, ефикасности и оперативне флексибилности, уз поштовање међународних стандарда нуклеарне сигурности. Дизајн AES-2006 постоји у две главне верзије:

- Модел V-491 – Имплементирана у електрани Лењинград 2, ова верзија има двоструки контејнмент, напредне системе пасивне сигурности и високу сеизмичку отпорност, што је чини погодном за примену у различитим регулаторним окружењима.
- Модел V-392M – Коришћен у електрани Нововороњеж II, ова верзија укључује компактну структуру контејнмента, оптимизовану за поједностављену конструкцију и исплативост, уз задржавање свих главних сигурносних и оперативних карактеристика серије VVER -1200.

За Србију, модел V-491 се сматра најрелевантнијим, с обзиром на његову усклађеност са европским регулаторним стандардима, доказани оперативни успех и јаке сигурносне карактеристике. VVER-1200 је тренутно у функцији у више земаља, укључујући Русију и Белорусију, са додатним јединицама у изградњи у Египту, Кини, Мађарској и Бангладешу, као и планираним пројектима у Индији, Турској и Узбекистану, што одражава његово глобално прихватање и поузданост.

Пројектован да испуни строге међународне сигурносне и сеизмичке стандарде, VVER -1200 је изузетно прилагодљив различитим условима локације и регулаторним окружењима. Са својим напредним пасивним и активним сигурносним системима, продуженим опцијама горивног циклуса (12-24 месеца) и високим фактором искористивости (~90%), VVER-1200 представља снажну опцију за разматрање у развоју нуклеарне инфраструктуре у Србији, нудећи безбедно, исплативо и дугорочно енергетско решење.

4.3.4.1• Кључне техничке карактеристике



1) Emergency Boron Injection System

Nominal Thermal Power	3200 MW
Nominal Electrical Power	1198 MW
Efficiency (gross)	37.5 %
Primary system pressure (nom/design)	16,2 / 17,6 Mpa
Coolant Temperature (inlet/outlet)	298 / 329 °C
Steam Pressure at SG outlet	7,9 MPa
Active Safety Trains	4x100% / 4x50% ¹⁾
Design Lifetime	60 years
Containment	Double
Autonomy after accident	>72 hours
Number of FA / RCCA	163 / 121
Mass of UO ₂ in the core	87065 kg
Operational Cycle	12 / 18 months
Airplan Crash (Design Basis / DEC)	Small / commercial

Слика 8: Кључне карактеристике дизајна постројења

4.3.4.2. Предности и мане

VVER -1200 (AES-2006) је проверени дизајн реактора генерације III+ који комбинује побољшане безбедносне карактеристике, побољшану ефикасност и модуларне технике конструкције како би задовољио савремене потребе нуклеарне енергије. Будући да Србија процењује потенцијалне реакторске технологије за своју стратегију нуклеарне енергије, неопходно је проценити и предности и изазове повезане са овим дизајном.

Са позитивне стране, VVER-1200 нуди напредне пасивне и активне безбедносне системе, високу оперативну ефикасност са фактором искористивости до 92% и снажан учинак у оперативним јединицама широм Русије, Белорусије и Индије. Поред тога, опције финансирања које подржава влада, скалабилност за различите величине мреже и потенцијал локализације чине га атрактивном опцијом за тржишта нуклеарне енергије у развоју.

Међутим, потребно је решити неколико изазова. Геополитички ризици, зависност од компоненти руског порекла и ограничења ланца снабдевања представљају потенцијалне препреке за земље које интегришу ову технологију ван Русије и њених савезничких тржишта. Поред тога, прилагођавање лиценцирања и потенцијална регулаторна ограничења ЕУ могу утицати на изводљивост пројекта у контексту Србије. На пример, пројекат PAKS II у Мађарској, развијен у сарадњи са фирмом Rosatom, доживео је вишеструка кашњења и регулаторну контролу повезану са правилима конкуренције ЕУ и геополитичким забринутостима. Слично томе, пројекат Nanhikivi-1 у Финској је на крају отказан 2022. године због погоршања политичких односа и ризика повезаних са његовим руским технолошким партнером. Ови случајеви истичу важност узимања у обзир геополитичког усклађивања, регулаторне несигурности и дугорочне стратешке отпорности приликом процене технолошких опција са руским везама.

Овај одељак пружа детаљну анализу кључних предности и изазова VVER-1200, обезбеђујући уравнотежену перспективу о његовој техничкој, економској и геополитичкој подобности за нуклеарни програм Србије.

	Advantages	Issues and Challenges
Technology Issues	Advanced safety features (e.g., core-catcher for severe accidents)	EU sanctions limiting collaborations and market access
	Proven design with operational units in Russia, Belarus, and India	Licensing challenges in regions outside Russia and allied countries
	Passive and active safety systems integrated into the design	Dependency on Russian-origin components and technology
	High efficiency and capacity factors (~90–92%)	Seismic design adaptations may require additional testing for specific locations
	Adaptability for both 50 Hz and 60 Hz grids	Supply chain vulnerabilities due to geopolitical constraints
	Modular construction reduces construction time	Technical / Licensing Documents Translation to English
		High initial CAPEX in non-Russian markets
Non-Techno Issues	Lower greenhouse gas (GHG) emissions and suitability for climate change mitigation	EU sanctions complicate financing and supply chain logistics
	Government-backed financing and attractive financing terms	Political risks and public opposition in some regions
	Compatibility with smaller electricity grids due to scalable designs	Public perception and acceptance challenges outside established markets
	Strong track record in Eastern Europe and Asia and Russia	Dependence on Russian fuel supply and reprocessing facilities (TVEL)
	Localization potential in host countries	Limited partnerships with Western EPC firms due to geopolitical factors
	Comprehensive support from Rosatom, including training and operations (ROSAENERGATOM)	Difficulties in knowledge transfer and sustained operator training for new markets

Слика9: Предности и изазови VVER 1200 (AES 2006)

4.3.4.3. Стратешке препоруке

Комитет за процену технологије препознаје VVER -1200 (AES-2006) као перспективну и напредну нуклеарну технологију која би могла да игра кључну улогу у будућности чисте енергије у Србији. Њен доказани успех, снажне сигурносне карактеристике и модуларна конструкција чине је атрактивном опцијом за дугорочне циљеве енергетске безбедности и декарбонизације. Међутим, да би се осигурала успешна имплементација, мора се спровести детаљна техничко-технолошка студија као део Фазе 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре Србије како би се проценили кључни регулаторни, финансијски и оперативни аспекти.

Финансирање и оптимизација трошкова требају бити пажљиво планирани, користећи државно финансирање, извозне кредитне аранжмане и потенцијална међународна партнерства како би се осигурала економска исплативост. Модуларни приступ изградње VVER-1200 нуди значајну предност у скраћивању рокова пројекта и оптимизацији расподеле ресурса, што га чини исплативим и скалабилним решењем.

Да би се максимизирале локалне користи, Србија би требало да истражи могућности за локализацију ланца снабдевања и развој радне снаге. Партнерство са фирмом ROSATOM и другим искусним нуклеарним организацијама може помоћи у стварању програма обуке, иницијатива за трансфер технологије и дугорочне оперативне експертизе, осигуравајући самодовољност земље у нуклеарним операцијама.

Иако геополитичка разматрања остају важна, Србија би се могла позиционирати као регионални лидер у нуклеарној енергији развојем добро структурираног, независног нуклеарног програма. Уз снажну посвећеност владе, стратешко планирање и јасан план, VVER -1200 може бити кључни покретач енергетске транзиције у Србији, обезбеђујући чисту, поуздану и одрживу електричну енергију у деценијама које долазе.

4.3.4.4. Закључак

Комитет за процену технологије спровео је евалуацију на високом нивоу за реактор VVER -1200 (AES-2006), препознајући његове снажне сигурносне карактеристике, модуларну конструкцију и доказани глобални успех. Као реактор генерације III+, VVER -1200 нуди побољшане пасивне и активне мере безбедности, високу ефикасност и дугорочну оперативну поузданост, што га чини стратешком опцијом за српски програм нуклеарне енергије.

Међутим, мора се следити структурирани приступ у складу са Програмом развоја нуклеарне инфраструктуре (Фаза 1) МААЕ, посебно имајући у виду тренутни ниво институционалне спремности Србије. Следећа фаза требало би да се фокусира на детаљну техничко-технолошку студију, обезбеђујући свеобухватну процену регулаторних захтева, финансијских структура, интеграције мреже и дугорочних стратегија снабдевања горивом. Тесна сарадња са стручњацима МААЕ, регулаторним телима ЕУ и међународним заинтересованим странама у нуклеарној индустрији биће неопходна за изградњу чврстог регулаторног оквира који задовољава најбоље глобалне праксе.

Са економске перспективе, VVER-1200 има користи од опција финансирања које подржава влада, што може значајно смањити капитални терет за земљу домаћина. Што се тиче локализације, искуство се разликовало у зависности од пројекта и националног контекста. Индијски пројекат Куданкулам (серија VVER -1000), на пример, показује релативно успешан модел локализације: узастопни блокови су забележили повећано учешће индијске индустрије у грађевинским радовима, турбо генераторском систему постројења и помоћним компонентама. Слични напори су у току на локацији Ел Дабаа у Египту и планирани су за PAKS II у Мађарској, где се очекује да локални извођачи радова значајно допринесу.

Међутим, локализација није била конзистентна у свим пројектима. На пример, у Акују у Турској, основне компоненте и главни системи су углавном набављени из Русије, а обим учешћа локалне индустрије је био ограниченији. Поред тога, у земљама чланицама ЕУ, напори локализације могу се суочити са изазовима

због компатибилности са европским нуклеарним стандардима, регулаторних баријера и геополитичког надзора.

Ови примери указују на то да, иако VVER-1200 нуди потенцијал за локализацију, он у великој мери зависи од раног планирања, локалних индустријских капацитета и усклађености са регулаторним и геополитичким оквирима.

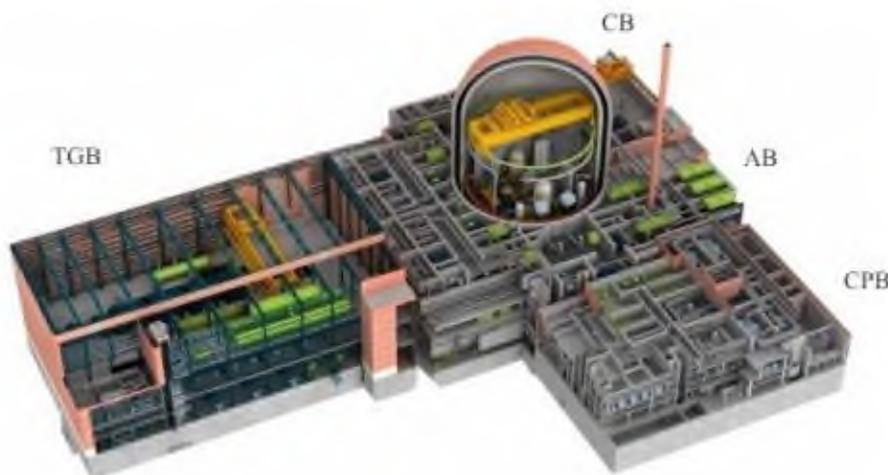
Иако VVER-TOI представља напредну еволуцију серије VVER, са побољшаном пасивном сигурношћу, побољшаном сеизмичком отпорношћу, модуларном конструкцијом и продуженим пројектним веком трајања, није укључен у ову коначну евалуацију због ограничене међународне употребе и одсуства референтних постројења ван Русије. Ипак, Влада Републике Србије може размотрити детаљнији преглед дизајна VVER-TOI у будућим фазама, уколико се додатне карактеристике ускладе са националним дугорочним потребама и ако међународне референце постану доступне.

Иако геополитички и фактори ланца снабдевања захтевају пажљиву процену ризика и стратешко планирање, VVER -1200 остаје снажан кандидат за прелазак Србије на чисту енергију. Уз проактивну подршку владе, фазни развој прописа и структуриране механизме финансирања, ова технологија може допринети дугорочној енергетској безбедности, циљевима декарбонизације и економском расту Србије.

У будућности, Комитет за процену технологије препоручује да Влада Србије спроведе фокусирану студију техничке и економске изводљивости за VVER -1200 (AES-2006) као део Фазе 2 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре IAEA. Иако VVER-TOI није оцењен у овој фази због ограничених међународних референци, његова унапређења дизајна могу захтевати будуће разматрање у зависности од развоја стратешких, регулаторних и индустријских приоритета Србије.

4.3.5. APR 1000 – Напредни енергетски реактор 1000

APR1000 је реактор под притиском (PWR) генерације III+ који је развила компанија Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP). Заснован је на оперативном искуству APR1400 и OPR1000, интегришући напредну сигурност, поузданост и економску ефикасност, уз истовремено обезбеђивање усклађености са међународним сигурносним и регулаторним стандардима. Дизајн је оптимизован за мреже средње величине, нудећи нето електричну снагу од 1000 MWe, и укључује пасивне сигурносне карактеристике за побољшање спречавања и ублажавања незгода.



Слика 4: План постројења APR1000

4.3.5.1• Кључне техничке карактеристике

APR1000 интегрише добро успостављене технологије изведене из породица реактора APR1400 и OPR1000, обезбеђујући високу оперативну поузданост и лакоћу одржавања. Његов дизајн даје приоритет сигурности, ефикасности и прилагодљивости, што га чини конкурентном опцијом за нове пројекте нуклеарне инфраструктуре.

Parameter	APR1000 Specification
Core Power	2,815 MWt
Electrical Output (net)	1,000 MWe
Containment	Single reinforced concrete, pre-stressed with a steel liner
Operation Cycle	12 to 18 months, with an option for 24 months
Primary Coolant System	2-loop system with four canned-motor reactor coolant pumps
Availability Factor	≥ 90% (Designed for high reliability)
Design Plant Life	60 years, with potential extension beyond 70 years
I&C (Instrumentation & Control)	Fully digital I&C system with reactor protection system (RPS)
Fuel Assemblies	177 fuel assemblies (16x16 array)
Spent Fuel Storage Capacity	Approximately 10+ years onsite storage
Grid Connection	50 Hz standard design (adaptable to 60 Hz)
Load follow flexibility	Designed for load-following with power modulation capability

Табела 6: Кључне карактеристике дизајна постројења

4.3.5.2• Предности и мане

Нуклеарни реактор APR1000 представља уравнотежену комбинацију напредних сигурносних, економских и аспеката ефикасности, што га чини јаким кандидатом за примену нуклеарне енергије. Као еволуција дизајна APR1400 и OPR1000, он интегрише проверену технологију реактора са побољшаном сигурношћу и оперативном флексибилношћу. Међутим, као и сваки велики нуклеарни дизајн, APR1000 има и предности и изазове које треба пажљиво проценити.

Што се тиче предности, APR1000 користи модуларне технике конструкције које смањују рад на лицу места, осигуравајући брже временске рокове инсталације. Његове робусне сигурносне мере, укључујући пасивне помоћне системе за напајање водом, хватаче језгра и напредне системе за контролу водоника, у складу су са савременим регулаторним очекивањима. Поред тога, реактор показује високе факторе доступности и флексибилне могућности праћења напонског оптерећења, подржавајући интеграцију са обновљивим изворима енергије.

Упркос овим предностима, постоје значајни изазови које треба размотрити. Високи капитални издаци (CAPEX) и сложен дизајн уводе финансијске и логистичке баријере за потенцијалне купце. Зависност реактора од велике потрошње воде представља ограничења за употребу у регионима са оскудицом воде. Штавише, одсуство признате регулаторне сертификације земље порекла покреће забринутост у вези са роковима за лиценцирање и међународним прихватањем.

Ово поглавље систематски процењује кључне предности и мане APR1000, категоришући их у техничке и нетехничке аспекте. Разумевањем ових фактора, заинтересоване стране могу доносити информисане одлуке у вези са изводљивошћу примене APR1000 у оквиру Програма развоја нуклеарне инфраструктуре Србије.

	Advantages	Issues and Challenges
Technology Issues	Advanced Safety Systems – Features passive auxiliary feedwater, core catcher, and hydrogen recombiner	Cybersecurity Risks – Requires continuous updates to counter evolving threats
	Proven Reactor Lineage – Based on APR1400 and OPR1000, operational in South Korea and UAE.	Regulatory Barriers – No country-of-origin regulatory certification identified for APR1000.
	Resilient to External Hazards – Designed to withstand seismic shocks, floods, and aircraft impacts.	Cooling System Demand – High water usage may limit deployment in arid regions.
	High Availability Factor – Designed for 90%+ operational availability, ensuring grid stability.	Seismic Adaptability – Additional modifications may be needed for high-seismic regions.
	Load-Following Capability – Can adjust power output from 25% to 100%, integrating well with renewables.	Grid Integration Issues – Load-following requires significant infrastructure upgrades.
	Standardized Components – Optimized parts reduce supply chain risks.	Technical / Licensing Documents Translation to English
Non-Techno Issues	Low Carbon Emissions – Zero operational CO ₂ emissions support climate goals.	Complexity of Design – Advanced systems require highly skilled personnel for maintenance.
	Experienced Operator Support – Backed by KHNP's technical expertise.	Knowledge Transfer – Training programs needed for new nuclear markets, increasing costs.
	Government Financing – South Korean export credits and partnerships reduce financial risks.	Economic Viability – High upfront costs
	Localization Opportunities – Potential for local supplier involvement.	Supply Chain Complexity – Managing multiple contractors increases risks of delays and cost overruns
	Secure Supply Chain – KHNP ensures stable fuel and component availability.	Regulatory Delays – APR1000 lacks pre-approved certifications, extending licensing timelines.
		Limited partnerships with Western EPC firms
	Difficulties in knowledge transfer and sustained operator training for new markets	

Слика 5: APR 1000 Предности и изазови

4.3.5.3. Стратешке препоруке

APR1000 представља обећавајућу опцију нуклеарне технологије за Србију, комбинујући проверени дизајн реактора, напредне сигурносне карактеристике и предности модуларне изградње. Да би се осигурала успешна евалуација и потенцијално примењивање, неопходно је предузети неколико стратешких акција. Прво, пошто Комитет за процену технологије није идентификовао ниједну регулаторну сертификацију земље порекла за APR1000, Србија би требало да се ангажује са релевантним међународним регулаторним телима и KHNP-ом како би успоставила јасан пут сертификације. Рани разговори о захтевима за лиценцирање олакшаће несметано регулаторно одобрење и минимизирати потенцијална кашњења.

Поред тога, иако APR1000 тврди да има користи од модуларизације, нису идентификоване чињеничне или имплементирани референце. Трбало би спровести структурирани програм техничке валидације, укључујући процене оперативних јединица APR1400, како би се потврдиле ове тврдње. Истовремено, потребна је свеобухватна студија изводљивости и локализације како би се утврдио капацитет Србије да интегрише локалне добављаче, радну снагу и инфраструктуру у пројекат. Јачање учешћа локалне индустрије максимизираће економске бенефите и подржати стварање радних места.

Као релевантан преседан, у пројекту нуклеарне електране Бараках у УАЕ, модел испоруке KHNP-а је укључивао веома ограничену локализацију. Један пример је учешће компаније Hilal Bil Badi⁶ and Partners Contracting, фирме са седиштем у УАЕ, која је задужена за изградњу критичних армиранобетонских објеката за усисавање воде. Ово илуструје да, иако је извесно локално учешће било омогућено у нуклеарним

⁶ <https://www.power-technology.com/projects/barakah-nuclear-power-plant-abu-dhabi/>

грађевинским радовима, укупна локализација је била минимална и у великој мери зависила од регулаторног и индустријског контекста земље домаћина.

Са финансијске перспективе, обезбеђивање исплативих механизма финансирања биће кључно, јер високи почетни капитални издаци могу представљати изазов. Истраживање јужнокорејских кредитних аранжмана за извоз нуклеарне енергије и јавно-приватних партнерстава могло би да пружи Србији конкурентна финансијска решења. Штавише, дугорочне стратегије преноса знања и развоја радне снаге требало би да се успоставе у сарадњи са КННП-ом како би се изградила нуклеарна стручност Србије. Програми обуке оператера и техничка сарадња обезбедиће несметан рад и одржавање постројења. Међутим, прошла искуства, као што је кашњење нуклеарне електране Барака у УАЕ због недостатака обуке⁷ оператера, истичу потребу да Србија развије снажан програм обуке оператера рано у пројекту. Решавање питања спремности радне снаге биће кључно за избегавање потенцијалних кашњења и осигуравање успешног извршења пројекта.

Коначно, Србија би требало да процени неопходне мере интеграције у мрежу, јер са могућности праћења напонског оптерећења APR1000 нуди флексибилност у мешовитом енергетском окружењу. Међутим, могу бити потребна улагања у инфраструктуру како би се оптимизовале његове перформансе у оквиру енергетске мреже Србије. Решавањем ових стратешких препорука, Србија може ојачати планирање своје нуклеарне инфраструктуре и позиционирати APR1000 као одрживу и конкурентну опцију за будуће примењивање.

4.3.5.4. Закључак

APR1000 нуди технолошки напредно, високо ефикасно решење за нуклеарну енергију које је у складу са дугорочним циљевима Србије у области енергетске безбедности и декарбонизације. Са својом снажном лозом реактора заснованом на APR1400 и OPR1000, он представља добро успостављен и поуздан дизајн. Напредне сигурносне карактеристике реактора, висок фактор доступности и модуларни елементи конструкције доприносе његовој привлачности као модерног решења за нуклеарну енергију. Међутим, кључна подручја као што су лиценцирање, локализација и финансијско структурирање захтевају даљу процену пре него што се донесу било какве одлуке о примени.

Комитет за процену технологије је идентификовао потребу за даљом валидацијом тврдњи о модуларној конструкцији, јер нису пронађене конкретне имплементирани референце. Поред тога, одсуство постојећих регулаторних одобрења за APR1000 представља изазов који се мора решити кроз структурирано ангажовање са регулаторним телима. Ови фактори истичу важност спровођења детаљне студије техничке изводљивости у следећој фази Програма развоја нуклеарне инфраструктуре Србије.

Упркос овим изазовима, APR1000 остаје атрактивна опција због својих снажних носних перформанси, прилагодљивости захтевима мреже и потенцијала за локализацију. Уз проактивно ангажовање регулаторних органа, структурирано финансијско планирање и снажне иницијативе за пренос знања, Србија може искористити APR1000 технологију као део отпорног, одрживог и за будућност спремног програма нуклеарне инфраструктуре.

⁷ Извор: <https://www.reuters.com/article/markets/currencies/exclusive-arab-worlds-first-nuclear-reactor-delayed-again-over-training-sour-idUSKBN1GY1XS/>

4.3.6. Укупно поређење Великих нуклеарних електрана (LNPP)

Комитет за процену технологије спровео је евалуацију високог нивоа за EPR 1200, AP 1000, VVER 1200 и APR 1000, испитујући њихове кључне техничке и оперативне карактеристике. Сваки дизајн реактора нуди јединствене предности у погледу сигурности, оперативне флексибилности, ефикасности горивног циклуса и методологија изградње.

Следећа табела приказује структурирано поређење ове четири реакторске технологије, истичући њихове одговарајуће предности и погодност за развој нуклеарне инфраструктуре у Србији. Ова евалуација високог нивоа има за циљ да води доносиоце одлука у одабиру најодрживије опције за даља детаљна истраживања у Фази 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре.

Процена разматра кључне параметре, укључујући животни век дизајна, електрични капацитет, дужину горивног циклуса, сеизмички дизајн, карактеристике контејнмента и компатибилност са мрежом. Резултати наглашавају да су све четири технологије добро прихваћене у глобалној нуклеарној индустрији, са доказаним оперативним перформансама и снажном подршком добављача. Међутим, одређени аспекти, као што су потенцијал локализације, регулаторна сертификација и временски рокови изградње, захтевају даљу валидацију у српском контексту.

Параметар	EPR 1200 (Француска, EDF/Framatome)	AP 1000 (САД, Westinghouse)	VVER 1200 AES- 2006 (Русија, ROSATOM)	APR 1000 (Јужна Кореја, KHNP)
Животни век дизајна	60 година (прошириво до 80)	60 година	60 година (потенцијал за 70+ уз инспекције)	60 година (прошириво)
Капацитет постројења (MWe)	1200	1115	1170	1000
Дужина горивног циклуса	12–24 месеци	18 месеци	12–24 месеци	12–18 месеци
Ниво обогаћивања	До 4.95%	До 5%	До 5%	До 5%
Управљање потрошеним горивом	Мокро и суво складиштење, опција за прераду и регенерацију	Мокро и суво складиштење	Мокро и суво складиштење, могућност прераде и регенерације	Мокро и суво складиштење
Хватач језгра	Да	Да	Да	Да
Безбедносни канали	Четири независна канала	Пасивна безбедност, гравитациони погон	Интеграција активне и пасивне безбедности	Систем безбедности са четири канала
Разноликост и редундантност	Висока	Висока	Висока	Висока
Главни I&C систем	Дигитална контрола са сајбер безбедношћу	Дигитални I&C	Дигитални I&C са функцијама сајбер безбедности	Дигитални I&C

Параметар	EPR 1200 (Француска, EDF/Framatome)	AP 1000 (САД, Westinghouse)	VVER 1200 AES- 2006 (Русија, ROSATOM)	APR 1000 (Јужна Кореја, KHNP)
Управљање тешким несрећама	Напредни контејнмент и ублажавање последица	Пасивно хлађење језгра	Пасивна и активна контрола тешких незгода	Систем за задржавање растопљеног језгра
Дизајн контејнмента	Једнослојни контејнмент	Једнослојни контејнмент	Двослојни контејнмент	Ојачани контејнмент
Запремина контејнмента	Није доступно	Компактан	Велики	Компактан
Електрична резерва	Дизел и пасивна резерва	Пасивна батерија и дизел	Дизел и мобилни генератори	Дизел резерва
Величина нуклеарног острва	Компактно	Мала површина	Велико	Компактно
Запремина бетона (m ³ /MWe)	Није доступно	Није доступно	Није доступно	Није доступно
Компатибилност са фреквенцијом мреже	Компатибилно са 50 Hz & 60 Hz	Компатибилно са 50 Hz & 60 Hz	Дизајнирано за 50 Hz, прилагодљиво за 60 Hz	Стандардно за 50 Hz, прилагодљиво за 60 Hz
Безбедносна филозофија	Редундантна активна безбедност + пасивна	Нагласак на пасивној безбедности	Комбинација активног и пасивног	Хибридни приступ безбедности
Тип горива	UO ₂ & MOX	UO ₂ & MOX	UO ₂ & MOX	UO ₂
Сеизмички дизајн	0.3g SSE	0.3g SSE	0.25g SSE, прилагодљив	0.3g SSE
Земља порекла и добављач	Француска, EDF/Framatome	САД, Westinghouse	Русија, ROSATOM	Јужна Кореја, KHNP

Tabela 7: Табела Укупног поређења LNPP

4.3.7. Резиме и кључни закључци

Компаративна анализа истиче да су све четири реакторске технологије **зреле, напредне и способне да задовоље дугорочне енергетске потребе Србије**. Сваки дизајн има специфичне **техничке и економске предности**, које треба пажљиво одмерити у односу на регулаторне, финансијске и захтеве за интеграцију у мрежу Србије током Фазе 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре.

- **EPR 1200** нуди високу излазну снагу, напредну сигурности и јаку усклађеност са европским прописима, што га чини погодним за европску примену. Међутим, трошкови његове изградње и сложеност су изазовни.

- **AP 1000** је дизајниран за исплативу и поједностављену примену, користећи пасивну сигурност као кључну карактеристику. Има доказане резултате, али захтева даљу процену за интеграцију локалног ланца снабдевања због проблема контроле извоза и Стратегије добављача технологије.
- **VVER 1200** има богато оперативно искуство, посебно у Источној Европи и Русији, и нуди снажан потенцијал локализације. Међутим, требало би преиспитати геополитичка разматрања и прописе о контроли извоза.
- **APR 1000** се надовезује на стручност Јужне Кореје у области нуклеарне енергије и позиционира се за глобална тржишта, иако Комитет за процену технологије није идентификовао регулаторну сертификацију земље порекла за овај реактор.

С обзиром на тренутни статус Србије у развоју нуклеарне инфраструктуре, требало би спровести **даље процене техничке изводљивости** како би се проценила погодност сваког дизајна за локалне услове. **Комитет за процену технологије могао би да настави са усавршавањем анализе у Фази 1**, осигуравајући да је нуклеарна стратегија Србије усклађена са најбољим међународним праксама у области безбедности, регулативе и економије.

4.3.7.1• Завршна разматрања и дугорочна визија, укључујући план развоја

Евалуација технологија Великих нуклеарних електрана (LNPP) у Претфази 1 Програма развоја нуклеарне инфраструктуре пружила је поређење на високом нивоу реактора EPR 1200, AP 1000, VVER 1200 и APR 1000. Међутим, даље детаљне техничке и економске процене су неопходне за усавршавање избора технологије, финансијског структурирања, регулаторног усклађивања и стратегија имплементације пројекта.

Комитет за процену технологије нагласио је да следећа фаза мора да укључи холистичку и вишедимензионалну евалуацију која се протеже даље од дизајна реактора и фокусира се на изводљивост, спремност инфраструктуре, финансирање, сигурност, локализацију, усклађеност са прописима и дугорочну одрживост. Фаза 1 и даље служиће као путоказ како би се осигурало да је нуклеарни програм Србије усклађен са најбољим глобалним праксама и да задовољава националне енергетске потребе.

◆ Стратешки фокус за следећу фазу

Како Србија напредује у Фази 1 свог Програма развоја нуклеарне инфраструктуре из Претфазе 1, Комитет за процену технологије (ТАС) идентификовао је кључна подручја фокуса која захтевају детаљну процену како би се осигурала техничка, економска и регулаторна изводљивост коришћења великих нуклеарних електрана (LNP). Ова фаза ће се надовезати на прелиминарну процену технологије, прелазећи на свеобухватну студију изводљивости која узима у обзир **услове локације, стратегије горивног циклуса, нуклеарну сигурност, интеграцију са турбо-генератоски делом постројења, спремност технологије и финансијско структурирање**.

Биће спроведена темељна процена локације и животне средине како би се утврдили фактори као што су **сеизмичка отпорност, захтеви за земљиштем, опције система хлађења (мокро наспрам сувог хлађења) и зоне планирања за ванредне ситуације (EPZ)**. Осигуравање да је изабрана технологија усклађена са географским и еколошким условима Србије је кључни приоритет за регулаторну лиценцу и дугорочну оперативну безбедност. Поред тога, **горивни циклус мора се детаљније испитати, укључујући споразуме о снабдевању горивом, захтеве за обогаћивање уранијума, складиштење истрошеног горива и стратегије управљања отпадом**, осигуравајући усклађеност са стандардима МААЕ и ЕУ о неширењу нуклеарног материјала и заштити животне средине.

Процене нуклеарне сигурности треба да се фокусирају на процену дизајна језгра реактора, структура контејнеманта, пасивних и активних сигурносних карактеристика, учесталости оштећења језгра (CDF) и укупних стратегија за ублажавање ризика. Препоручује се да Комитет за процену технологије потврди способност сваке технологије да испуни међународне захтеве за лиценцирање и обезбеди робусне мере за приправност за ванредне ситуације током Фазе 1. Поред тога, биће спроведен преглед дизајна и перформанси нуклеарног острва, процењујући капацитет генератора паре, ефикасност топлотне енергије, поузданост рада и стабилност мреже.

Поред производње електричне енергије, биће испитан и пројекат за турбо-генераторски део електране (BOP) како би се истражиле додатне примене као што су даљинско грејање, производња водоника и производња индустријске паре. Овај шири потенцијал вишеструке употребе осигурава да Србија максимизира економску и индустријску вредност својих нуклеарних инвестиција. Поред тога, биће спроведене студије интеграције у мрежу како би се проценило како ће употреба велике нуклеарне електране (LNPP) интераговати са мрежом за пренос електричне енергије Србије и подржати флексибилност мреже која се углавном ослања на обновљиве изворе енергије.

Безбедност и усклађеност са прописима такође ће бити главни фокус, са детаљном стратегијом заштитних мера и заштите за решавање питања физичке безбедности, сајбер безбедности и одговорности за нуклеарни материјал. Комитет за процену технологије препоручио је да се осигура усклађеност са безбедносним смерницама ЕУ, МААЕ и WENRA, чиме се осигурава да нуклеарни програм Србије испуњава највише међународне безбедносне стандарде.

Свеобухватна процена спремности технологије потврдиће зрелост, историју примене и поузданост сваке реакторске технологије, осигуравајући да Србија изабере проверену, добро подржану технологију са снажним оперативним резултатима. Поред тога, мора се дефинисати стратегија извршења и испоруке, која обухвата планове набавке, изводљивост модуларне изградње, развој радне снаге и стратегије локализације добављача.

Са економске и финансијске перспективе, Фаза 1 ће усавршити моделирање трошкова CAPEX и OPEX, инвестиционе стратегије и механизме финансирања. Србија мора истражити јавно-приватна партнерства, суверене гаранције, извозне кредитне аранжмане и могућности финансирања од стране ЕУ како би обезбедила финансијску одрживост пројекта. Препоручује се да Комитет за процену технологије процени ризике трошкова, структуре финансирања и економску изводљивост како би се осигурало да је нуклеарни програм Србије и финансијски и стратешки одржив.

Бавећи се овим областима стратешког фокуса, Србија може да успостави јаку основу за дугорочно коришћење нуклеарних реактора, обезбеђујући да њен програм великих нуклеарних електрана буде технички исправан, економски одржив и усклађен са националним циљевима енергетске безбедности и декарбонизације. Комисија за процену технологије може да допринесе даљим надгледањем овог процеса, обезбеђујући да се сви критични фактори свеобухватно процене пре него што се пређе на следећу фазу развоја нуклеарне инфраструктуре.

4.4• Мали модуларни реактори у развоју (SMR)

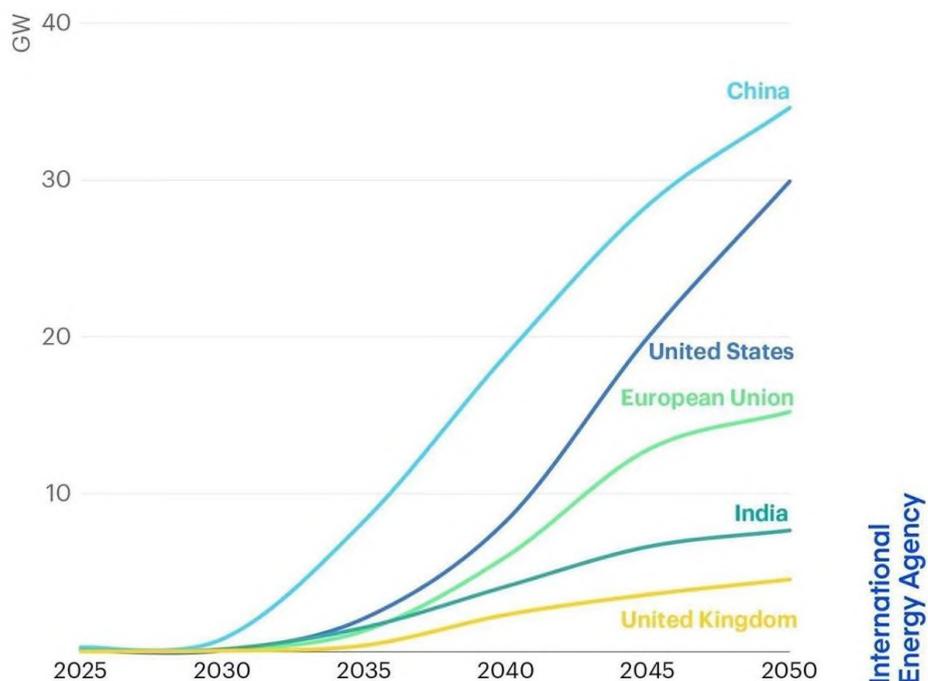
4.4.1• Увод

Мали модуларни реактори (SMRs) се појављују као обећавајуће решење, допуњујући улогу великих нуклеарних електрана. SMR нуде флексибилност, модуларност и економичност, што их чини атрактивним за стабилност мреже Србије, индустријске примене и потенцијалне транзиције са угља на нуклеарну енергију.

SMR, како их је класификовала Међународна агенција за атомску енергију (МААЕ) су реактори електричног капацитета до 300 MWe, пројектовани за модуларну производњу и фабричку производњу. За разлику од традиционалних реактора великих снага, који захтевају опсежну изградњу на лицу места, SMR прате модел „заснован на производу“, што омогућава монтажу на постојећим локацијама електрана или имплементацију у удаљеним и индустријским подручјима. Овај модуларни приступ побољшава предвидљивост трошкова, смањује време изградње и минимизира ризике пројекта.

By 2050, over a thousand small modular reactors could deliver combined capacity of 120 gigawatts

Small modular reactor (SMR) capacity in leading markets in the Announced Pledges Scenario



Ниво детаља у процени малих модуларних реактора је намерно већи него код великих нуклеарних електрана. Ово одражава неколико кључних контекстуалних фактора, а не разлику у значају или релевантности. Прво, SMR представља брзо развијајући сегмент глобалне нуклеарне сцене, са више произвођача који напредују у развоју различитих дизајна, од концептуалног развоја до лиценцирања и ране примене. Стога је потребно више простора да се окарактеришу и разликују технологије које су често мање познате и разноврсније у филозофији дизајна, величини и моделу примене.

Друго, пошто већина SMR дизајна још увек није комерцијално оперативна, ова процена се ослања на податке произвођача, јавне најаве пројеката, пријаве за лиценцирање и ране студије изводљивости како би се осигурало транспарентно представљање свих релевантних техничких, економских и стратешких променљивих. Насупрот томе, технологије LNPP као што су AP1000, EPR и VVER-1200 већ су у употреби или у изградњи широм света, са добро документованим референтним постројењима и консолидованијом историјом пројектовања, што омогућава сажетију процену засновану на валидираном искуству.

На крају, српски контекст посебно види SMR као потенцијални пут за фазну декарбонизацију, замену угља и флексибилну интеграцију у мрежу, што захтева дубљу анализу модела примене, регулаторне спремности и потенцијала локализације. Иако је процена уравнотежена за обе категорије, широка варијабилност, ранија фаза развоја и стратешка новост SMR природно захтевају детаљније истраживање како би се подржало доношење одлука заснованих на доказима.

4.4.1.1• Технолошка зрелост и разматрања примене

Глобално, примена SMR је још увек у раним фазама, са ограниченим оперативним искуством и недостатком успостављених ланаца снабдевања. Иако су одређени дизајни, попут кинеског ACP-100, у изградњи, а руски KLT-40S је већ показао оперативни успех, већина западних SMR дизајна још увек није достигла комерцијализацију. Међу њима, NuScale је једини западни SMR који је добио коначно одобрење дизајна од Америчке комисије за нуклеарну регулативу (U.S. NRC)⁸.

За Србију је неопходна пажљива процена **спремности технологије, изводљивости ланца снабдевања и регулаторне компатибилности** пре него што се одлучи на примену SMR-а. С обзиром да Србија тренутно развија посебно нуклеарно регулаторно тело, развој јасног лиценцирања и регулаторног оквира усклађеног са стандардима ЕУ и МААЕ биће кључни предуслов за усвајање SMR.

4.4.2• Улога малих модуларних ректора (SMR)

Мали модуларни реактори (SMR) се представљају као убедљива алтернатива конвенционалним великим нуклеарним електранама (LNPP). SMR нуде већу **флексибилност примене, нижа капитална улагања и побољшану скалабилност**, што их чини атрактивном опцијом за земље које теже декарбонизацији, енергетској безбедности и исплативој примени нуклеарне енергије.

Традиционалне велике нуклеарне електране захтевају **велика почетна капитална улагања**, често се крећу између 8 и 10 милијарди долара за постројење од 1200 MWe, што може представљати финансијске и логистичке изазове за земље са мањим енергетским мрежама или ограниченим инвестиционим капацитетом. Насупрот томе, SMR су **пројектовани да смање финансијски ризик и сложеност изградње, омогућавајући постепена, фазна улагања** која су усклађена са растом националне потражње за енергијом.

⁸ <https://www.energy.gov/ne/articles/nrc-approves-first-us-small-modular-reactor-design>

Кључна предност SMR је њихова способност да искористе **модуларне технике изградње, значајно смањујући време и трошкове изградње на лицу места**. За разлику од конвенционалних реактора, који захтевају опсежне грађевинске радове и инфраструктуру великих размера, SMR се често фабрички склапају и транспортују до места постављања. Овај приступ минимизира ризике изградње, побољшава контролу квалитета и убрзава временске оквири постављања, што је кључна предност за земље попут Србије, које успостављају свој први програм нуклеарне енергије.

Већина SMR дизајна се фокусира на технологију реактора под притиском, која је добро разумљива регулаторима и има доказану сигурносну историју. Интегрисањем кључних компоненти реактора као што су суд за одржавање притиска, генератори паре и реакторска језгра у један компактни суд, SMR поједностављују дизајн постројења, смањују број спољних компоненти и сложених цевовода. Ова интегрална конфигурација реактора под притиском побољшава оперативну ефикасност, повећава сигурносне маргине и минимизира захтеве одржавања.

Поред тога, мали модуларни реактори (SMR) нуде неупоредиву флексибилност примене, што их чини погодним за разне примене поред производње електричне енергије. Ови реактори могу се користити за даљинско грејање, десалинизацију, производњу водоника и индустријске примене, пружајући вишенаменска енергетска решења која су у складу са дугорочном стратегијом диверзификације енергије у Србији. Неки SMR, попут руских модела плутајућих електрана, чак се пројектују и за удаљене локације и снабдевање енергијом ван мреже, демонстрирајући своју свестраност у различитим оперативним окружењима.

Још један кључни аспект SMR су њихове побољшане пасивне сигурносне карактеристике, које значајно смањују ослањање на спољне изворе енергије за хлађење у ванредним ситуацијама. Многи модерни SMR укључују системе хлађења покретане гравитацијом, самосталне механизме за хитно гашење и напредне системе за рекомбинацију водоника, осигуравајући да реактор може да одржи сигурност чак и у екстремним акциденталним сценаријима.

4.4.2.1. Увод

Мали модуларни реактори (SMR) представљају стратешку могућност да се превазиђу традиционални изазови великих нуклеарних електрана (LNPP). Примена SMR је у складу са циљевима Србије за енергетску независност, флексибилност мреже и декарбонизацију, истовремено одговарајући на кључне изазове као што су трошкови, рокови изградње и ограничења локација.

✦ Побољшана безбедност и напредне функције пасивне безбедности

SMR су дизајнирани да интегришу више од 60 година искуства нуклеарне индустрије, укључујући побољшане сигурносне системе и пасивне механизме хлађења. За разлику од великих нуклеарних електрана које се ослањају на активне сигурносне системе и спољне изворе напајања, SMR користе пасивне сигурносне механизме, смањујући ризик од људске грешке и оперативних пропуста.

Због мањих димензија језгра и напредног дизајна реактора, SMR остварују веће сигурносне маргине и могу да се ослањају на велике залихе воде за пасивно хлађење у екстремним условима, као што је губитак спољне електричне енергије. Ово минимизира зависност од сложених спољних система и повећава отпорност на акциденте.

За Србију, пасивна сигурност и поједностављено руковање би помогли у олакшавању прихватања од стране регулаторног тела, јер држава успоставља свој први нуклеарни регулаторни оквир. Потенцијал за смањење зона планирања заштите од ванредних ситуација ван локације објекта (EPZ) може поједноставити

лиценцирање, смањити забринутост јавности за сигурност и олакшати флексибилне опције локације постројења ближе центрима потражње, побољшавајући ефикасност дистрибуције енергије.

✘ **Флексибилност у интеграцији мреже и вишенаменско коришћење енергије**

План енергетске транзиције Србије предвиђа нискоугљенични енергетски микс, где нуклеарна енергија допуњује променљиве обновљиве изворе попут ветра и сунца. SMR пружају кључну флексибилност мреже, омогућавајући Србији да постепено укине електране на фосилна горива, уз одржавање стабилности мреже и базне снаге.

SMR имају потенцијал да раде у режиму праћења напонског оптерећења, подешавајући излазну снагу од 25% до 100% како би се прилагодили флукуацијама у производњи обновљиве енергије. Ова карактеристика чини SMR посебно погодним за променљиви енергетски пејзаж Србије, где расте потражња за расположивим, нискоугљеничним изворима енергије

Поред производње електричне енергије, SMR такође подржавају вишенаменске примене, укључујући:

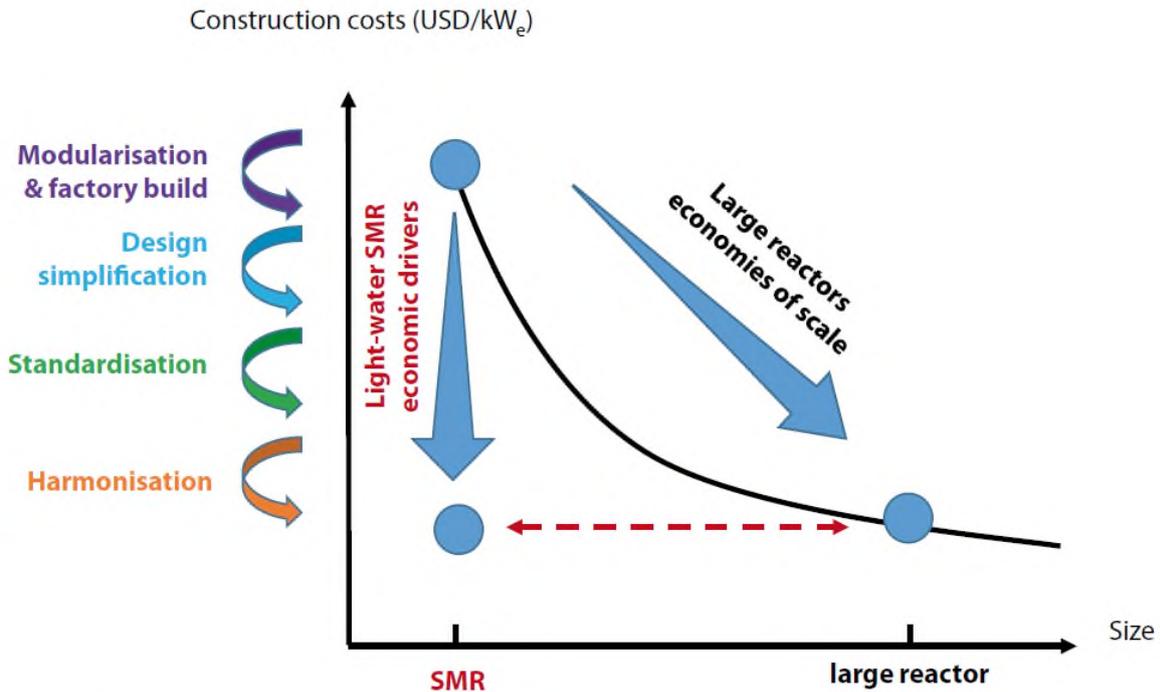
- Даљинско грејање и индустријско снабдевање топлотом за урбане центре и производне секторе.
- Десалинизацију за регионе са оскудицом воде, обезбеђујући безбедност снабдевања слатком водом.
- Производњу водоника за складиштење чисте енергије и декарбонизацију транспорта.

Интеграцијом ових могућности, SMR пружају Србији диверзификовано решење за чисту енергију које подржава циљеве производње електричне енергије и индустријске декарбонизације.

✘ **Конкурентност трошкова и инвестиционе предности малих модуларних реактора SMR**

Један од најпривлачнијих аспеката малих модуларних реактора (SMR) је њихова способност да трансформишу економски модел нуклеарне енергије, удаљавајући се од високих капиталних трошкова традиционалних великих нуклеарних постројења ка инкременталним, скалабилним инвестицијама.

За Србију, где су финансијска изводљивост и структура инвестиција кључни за дугорочно енергетско планирање, SMR пружају јединствену прилику за постепено унапређење нуклеарних капацитета уз ефикасно управљање економским ризицима.



Source: NEA (2021b).

Слика 6: Кључни економски покретачи SMR-а за надокнаду неекономичности обима

За разлику од конвенционалних великих нуклеарних реактора, који захтевају унапред инвестиције од више милијарди евра, SMR омогућавају фазно реализовање, што Србији омогућава да расподели трошкове током времена, уместо да се обавезе на огромна капитална улагања у једној фази. Овај приступ фазних инвестиција добро се уклапа у оквир економског планирања Србије, нудећи финансијски одржив пут ка проширењу нуклеарне енергије.

Још једна кључна предност SMR-ова је њихов стандардизовани модуларни дизајн, који смањује ризике градње и специфичне компликованости локације [Слика 13: Кључни економски покретачи SMR-а за компензацију неекономичности величине]. Реакторски модули изграђени у фабрици могу бити префабриковани и састављени на лицу места, што обезбеђује већу прецизност, контролу квалитета и предвидивост распореда. Овај поједностављени процес изградње се претвара у ниже трошкове пројекта и смањење кашњења, која су уобичајени изазови код пројеката традиционалних нуклеарних електрана.

Поред тога, SMR-ови уводе брже рокове за имплементацију у поређењу са конвенционалним реакторима. Коришћење модуларних техника изградње и фабричке производње може смањити рад на лицу места за до (просечно од 20% до 40%)^{9,10}, значајно минимизујући застоје у изградњи, прекорачења трошкова и ризике финансирања. Овај приступ је посебно повољан за Србију, јер убрзава реализацију циљева у нуклеарној енергији без преоптерећења финансијских ресурса државе.

Штавише, мали модуларни реактори (SMR) представљају атрактивну инвестициону прилику за учешће приватног сектора. Захваљујући њиховој мањој величини пројекта и скалабилности, SMR-ови су приступачнији приватним инвеститорима, институционалним зајмодавцима и комерцијалним финансијским

⁹ Светска нуклеарна асоцијација: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors>

¹⁰ Мали модуларни реактори: Изазови и шансе – NEA извештај 2021 (https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf)

партнерима. Ово отвара врата за јавно-приватна партнерства (ЈПП), аранжмане за извозне кредите и иновативне финансијске механизме, чинећи нуклеарне инвестиције флексибилнијим и економски одрживим за Србију.

Искористивши конкурентност трошкова и инвестиционе предности SMR-ова, Србија може постепено развијати свој нуклеарни енергетски капацитет без финансијског оптерећења великих нуклеарних пројеката. Економска флексибилност, смањен финансијски ризик и могућности брзе имплементације SMR-ова позиционирају их као идеално решење за дугорочну енергетску безбедност Србије, транзицију ка чистој енергији и одрживи економски раст.

✦ Стандартизација у дизајну и имплементацији SMR

Мали модуларни реактори (SMR) нуде значајну прилику за стандардизацију, која је кључна за смањење трошкова, ефикасност регулаторних процеса и оптимизацију ланца снабдевања. Стандардизација дизајна реактора и повезаних процеса испоруке доказано је ефикасна стратегија у великим нуклеарним пројектима, подстичући учење кроз праксу, поједностављујући рокове изградње и омогућавајући дугорочно ангажовање у ланцу снабдевања. Применом ових принципа на SMR-ове, нуклеарни испоручиоци могу постићи економију обима, побољшану реализацију пројеката и смањене неизвесности у лиценцирању и примени.

Стандартизација у SMR технологији не подразумева да све јединице морају бити идентичне, већ да треба да деле заједничку глобалну архитектуру, спецификације за нуклеарне системе снабдевања паром и усклађене системе сигурности, као што је истакла Радна група CORDEL Светске нуклеарне асоцијације (WNA)¹¹. Оваквим приступом се обезбеђује да варијабилност у конструкцији и оперативном учинку буде минимализована, док се и даље омогућавају прилагођавања специфичним условима локације.

Кључна предност интегралних SMR дизајна је у томе што су њихови реакторски модули и примарни сигурносни системи инжењерски прилагођени овој дефиницији стандардизације. Додатне карактеристике, као што су подземна имплементација и сеизмичка изолација, даље повећавају потенцијал репликације, смањујући потребу за обимним прилагођавањем специфичним за локацију. Ово је нарочито важно за регионе са сеизмичком активношћу или еколошким ограничењима, јер повећава поновљивост дизајна и ефикасност изградње на више локација.

Даље унапређење стандардизације може се постићи укључивањем комерцијалних готових (COTS)¹² компоненти, смањујући зависност од прилагођених делова и обезбеђујући континуитет ланца снабдевања. Ова стратегија поједностављује набавку, сертификацију компоненти и регулаторна одобрења, подстичући већу индустријску скалабилност и ниже капиталне трошкове за будуће SMR примене. Како SMR прелазе из фазе финализације дизајна у демонстрациону и комерцијалну имплементацију, рано укључивање ланца снабдевања нуклеарне индустрије биће кључно за подршку процесу стандардизације. Сарадња између добављача, регулаторних тела и индустријских заинтересованих страна омогућиће развој доследних производних пракси, усаглашених регулаторних оквира и оптимизовану логистику ланца снабдевања.

За нуклеарну стратегију Србије, стандардизација у дизајну малих модуларних реактора (SMR) представља значајну прилику за повећање предвидљивости изградње, смањење трошкова и убрзање имплементације. Усвајањем стандардизованог SMR модела са усклађеним сигурносним и регулаторним одобрењима, Србија може искористити најбоље светске праксе, интегрисати се у међународне ланце снабдевања и поједноставити свој нуклеарни лиценци оквир за ефикасну примену SMR технологије.

¹¹ “Концепт стандардизованих дизајна реактора не захтева да јединице буду потпуно идентичне. Уместо тога, све јединице које користе технологију стандардизованог дизајна требало би да барем деле исту глобалну архитектуру и исте спецификације за дизајн и компоненте нуклеарног параног система, као и повезане безбедносне системе” WNA 2015

¹² IAEA IAEA-TECDOC-2034

✦ Стратегије нуклеарног горивног циклуса за LWR-SMR

Стратегије горивног циклуса су кључне за одређивање дугорочне одрживости, економске конкурентности и сигурности малих модуларних реактора са лаком водом (LWR-SMR). Ови реактори су дизајнирани да се беспрекорно интегришу у постојеће инфраструктуре нуклеарног горивног циклуса, обезбеђујући компатибилност са конвенционалним стратегијама обогаћивања уранијума, производње и прераде. Ова компатибилност омогућава LWR-SMR да користе устаљене ланце снабдевања горивом, смањујући регулаторну сложеност и обезбеђујући поуздану набавку горива.

LWR-SMR-ови обично раде са нивоима обогаћивања уранијума испод 5%, усклађујући са тренутним комерцијалним могућностима обогаћивања и израде. Ово обезбеђује да снабдевање горивом остаје у складу са постојећим индустријским процесима, омогућавајући лакши улазак на тржиште и поједностављује регулаторна одобрења. Поред тога, врсте горива и дизајни склопова у LWR-SMR су слични онима који се користе у конвенционалним великим LWR-овима, што подржава ефикасност у производњи и исплативу интеграцију ланца.

У земљама са успостављеним стратегијама затвореног циклуса горива, LWR-SMR реактори пружају могућност за прераду истрошеног горива, омогућавајући одрживост горива кроз поновну употребу физионог материјала. Иако су неки испоручиоци разматрали употребу MOX (мешани оксид) горива за LWR-SMR реакторе, ово остаје дугорочна опција, а не приоритет за тренутну примену. Већина дизајна реактора и даље даје предност традиционалним циклусима уранијумског горива, осигуравајући стабилно и широко доступно снабдевање.

Кључни фактор који разликује неке LWR-SMR-ове је њихов потенцијал за продужене циклусе измене горива у поређењу са конвенционалним LWR-овима, под условом да дизајн има стратегију виших нивоа обогаћивања уранијума (изнад 5%), напредне технике сагоревања или иновативне конфигурације језгра. За тренутне концепте LWR-SMR који одржавају нивое обогаћивања испод 5%, циклуси допуњавања горива остају углавном у складу са традиционалним великим LWR-овима, осим ако нису подржани алтернативним стратегијама као што су повећано уношење физионог материјала или оптимизована употреба горива. Ова разлика је кључна приликом процене применљивости LWR-SMR-ова на горивни циклус и регулаторно окружење у Србији.

Одређени дизајни реактора, као што су плутајући SMR реактори, испитивали су коришћење горива са већим обогаћењем, при чему руски плутајући SMR користе обогаћење близу 20%. Иако ово пружа потенцијалне предности у продужавању горивних циклуса и побољшању енергетске густине, такође уводи додатна регулаторна питања као и питање неширења нуклеарног материјала, захтевајући строги надзор. Други напредни LWR-SMR дизајни могу оптимизовати перформансе горива укључивањем стратегија дужег сагоревања, коришћењем алтернативних материјала за гориво и продужавањем циклуса рада реактора како би се побољшала укупна ефикасност коришћења горива.

✦ Управљање потрошеним горивом и отпадом: Напредан приступ

Управљање потрошеним нуклеарним горивом и отпадом је кључна компонента дугорочне стратегије Србије за нуклеарну енергију. Иако мали модуларни реактори (SMR) производе мање укупне запремине нуклеарног отпада по јединици реактора, управљање њиховим циклусом горива мора бити пажљиво оцењено јер неки дизајни могу производити веће количине отпада по мегавату инсталиране снаге (MWe) због ниже топлотне ефикасности. Овај фактор истиче потребу за оптимизованим стратегијама коришћења горива и приступима минимизацији отпада при разматрању примене SMR-а.

Један од најефикаснијих модела за одлагање отпада високог нивоа је коришћење дубоких геолошких одлагалишта (DGR), који су успешно примењени у Финској, Шведској и Француској. Ова одлагалишта

пружају трајно и сигурно решење за одлагање радиоактивног отпада високог нивоа, а њихове методологије могу послужити као референтни модел за стратегију отпада у Србији. Поред тога, неки нови SMR дизајни истражују технологије рециклирања горива и смањења отпада, што би могло додатно оптимизовати приступ земље дугорочној одрживости и минимизацији утицаја на животну средину.

Да би се успоставио свеобухватан оквир за управљање отпадом, нуклеарни програм Србије мора пажљиво да процени решења за складиштење потрошеног горива, привремене објекте за складиштење и развој дугорочних геолошких одлагалишта. То ће захтевати детаљне процене изводљивости, усклађивање политика са стандардима ЕУ и потенцијалне сарадње са међународним партнерима ради размене знања и преноса технологије. Штавише, Србија може да истражи стратегије прераде горива које су економски и еколошки одрживе, осигуравајући да њен нуклеарни енергетски програм остане одржив, безбедан и у складу са највишим глобалним безбедносним стандардима.

✦ Потенцијални изазови и разматрања за имплементацију SMR

Док SMR нуди бројне предности, **њихова примена је још увек у раним стадијумима глобално**, са **ограниченим оперативним искуством и релативно малим бројем завршених комерцијалних пројеката изградње**. Србија мора пажљиво размотрити следеће изазове и стратегије ублажавања ризика како би осигурала глатку и успешну имплементацију SMR-а:

- **Регулаторна и лиценциона несигурност:** За разлику од великих реактора, који имају успостављене моделе лиценцирања, SMR-ови захтевају нове регулаторне оквире како би се адресирале њихове нове дизајнерске карактеристике, модуларни приступ постављању и интегрисани сигурносни системи.
- **Ограничено оперативно искуство:** Већина SMR дизајна је и даље у фази развоја или ране фазе изградње, уз само неколико оперативних реактора широм света (као што је руска пловна електрана и кинеске демонстрационе јединице). Без обимних оперативних података, и даље постоје неизвесности у вези са дугорочним перформансама, стратегијама одржавања и реалним уштедама трошкова.
- **Изазови ланца снабдевања и локализације:** С обзиром на њихов релативно низак обим производње, SMR-ови још увек нису развили у потпуности успостављене ланце снабдевања од којих конвенционални реактори имају користи. Многе критичне компоненте и даље се набављају од ограниченог броја добављача, што ствара потенцијалне ризике у набавци, времену испоруке и предвидљивости трошкова. Србија би требало да процени **могућности локализације** како би подржала домаћу производњу и развој радне снаге, смањујући зависност од спољних добављача.
- **Конкурентност трошкова и ризици финансирања:** Иако мали модуларни реактори (SMR) обећавају ниже почетне капиталне трошкове од великих реактора, њихов трошак по MWe је и даље већи због недостатка економије обима. Многи пројекти који су први у својој врсти (FOAK) суочавају се са прекорачењем трошкова и кашњењима у роковима, што финансијску изводљивост чини важном темом за разматрање.
- **Интеграција мреже и прилагођавање тржишту енергије:** Флексибилност SMR-ова у системима праћења оптерећења мреже и хибридним енергетским системима је велика предност, али постојећа мрежна инфраструктура може захтевати надоградње како би се у потпуности интегрисале могућности SMR-а.
- **Спремност технологије и ризик изградње:** Иако је модуларна конструкција кључна предност малих модуларних реактора (SMR), многи добављачи тврде да су временски рокови изградње краћи коришћењем модуларне монтаже, али извршење у реалном свету остаје недоказано у већим размерама.

- **Управљање истрошеним горивом и одлагање отпада:** SMR-ови производе мање нуклеарног отпада по јединици, али се њихове стратегије горивног циклуса разликују у зависности од типа реактора (PWR, реактори са брзим неутронима, растопљена со итд.).
- **Сајбер безбедност и дигитализација:** Како се мали модуларни реактори (SMR) ослањају на напредне дигиталне системе управљања, претње по сајбер безбедност постају главна брига. Обезбеђивање робусне дигиталне заштите од сајбер упада, ризика од хаковања и напада на интегритет података биће од суштинског значаја за одржавање оперативне безбедности. То укључује оквире за сајбер безбедност које препоручује МААЕ и протоколе за континуирано праћење претњи.

4.4.3. Зашто су мали модуларни реактори погодни за Србију?

Тежња Србије ка нуклеарној енергији вођена је потребом за енергетском безбедношћу, декарбонизацијом и економском одрживошћу. Иако велике нуклеарне електране (LNPP) нуде високу производну снагу и доказано оперативно искуство, њихови високи капитални трошкови, дуги рокови изградње и изазови интеграције у мрежу представљају значајне препреке. Мали модуларни реактори (SMR) јављају се као убедљива алтернатива, решавајући ове изазове, истовремено повећавајући флексибилност, исплативост и ефикасност примене.

SMR-ови нуде скалабилно, модуларно и иновативно решење за нуклеарну енергију које је усклађено са капацитетом српске мреже, могућностима финансијских улагања и будућим циљевима енергетске политике. Са потенцијалом да замене старе електране на угаљ, интегришу се са обновљивим изворима енергије и подрже индустријске примене, SMR-ови пружају адаптивну и ка будућности оријентисану енергетску стратегију за Србију.

У складу са дугорочном стратегијом енергетске транзиције Србије, ова процена се фокусира на Мале модуларне реакторе (SMR), већих снага, обично у класи од 300 MWe или више, јер су ове технологије најбоље позициониране да задовоље краткорочне потребе земље за централизованом, нискоугљеничном базном енергијом. Електроенергетски систем Србије карактерише умерено велика, али интегрисана национална мрежа, која захтева заменска решења која могу да обезбеде стабилну производњу и компатибилност са постојећом преносном инфраструктуром. Штавише, земља је посвећена постепеном укидању старих термоелектрана на угаљ, од којих многе раде у распону од 300 до 600 MWe. Већи SMR-ови су јединствено погодни да служе као један-на-један или модуларне замене за ове јединице, нудећи нискоугљеничну алтернативу са флексибилним временским роковима имплементације и доказаном скалабилношћу.

Иако SMR-ови и микрореактори мањег капацитета нуде потенцијал за самосталне или ванмрежне примене, тренутни фокус одражава амбицију Србије да тежи ка нуклеарним капацитетима повезаним на мрежу који значајно доприносе националној производњи базне енергије, индустријској отпорности и циљевима декарбонизације. Будуће фазе могу истражити шири спектар величина и конфигурација SMR-ова у зависности од еволуирајућих потреба и сценарија примене. Међутим, тренутни избор SMR-ова већег капацитета усклађен је са стратешким приоритетима Србије, циљевима енергетске безбедности и реалним путем имплементације.

4.4.3.1• Кључне предности малих модуларних реактора за Србију – Кратак преглед

◆ Компатибилност мреже и децентрализована производња енергије

SMR-ови (50–300 MWe) могу се беспрекорно интегрисати у постојећу српску мрежу за напајање угљем и хидроелектране без потребе за опсежним надоградњама. Њихова модуларност омогућава постепено проширење, смањујући нестабилност мреже и омогућавајући регионалну енергетску отпорност кроз децентрализовану примену.

◆ Исплативост и финансијска изводљивост

SMR-ови нуде нижа почетна улагања у поређењу са великим реакторима, што омогућава постепено имплементацију и смањење финансијског ризика. Њихове фабрички изграђене модуларне компоненте скраћују временске рокове изградње (3-4 године у односу на 8-12 година за велике реакторе), док ће поједностављена производња и економија обима додатно смањити дугорочне трошкове.

◆ Примена на замену угља и даљинско грејање

SMR-ови попут NUWARD, BWRX-300 и Rolls-Royce SMR су пројектовани да подрже замену старих електрана на угаљ коришћењем постојеће инфраструктуре као што су мрежне везе, системи за хлађење и лиценциране локације за напуштене објекте. Ови реактори могу ефикасно да обезбеде електричну енергију и подрже даљинско грејање или производњу индустријске паре ниске до умерене температуре, помажући у декарбонизацији локалних енергетских система. Међутим, као код лаководних реактора (LWR), њихова топлотна снага је генерално ограничена на температуре испод 300°C, што их чини непогодним за примене у процесима топлоте на високим температурама, као што је производња водоника или одређени индустријски хемијски процеси.

◆ Могућности праћења оптерећења за обновљиве изворе енергије

SMR-ови могу брзо да прилагоде излазну снагу, надокнађујући флукуације обновљивих извора енергије без потребе за скупим складиштењем енергије. Њихова хибридна компатибилност са соларном, енергијом ветра и хидроенергијом побољшава стабилност мреже и подржава циљеве Србије по питању декарбонизације.

◆ Напредна безбедност и регулаторно усклађивање

SMR-ови укључују пасивне и активне сигурносне системе, обезбеђујући безбедан рад чак и током спољних поремећаја. Њихова мања реакторска језгра и напредне мере за спречавање инцидената су у складу са сигурносним стандардима МААЕ и ЕУ, што олакшава процес регулаторног одобравања.

◆ Енергетска безбедност и геополитичка флексибилност

SMR-ови пружају Србији приступ разноврсном спектру међународних технолошких партнерстава (укључујући Француску, САД, Уједињено Краљевство, Јужну Кореју, Кину и Русију), нудећи потенцијалну флексибилност у моделима набавке, величинама реактора и временским оквирима имплементације. Иако конвенционалне велике нуклеарне електране (LNPP) такође нуде више опција за добављаче, SMR-ови су обично пројектовани са стандардизованим модуларним јединицама, што може омогућити дистрибуиранији и диверзификованији ланац снабдевања из више земаља. Ова модуларност би могла да смањи зависност од једног геополитичког добављача.

Пошто је тржиште SMR-ова још увек у развоју а само неколико технологија је још увек у фази лицензирања или FOAK („први своје врсте“) фази, то такође представља прилику за Србију да се рано укључи, обликује стратегије локализације добављача и учествује у развоју нове генерације нуклеарне инфраструктуре. Са овим предностима, SMR-ови нуде Србији потенцијално флексибилније, скалабилније и будућности окренуто нуклеарно решење, усклађено са циљевима дугорочне одрживости, енергетске безбедности и индустријске конкурентности.

4.4.4. Процена технолошких опција за мале модуларне реакторе

4.4.4.1. Увод

Мали модуларни реактори (SMR) појавили су се као стратешка опција за диверзификацију енергије, пружајући скалабилна, нискоугљенична и флексибилна решења прилагођена растућим енергетским потребама Србије. Мали модуларни реактори (SMR) нуде модуларност, пасивне сигурносне системе и поједностављене моделе коришћења, карактеристике које их чине посебно погодним за српску структуру мреже, флексибилност локације и циљеве фазне декарбонизације.

У **Фази процене избора технологије**, **процењен је** широк спектар **SMR пројеката**, који обухватају **концепте Реактора под притиском воде (PWR) и Реактора са кључалом водом (BWR)**. Након ригорозне провере засноване на **техничкој зрелости, економској изводљивости, регулаторној спремности и прилагодљивости примене**, **Комитет за процену технологије** је саставио ужи избор пет (5) водећих SMR технологија за даљу процену у оквиру **Прелиминарне процене технологије**:

- NUWARD (Француска) – Европски SMR који је дизајнирао EDF са фокусом на скалабилност, нискоугљеничну електричну енергију и усклађеност са регулаторним оквирима ЕУ. [Поглавље 6.5]
- BWRX-300 (САД) – Исплатив SMR са кључалом водом који је развио GE-Hitachi, са поједностављеном конструкцијом и напредном оперативном ефикасношћу. [Поглавље 6.6]
- Rolls-Royce SMR (УК) – Модуларни SMR подржан од стране УК који користи стандардизовану фабричку производњу и методологије брзе имплементације. [Поглавље 6.7]
- AP300 (САД) – Умањена варијанта AP1000, са нагласком на пасивну сигурност, модуларност и прилагодљивост мрежи. [Поглавље 6.8]
- Holtec SMR-300 (САД) – Веома безбедан дизајн фокусиран на пасивну сигурност са Walk-Away Safe™ технологијом и брзим роковима изградње. [Поглавље 6.9]

Свака одабрана технологија нуди различите предности и потенцијалне путеве примене за Србију, узимајући у обзир факторе као што су **стабилност мреже, изводљивост фазних инвестиција, прилагодљивост лицензирања и интеграција локалног ланца снабдевања**.

Иако ниједна од SMR технологија из ужег избора тренутно нема оперативне референтне јединице, спроведена евалуација то не третира као примарни индикатор спремности због природе SMR тржишта које је у развоју. Уместо тога, евалуација наглашава друге кључне факторе који боље одражавају изводљивост примене, као што су статус лицензирања, посебно усклађеност са регулаторним оквирима ЕУ, интеграција ланца снабдевања и присуство индустријских партнерстава са производним капацитетима.

Процена такође разматра зрелост пројекта који је „први своје врсте“ (FOAK), укључујући доказе о локацији, ангажовању клијената и конкретне временске оквири пројекта. На пример, BWRX-300 је у активном развоју на локацији Дарлингтон у Канади, док је Holtec-ов SMR-300 повезан са пројектом реактивације електране Палисејдс у САД-у. Насупрот томе, други добављачи као што су Rolls-Royce и NUWARD су у ранијим фазама без најављене локације за имплементацију. Ови фактори ће наставити да утичу на фазну евалуацију и приступ смањења ризика у Србији.

Добављачи SMR-а са седиштем у САД-у подлежу захтевима контроле извоза према 10 CFR Part 810, који регулише трансфер одређених нуклеарних технологија и техничке помоћи из Сједињених Америчких Држава страним ентитетима. Иако овај пропис уводи формални процес прегледа и овлашћења, посебно за земље које нису наведене под „опште овлашћеним“ дестинацијама, то је добро успостављена и рутински управљана процедура за добављаче из САД-а.

За Србију би то значило да би добављачи попут GE Hitachi, Westinghouse и Holtec морали да добију посебну дозволу према Part 810 од Министарства енергетике САД-а за пренос одређених техничких података. Међутим, овај захтев је обично интегрисан у планирање пројекта, а недавни међународни SMR пројекти, укључујући оне у Канади и Пољској, успешно су напредовали кроз овај процес без већих кашњења.

Стога, иако би разматрања у вези са Part 810 требало узети у обзир приликом раног ангажовања и рокова за набавку, **она се не сматрају препреком за примену америчких SMR-ова у Србији**. Добављачи имају велико искуство у сналажењу у овом регулаторном оквиру, а рана координација ће осигурати да се потребна одобрења добију благовремено и координисано.

4.4.5. NUWARD: Мали модуларни реактор следеће генерације

4.4.5.1. Увод

NUWARD SMR, који су развили EDF и његови индустријски партнери, представља стратешку еволуцију у европској нуклеарној технологији, дизајнирану да побољша енергетску безбедност, декарбонизацију и примене индустријске топлоте. Најновија итерација дизајна реактора садржи конфигурацију са једним реактором која производи 400 MWe, са опцијом за когенерацију до 100 MWth топлоте, подржавајући даљинско грејање, индустријске примене и производњу водоника.

Као део својих континуираних усавршавања дизајна, NUWARD је преусмерио фокус на проверене технологије, оптимизовану производњу и модуларни приступ конструкцији како би смањио трошкове и ризике примене. Комитет за процену технологије (ТАС) проценио је потенцијални значај NUWARD-а за Србију, узимајући у обзир његов технички напредак, стратегију лиценцирања и усклађеност са европским регулаторним оквирима.



Слика 14: План положаја NUWARD SMR¹³

¹³ Извор: NUWARD

Параметар	Опис
Врста реактора	Реактор са водом под притиском (PWR)
Електрична снага	400 MWe
Топлотна снага	Топлотна снага до 1.000 MWth, са могућношћу когенерације (даљинско грејање, индустријска пара, производња водоника)
Расходни флуид језгра реактора	Лака вода (H ₂ O)
Метод хлађења	Конфигурабилни расходни торњеви отвореног или полузатвореног типа ради прилагођавања специфичним условима локације
Примарни расходни круг	Дизајн са две петље, свака опремљена генератором паре, компензатором притиска и примарном пумпом, чиме се осигурава редундантност
Врста горива	Стандардно UO ₂ гориво за PWR реакторе, <5% обогаћења, са потенцијалом за циклус замене горива од 24 месеца
Тип заштитног омотача (контејнмента)	Заштитни омотач од преднапрегнутог бетона за унапређену сигурност и отпорност на ударе
сигурносна архитектура	Активни сигурносни системи са редундантним расходним круговима, дизајн језгра без бора, рекомбинатори водоника и хватач језгра
Могућност праћења напонског оптерећења	Варијација снаге од 25% до 100%, што омогућава одличну интеграцију са обновљивим изворима енергије
Сеизмички дизајн	Ниво земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,3g
Компатибилност са мрежом	Компатибилност са фреквенцијама од 50 Hz и 60 Hz, што подржава међународну имплементацију
Интервал замене горива	24 месеца, чиме се оптимизује време рада и минимизују застоји у раду
Очекивана расположивост	Капацитет искористивости >92%, чиме се осигурава поуздана испорука енергије базног оптерећења
Рок реализације	Изградња „првог те врсте“ очекује се након 2030. године, након финализације дизајна и регулаторних усклађивања
Пристап модуларне изградње	Фабрички произведене компоненте са предмонтажом ради скраћења времена монтаже на локацији
Управљање истрошеним горивом	Дизајнирано да буде компатибилно са постојећом европском инфраструктуром горивних циклуса и процесима прераде

Табела 8: Кључни технички параметри реактора NUWARD SMR¹⁴

¹⁴ Извор: IAEA ARIS i NUWARD

4.4.5.2. Предности и недостаци

NUWARD интегрише доказане технологије реактора, ефикасност модуларне изградње и унапређене сигурносне карактеристике, што га позиционира као стратешку опцију за енергетску транзицију Србије. Комисија за процену технологије (ТАС) препознаје снажну европску подршку пројекту NUWARD, напоре усмерене на усклађивање регулативе и потенцијал за остваривање локалних економских бенефита, што се нарочито односи на отварање радних места у индустрији и развој кадрова, што је демонстрирано кроз искуство компаније EDF на великим нуклеарним пројектима попут Hinkley Point C¹⁵.

Међутим, Комисија за процену технологије (ТАС) указује и на неколико ризика при реализацији, укључујући изазове у лиценцирању постројења „првог такве врсте“, високе капиталне трошкове и ограничења расхладних система. Следећа табела даје преглед кључних предности и изазова реактора NUWARD, како из техничке, тако и из нетехничке перспективе.

Категорија	Предности	Питања и изазови
Техничка питања	Модуларна изградња са фабричком предмонтажом – Фабричка предмонтажа смањује ризике при изградњи на локацији и прекорачење трошкова.	Ризик изградње (реализације) постројења које је „прво те врсте“ (ФОАК) – Не постоји референтна оперативна јединица/блок; прво ФОАК постројење планирано је у Француској.
	Успостављена PWR технологија – Користи проверене компоненте из ланца снабдевања EPR2, обезбеђујући усклађеност са познатим регулаторним оквирима.	Прелазак са пасивне на активну сигурност – Ранији концепти пасивне сигурности су замењени, што захтева прилагођавање постојећим регулаторним процедурама.
	Примарни систем са две петље – Осигурава редундантност и оптимизован пренос топлоте, побољшавајући ефикасност и сигурносне маргине.	Сеизмичка и расхладна прилагодљивост – Могу бити потребне модификације за реализацију у зонама високе сеизмичности или подручјима са ограниченим водним ресурсима, што потенцијално повећава инфраструктурне трошкове.
	Флексибилност праћења оптерећења мреже и когенерације – Излазна снага може варирати од 25% до 100%, омогућавајући интеграцију са обновљивим изворима енергије и примену у обезбеђивању индустријске топлоте.	Захтеви расхладног система – Системи за хлађење водом могу захтевати полузатворене конфигурације, што повећава инфраструктурне потребе.
	Дуг интервал замене горива (24 месеца) – Смањује оперативне застоје, осигуравајући високу расположивост.	Стратегија управљања отпадом захтева даље дефинисање – Мора се проценити усклађеност складиштења и прераде истрошеног горива са јавним политикама Србије.

¹⁵ <https://www.burnham-on-sea.com/news/3000-new-jobs-to-be-created-at-hinkley-point-c-as-it-hits-peak-construction/>

Категорија	Предности	Питања и изазови
Нетехничка питања	Снажна европска подршка – Подршка компанија EDF, Framatome и енергетског екосистема ЕУ, што учвршћује стабилност ланца снабдевања.	Високи почетни CAPEX (~80–100 €/MWh цене електричне енергије ¹⁶ – Могу захтевати структурирано финансирање или јавно-приватна партнерства.
	Доказани резултати у локализацији и отварању радних места – Кроз своје пројекте, EDF је демонстрирао успешну интеграцију локалне радне снаге и остваривање економских бенефита.	Неопходно будуће прилагођавање регулативе у Србији – Усклађивање процеса лиценцирања са регулаторним оквиром Србије захтева додатне анализе.
	Могућност финансирања из фондова ЕУ за енергетску транзицију – NUWARD је усклађен са европским политикама за улагања у нуклеарну енергију, што повећава опције финансирања.	Перцепција јавности и прихватање нуклеарне енергије – Захтева снажно укључивање јавности и подршку кроз јавне политике како би се осигурало одобрење пројекта.
	Производња топлоте за индустријску употребу (150–280°C) – Подржава системе даљинског грејања, производњу водоника и потребе за индустријском паром.	Трошкови реализације постројења које је „прво те врсте“ могу варирати – Све док не буду доступни стварни подаци о трошковима из прве реализације, финансијски ризик остаје присутан.
	Циљана стандардизација за серијску производњу – Дизајниран је за масовну производњу, чиме се временом смањују трошкови.	

Табела 9: Предности и изазови у вези са реактором NUWARD SMP

4.4.5.3. Стратешке препоруке

NUWARD SMR нуди флексибилну и модерну опцију нуклеарне технологије за Србију, коју карактеришу иновативни модуларни дизајн, напредни сигурносни системи и компатибилност са интеграцијом обновљивих извора енергије.

Требало би спровести структурирани програм техничке валидације (Фаза 1) како би се потврдиле тврдње о модуларној изградњи и сигурносним карактеристикама реактора NUWARD, потенцијално кроз анализу оперативних података из сличних дизајна реактора или са пионирских пројеката. Уз то, израда детаљне студије изводљивости и локализације ће одредити капацитете Србије да у пројекат NUWARD интегрише домаће испоручиоце, радну снагу и инфраструктуру, чиме ће се максимизовати економски бенефити и подстаћи отварање нових радних места на локалном нивоу.

Из финансијске перспективе, решавање питања високих почетних капиталних издатака је од кључног значаја. Истраживање опција финансирања, као што су грантови Европске уније, кредити и потенцијална јавно-приватна партнерства, могло би Србији да обезбеди одржива решења за финансирање. Поред тога, успостављање дугорочних стратегија за пренос знања и развој кадрова у сарадњи са компанијом EDF унапредиће нуклеарну експертизу Србије и осигурати оперативну ефикасност. Међутим, искуства из других региона, попут нуклеарне електране Бараках у Уједињеним Арапским Емиратима, наглашавају важност

¹⁶ <https://sfeninenglish.org/nuward-new-smr-design/>

раног развоја темељног програма обуке оператера како би се избегла кашњења и осигурала несметана реализација пројекта.

Коначно, Србија мора да процени неопходне мере за интеграцију у електроенергетску мрежу како би се подржала способност реактора NUWARD да прати оптерећење мреже, осигуравајући да реактор може ефикасно да ради унутар енергетске мреже Србије која се развија. Свеобухватним приступом овим стратешким препорукама, Србија може унапредити планирање своје нуклеарне инфраструктуре и позиционирати NUWARD као одрживо и ефикасно решење за своје будуће енергетске потребе.

4•4•5•4• Закључак

NUWARD представља технолошки софистицирано и оперативно флексибилно решење у области нуклеарне енергије, које је усклађено са дугорочним циљевима Србије у погледу енергетске безбедности и декарбонизације. Ослањајући се на модерну европску нуклеарну технологију и снажан фокус на безбедност и еколошку одрживост, NUWARD се издваја као прогресивна опција у домену нуклеарне енергије. Напредне карактеристике дизајна овог реактора доприносе његовој атрактивности као најсавременијег решења у нуклеарном сектору.

Међутим, области попут лиценцирања, техничке валидације и финансијског структурирања захтевају темељно планирање и проактивно управљање пре доношења коначних одлука о реализацији. Недостатак постојеће регулаторне усклађености и високи почетни финансијски издаци представљају изазове који захтевају структурирана решења, укључујући активну сарадњу са регулаторним телима и обезбеђивање адекватног финансирања.

Упркос овим изазовима, NUWARD SMR задржава изузетну атрактивност захваљујући високим стандардима сигурности, оперативној флексибилности и потенцијалу за значајно учешће домаће индустрије. Уз посвећену сарадњу са регулаторним телима, стратешко финансијско планирање и доследне иницијативе за пренос знања, Србија може ефикасно интегрисати NUWARD технологију у робустан, одржив и дугорочно перспективан програм нуклеарне инфраструктуре.

4.4.6. BWRX-300 - мали модуларни реактор компаније GE Hitachi



Слика 15: Просторни приказ

BWRX-300 представља значајну еволуцију у домену нуклеарних реактора, посебно у погледу свог техничког дизајна који комбинује практична инжењерска решења, сигурност и економску ефикасност. Развијен од стране компаније GE Hitachi, BWRX-300 се ослања на технолошке основе које је поставио Економични поједностављени реактор са кључалом водом (BWRX), са фокусом на поједностављење дизајна и смањење оперативне сложености, што заузврат унапређује његову економску атрактивност и сигурносне маргине.

Параметар	Опис
Врста реактора	Реактор са кључалом водом (BWR)
Капацитет	300 MWe (електричних мегавата)
Расхладни флуид језгра реактора	H ₂ O (Вода)
Метод хлађења	Природна циркулација
Примарни расхладни круг	Природна, без потребе за пумпама
Врста горива	Ниско обогаћени уранијум (3-5% U-235) у облику оксидног горива у металној облози

Параметар	Опис
Врста заштитног омотача	Једноструки
Пројектовани век трајања	60 година
Циклус замене горива	12 до 24 месеца, у зависности од оперативне стратегије
Сигурносни системи	Вишеструки пасивни сигурносни системи, укључујући систем изолационог кондензатора (ICS)
Оперативна расположивост	Пројектован за капацитет искористивости од 95% током радног века
Сеизмички дизајн	Ниво земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,3g
Зона планирања за ванредне ситуације (EPZ)	Циљ је смањење на границе саме локације кроз унапређене мере сигурности
Статус лиценцирања	У току у више земаља, укључујући САД (поднет захтев за грађевинску дозволу), Канаду (поднет прелиминарни извештај о сигурности- PSAR), Велику Британију (покренута генеричка процена дизајна - GDA) и друге
Карактеристике пасивне сигурности	Способност одржавања сигурносних функција без електричног напајања или људске интервенције током дужих временских периода
Главни застоји у раду	Планирани на сваких 12 до 24 месеца ради замене горива и одржавања
Иновативне карактеристике	Поједностављен дизајн ради смањења утрошка грађевинских материјала и ефикаснијег одржавања
Руковање горивом	Дизајнирано за laku монтажу и демонтажу, што подржава ефикасне процесе замене горива
Број горивних елемената	Приближно 240 горивних елемената, који се састоје од комбинације горивних шипки пуне и делимичне дужине

Табела 10: Технички параметри и опис реактора BWRX-300¹⁷

4.4.6.1• Предности и недостаци

Реактор BWRX-300, који је дизајнирала (пројектовала) компанија GE Hitachi, представља веома атрактивно решење. Овај мали модуларни реактор (SMR) спаја напредну нуклеарну технологију са практичним захтевима модерних енергетских система, што се добро уклапа у енергетску стратегију Србије. Ово

¹⁷ Извор: ARIS IAEA

поглавље пружа детаљну анализу предности и недостатака имплементације реактора BWRX-300 у Србији, са фокусом на то како он одговара на специфичне енергетске потребе и изазове земље.

Категорија	Предности	Питања и изазови
Техничка питања	Дизајн пасивне сигурности – Не захтева интервенцију оператера, чиме се осигурава висока сигурност и поузданост.	Високи почетни капитални трошкови – Захтева значајна улагања, што намеће потребу за структурираним моделима финансирања.
	Модуларна изградња – Омогућава флексибилну реализацију и фазна улагања.	Регулаторна неизвесност – Строги захтеви за лиценцирање могу продужити рокове реализације.
	Висока оперативна расположивост (>95%) – Обезбеђује поуздану енергију базног оптерећења.	Изазови сеизмичке прилагодљивости – Модификације специфичне за локацију могу повећати инжењерску сложеност.
	Емисије блиске нули – У складу са циљевима декарбонизације Србије.	Висока потрошња воде – Реализација усуним подручјима може захтевати скупа алтернативна решења за хлађење.
	Унапређења сајбер безбедности и контроле – Напредне мере дигиталне заштите.	Неопходна процена ризика од акумулације водоника – Студије о акумулацији водоника захтевају додатну валидацију.
	Могућност праћења оптерећења мреже – Може да прилагоди излазну снагу како би допунио обновљиве изворе енергије.	Развој вештина и обука радне снаге – Захтева значајна улагања у техничку експертизу.
Нетехничка питања	Економски раст и отварање нових радних места – Подстиче запошљавање локалне радне снаге у изградњи, раду и одржавању.	Трошкови преноса знања и обуке – Потребна су значајна улагања за развој радне снаге.
	Потенцијал за међународну сарадњу – Отвара врата за државне подстицаје и глобална партнерства.	Економска конкурентност – Високи почетни трошкови могу угрозити конкурентност у односу на друге изворе енергије.
	Ангажовање јавности и транспарентност – Подржава укључивање заједнице и подизање свести о нуклеарној енергији.	Логистички изазови – Транспорт великих модула и инфраструктурна ограничења могли би представљати отежавајуће факторе.
	Усклађеност са еколошким циљевима – Испуњава обавезе Србије у погледу сигурности и одрживости.	Дугорочна разматрања о управљању отпадом – Одлагање истрошеног горива захтева структурирано планирање приступа решењу .
	Пројекат напредује ка реализацији – Демонстрациони пројекат у Дарлингтону омогућава комерцијализацију.	Спремност ланца снабдевања – Потребно је проценити стратегије за развој локалне производње и ланца снабдевања.

4•4•6•2• Стратешке препоруке

Комисија за процену технологије препознаје да BWRX-300 представља напредно, трошковно ефикасно и модуларно SMR решење, које је потенцијално усклађено са дугорочним циљевима Србије у погледу енергетске безбедности и декарбонизације. Међутим, с обзиром на то да је реч о реактору који је „први те врсте“, његова реализација у пракси, економска исплативост и оперативне перформансе захтевају додатну процену пре него што се Србија одлучи на његову интеграцију у национални енергетски систем.

✦ Кључне области стратешког фокуса за Србију

◆ Валидација стратегије фабричке модуларне изградње и реализације¹⁸

Дизајн реактора BWRX-300 ослања се на приступ који подразумева процењених 90% фабричке модуларне изградње, са циљем драстичног смањења времена и трошкова изградње на самој локацији. Међутим, потврда ове тврдње у пракси остаје ограничена, с обзиром на то да још ниједан блок BWRX-300 није пуштен у рад. Србија мора спровести додатне процене (анализе) у сарадњи са компанијом GE Hitachi и пратити глобалне пилот-пројекте, посебно SMR пројекат Дарлингтон у Канади, како би се потврдило да ли ће овакав приступ производњи донети планирану ефикасност у погледу капиталних трошкова (CAPEX) и реализације.

◆ Регулаторно лиценцирање и усклађивање са прописима

Реактор BWRX-300 напредује кроз процесе регулаторног лиценцирања у више јурисдикција, укључујући Нуклеарну регулаторну комисију (NRC) у САД и Канадску комисију за нуклеарну безбедност (CNSC). С обзиром на то да ће Србија морати да успостави свој нуклеарни регулаторни оквир у складу са захтевима Међународне агенције за нуклеарну енергију (МААЕ) и Европским захтевима за енергетска постројења (EUR), усклађивање са овим текућим процесима лиценцирања могло би да омогући ефикаснији процес усклађивања домаће регулативе. Правовремена сарадња са компанијом GE Hitachi и регулаторним телима помоћи ће у препознавању потенцијалних препрека при лиценцирању и утврђивању начина на који BWRX-300 може да испуни захтеве нуклеарне безбедности Србије.

◆ Механизми финансирања и инвестиционе стратегије

Позициониран је као трошковно конкурентно нуклеарно решење. Међутим, обезбеђивање инвестиција остаје кључни фактор у одређивању изводљивости. Србија треба да истражи опције финансирања као што су фондови ЕУ за енергетску транзицију, инвестициони модели подржани од стране испоручиоца и јавно-приватна партнерства (ЈПП). Поред тога, ослањање на извозно-кредитне агенције и међународне кредитне институције, попут Европске инвестиционе банке (ЕИБ) или Светске банке, могло би да помогне у ублажавању почетних финансијских ризика и осигура одрживост пројекта.

◆ Ланац снабдевања и потенцијал за локализацију

Модуларни приступ реактора BWRX-300 пружа прилику за укључивање домаће индустрије, што би потенцијално могло да унапреди капацитете Србије у домену производње, монтаже и оперативне радне снаге. Србија мора да процени да ли њен индустријски сектор може да подржи израду компоненти, припрему локације и одржавање реактора. Сарадња са локалним испоручиоцима, универзитетима и институцијама за

¹⁸ Извор: <https://small-modular-reactors.org/ge-hitachi-nuclear-energy-bwrx-300/>

обуку биће неопходна за развој стручног кадра, чиме би се осигурало да дугорочне оперативне потребе за BWRX-300 могу бити задовољене ослањањем на домаће ресурсе.

◆ Оперативне перформансе и интеграција у електроенергетску мрежу

BWRX-300 је пројектован са могућношћу праћења оптерећења мреже, што омогућава његову интеграцију са растућим сектором обновљивих извора енергије у Србији. Додатне студије компатибилности са мрежом морају да процене како се флексибилна излазна снага реактора (од 25% до 100% капацитета) уклапа у енергетску потражњу и преносну инфраструктуру Србије. Такође би требало анализирати доступност водних ресурса за хлађење и потенцијалну реализацију у подручјима са мањком воде, с обзиром на то да се основни метод хлађења реактора BWRX-300 ослања на циркулацију воде.

4.4.6.3. Закључак

BWRX-300 представља једну од најнапреднијих технологија малих модуларних реактора у развоју, ослањајући се на поједностављен дизајн, пасивне сигурносне системе и технике модуларне изградње како би се скратило време реализације и смањили капитални трошкови. Као технологија заснована на добро провереној платформи реактора са кључалом водом (BWR), BWRX-300 је јединствено позициониран као скалабилно и комерцијално атрактивно решење у области нуклеарне енергије.

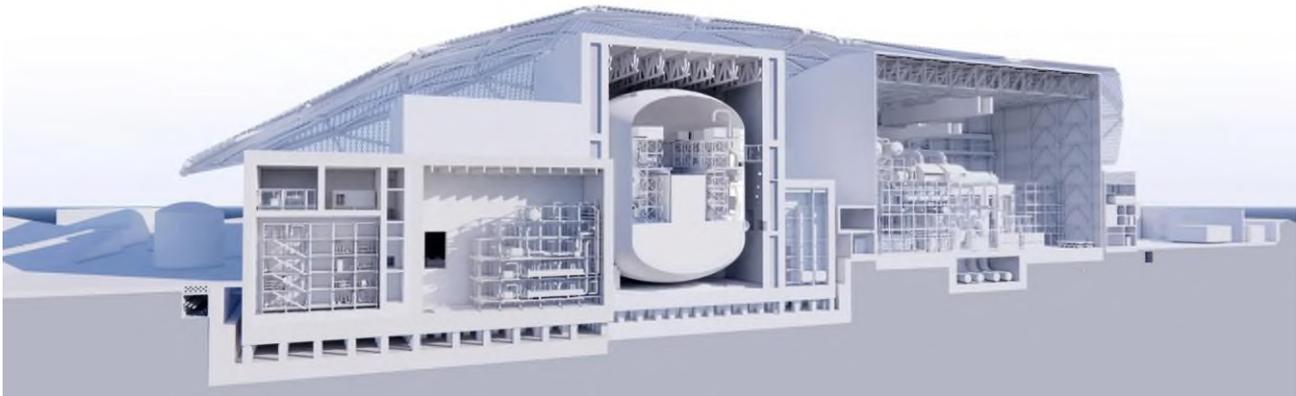
За Србију, BWRX-300 је усклађен са националним енергетским циљевима, пружајући флексибилну и мрежно прилагодљиву нуклеарну опцију која може унапредити енергетску безбедност уз подршку политикама декарбонизације. Компатибилност овог реактора са обновљивим изворима енергије додатно учвршћује његову улогу стабилног пружаоца базне енергије.

Међутим, с обзиром на то да је реч о технологији која је „прва те врсте“ (FOAK), рокови реализације, финансијска изводљивост и локализација ланца снабдевања захтевају додатну валидацију. Комисија за процену технологије (ТАС) препоручује наставак сарадње са компанијом GE Hitachi, праћење перформанси првих BWRX-300 изграђених у Канади и Пољској, као и спровођење детаљних студија изводљивости у оквиру Фазе 1 како би се потврдила адекватност ове технологије за Србију.

4.4.7. Rolls-Royce SMR

Мали модуларни реактор (SMR) компаније Rolls-Royce је реактор са водом под притиском (PWR) снаге 470 MWe дизајниран да обезбеди исплативо, модуларно и скалабилно решење за нуклеарну енергију. Развијен од стране Rolls-Royce SMR Ltd. (Уједињено Краљевство), овај реактор користи доказану нуклеарну технологију генерације III+ за испоруку поуздане електричне енергије са ниским емисијама угљеника за покривање базног оптерећења, што је у потпуности у складу са дугорочним циљевима Србије у погледу енергетске безбедности и декарбонизације.

Rolls-Royce SMR нуди фабрички произведен дизајн погодан за друмски транспорт, чиме се смањује време изградње и укупни ризик пројекта. Реактор је дизајниран за вишенаменску примену, укључујући производњу електричне енергије, топлотне енергије за индустријске процесе, производњу водоника и даљинско грејање, што га чини прилагодљивим за стратегију диверзификације енергетског сектора Србије.



Слика 76: ПРОСТОРНИ ПРИКАЗ МАЛОГ МОДУЛАРНОГ РЕАКТОРА (SMR)¹⁹

4.4.7.1. Техничке карактеристике малог модуларног реактора компаније Rolls-Royce

Параметар	Опис
Врста реактора	Реактор са водом под притиском (PWR)
Капацитет	470 MWe (мегавати електричне снаге)
Расхладни флуид језгра реактора	H ₂ O (вода)
Метод хлађења	Систем индиректног хлађења
Примарни расхладни круг	Принудна циркулација са 3 пумпе за расхладни флуид језгра реактора
Врста горива	Стандардни 17x17 UO ₂ горивни елементи са обогаћењем од 4,95%

¹⁹ Извор: <https://gda.rolls-royce-smr.com/our-technology>

Параметар	Опис
Тип заштитног омотача	Једноструки робусни заштитни омотач
Пројектовани век трајања	60 година
Циклус замене горива	18 - 24 месеци, у зависности од оперативне стратегије
Сигурносни системи	Пасивни и активни сигурносни системи, укључујући гравитационо хлађење и хлађење језгра у ванредним ситуацијама
Оперативна расположивост	Дизајниран за капацитет искористивости током века трајања од 95%+
Сеизмички дизајн	Асеизмички лежајеви за изолацију реактора од сеизмичких догађаја
Зона планирања за ванредне ситуације (EPZ)	Дизајнирана да сведе EPZ на границу локације кроз унапређене мере сигурности
Статус лиценцирања	У процесу Генеричке процене дизајна (GDA) у УК, са преговорима у Канади, ЕУ и другим тржиштима
Карактеристике пасивне сигурности	Поседује гравитационо хлађење и природну конвекцију за одвођење топлоте из језгра
Главни застоји у раду	Планирани сваких 18-24 месеца ради замене горива и одржавања
Иновативне карактеристике	Фабрички произведени модули погодни за друмски транспорт за ефикасну монтажу и смањење трошкова
Руковање горивом	Стандардно PWR руковање горивом, дизајнирано за једноставну монтажу и демонтажу
Број горивних елемената	Приближно 150 горивних елемената, користећи стандардне PWR конфигурације горива

Табела 11: Технички параметри малог модуларног реактора компаније Rolls-Royce

4.4.7.2. Предности и недостаци

Мали модуларни реактор компаније Rolls-Royce нуди решење за нуклеарну енергију следеће генерације, наглашавајући модуларност, трошковну ефикасност и брзу реализацију. Својим фабричким моделом производње, дизајн има за циљ смањење ризика изградње и смањење капиталних трошкова, што га чини конкурентном опцијом за нуклеарну експанзију Србије. Међутим, као и код сваке нове технологије, постоје изазови, укључујући регулаторну неизвесност, комплексност ланца снабдевања и питања финансирања.

Следећа табела предности и мана категорише кључне предности и изазове у вези са малим модуларним реактором компаније Rolls-Royce у оквиру техничких и нетехничких аспеката, помажући доносиоцима одлука да процене његову погодност за енергетску стратегију Србије.

Технолошка питања	Предности	Питања и изазови
Напредни сигурносни системи	Поседује пасивно хлађење, рад без бора и задржавање топлоте у реакторском суду , чиме се минимизирају ризици од акцидената.	Дизајн „први те врсте“ може се суочити са регулаторним одлагањима на глобалним тржиштима.
Модуларна изградња и реализација	До 95% фабрички изграђен , смањује ризике изградње и омогућава бржу реализацију .	Ограничено глобално искуство са фабричком нуклеарном производњом, потенцијална крива учења.
Компатибилност са мрежом и праћење оптерећења	Компатибилан са мрежама од 50 Hz , дизајниран за праћење оптерећења и интеграцију обновљивих извора.	Праћење оптерећења може захтевати додатна улагања у мрежну инфраструктуру у Србији.
Висока енергетска ефикасност	Дизајниран за расположивост преко 90% , осигуравајући стабилну и поуздану енергију за базно оптерећење .	Дуги рокови за прво пуштање у рад (реализацију) због процеса регулаторног одобрења и лиценцирања.
Скалабилност и прилагодљивост локацији	Погодан за примену са више блокова , прилагодљив за индустријска и урбана енергетска чворишта.	Зависност расхладног система може захтевати приступ великим изворима воде.
Стандардизовано снабдевање горивом	Користи конвенционално UO₂ гориво (обогаћено 4,95%) , осигуравајући сигурност снабдевања горивом кроз постојеће добављаче.	Управљање истрошеним горивом и одлагање отпада захтевају јасну политику и инфраструктуру.

Нетехничка питања	Предности	Питања и изазови
Економска одрживост	Нижи CAPEX и конкурентна нивелисана цена електричне енергије (LCOE) у поређењу са традиционалним реакторима.	И даље су потребна висока почетна улагања , финансирање може бити изазовно за мање нације.
Глобална тржишна експанзија	Интересовање Чешке, Канаде, Финске, Шведске и Украјине , што показује међународно поверење.	Ниједан комерцијални блок још није пуштен у рад , па су перформансе у реалним условима непотврђене.
Отпорност ланца снабдевања	Индустријски ланац снабдевања концентрисан у УК осигурава стабилну доступност компоненти за серијску производњу.	Изазови локализације у Србији уколико се локалне индустрије рано не интегришу или ако испоручилац технологије задржи одређене стриктне критеријуме.
Отварање радних места и развој радне снаге	Потенцијал за обуку локалне радне снаге и пренос нуклеарне експертизе .	Потребна је дугорочнија обука оператера , што повећава трошкове пројекта.

Нетехничка питања	Предности	Питања и изазови
Државне и приватне инвестиције	Подржано од стране владе УК и приватних инвеститора , чиме се повећава финансијска сигурност.	Ограничења извоза и геополитички ризици могу утицати на дугорочне стратегије набавке.
Еколошке предности и смањење емисије угљеника	Производња енергије без емисије угљеника , у складу са циљевима Србије о чистој енергији и циљевима ЕУ о декарбонизацији .	Перцепција јавности и противљење нуклеарној енергији могу захтевати проактивно учешће заједнице.

4.4.7.3• Стратешка препорука

Комисија за процену технологије спровела је независну процену малог модуларног реактора компаније Rolls-Royce на основу јавно доступних података, извештаја о генеричкој процени дизајна и званичних изјава испоручиоца технологије (интернет страница испоручиоца технологије). Међутим, због недостатка директне комуникације са испоручиоцем технологије и одсуства демонстрационих блокова у раду, неколико кључних тврдњи захтева даљу валидацију у наредној фази процене.

Једна од најзначајнијих тврдњи Rolls-Royce SMR јесте његова „95% фабрички изграђена модуларност“, што је кључни покретач за смањење трошкова изградње, минимизирање ризика на локацији и убрзање рокова за реализацију. Иако је ова тврдња фундаментална за изводљивост пројекта, тренутно не постоји доступна оперативна референца која би потврдила њену ефикасност у реалним условима.

✘ Кључне области за поновну процену у Фази 1

У наредној фази процене (Фаза 1), Комисија за процену технологије препоручује детаљну поновну процену неколико критичних области пре доношења стратешких одлука у вези са Rolls-Royce SMR-ом. С обзиром на недостатак оперативних референци и директног успостављања сарадње са испоручиоцем технологије, даља валидација је неопходна како би се потврдила изводљивост кључних тврдњи као што су процена сигурности, детаљна техничка процена, фабрички изграђена модуларност, рокови изградње, процене трошкова и регулаторна спремност.

Верификација фабрички изграђене модуларности

Главна тврдња Rolls-Royce SMR је да се до 95% реактора гради у фабрици, омогућавајући смањене трошкове, бржу реализацију и минималне ризике изградње на локацији. У Фази 1 је од суштинског значаја проценити стварне стратегије модуларизације које се користе у процесу производње и упоредити их са другим SMR програмима како би се утврдила техничка и логистичка изводљивост. Поред тога, треба идентификовати потенцијалне изазове у транспорту, монтажи на локацији и зависностима у ланцу снабдевања како би се осигурало да Србија може реалистично да интегрише ову технологију у своју стратегију нуклеарне енергије.

Валидација рокова реализације и трошкова

Rolls-Royce SMR предвиђа рок изградње од 4 године по блоку, што је значајно смањење у поређењу са традиционалним нуклеарним електранама. Међутим, ова процена захтева ригорозну проверу како би се проценило да ли је такав убрзани план реализације остварив с обзиром на инфраструктуру и регулаторно окружење Србије. Уз то, процењени CAPEX и потенцијална смањења трошкова кроз серијску производњу морају се анализирати, узимајући у обзир механизме финансирања који би могли да подрже нуклеарну инвестицију Србије.

Лиценцирање и регулаторна спремност

Очекује се да ће процес Генеричке процене дизајна у УК бити завршен до 2026. године, али његова применљивост на оквир нуклеарног лиценцирања Србије мора бити процењена. Идентификовање регулаторних празнина и потенцијалних одлагања у процесима одобравања ван УК кључно је за осигуравање неометаног пута лиценцирања. Штавише, требало би истражити успостављање сарадње са нуклеарним телима ЕУ и међународним регулаторним институцијама како би се искористили механизми подршке који могу поједноставити процедуре лиценцирања и давања дозвола.

Стратегија ланца снабдевања и локализације

С обзиром на то да је ланац снабдевања Rolls-Royce SMR претежно концентрисан у УК, Србија мора утврдити да ли може обезбедити учешће у процесу производње и монтаже. Фаза 1 треба да се фокусира на процену индустријског капацитета Србије за производњу или монтажу SMR компоненти, осигуравајући економске користи и отварање нових радних места. Идентификовање потенцијалних партнерстава са европским нуклеарним фирмама додатно би побољшало могућности локализације и отпорност ланца снабдевања.

Оперативне перформансе и управљање ризицима

С обзиром на то да ниједно комерцијално Rolls-Royce SMR постројење (блок) још увек није пуштено у рад, недостају оперативни подаци у реалним условима (у пракси). Ово уводи ризике у вези са реализацијом првог таквог блока, као што су неочекивани технички изазови, комплексности одржавања и потенцијална кашњења у постизању пуне функционалности. Мора се развити план за непредвиђене ситуације како би се решиле ове неизвесности и ублажили сви ризици по перформансе који би могли утицати на дугорочну нуклеарну стратегију Србије.

4•4•7•4• Закључак

Мали модуларни реактор компаније Rolls-Royce представља иновативан и обећавајући додаток глобалном пејзажу нуклеарних технологија, нудећи скалабилно и флексибилно решење прилагођено како индустријализованим нацијама, тако и тржиштима нуклеарне енергије у настајању. Његов дизајн наглашава модуларну изградњу у фабрици, напредне системе пасивне сигурности и вишенаменске примене као што су производња електричне енергије, производња водоника и функције даљинског грејања које су блиско усклађене са дугорочним циљевима Србије у погледу диверзификације енергетике, декарбонизације и енергетске безбедности.

Предности технологије укључују релативно компактно заузеће простора (земљишта), компатибилност мреже са српском мрежом од 50Hz и робустан пројектовани век трајања од 60 година, у комбинацији са декларисаним високим степеном модуларне фабричке производње. Ови атрибути сугеришу значајан потенцијал за минимизирање времена изградње и смањење укупних ризика пројекта, посебно у земљама које желе да брзо пусте у рад нуклеарне капацитете. Штавише, систем индиректног хлађења и сеизмичка отпорност Rolls-Royce малог модуларног реактора нуде прилагодљивост различитим условима на локацијама у Србији.

Међутим, неколико изазова захтева опрезно разматрање:

- Одсуство оперативног референтног блока уводи неизвесности у вези са реализацијом у реалним условима, предвидљивошћу трошкова и поузданошћу перформанси.
- Ланац снабдевања концентрисан у УК и статус технологије „први те врсте“ на глобалном нивоу постављају питања о могућностима локализације и способности Србије да се интегрише у производни екосистем.
- Тренутне процене CAPEX-а и рок изградње од 4 године, иако атрактивни, тек треба да се валидирају у различитим регулаторним и инфраструктурним контекстима изван УК.

Комисија за процену технологије сматра Rolls-Royce SMR технички робусном и стратешки усклађеном опцијом за будући нуклеарни програм Србије. Међутим, као и код свих SMR дизајна у настајању, потребне су даље анализе како би се поткрепиле тврдње испоручиоца у вези са модуларношћу, смањењем трошкова и роковима реализације.

У следећој фази процене, Комисија за процену технологије препоручује:

1. Директан контакт са компанијом Rolls-Royce SMR Ltd. ради добијања детаљних техничких, финансијских информација и информација о испоруци.
2. Спровођење упоредне студије изводљивости модуларности ради процене стратегија фабричке производње и логистичких фактора за инфраструктуру Србије.
3. Процењивање регулаторних процедура и идентификовање могућности за усклађивање између Генеричке процене дизајна у УК и новонасталог оквира Србије за нуклеарно лиценцирање.
4. Истраживање потенцијала локализације и европских индустријских партнерстава како би се максимизирале домаће економске користи и повећала отпорност ланца снабдевања.

Иако је потребна даља валидација, Rolls-Royce SMR нуди потенцијално атрактивно решење за нуклеарну енергију за Србију, подржавајући како краткорочне циљеве енергетске транзиције, тако и дугорочне циљеве одрживости. Препоручује се опрезни, али проактивни стратешки приступ како би се прецизирало разумевање ове технологије у Србији и како би се земља ефикасно позиционирала у глобалним иницијативама за развој малог модуларног реактора.

4.4.8. AP 300 SMR

4.4.8.1. Увод



Слика 17: План локације AP 300

4.4.8.2. Техничке карактеристике AP300 SMR

AP300 SMR, развијен од стране компаније Westinghouse, је реактор са водом под притиском (PWR) снаге 300 MWe (990 MWth) директно изведен из AP1000® технологије, што га чини јединим малим модуларним реактором базираним на већ лиценцираном и оперативном дизајну реактора генерације III+. Овај приступ користи деценије доказаног оперативног искуства, осигуравајући висок ниво сигурности, поузданости и ефикасности.

Параметар	Опис
Врста реактора	Реактор са водом под притиском (PWR)
Електрична снага	300 MWe
Топлотна снага	990 MWth
Расхладни флуид језгра реактора	Лака вода (H ₂ O)
Метод хлађења	Принудна циркулација (примарна петља)
Врста горива	Стандардно Westinghouse 17×17 UO ₂ гориво, <5% обогаћења

Параметар	Опис
Циклус замене горива	До 36 месеци (могућност продуженог циклуса горива)
Пројектовани век трајања	80 година
Тип заштитног омотача	Једноструки челични заштитни омотач са пасивним хлађењем
Сеизмички дизајн	Ниво земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,3g
Компатибилност са мрежом	Компатибилан са 50 Hz и 60 Hz
Праћење мрежног оптерећења	Да – Дизајниран за флексибилну интеграцију у мрежу
Пасивни сигурносни системи	Без активних пумпи у сигурносним системима, ослања се на хлађење гравитационим падом
Очекивана расположивост	Коефицијент расположивости капацитета >97%
Рок реализације	Први комерцијални блок планиран почетком 2030-их
Број горивних елемената	121 горивни елемент

Табела 12: Кључни технички параметри²⁰

4.4.8.3• Предности и недостаци

✦ Увод

Комисија за процену технологије спровела је детаљну процену предности и изазова AP300 малог модуларног реактора, разврставајући их на техничка и нетехничка разматрања. Иако AP300 користи доказану AP1000 технологију, пасивну сигурност и модуларну изградњу, недостатак оперативног референтног блока значи да одређене тврдње захтевају даљу проверу.

Из техничке перспективе, висок ниво префабрикације, продужени циклуси замене горива и дизајн пасивне сигурности код AP300 пружају кључне бенефите, док изазови интеграције у мрежу, захтеви за хлађењем и регулаторне неизвесности и даље представљају спорна питања. На нетехничком фронту, његови нижи капитални трошкови у поређењу са великим реакторима, економска скалабилност и извозни потенцијал чине га привлачном инвестицијом, али финансијска ограничења, изазови локализације и геополитички фактори морају бити решени.

Додатно, локализација ланца снабдевања је критичан фактор за Србију, будући да ограничења у погледу контроле извоза САД-а према пропису 10 CFR Део 810 могу ограничити приступ одређеним кључним технологијама и експертизи, што намеће потребу за стратешким партнерствима ради преноса знања и локалне производње.

²⁰ Извор: IAEA ARIS

Табела испод даје преглед кључних предности и недостатака AP300 SMP, који су структурирани на начин који осигурава јасно разумевање његове изводљивости у оквиру стратегије Србије у погледу нуклеарне енергије.

Категорија	Предности (техничке и нетехничке)	Питања и изазови (технички и нетехнички)
Техничка питања	Системи пасивне сигурности – Елиминише ослањање на активно хлађење, смањујући ризик од незгода.	Ризик који се односи на “први те врсте” – Ниједан блок AP300 тренутно није оперативан, захтевајући валидацију у реалним условима (у пракси).
	Висока расположивост – Очекивани фактор капацитета >97%, осигуравајући стабилну енергију за покривање базног оптерећења.	Изазови интеграције у мрежу – Способност праћења оптерећења захтева процену унутар енергетског тржишта Србије.
	Продужени циклус замене горива – До 36 месеци, смањујући оперативне застоје.	Захтеви за хлађењем – Систем воденог хлађења може захтевати алтернативне стратегије у подручјима са мањком воде.
	Модуларна изградња – До 90% фабрички изграђен, смањујући рад на локацији и побољшавајући извесност пројекта.	Неизвесност рокова реализације – Иако је циљ рок изградње од 36 месеци, стварна изводљивост мора бити верификована.
	Сеизмичка отпорност – Дизајниран за усаглашеност са нивоом земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,3g, прилагодљив условима у Србији.	Управљање отпадом и истрошеним горивом – Стратегије дугорочног одлагања и рециклирања морају бити јасно дефинисане.
	Флексибилна компатибилност са мрежом – Поддржава 50 Hz и 60 Hz, омогућавајући реализацију на различитим тржиштима.	Прилагодљивост лиценцирања – Захтева регулаторно усклађивање са нуклеарним оквиром Србије пре реализације.

Категорија	Предности (техничке и нетехничке)	Питања и изазови (технички и нетехнички)
Нетехничка питања	Нижи CAPEX у поређењу са великим реакторима – Процењен на ~2,5 милијарди евра по блоку, чинећи га финансијски изводљивијим.	Ограничења финансирања – Захтева структурирани модел финансирања, са подршком ЕУ или државе за исплативост трошкова.
	Конкурентна нивелисана цена електричне енергије (LCOE) (€45-55/MWh) – Економски исплатив у поређењу са фосилним горивима и одређеним обновљивим изворима.	Изазови локализације – Висока зависност од америчких и европских ланаца снабдевања, захтева учешће српске индустрије.
	Доказан AP1000 ланац снабдевања – Користи постојеће мреже снабдевања, смањујући ризике набавке.	Геополитички фактори – Ограничења у погледу контроле извоза САД-а (10 CFR Deo 810) могу ограничити приступ Србије кључним технологијама, захтевајући стратешка партнерства.
	Извозни потенцијал – Планиране реализације компаније Westinghouse у УК,	Прихватање од стране јавности и перцепција нуклеарне енергије – Захтева

Категорија	Предности (техничке и нетехничке)	Питања и изазови (технички и нетехнички)
	Пољској, Канади и Чешкој повећава глобални кредибилитет.	комуникационе стратегије како би се осигурало поверење јавности и укључивање локалне заједнице.
	Краћи рок изградње (Циљ: 36 месеци) – Бржи поврат инвестиције у поређењу са великим реакторима.	Прва реализација се очекује после 2030. године – Нема краткорочне комерцијалне реализације за Србију осим ако се убрзање не докаже као изводљиво.
	Скалабилност и изводљивост више блокова – Може се реализовати инкрементално, смањујући терет иницијалног улагања.	Непотврђена смањења серијских трошкова – Тврдње о смањењу трошкова са додатним блоковима остају теоретске док се не докажу.

Табела 13: Предности и изазови AP300 малог модуларног реактора (SMR)

4.4.8.4 Стратешке препоруке

Комисија за процену технологије (ТАС) идентификовала је кључне области које захтевају даљу валидацију пре него што Србија може размотрити AP300 SMR за реализацију. Иако тврдње компаније Westinghouse у вези са модуларношћу, трошковном ефикасношћу и пасивном сигурношћу нуде убедљиве аргументе, недостатак оперативног референтног блока захтева структурирану поновну процену у Фази 1. Следеће стратешке препоруке дефинишу кључне наредне кораке како би се осигурао приступ вођен подацима и смањили ризици у процени изводљивости AP300 млог модуларног реактора (SMR) у Србији.

✦ Валидација тврдњи о фабричкој модуларности

Једна од најзначајнијих предности коју истиче Westinghouse је приступ модуларној изградњи са 90% фабричке израде, за коју се очекује да ће смањити комплексност изградње, варијабилност трошкова и рокове реализације. Међутим, с обзиром на непостојање потпуно реализованог AP300 блока, ове тврдње захтевају директно успостављање сарадње са компанијом Westinghouse и индустријску валидацију трећих страна како би се процениле:

- Стварне стратегије модуларизације које се користе у ланцу снабдевања.
- Потенцијални изазови транспорта у вези са величином модула и монтажом.
- Поређења са другим програмима малих модуларних реактора ради референтног вредновања изводљивости модуларне реализације.

Србија мора да осигура да логистичка и монтажна ограничења не угрозе очекивана унапређења ефикасности услед примене приступа фабричке израде.

✦ Модели инвестиција и финансирања

Да би се подржала економска изводљивост AP300, у Србији, неопходна је проактивна стратегија финансирања. На основу распона трошкова и нивелисане цене електричне енергије (LCOE) наведених у поглављу 6.8.4.3, Србија треба да:

- Истражи канале финансирања ЕУ (нпр. инструменти Европске инвестиционе банке (ЕИБ) за чисту енергију);

- Процени јавно-приватна партнерства (JPP) ради ублажавања почетних капиталних ризика;
- Успостави сарадњу са компанијом Westinghouse о опцијама финансирања од стране испоручиоца;
- Изврши локално финансијско моделовање како би се испитала отпорност услед променљивих улазних трошкова.

✦ Ланац снабдевања и локализација

Користећи предности фабрички модуларног дизајна заснованог на фабричкој изради AP300 (поглавље 6.8.4.1), Србија треба да истражи могућности за локално учешће у производњи, монтажи и услугама које се тичу ланца снабдевања. Ово укључује:

- Процену националне индустријске спремности за израду AP300 компоненти;
- Партнерство са испоручиоцима из ЕУ како би се омогућила делимична локализација;
- Решавање ограничења преноса технологије због америчких прописа о контроли извоза (10 CFR Део 810), који могу утицати на приступ Србије кључном стручном знању.

4•4•8•5• Закључак

AP300 SMR представља технолошки напредну и економски обећавајућу опцију за стратегију нуклеарне енергије Србије. Изграђен на доказаној AP1000 технолошкој платформи, реактор нуди функције пасивне сигурности, дуге циклусе замене горива и модуларни дизајн који би могао значајно смањити ризике изградње. Поред тога, његова конкурентна нивелисана цена електричне енергије (LCOE) од €45-55/MWh скалабилни модел реализације позиционирају га као потенцијалног кандидата за дугорочну енергетску безбедност и напоре декарбонизације.

Међутим, Комисија за процену технологије је идентификовала неколико кључних области које захтевају даљу пажњу пре доношења било какве одлуке о реализацији. Недостатак оперативног референтног блока, неизвесност у вези са тврдњама о модуларизацији, дугорочне зависности од ланца снабдевања и потенцијални изазови регулаторне адаптације значе да Фаза 1 процеса процене мора да се фокусира на детаљну верификацију ових аспеката.

Кључне области које захтевају поновну процену укључују:

- Валидацију модуларног приступа заснованог на фабричкој изради како би се утврдило да ли је 90% фабричке израде ван локације оствариво у реалним условима.
- Лиценцирање и регулаторно усклађивање како би се осигурао несметан процес добијања дозвола према оквиру нуклеарне сигурности Србије.
- Свеобухватно планирање финансирања и инвестиција ради осигуравања исплативих опција финансирања уз минимизирање финансијског ризика.
- Стратегију локализације ланца снабдевања, посебно у усклађивању са америчким ограничењима у погледу контроле извоза (10 CFR Део 810) и идентификовање потенцијалних европских партнерстава за производњу и оперативну подршку.

Иако AP300 SMR има снажан потенцијал, Комисија за процену технологије наглашава да је даља техничка и економска провера од суштинског значаја пре доношења одлука о реализацији. Следећа фаза процене треба да се фокусира на валидацију у реалним условима, успостављање сарадње са испоручиоцима и

стратешко планирање политика како би се утврдило да ли је AP300 прави избор за мапу пута за развој нуклеарне енергије у Србији.

4.4.9. Holtec SMR-300

4.4.9.1. Увод



Слика 18: Мали модуларни реактор (SMR) 300 са два блока (600MWe нето)²¹

Holtec SMR-300 је реактор са водом под притиском (PWR) снаге 300 MWe који интегрише напредне системе пасивне сигурности, подземни заштитни омотач и модуларни дизајн прилагођен транспорту. Развијен са фокусом на побољшану безбедност, флексибилну примену и смањене оперативне ризике, SMR-300 има за циљ да обезбеди трошковно ефикасно и отпорно решење за чисту енергију како за урбане, тако и за удаљене локације.

Једна од препознатљивих карактеристика SMR-300 је његов дизајн подземног заштитног омотача, који пружа додатну заштиту од спољних претњи као што су сеизмички догађаји, удар авиона и екстремни временски услови.

Параметар	Опис
Врста реактора	Реактор са водом под притиском (PWR)
Електрична снага	300 MWe

²¹ Izvor: Holtec интернет странице

Параметар	Опис
Топлотна снага	1000 MWth
Расхладни флуид језгра реактора	Лака вода (H ₂ O)
Метод хлађења	Принудна циркулација са природном конвекцијом као резервним системом
Врста горива	Стандардно 17×17 UO ₂ PWR гориво, <5% обогаћења
Циклус замене горива	18 месеци, могућност продужења
Пројектовани век трајања	80 година, са потенцијалом за рад 100 година
Тип заштитног омотача	Подземни челични заштитни омотач, окружен METCON™ бетоном
Сеизмички дизајн	Усаглашеност са нивоом земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,5g
Компатибилност са мрежом	Компатибилан са 50 Hz и 60 Hz
Праћење мрежног оптерећења	Да – Могућност конфигурисања за флексибилну интеграцију у мрежу
Пасивни сигурносни системи	Није потребна интервенција оператера/руковоаоца за безбедно искључење
Очекивана расположивост	Коефицијент расположивости капацитета >95%
Рок реализације	Први блок планиран за комерцијални рад до 2030. године
Број горивних елемената	69 горивних елемената

Табела 14: Кључни технички параметри за SMR-300²²

4.4.9.2• Предности и недостаци

✱ Увод

SMR-300 компаније Holtec International представљен је као напредно модуларно нуклеарно решење са снажним нагласком на пасивну сигурност, брзу реализацију и оперативну флексибилност. Комисија за процену технологије (ТАС) анализирао је његове предности и изазове, посебно у контексту стратегије Србије у погледу нуклеарне енергије. Иако модуларни дизајн реактора и пасивни системи хлађења нуде кључне предности, постоје и изазови у вези са лиценцирањем, локализацијом ланца снабдевања и ризици

²² Извор: IAEA ARIS

у вези са реализацијом првог таквог блока. Следећа табела категорише кључне техничке и нетехничке предности и изазове ради пружања избалансираних процене SMR-300.

Категорија	Предности	Питања и изазови
Техничка питања	Напредне функције пасивне сигурности – Нису потребне активне пумпе за хлађење, обезбеђујући сигурност реактора током губитка напајања.	Реализација блока који је „први те врсте“ – Не постоји оперативни референтни блок; прва реализација се очекује тек до 2030. године
	Подземни заштитни омотач – Реактор је смештен у METCON™ бетонску конструкцију за побољшану заштиту од спољних претњи.	Непотврђене тврдње о модуларности – Тврдња о 90% фабрички изграђеној модуларности захтева независну валидацију.
	Доступна опција са ваздушним хлађењем – Може радити са кондензаторима са ваздушним хлађењем, чинећи реализацију изводљивом у подручјима са мањком воде	Продужени рок лиценцирања – Србија ће морати да успостави процес регулаторне адаптације, јер је реактор још у раним фазама лиценцирања.
	Дуг пројектовани век трајања – Оперативни век од 80 година, са потенцијалом за 100 година под протоколима проширеног одржавања.	Потребна сеизмичка адаптација – Усаглашеност реактора са нивоом земљотреса за сигурно искључење (SSE) од 0,5g може захтевати модификације специфичне за локацију у Србији.
	Оптимизација руковања горивом – Користи стандардно 17×17 UO ₂ PWR гориво са продуженим циклусима замене горива како би се минимизирало време застоја.	Управљање истрошеним горивом – Суво складиштење на локацији у систему HI-STORM UMAX компаније Holtec захтева дугорочно планирање отпада.
	Брз рок изградње – предвиђен рок реализације за блок који је „први те врсте“ је 30 месеци; потенцијал за примену у паралелним конфигурацијама са више блокова.	Питање термичке ефикасности – Рад са ваздушним хлађењем може довести до губитака ефикасности у поређењу са системима са хлађењем водом.

Нетехничка питања	Флексибилна реализација – Компактно заузеће земљишта (8 хектара за локацију са два блока) подржава урбане и удаљене локације.	Потребна регулаторна адаптација – Србија мора проценити како се искуство компаније Holtec у лиценцирању (САД, УК, Канада) уклапа са будућим домаћим нуклеарним прописима.
	Иницијативе подржане од стране владе – Holtec је осигурао подршку америчке	Ограничења у погледу извозне контроле – Прописи САД 10 CFR Део 810 могу

Категорија	Предности	Питања и изазови
	савезне владе за свој први пројекат, смањујући финансијски ризик за будуће пројекте.	ограничити приступ Србије кључним технологијама реактора, захтевајући стратешка партнерства.
	Отварање радних места и потенцијал за локализацију – Модуларни приступ омогућава потенцијално учешће српске индустрије у производњи компоненти.	Неизвесност финансирања – Нема успостављеног модела финансирања за реализације у Европи; Србија мора истражити ЕУ и међународне опције финансирања.
	Даљинско грејање и производња водоника – Дизајниран за когенерацију, што га чини прилагодљивим енергетском миксу Србије који се развија.	Перцепција и прихватање од стране јавности – Скептицизам према нуклеарној енергији у Србији може утицати на одобрење пројекта и укључивање заинтересованих страна.
	Црни старт и острвски режим – Може се самостално покренути без напајања из мреже, повећавајући отпорност на удаљеним локацијама и у сценаријима рада ван мреже.	Зависност од ланца снабдевања у САД – Потреба за увозним компонентама може довести до логистичких изазова и дужих рокова испоруке.

Табела 15: ПРЕДНОСТИ И ИЗАЗОВИ МАЛОГ МОДУЛАРНОГ РЕАКТОРА SMR300

4.4.9.3. Стратешке препоруке

Комисија за процену технологије (ТАС) спровела је процену на високом нивоу за SMR -300 на основу јавно доступних података и техничких извештаја компаније Holtec. Иако реактор представља обећавајуће решење за нуклеарну енергетску стратегију Србије, неколико кључних аспеката захтева даљу валидацију пре разматрања реализације. Следеће стратешке препоруке дефинишу кључне области за поновну процену у Фази 1.

✦ Верификација тврдњи о модуларној изградњи

Holtec тврди да је до 90% компоненти SMR-300 фабрички произведено, што значајно смањује време изградње на локацији. Међутим, не постоји оперативни блок који би потврдио ову тврдњу. Комисија за процену технологије (ТАС) препоручује свеобухватну процену модуларног ланца снабдевања, транспортне логистике и ефикасности монтаже како би се осигурала изводљивост у контексту инфраструктуре Србије. Упоредна студија са другим програмима модуларних реактора додатно ће појаснити његову скалабилност и одрживост реализације.

✦ Прилагођавање процеса лиценцирања и изводљивост регулаторног оквира

SMR-300 је тренутно у процесу лиценцирања у САД, УК и Канади. Међутим, Србија ће морати да утврди како се регулаторни приступ компаније Holtec усклађује са њеним сопственим будућим нуклеарним регулаторним оквиром. С обзиром на разлике у структурама лиценцирања, у Србији би могла бити неопходна додатна регулаторна усклађивања, опсежне ревизије извештаја о сигурности и локализоване процене утицаја на животну средину пре него што се размотри изградња реактора.

✦ Финансијска одрживост и аспекти инвестиција

Иако је Holtec осигурао подршку америчке савезне владе за своју прву реализацију/изградњу, не постоји успостављен финансијски модел за европска тржишта. Комисија за процену технологије (ТАС) препоручује истраживање механизма финансирања као што су грантови ЕУ за нуклеарну енергију, финансирање путем извозних кредита и потенцијална јавно-приватна партнерства за подршку инвестиционој стратегији Србије за нуклеарну енергију.

✦ Локализација ланца снабдевања и изазови контроле извоза

Ланац снабдевања SMR -300 компаније Holtec претежно је базиран у САД-у, са кључним компонентама које подлежу америчким прописима о контроли извоза (10 CFR Део 810). Ово би могло ограничити приступ Србије кључним технологијама осим уколико се не успоставе одговарајући споразуми о преносу знања или аранжмани о лицензирању. Комисија за процену технологије (ТАС) препоручује процену учешћа локалне индустрије у ланцу снабдевања реактора, посебно за грађевинске радове, помоћне системе и дугорочни рад и одржавање ради повећања националне енергетске безбедности

✦ Управљање ризицима за реализацију/изградњу блока „први те врсте“ (FOAK)

С обзиром на то да SMR -300 још увек није комерцијално реализован, Србија мора размотрити потенцијалне ризике у вези са кашњењима у изградњи, оперативне неизвесности специфичне за блок који је „први те врсте“ и нетестиране дугорочне метрике перформанси. Комисија за процену технологије (ТАС) сугерише да Србија треба да успостави оквир за непредвиђене ситуације како би одговорила на потенцијалне изазове као што су прекиди у ланцу снабдевања, ескалације трошкова и одступања перформанси од оних које се очекују према дизајну. Стратегија постепеног учешћа (постепени стратешки приступ), почевши са регулаторним студијама и студијама изводљивости, помоћи ће у ублажавању неизвесности

4.4.9.4. Закључак

SMR-300 представља технолошки напредно решење за мали модуларни реактор (SMR) са јаким сигурносним функцијама, могућностима модуларне изградње и флексибилним опцијама реализације/изградње. Његови механизми пасивне сигурности, подземни заштитни омотач и могућности продуженог циклуса замене горива позиционирају га као одрживог кандидата за дугорочну стратегију Србије у погледу нуклеарне енергије.

Међутим, одсуство оперативног референтног блока и непотврђена природа тврдњи о његовој модуларности уводе значајне неизвесности које се морају решавати у наредној фази процене. Усклађивање захтева за лицензирање, финансијско структурирање и локализација ланца снабдевања остаје круцијално пре него што се могу преузети било какве обавезе око реализације/изградње.

Комисија за процену технологије (ТАС) наглашава да су све до сада спроведене процене засноване искључиво на јавно доступним подацима и техничким документима компаније Holtec. Директна верификација техничких, финансијских и оперативних тврдњи мора се спровести у Фази 1 студије изводљивости како би се потврдила погодност реактора за мапу пута за развој нуклеарне енергије у Србији. Следећа фаза треба да се фокусира на:

- Верификацију тврдњи о фабрички изграђеној модуларности путем независних студија изводљивости.

- Процену захтева за лиценцирање и регулаторна усклађивања за будући закон о нуклеарној енергији Србије.
- Истраживање финансијских модела и механизма финансирања како би се осигурала трошковно ефикасна реализација.
- Развој стратегија локализације ради смањења зависности од иностраних ланаца снабдевања.
- Успостављање оквира за управљање ризицима у циљу ублажавања изазова реализације блока који је „први те врсте“.

Иако SMR-300 представља иновативну опцију за нуклеарну енергију, његова практична реализација/примена у Србији захтева даљу валидацију и структурирану сарадњу са компанијом Holtec International и глобалним регулаторним телима. Комисија за процену технологије (ТАС) препоручује фазни приступ, почевши од усклађивања процеса лиценцирања, финансијског планирања и процене изводљивости локације, пре преласка на било какву обавезу у погледу изградње/реализације реактора.

4.4.10• Свеобухватно поређење малих модуларних реактора (SMR)

Комисија за процену технологије (ТАС) препознаје све веће интересовање за мале модуларне реакторе (SMR) као кључну компоненту глобалних стратегија енергетске транзиције. Свака SMR технологија представља јединствене атрибуте, предности и изазове које је потребно проценити у контексту енергетских циљева Србије, регулаторног оквира и спремности тржишта.

Следећи одељак пружа упоредну процену водећих SMR технологија, наглашавајући њихове кључне техничке, економске и регулаторне аспекте. Ова упоредна анализа ће послужити као основа за даље усавршавање у наредној фази процене, осигуравајући да Србија доноси информисане одлуке у вези са интеграцијом малих модуларних реактора (SMR) у свој енергетски портфолио.

Свеобухватно поређење водећих SMR технологија је од суштинског значаја за процену њихове техничке, економске и регулаторне погодности. Комисија за процену технологије (ТАС) спровела је структурирану процену, анализирајући мале модуларне реакторе на основу типа реактора, архитектуре сигурности, ефикасности циклуса замене горива, рокова реализације и анализе трошкова.

Ова упоредна табела истиче карактеристична својства, капацитете и потенцијалне изазове за сваки мали модуларни реактор, пружајући основу засновану на подацима за даљу процену у Фази 1 процеса избора малог модуларног реактора у Србији. Иако сви процењени мали модуларни реактори наглашавају модуларност, побољшану сигурност и оперативну флексибилност, они се разликују по технолошкој зрелости, стратегијама изградње и спремности тржишта.

NUWARD SMR, BWRX-300, AP300, Rolls-Royce SMR, и Holtec SMR-300 представљају опсег дизајна реактора са водом под притиском (PWR) и реактора са кључалом водом (BWR), где сваки нуди јединствене предности примене. Међутим, кључни фактори као што су напредак лиценцирања, изводљивост изградње и конкурентност трошкова морају се валидирати у реалним условима пре него што се Србија може донети одлуку о било којој специфичној технологији.

Ова табела служи као алат за подршку одлучивању, помажући Србији да идентификује најодрживије SMR опције за интеграцију у своју националну енергетску стратегију, осигуравајући усклађеност са регулаторним захтевима, финансијском одрживошћу и дугорочним циљевима у области енергетске безбедности.

Својство	NUWARD (EDF)	BWRX-300 (GE Hitachi)	AP300 (Westinghouse)	Rolls-Royce SMR	Holtec SMR-300
Врста реактора	PWR	BWR	PWR	PWR	PWR
Електрична снага	400 MWe	300 MWe	300 MWe	470 MWe	300 MWe
Топлотна снага	~1000 MWth	990 MWth	990 MWth	1280 MWth	1000 MWth
Метод хлађења	Принудна циркулација	Принудна циркулација	Принудна циркулација	Принудна циркулација	Принудна циркулација
Врста заштитног оклопа	Преднапрегнути бетон	Једноструки заштитни оклоп	Челични заштитни оклоп	Једноструки заштитни оклоп	Подземни заштитни оклоп
Циклус замене горива	24 месеци	12–24 месеца	До 36 месеци	18–24 месеца	18 месеца (може да се продужи)
Пројектовани век трајања	60 година	60 година	80 година	60 година	80+ година
Сеизмички дизајн	0,3g SSE	0,3g SSE	0,3g SSE	0,3g SSE	0,5g SSE
Компатибилност са мрежом	50 Hz & 60 Hz	50 Hz & 60 Hz	50 Hz & 60 Hz	50 Hz	50 Hz & 60 Hz
Карактеристике пасивне сигурности	PDHRS, IVR, Core Catcher („Хватач језгра“)	ICS, GDSCS	Без активних пумпи, гравитационо хлађење	Пасивно одвођење топлоте	Пасивно хлађење, пасивна сигурност без потребе за људском интервенцијом
Пројектовани коефицијент расположивости	>92%	>95%	>97%	>95%	>95%
Фабричка предизрада (%)	Пројектовано на 90%	Пројектовано на 90%	Пројектовано на 90%	До 95%	Пројењено на 90%
Статус лиценцирања	Фаза идејног / основног пројекта	У поступку разматрања (ГДА, Канада, САД)	У поступку разматрања (САД НРЦ)	GDA (УК) Фаза 2	Поднет захтев САД НРЦ
Прва изградња	Циљани „први те врсте“ у Француској (2030)	Дарлингтон (Канада)	Почетак 2030-их	Почетак 2030-их (УК)	Палисадес (САД), 2030

Својство	NUWARD (EDF)	BWRX-300 (GE Hitachi)	AP300 (Westinghouse)	Rolls-Royce SMR	Holtec SMR-300
Процена трошкова (CAPEX по блоку/јединици)	Процењено ~Поверљиво	Процењено ~Поверљиво	Процењено ~Поверљиво	Процењено ~Поверљиво	Процењено ~Поверљиво
Циљно тржиште	Земље ЕУ, индустријска чворишта	Канада, САД, Пољска	САД, ЕУ	УК, ЕУ, Канада	САД, Канада, УК

Табела 16: Свеобухватно поређење техничких својстава малих модуларних реактора (SMR)

4.4.10.1. Сажетак и кључни закључци

Мали модуларни реактори нуде обећавајућу алтернативу конвенционалним великим нуклеарним реакторима, уз предности као што су модуларност, побољшани сигурносни механизми, смањено време изградње и побољшан потенцијал интеграције у мрежу. Међутим, сваки дизајн има свој сопствени ниво зрелости, спремности тржишта и регулаторних изазова. Комисија за процену технологије (ТАС) је идентификовала следеће кључне закључке из упоредне процене малих модуларних реактора:

- Доказани наспрам нових дизајна у настајању: Технологије као што су AP300 (Вестингхаусе) и Rolls-Royce SMR користе постојеће лиценциране дизајне реактора, пружајући ниво регулаторне фамилијарности. С друге стране, NUWARD (EDF) и BWRX-300 (GE Hitachi) су још увек у процесу детаљног инжењеринга и регулаторне провере, што захтева додатну верификацију рокова реализације.
- Фактори трошкова и изградње: Иако се очекује да ће модуларност и фабричка производња смањити трошкове, стварне уштеде ће зависити од спремности ланца снабдевања, ефикасности серијске производње и стандардизације компоненти.
- Сигурност и регулаторни оквири: Интеграција пасивних и активних механизма сигурности варира међу концептима дизајна. На пример, Holtec SMR-300 користи подземни заштитни омотач ради побољшане сигурности, док се BWRX-300 ослања на поједностављене системе хлађења како би се смањило ослањање на активне сигурносне компоненте.
- Спремност тржишта и реализација: Неки мали модуларни реактори, као што су BWRX-300 и Rolls-Royce SMR, имају активне процесе лиценцирања у више јурисдикција, чиме се повећава њихова краткорочна комерцијална одрживост. Други, попут NUWARD-а, тек треба да финализују сертификацију дизајна, али имају снажну индустријску и државну подршку.

Како би се олакшао структуриран процес доношења одлука, Комисија за процену технологије (ТАС) је развила свеобухватну Табелу поређења SMR технологија која покрива основна својства сваке процењене технологије.

4.4.11. Завршна разматрања и дугорочна визија укључујући мапу пута

План енергетске транзиције Србије захтева нуклеарно решење које балансира приступачност, скалабилност и дугорочну одрживост. Одлука о интеграцији технологије малих модуларних реактора (SMR) зависиће од следећих фактора:

- **Техничка изводљивост:** Способност одабране технологије да задовољи захтеве електроенергетске мреже Србије, сигурносне стандарде и ограничења која су специфична за локацију.

- **Регулаторно усклађивање:** Усклађеност одабраних технологија са будућим нуклеарним регулаторним оквиром Србије и међународним стандардима за лиценцирање.
- **Економска одрживост:** Процена модела финансирања, укључујући могућности финансирања из фондова ЕУ, јавно-приватна партнерства и механизме поделе ризика.
- **Спремност ланца снабдевања:** Потенцијал за локализацију производње, сигурност снабдевања горивом и развој радне снаге за оперативни рад.
- **Стратешка партнерства:** Сарадња са глобалним испоручиоцима SMR технологије како би се осигурао пренос технологије, подршка при лиценцирању и дугорочна оперативна поузданост

Процене трошкова за мале модуларне реакторе (SMR) остају **индикативне и веома варијабилне**, под утицајем фактора као што су локација пројекта, регулаторни оквири, модел испоруке и зрелост ланца снабдевања. С обзиром на то да је већина SMR дизајна још увек у фази предизградње или раној фази лиценцирања, постоји ограничен број података из праксе за валидацију референтних капиталних трошкова или рокова реализације.

Међународна дешавања указују на то да су **финансијске претпоставке у раној фази често подложне променама**, нарочито у недостатку искуства са реализацијом пројекта који су „први те врсте“. Ово наглашава потребу за **анализом осетљивости трошкова специфичних за локацију и моделовањем ризика**, посебно у областима као што су припрема локације, регулаторни интерфејс и доступност радне снаге.

За Србију, усвајање SMR технологије ће захтевати **опрезан и добро информисан приступ финансијском планирању**, уз интеграцију процене трошкова током целог животног циклуса, стратегија испоруке и оквира за поделу ризика. Ови елементи ће бити кључни у обликовању робусне архитектуре набавке и финансирања у будућим фазама пројекта.

Биће неопходан фазни приступ како би се прецизирао процес селекције, при чему ће се Фаза 1 фокусирати на верификацију тврдњи испоручилаца, регулаторну анализу и моделовање трошкова, након чега следи Фаза 1.1 која обухвата пилот студије и инжењерске процене специфичне за локацију.

✘ **Стратешки фокус за наредну фазу**

Како Србија напредује у планирању своје нуклеарне инфраструктуре, следећа фаза процене ставиће акценат на:

Валидација тврдњи о фабричкој модуларној изградњи

- Анализа конкретних стратегија модуларне изградње и поређење истих са сличним пројектима реализације SMR технологије
- Процена изводљивости транспорта, монтаже модула на самој локацији и зависности од ланца снабдевања.

Усклађивање регулаторног оквира

- Повезивање са европским и глобалним регулаторним телима ради убрзања процеса лиценцирања одабране SMR технологије.
- Утврђивање неопходних измена у регулаторном оквиру Србије како би се омогућила интеграција SMR технологије

Анализа трошкова, користи и ризика

- Прецизирање процена капиталних (CAPEX) и оперативних (OPEX) трошкова коришћењем података о трошковима из праксе, из пројекта малих модуларних реактора (SMR) који су оперативни (у раду) или у фази развоја.
- Идентификација механизма финансирања, укључујући фондове ЕУ за нуклеарну енергију и стратешке инвестиције.

Ланац снабдевања и развој радне снаге

- Процена способности Србије да локално производи SMR компоненте и идентификација кључних индустријских партнера.
- Успостављање програма преноса знања и обуке кадрова како би се осигурала дугорочна оперативна одрживост

Решавањем ових кључних области фокуса, Србија ће ојачати своју позицију као прогресивни актер у домену нуклеарне енергије, осигуравајући да су њена улагања у SMR технологију стратешки исправна, економски оправдана и усклађена са националним циљевима у области енергетске безбедности.

4.5• Потенцијалне користи и изазови за Србију

4.5.1• Увод

Комитет за процену технологије (ТАС) признаје трансформативни потенцијал нуклеарне енергије за дугорочне циљеве енергетске безбедности, економског раста и декарбонизације Србије. Евалуација великих нуклеарних електрана (LNPP) и малих модуларних реактора (SMR) истиче стратешке предности скалабилних, поузданих и нискоугљеничних нуклеарних технологија, а истовремено препознаје изазове повезане са регулаторним прилагођавањем, финансирањем и развојем радне снаге.

Ово поглавље истражује како LNPP и SMR могу допринети еволуирајућем енергетском миксу Србије, идентификујући кључне могућности и разматрања за успешно примењивање.

4.5.2• Улога великих нуклеарних електрана (LNPP) и малих модуларних реактора (SMR) у енергетској будућности Србије

Пошто Србија тежи преласку са фосилних горива на одрживији и отпорнији енергетски систем, нуклеарна енергија нуди дугорочно решење за енергетску независност, индустријску конкурентност и националну безбедност.

Док велике нуклеарне електране (LNPP) обезбеђују високопроизводну, базну снагу са доказаним оперативним перформансама, мали модуларни реактори (SMR) нуде скалабилно и флексибилно распоређивање за различите примене, укључујући даљинско грејање, производњу водоника и даљинско снабдевање енергијом. Заједно, ове технологије чине комплементарну стратегију нуклеарне енергије, обезбеђујући и стабилност мреже великих размера и децентрализована енергетска решења.

Категорија	LNPPs (Velike nuklearne elektrane)	SMRs (mali modularni rektori)
Поуздана базна снага и стабилност мреже	Обезбеђује континуирану производњу електричне енергије великог капацитета, стабилизујући мрежу и осигуравајући дугорочну енергетску безбедност.	Нуде могућности праћења оптерећења, што их чини идеалним за балансирање променљивих обновљивих извора енергије попут ветра и сунца.
Декарбонизација и климатски циљеви	Значајно смањује емисију CO ₂ , подржавајући политике декарбонизације ЕУ и циљеве нето нулте емисије.	Може се применити у близини индустријских зона, замењујући електране на угљ алтернативама са нултом емисијом угљеника.
Економски раст и стварање радних места	Подстиче велика индустријска улагања, стварајући висококвалификована радна места у инжењерству, производњи и постројењима.	Подржава модуларну производњу и локалну монтажу, подстичући развој регионалног ланца снабдевања и ширење квалификоване радне снаге.
Стратешка енергетска независност	Смањује зависност од увоза фосилних горива, јачајући енергетску безбедност и националну отпорност.	Дистрибуирано примењивање омогућава флексибилну производњу енергије, смањујући зависност од централизованих електрана.

Категорија	LNPPs (Velike nuklearne elektrane)	SMRs (mali modularni rektori)
Разноврсне примене за индустријску употребу	Подржава велике енергетски интензивне индустрије, обезбеђујући стабилну, исплативу енергију за дугорочну индустријску експанзију.	Производи топлоту за индустријске примене (150–280°C), укључујући производњу водоника, даљинско грејање и процесну пару.

Табела 36: Кључне предности LNPP и SMR за Србију

4.5.3. Изазови и разматрања за Србију

Комитет за процену технологије (ТАС) препознаје нуклеарну енергију као трансформативно решење за дугорочну енергетску безбедност, економски раст и напоре Србије у области декарбонизације. Међутим, успешно примењивање захтева структуриран и вишеслојан приступ, који се бави усклађеношћу са прописима, стратегијама финансирања, развојем радне снаге, спремношћу ланца снабдевања и перцепцијом јавности.

Ширење нуклеарне енергије у Србији, било кроз велике нуклеарне електране (LNPP) или мале модуларне реакторе (SMR), мора бити изграђено на темељима снажног усклађивања прописа, одрживих инвестиционих модела и развоја квалификоване радне снаге. Поред тога, интеграција локалних индустрија у ланце снабдевања нуклеарном енергијом и активно ангажовање јавности биће кључни за обезбеђивање прихватања пројекта и дугорочне одрживости.

Следећа табела приказује кључне изазове и стратешке акције потребне за примењивање нуклеарне енергије у Србији, осигуравајући глатку и ефикасну транзицију ка нуклеарној енергији.

Изазов	Опис	Стратешке акције за Србију
Регулаторна адаптација и спремност за лиценцирање	Србија мора да усклади свој будући оквир за нуклеарну регулативу са међународним стандардима као што су IAEA, EUR и WENRA како би осигурала усклађеност са глобалним безбедносним захтевима.	Програм регулаторног усклађивања – Успоставити структурирани план за интеграцију глобалних смерница за нуклеарну безбедност у национални оквир Србије.
	Процес лиценцирања SMR-а се још увек развија, што захтева ангажовање земаља које су га усвојиле (Канада, Велика Британија, САД, земље ЕУ) и међународних нуклеарних регулатора како би се поједноставило добијање дозвола.	Ангажовање са међународним регулаторима – Сарадња са IAEA, EURATOM и WENRA како би се убрзао регулаторни процес за SMR у Србији.
Финансијска разматрања и инвестициони модели	Високи почетни капитални трошкови (CAPEX) за LNPP и SMR захтевају структуриране моделе финансирања, укључујући грантове ЕУ, споразуме о финансирању добављача и оквире за суверена улагања.	Истражити међународне механизме финансирања и механизме финансирања ЕУ – Обезбедити финансирање путем фондова ЕУ за зелену енергију, нуклеарних инвестиција Европске инвестиционе банке (ЕИБ) и модела финансирања које подржавају добављачи.

Изазов	Опис	Стратешке акције за Србију
	Пројекције нивелисаних трошкова електричне енергије (LCOE) морају бити конкурентне, осигуравајући приступачност у дугорочном инвестиционом циклусу нуклеарне енергије.	Независно упоређивање трошкова – Спровести детаљне процене LCOE и поређења трошкова са алтернативним изворима енергије како би се потврдила економска исплативост.
Развој радне снаге и стручност у нуклеарној енергији	Квалификована радна снага је кључна за рад реактора, регулаторни надзор и дугорочно управљање нуклеарном инфраструктуром.	Национални програм талената за нуклеарну индустрију – Успоставити академска партнерства, програме обуке које воде добављачи и специјализовано инжењерско образовање како би се развила следећа генерација нуклеарне радне снаге у Србији.
	Србија мора да инвестира у обуку нуклеарних инжењера, оператера реактора и инспектора безбедности како би осигурала дугорочну одрживост.	Фонд за развој радне снаге – Сарађивати са глобалним добављачима SMR и LNPP) како би се обезбедили практични програми обуке и праксе.
Локализација ланца снабдевања и спремност инфраструктуре	Пројекти LNPP захтевају грађевинске радове великих размера и производњу високовредних компоненти, док мали модуларни реактори омогућавају већу модуларизацију и локалну монтажу.	Стратегија ланца снабдевања у нуклеарној индустрији у Србији – Идентификовати потенцијалне домаће добављаче и производне партнере како би се локализовала производња компоненти реактора и смањила зависност од увоза из иностранства.
	Србија мора да развије капацитете за сервисирање и одржавање нуклеарних електрана како би подржала дугорочну оперативну ефикасност и исплативост.	Програм спремности инфраструктуре – Процена индустријских капацитета Србије за производњу и монтажу компоненти SMR/LNPP, обезбеђујући стварање локалних радних места и економске користи.
Јавна перцепција и подршка политикама	Јавно прихватање нуклеарне енергије је кључно за успех пројекта, што захтева транспарентну комуникацију о безбедности, утицају на животну средину и дугорочним стратегијама управљања отпадом.	Кампање за подизање свести и образовање јавности – Покретање националних програма информисања јавности, стручних дискусија и ангажовања медија ради изградње поверења и промоције предности нуклеарне енергије.
	Србији су потребне јасне владине политике и планови како би се обезбедила дугорочна регулаторна и финансијска сигурност за инвеститоре и заинтересоване стране.	Стратешки план нуклеарне политике – Развијање свеобухватне дугорочне стратегије за нуклеарну енергију, обезбеђујући континуитет политике и поверење у инвестиције.

Табела 17: Кључни изазови и стратешка разматрања за Србију

4.6• Закључак

Ова процена технологије на високом нивоу представља темељни корак у структурираном истраживању нуклеарне енергије у Србији као стуба њене дугорочне енергетске стратегије. Сprovedена у оквиру Радног пакета 2 и заснована на институционалним доприносима из Радног пакета 1, студија интегрише упоредну техничку анализу, глобално искуство у примени и националне приоритете Србије како би представила јасан пут напред.

4.6.1• Резиме налаза

Следећи кључни закључци настали су из процеса вишестепене процене:

- **Нуклеарна енергија је одржива стратешка опција**

Србија се суочава са двоструким изазовом декарбонизације свог енергетског сектора, уз истовремено обезбеђивање сигурног снабдевања базним оптерећењем. Нуклеарна енергија нуди нискоугљеничну алтернативу угљу, погодну за пласман у електроенергетску мрежу и технички изводљиву у оквиру српске мрежне структуре, посебно када је подржана пројектима праћења оптерећења или стратегијама фазног спровођења.

- **И велики реактори и SMR технологије представљају могућности**

Процена је обухватила само технологије генерације III/III+ и идентификовала низ конвенционалних и SMR типова реактора који су у складу са техничким, регулаторним и стратешким потребама Србије. Велике нуклеарне електране (LNPP) обезбеђују економију обима, док мали модуларни реактори (SMR) нуде модуларност, нижа почетна улагања и флексибилан потенцијал локације.

- **Зрелост увођења варира међу добављачима**

Нивои спремности технологије, напредак у лиценцирању и планови имплементације значајно се разликују. Неки добављачи имају активне пројекте у изградњи или лиценцирању, док су други још увек у раној фази развоја. Ова разноликост наглашава потребу да Србија задржи опционалност у следећој фази ангажовања добављача.

- **Процене трошкова остају индикативне и специфичне за контекст**

У свим технологијама, подаци о трошковима остају променљиви и често непотврђени од стране пројеката који су први ове врсте (FOAK). Међународна искуства, укључујући кашњења и отказивања пројеката, истичу важност спровођења детаљних анализа осетљивости трошкова специфичних за Србију у следећој фази изводљивости.

- **Спремност регулаторних органа и власника/оператера је кључна**

Успешно примењивање захтеваће изградњу капацитета у оквиру регулаторног тела Републике Србије (SRBATOM) и успостављање компетентног ентитета власника/оператера. Оба тока су већ обрађена у оквиру Радног пакета бр.1 и требало би да остану национални приоритети у наредним годинама.

- **Избор технологије мора бити интегрисан са ширим планирањем инфраструктуре**

Избор технологије мора бити усклађен са компатибилношћу мреже (400kV), ограничењима локације, утицајем на животну средину, стратегијама локализације и архитектуром финансирања. Коначна одлука не сме бити заснована само на дизајну реактора, већ и на изводљивости примене у оквиру целог система.

Ова процена је развијена искључиво на основу јавно доступних информација од стране компанија које развијају технологије, регулаторних тела и међународних нуклеарних институција. Иако су уложени напори да се представи статус примене, индикатори учинка и контекст ланца снабдевања за сваку технологију, доступност и микроструктура података значајно варирају међу добављачима. Као резултат тога, одређени аспекти као што су тачне структуре партнера у пројекту, референтне вредности капиталних издатака на нивоу јединице (CAPEX) или квантификоване метрике локализације ланца снабдевања разматрају се у мери у којој су објављени у јавном власништву.

Детаљнија и квантификована евалуација техничких, економских и критеријума везаних за партнерство биће спроведена у наредним фазама пројекта кроз ангажовање добављача, дубинску анализу и валидацију специфичну за локацију. Овај фазни приступ осигурава да поређење технологија остане засновано на доказима, обезбеђујући праведну процену технологије, уз поштовање ограничења приступа подацима у фази претходне процене изводљивости.

4.6.2. Одрцање од одговорности

Овај Извештај о процени технологије припремио је EGIS (Комитет за процену технологије - ТАС) за Владу Републике Србије као део високопрофилне прелиминарне евалуације изводљивости напредних технологија нуклеарних реактора у оквиру Фазе 1 [Референца уговора: JN-14/24]. Процена је спроведена на основу јавно доступних докумената, интеракција са неким од добављача технологије и професионалног искуства и стручности чланова ТАС-а. Овај извештај је намењен **само у информативне и стратешке сврхе евалуације** и не представља правно обавезивање, подршку или препоруку за било ког одређеног добављача технологије или продавца

ТАС наглашава да је овај извештај високопрофилна студија изводљивости у Фази 1 и, као такав, не пружа квантитативну, упоредну анализу технологија у кључним областима као што су CAPEX (капитални издаци), OPEX (оперативни издаци), безбедносне метрике или нивои зрелости технологије. Због ограничења јавно доступних података (подаци које је класификовао добављач технологије - поверљиво) и прелиминарне природе процене, у овој фази не треба изводити дефинитивне закључке у вези са конкурентношћу трошкова, временским роковима имплементације или техничком зрелошћу. Комитет чврсто верује да би детаљнија техничка евалуација требало да се спроведе током Фазе 1 развоја програма нуклеарне инфраструктуре Србије, у тесној сарадњи са добављачима технологије, регулаторним телима и заинтересованим странама у индустрији.

Штавише, овај извештај је припремљен без предрасуда и није обавезујући за EGIS или било ког од његових чланова. Закључци и запажања представљени су на основу најбољих доступних информација у време процене, али не представљају коначну инвестициону одлуку, политичку директиву или уговорну обавезу за стратегију развоја нуклеарне енергије Србије.



РАДНИ ПАКЕТ #3

**АНАЛИЗЕ ИНТЕГРАЦИЈЕ
НУКЛЕАРНИХ ЕЛЕКТРАНА У
МРЕЖУ**

5• Радни пакет бр. 3: Анализа понуде и потражње ради дефинисања потенцијалних будућих (2045) пласмана енергије у Србији

5.1• Контекст

С обзиром на значајно повећање потреба за енергијом које се предвиђа у наредним деценијама, нуклеарна енергија се препознаје као једна од могућих опција за обезбеђивање расположиве нискоугљеничне електричне енергије. У том смислу, Влада Републике Србије већ поставља темеље за израду информисаних процена у вези са потенцијалом за имплементацију програма мирнодопске употребе нуклеарне енергије. Конкретно, они процењују предуслове за спровођење нуклеарног програма у земљи на структуриран и систематски начин, користећи приступ заснован на прекретницама Међународне агенције за атомску енергију (у даљем тексту МААЕ) пре него што донесу одлуку о покретању нуклеарног програма. Током овог процеса, Србија је затражила стручност и искуство међународне нуклеарне заједнице, и као резултат је EDF, у партнерству са Egisom, добио уговор од Министарства рударства и енергетике Републике Србије за спровођење прелиминарне студије о потенцијалној улози нуклеарне енергије у енергетској будућности Србије након поступка јавне набавке под бројем JN-14/24.

Ова студија је подељена у три радна пакета (РП), од којих се сваки фокусира на један аспект развоја нуклеарног програма у мирнодопске сврхе. Радни пакет број 3 (РП#3) фокусирао се на прелиминарну анализу понуде и потражње како би се дефинисали потенцијални будући планови распореда пласмана електричне енергије у Србији (2045).

У следећим одељцима детаљно су описане претпоставке, методологија и резултати горенаведених задатака, заједно са препорукама за следеће кораке.

5.2• Ограничења студије и могућа проширења

Ова студија је прелиминарна анализа понуде и потражње. Као таква, она има следећа ограничења:

- Модел је ажуриран тако да одражава прогнозирано системско оптерећење и производњу електричне енергије у Србији за 2045. годину, у складу са званичним подацима који су били доступни оператору преносног система Србије у тренутку прикупљања података; на супрот томе, суседне земље су моделоване коришћењем прогнозе за 2034. годину. Стога добијени баланс, посебно у погледу увоза и извоза електричне енергије са суседним електроенергетским системима, треба тумачити са опрезом.
- Ова анализа је спроведена на једном од доступних скупова података о климатским годинама. Осмишљена је да генерише реалне расподеле енергије за дати капацитет производње и профил оптерећења, али не обухвата сву потенцијалну климатску варијабилност. Стога се не може третирати као процена адекватности са стране сигурности снабдевања за одабрани капацитет производње. Овај аспект ће морати даље да се анализира у наредним фазама пројекта.

5.3. Анализа понуде и потражње

5.3.1. Документа и претпоставке

Разматрана година студије је 2045. што је у складу са временски оквиром нуклеарног програма и са прекретницама које су већ поставиле српске власти.

Симулације су спроведене помоћу софтвера ANTARES Simulator©, на моделу који су обезбедили стручњаци из Електромреже Србије (ЕМС) и који се иначе користи за Национални план развоја. Да би се остало у складу са процесом TYNDP, заједно са ЕМС-ом је одлучено да се изабере релевантна климатска година, која представља специфичне претпоставке, посебно у вези са кривом оптерећења и нивоима производње електричне енергије из обновљивих извора. Размотрено је шест сценарија, на основу договорених комбинација одабраних типова нуклеарних постројења (Табела 51).

Тип постројења	Номинални капацитет постројења (MWe)	Мин. стабилна снага (MWe)	Гранични трошак (€/MWh)
1	1 200	300	10
2	1 000	250	10
3	400	100	45

Табела 55-1 – Разматрани типови нуклеарних постројења

Сценарија	Номинални капацитет постројења (MWe)	Број постројења	Укупни номинални капацитет (MWe)
Референтни сценарио	-	-	-
A	400	2	800
B	1 000	1	1 000
C	1 200	1	1 200
D	400	4	1 600
E	1 200	2	2 400

Табела 5-2 – Сценарији нуклеарног капацитета

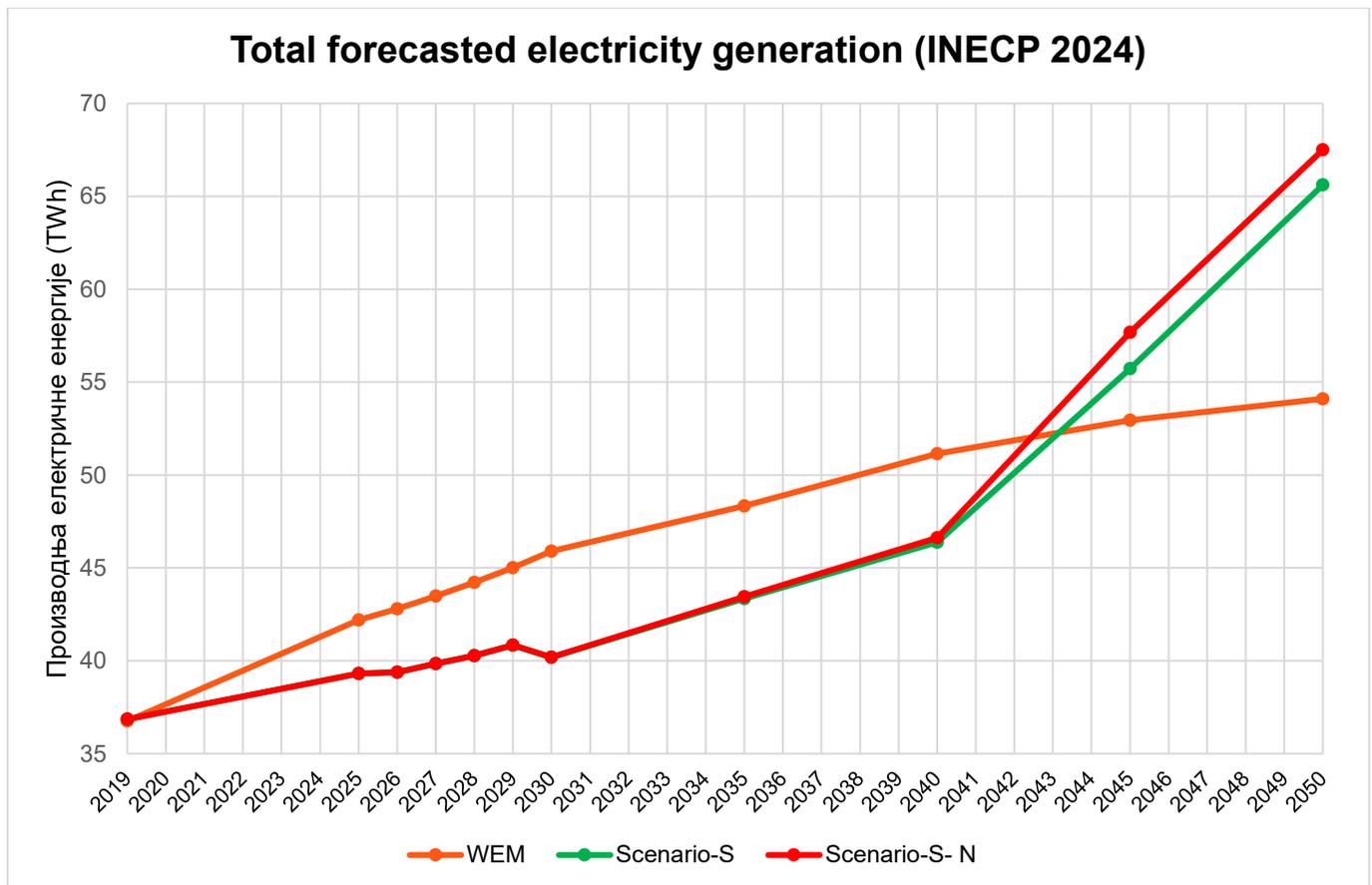
5.3.2. Оптерећење

Пошто дати модел представља 2034. годину, временске серије оптерећења морале су бити скалиране како би се испуниле званичне прогнозе оптерећења. Профил оптерећења је остао константан, са вредностима оптерећења на сатном нивоу које варирају у зависности од циљне потражње. Најновији *Интегрисани*

национални енергетски и климатски план [1], или ИНЕКП, послужио је као подлога за будуће пројекције потражње за енергијом у Србији. У овом документу су представљена три главна сценарија:

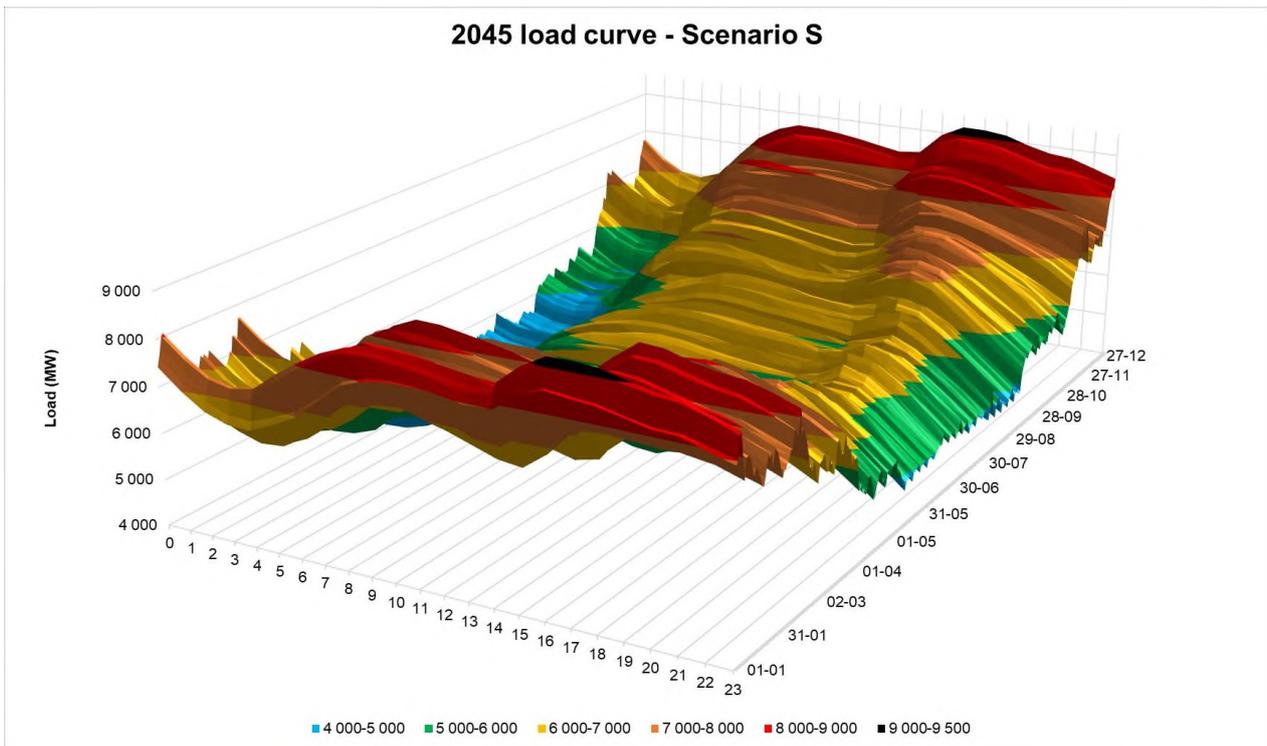
- Сценарио са *Постојећим мерама* (WEM), који има пројекцију развоја енергетског сектора и других емисија у оквиру постојећих политика и мера. Овај сценарио не води до остваривања циљева ИНЕКП-а, али се користи као референца,
- Сценарио са *Напредним мерама* (WAM) укључује све планиране додатне политике и мере које доприносе остваривању циљева ИНЕКП-а. Овај сценарио се назива Сценарио S, описан је у ИНЕКП Поглављу 5 и упоређује се са WEM сценаријом како би се показао додатни напор који је потребан да би се он материјализовао.
- Варијација сценарија S, означена као *Сценарио S-N*, разматра увођење нуклеарних електрана укупног капацитета 1.000 MW након 2040. године у електроенергетски систем Србије, како би се испитао њихов могући допринос путу декарбонизације ка 2050. години. У следећим одељцима, пројекције за Сценарио S упоређују се са пројекцијама сценарија WEM (детаљно описаног у Поглављу 4) како би се показао додатни напор који је потребан у свакој димензији за постизање циљева ИНЕКП-а

Прогнозирана производња електричне енергије за сваки од ових сценарија је следећа:

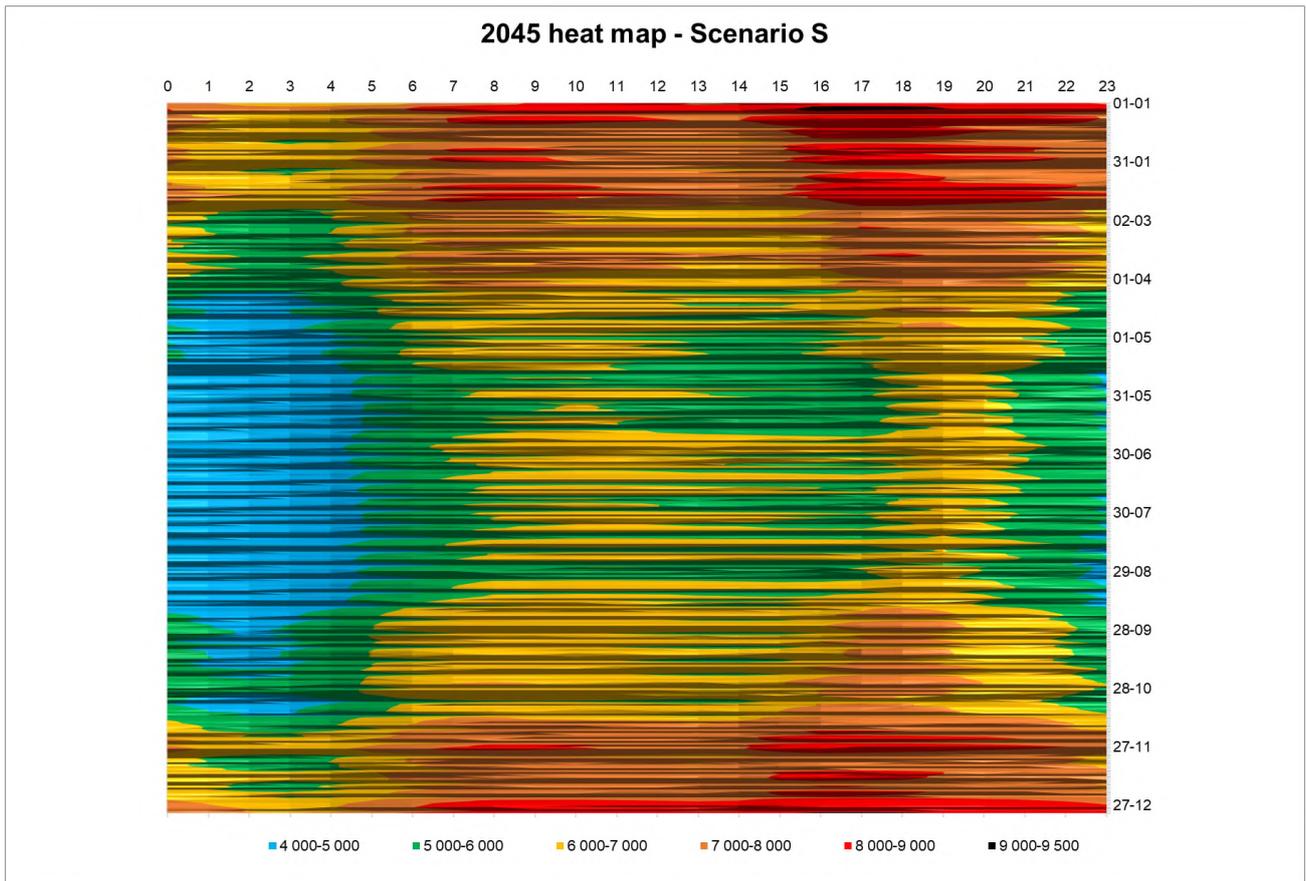


Слика 5-1 - Укупна прогнозирана производња електричне енергије (INECP 2024)

Да би се задржао конзервативан приступ, а истовремено остало неутрално у погледу инсталираног капацитета, изабран је Сценарио S, а вредност произведене електричне енергије коришћена је као приближна вредност (*проху*) за укупну потражњу за електричном енергијом, уз претпоставку да је целокупна производња намењена домаћој потрошњи. Крива оптерећења по сату за 2034. годину за одабрану климатску годину, присутна у моделу ANTARES©, скалирана је да тако да одражава годишњу потрошњу електричне енергије од 55,73 TWh, односно пораст од 14%. Следећи графикони приказују нову криву оптерећења под две различите визуелизације. Видљив је јасан дневни образац са два врхунца, заједно са снажаним трендом достизања зимског максимума.



Слика 5-2 – Тродимензионални приказ криве оптерећења за 2025. годину



Слика 5-3 - Приказ криве оптерећења за 2045. годину на топлотној мапи

5.3.3. Производња

Као и оптерећење, и производња мора бити ажурирана како би представљала флоту производње из 2045. године. Осим очигледног додавања нуклеарних постројења, третираних у сценаријима као што је претходно поменуто, направљене су две модификације модела, остало је остало идентично.

Важно је напоменути да су карактеристике српског чвора у моделу ажуриране, док су параметри свих осталих чворова (земаља) остали непромењени. То значи да су накнадне симулације извршене за Републику Србију у 2045. години, засноване на званичним подацима доступним оператеру преносног система Србије у тренутку прикупљања података, укљученим у визију остатка међусобно повезаног европског система за 2034. годину. Резултујући баланс система, нарочито у погледу увоза и извоза електричне енергије са суседним електроенергетским системима, треба тумачити са опрезом.

Тип јединице	Капацитет (MW)	Коментари
Нуклеарна	-	Зависи од сценарија
Лигнит	5 005.7	Нето капацитет
Постојећи гасно-турбински блокови у комбираном циклусу (CCGT)	400.9	Инсталирани капацитет: 3 јединице у Панчеву и 2 јединице у Новом Саду
Хидроелектране са природним протоком	1 321	<i>Ово је максимална производња електричне енергије на сат, а не инсталирани капацитет као такав</i>
Хидроакумулација	4 500	<i>Ово је максимална производња електричне енергије на дан (MWдан), а не инсталирани капацитет као такав</i>
Ветроелектране на копну	6 436	<i>Ово је максимална производња електричне енергије, а не инсталирани капацитет као такав</i>
Соларна фотонапонска енергија	5 580	<i>Ово је максимална производња електричне енергије на сат, а не инсталирани капацитет као такав</i>
Претварање отпада у енергију	22.1	

Табела 5-2: Нето производни капацитет у моделу (година 2045)

5.3.4. Резултати

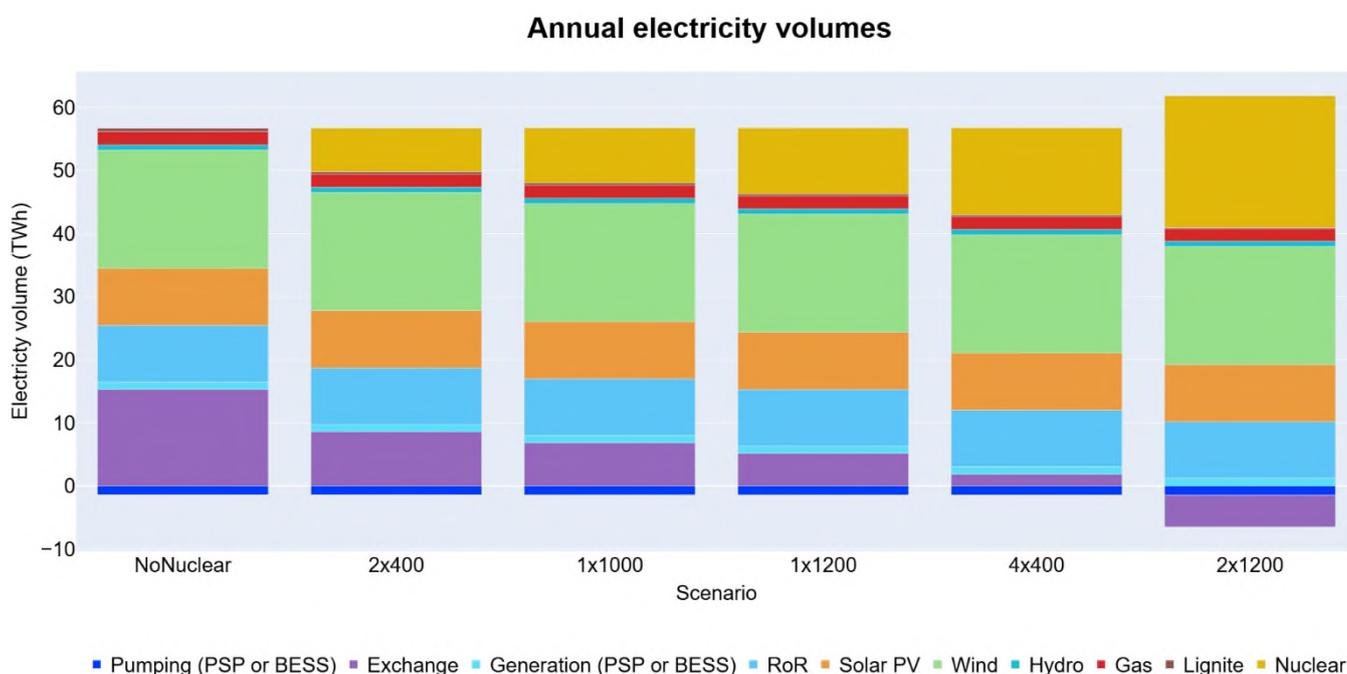
Комплетне сатне симулације, за целу 2045. годину, спроведене су за свих шест сценарија (референтни сценарио и и пет варијанти са могућим додатним нуклеарним блоковима). Сlike испод приказују анализу резултата.

Још једном је неопходно нагласити да ове резултате треба тумачити са опрезом, јер представљају само једну климатску годину, прилагођену да одражава искључиво услове у Србији за 2045. годину. Потребна је много детаљнија студија како би се проценила адекватност система и пуни утицај укључивања нових нуклеарних капацитета на електроенергетски систем Србије. Ова анализа би морала да узме у обзир много већи број потенцијалних климатских година и да размотри и сигурност снабдевања и балансирање система.

Следећи графикони представљају агрегиране резултате студије и илуструју горе наведене тачке.

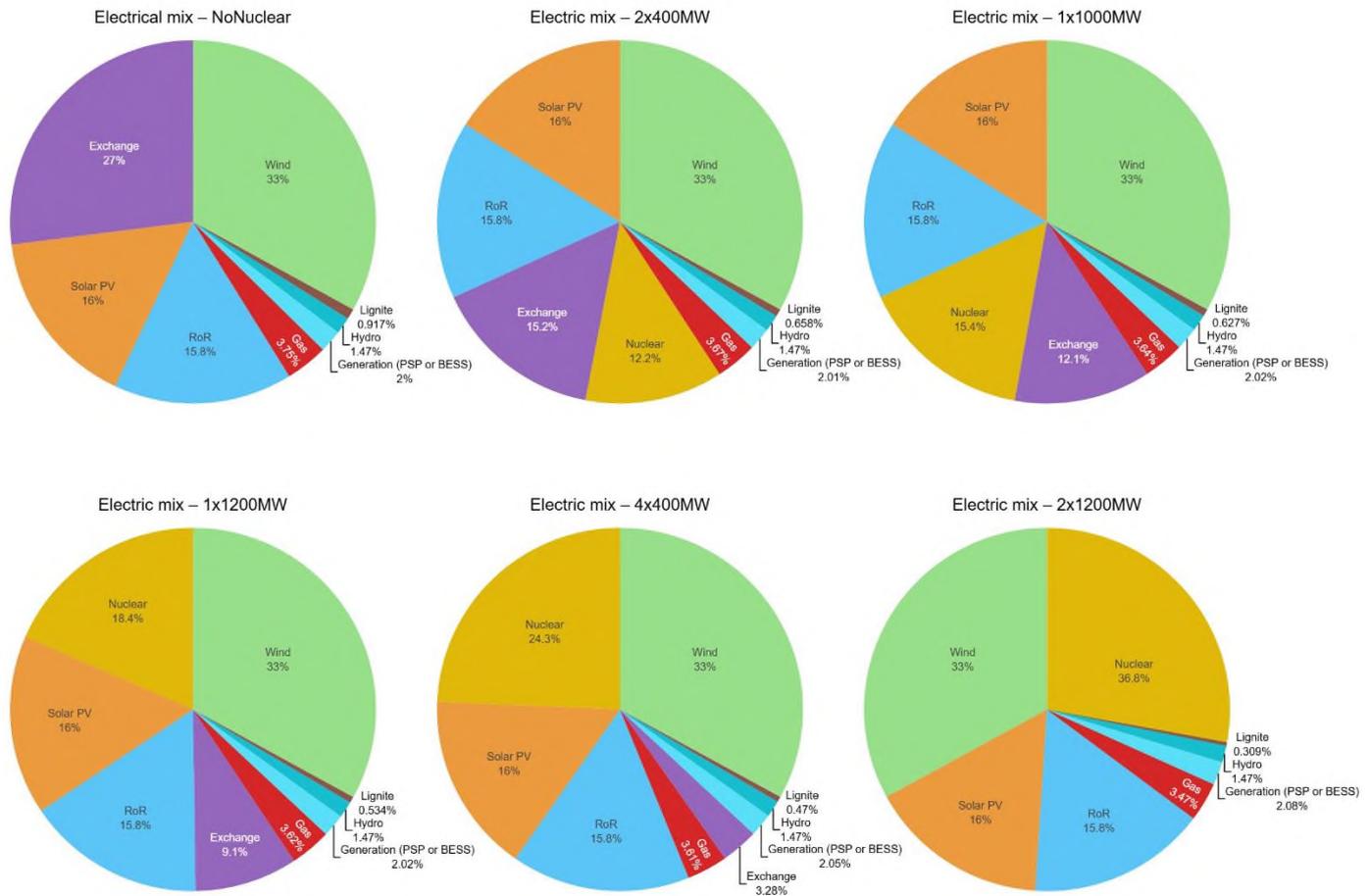
5.3.4.1. Производни микс

Следећи графикони приказују годишњу производњу сваког сектора за различите проучаване сценарије.



Слика 5-4: Укупне годишње количине електричне енергије

Electric mix per scenario



Слика 5-5: Електрични микс по сценарију

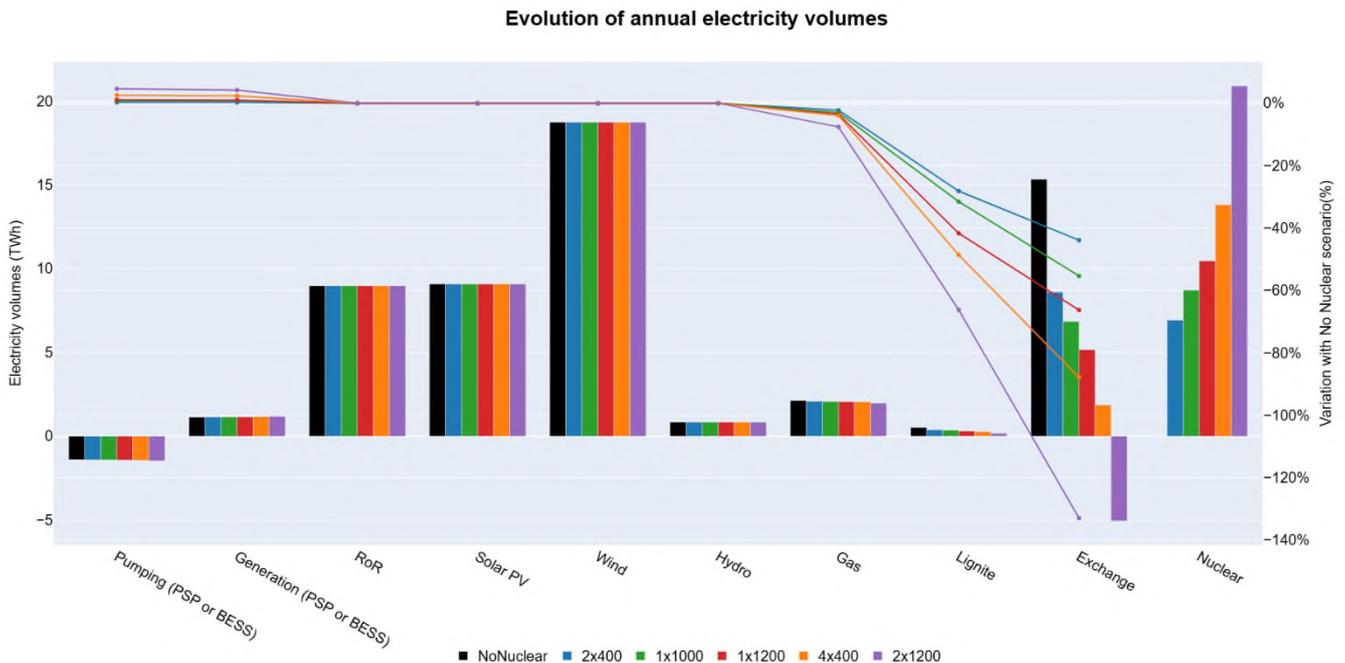
Главна сазнања су:

- Србија постаје нето извозник електричне енергије у сценарију 2x1200 MW
- Нуклеарни капацитети утичу на рад и производњу електричне енергије из лигнитних и гасних блокова у Србији
 - Удео производње електричне енергије из постројења на лигнит у електроенергетском миксу пао је са 0,917% за сценарио без нуклеарне енергије на 0,3% за сценарио 2x1200 MW
 - Удео производње електричне енергије из постројења на гас у електроенергетском миксу пао је са 3,75% за сценарио без нуклеарне енергије на 3,47% за сценарио 2x1200 MW

5.3.4.2. Варијација између сценарија без нуклеарне енергије и сценарија са нуклеарном енергијом

Занимљиво је погледати варијације за сваки сектор.

Следећи графикон приказује годишњу производњу електричне енергије по секторима и сценаријима (стубичасти графикон, лева у-оса) и процентуалну промену у односу на сценарио без нуклеарне енергије (дијаграм распршености, десна у-оса).



Слика 5-6 - Варијација нивоа производње у поређењу са референтним сценаријем

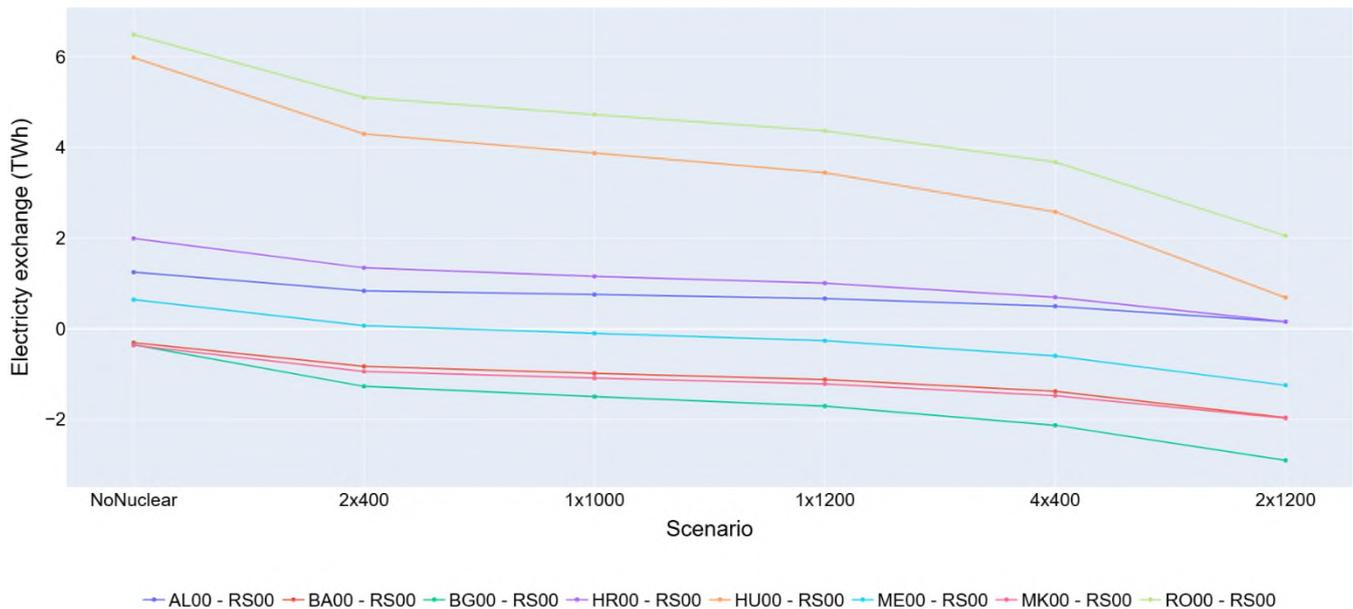
Главна сазнања су:

- Нуклеарна енергија утиче на производњу лигнита и гасне јединице у Србији, респективно смањујући се за 66% и 8% за сценарио 2*1200 MW.
- Србија постаје нето извозник електричне енергије у сценарију 2*1200 MW. За средње сценарије, увоз Србије је значајно смањен: смањен је за 44% за 2x400MW сценарио, 55% за сценарио 1x1000MW, 66% за сценарио 1x1200MW и 88% за сценарио 4x400MW.

5.3.4.3. Размена са суседним земљама

Следећи графикон приказује размену са суседним земљама

Annual electricity exchanges



Слика 5-7 - Укупна годишња размена енергије

AL00	BA00	BG00	HR00	HU00	ME00	MK00	RO00	RS00
Албанија	Босна и Херцеговина	Бугарска	Хрватска	Мађарска	Црна Гора	Северна Македонија	Румунија	Србија

Табела 5-3: Табела кодова земаља

Главни закључци добијени анализом тржишних размена су следећи:

- Без обзира на сценарио, Србија наставља да увози из Румуније, Мађарске, Хрватске и Албаније
- Без обзира на сценарио, Србија наставља да извози у Босну и Херцеговину, Северну Македонију и Бугарску
- Црна Гора је променила свој статус од извозника до увозника у односу на Србију након додавања нуклеарне енергије

5.3.5. Закључак анализе понуде и потражње

Главни закључци студије понуде и потражње су:

- Нуклеарна енергија утиче на производњу електричне енергије из постројења на лигнит и гас у Србији, респективно смањујући се за 66% и 8% за сценарио 2x1200 MW
- Србија постаје нето извозник електричне енергије у сценарију 2x1200 MW

■ Без обзира на сценарио, Србија наставља да увози из Румуније, Мађарске, Хрватске и Албаније. Још једном, потребно је нагласити чињеницу да се ови резултати морају посматрати са опрезом, јер представљају само једну климатску годину, модификовану да одражава 2045. годину само у Србији. Потребна је много детаљнија студија како би се проценила адекватност система и пуни утицај нових нуклеарних капацитета на електроенергетски систем Србије.

6• Закључак

Активности које су спровели EDF и Egis у оквиру уговора „Израда прелиминарне техничке студије ради разматрања мирнодопске примене нуклеарне енергије у Републици Србији – JN-14/24“ успешно су завршена у складу са циљевима које је поставило Министарство рударства и енергетике Републике Србије.

Покренута у новембру 2024. године, ова прелиминарна студија је произвела три кључна резултата, од којих сваки одговара посебном Радном пакету:

- Радни пакет #1: Развој мапе нуклеарног пута – Овај детаљни извештај описује приоритетне активности, критичне прекретнице и кључне препоруке које је предложио EDF за вођење планирања примене нуклеарне енергије у Србији.
- Радни пакет #2: Процена технологија и истраживање тржишта нуклеарне енергије – Овај опис пружа Влади Србије почетни преглед и поређење реакторских технологија погодних за будућу примену. Нуди транспарентан и структуриран преглед главних технолошких опција и идентификује области које захтевају даљу анализу, ангажовање заинтересованих страна и изградњу капацитета.
- Радни пакет #3: Прелиминарна анализа понуде и потражње за дефинисање потенцијалних будућих расподела енергије (2045) у Србији – Ова студија је омогућила спровођење почетне процене укључивања нуклеарне енергије у Србији са пет различитих профила за нову производњу нуклеарне енергије.

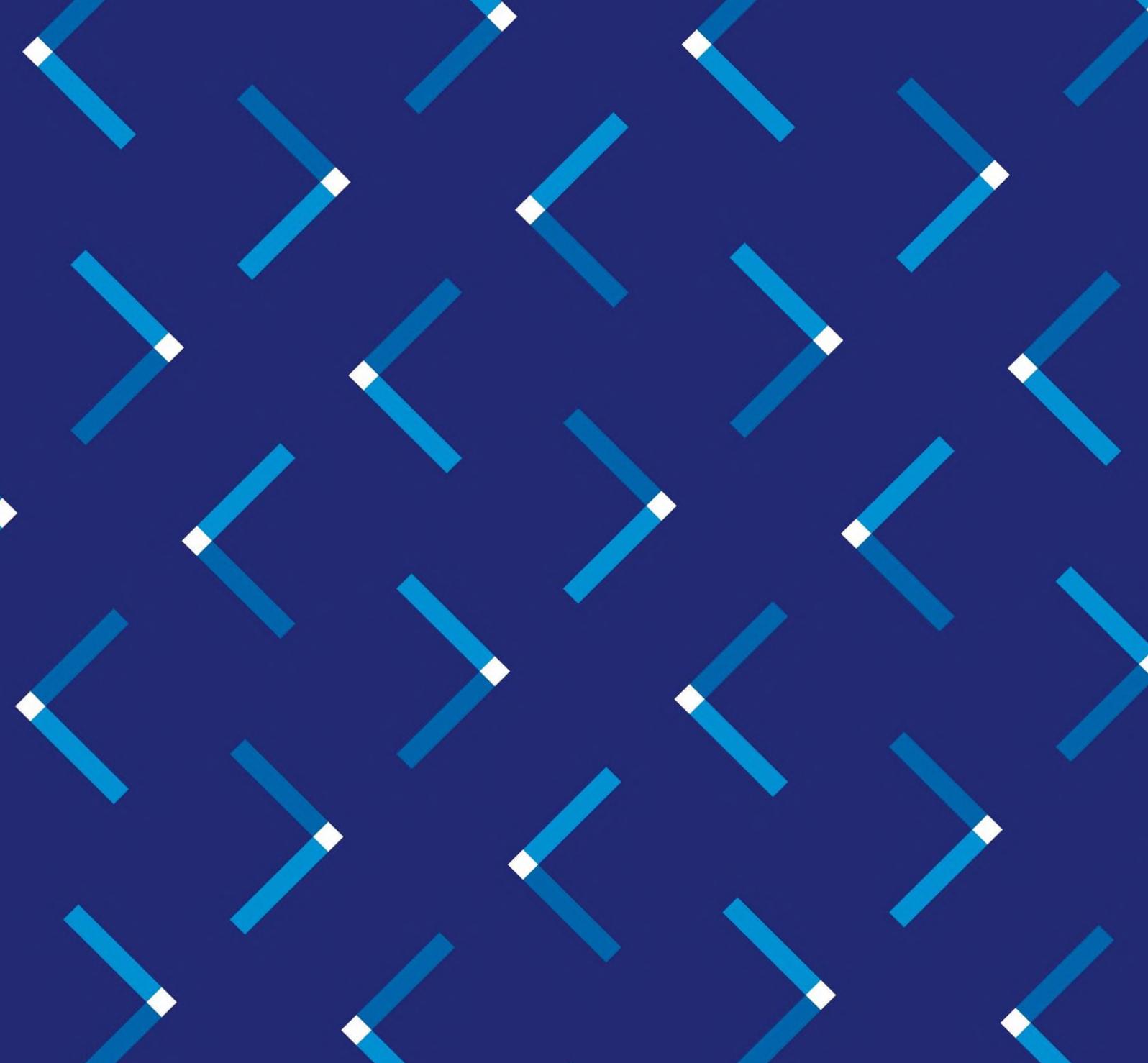
Међу кључним препорукама које произилазе из ових Радних пакета, студија успоставља да су и даље потребни значајни напори у будућности. Студија посебно наглашава важност изградње институционалних, регулаторних и техничких капацитета. Овај интегрисани приступ је од кључног значаја како би се обезбедило да нуклеарне енергетске амбиције Србије буду подржане кроз стабилну и прилагодљиву секторску инфраструктуру која омогућава њихову реализацију.

Поред тога, резултати представљени у овом резимеу одражавају колективно ангажовање, техничке доприносе и конструктивне размене које су карактерисале сарадњу током целог пројекта.

EDF изражава искрену захвалност на прилици да сарађује са Републиком Србијом на овом пројекту.

Група EDF представља кључног учесника у нуклеарном сектору, јединствено оспособљеног као добављача, оператора, пројектанта и извођача радова, са дугогодишњим искуством у нуклеарним пројектима у Француској и иностранству. Наше искуство, које обухвата деценије рада и највећу флоту нуклеарних електрана у свету – 66 реактора у Француској и Великој Британији – сведочи о нашим способностима и посвећености.

EDF остаје на располагању нашим српским колегама и отворен је за истраживање будућих путева сарадње у подршци развоју нуклеарне енергије у земљи.



EDF SA
22-30, avenue de Wagram
75382 Paris cedex 08
France
552 081 317 R.C.S. Paris
www.edf.com