

Programul de dezvoltare a competențelor de leadership în domeniul securității nucleare

Noțiuni de bază privind securitatea nucleară pentru centralele nucleareoelectrice

Funcțiile generale de securitate nucleară

Obiective și criterii de securitate nucleară

Evenimente considerate în proiectare

Protecția în adâncime

Mădălina Coca

Rev. 1, 02.10.2023

Securitatea nucleară

- Centralele nucleare electrice (CNE) sunt proiectate, amplasate și construite pentru a fi operate în siguranță și fără efecte adverse asupra sănătății și siguranței populației sau asupra mediului înconjurător.
- Deși nicio activitate industrială nu este complet lipsită de riscuri, probabilitatea producerii unui accident cu consecințe radiologice semnificative pentru populație și mediu este foarte redusă.
- Acest risc este scăzut datorită robusteții, diversității și redundanței barierelor fizice și numeroaselor sisteme de securitate prevăzute prin proiectul centralei, a pregătirii și profesionalismului operatorilor, inginerilor și tehnicienilor care desfășoară activități importante pentru securitatea nucleară, a activităților de testare, supraveghere, inspecție și întreținere, precum și datorită activităților de control desfășurate de autoritatea de reglementare în domeniul nuclear.
- **Ansamblul de măsuri tehnice și organizatorice destinate să asigure funcționarea instalațiilor nucleare, inclusiv a CNE, în bune condiții, să prevină și să limiteze deteriorarea acestora și să asigure protecția personalului expus profesional, a populației, mediului și bunurilor materiale împotriva expunerii la radiații ionizante sau a contaminării radioactive peste limitele permise de legislația în vigoare este denumit securitate nucleară.**

Funcțiile de securitate nucleară

Funcția de securitate nucleară reprezintă un scop specific care trebuie îndeplinit pentru asigurarea securității nucleare. Se definesc următoarele funcții generale de securitate nucleară:

- a) **controlul reactivității**; această funcție se referă la controlul procesului de fisiune nucleară; pentru un reactor nuclear, această funcție include controlul puterii reactorului, oprirea reactorului și menținerea acestuia într-o stare de oprire sigură pentru o perioadă de timp nedeterminată, precum și prevenirea criticității în instalațiile de depozitare a combustibilului nuclear uzat;
- b) **răcirea combustibilului nuclear**; pentru un reactor nuclear, această funcție se referă atât la răcirea combustibilului din reactor, cât și la răcirea combustibilului uzat din instalațiile de depozitare aferente;
- c) **reținerea materialelor radioactive**, inclusiv menținerea barierelor fizice în calea eliberării acestora în mediul înconjurător;
- d) **monitorizarea stării instalației nucleare și furnizarea serviciilor-suport** necesare pentru menținerea funcțiilor prevăzute la lit. a)-c); serviciile-suport menționate includ furnizarea de energie electrică, agent de răcire, aer instrumental și gaze tehnice, după cum este necesar pentru buna funcționare a sistemelor, structurilor, componentelor și echipamentelor cu funcții de securitate nucleară.

Aceste funcții de securitate nucleară trebuie asigurate, în măsura în care este practic posibil, în toate stările de operare ale unei CNE.

Sistemele, structurile, componentele și echipamentele (SSCE) care contribuie la îndeplinirea funcțiilor de securitate nucleară, precum și cele a căror defectare are impact asupra acestor funcții, se numesc SSCE cu funcții de securitate nucleară sau SSCE importante pentru securitatea nucleară.

Stările de operare ale unei CNE

- Starea de **operare normală** a unei CNE se referă la exploatarea fiabilă, la parametri nominali, în conformitate cu un set de limite și condiții bine stabilite, fără tranziții. Starea de operare normală cuprinde mai multe moduri de operare, cu reactorul la putere sau cu reactorul oprit, definite în funcție de configurația sistemelor.
- Un **eveniment anticipat în exploatare** reprezintă o deviație neplanificată de la condițiile normale de exploatare, care poate afecta o funcție de securitate nucleară și care se așteaptă să apară o dată sau de mai multe ori pe durata de viață operațională a instalației nucleare; se mai numește și tranzient anticipat în exploatare.
- Prin **accident bază de proiect** se înțelege orice situație de accident care a fost prevăzută la proiectarea unei instalații nucleare, în conformitate cu criterii stabilite de proiectare și în cazul căreia avariarea combustibilului nuclear (acolo unde se poate produce) și eliberarea de materiale radioactive sunt menținute în limitele stabilite prin reglementările în vigoare.
- Standardele și reglementările curente cer și analiza unor **condiții de extindere a bazelor de proiectare** (DEC – Design Extension Conditions). Condițiile de extindere a bazelor de proiectare includ două categorii de evenimente:
 - condiții de extindere a bazelor de proiectare de tip A, pentru care se poate preveni avariarea gravă a zonei active a reactorului și topirea combustibilului nuclear din zona activă a reactorului sau din bazinele de combustibil uzat; acestea sunt gestionate prin proceduri de operare la urgență;
 - condiții de extindere a bazelor de proiectare de tip B, care reprezintă situații de accident sever postulat, care implică avariarea gravă a zonei active a reactorului și topirea combustibilului nuclear; acestea sunt gestionate prin ghiduri de management al accidentelor severe.

Stările de operare ale unei CNE

- Toate evenimentele anticipate în exploatare pentru o instalație nucleară, precum și toate accidentele considerate explicit la stabilirea bazelor de proiectare pentru SSCE reprezintă **evenimente bază de proiect**, care se mai numesc în analizele și evaluările de securitate nucleară și evenimente postulate. Evenimentele bază de proiect pot include atât evenimente de inițiere, cât și secvențe și combinații de evenimente. Rezultatele analizelor evenimentelor bază de proiect stau la baza alegerii parametrilor de proiectare pentru SSCE cu funcții de securitate nucleară.
- Înainte de accidentul de la Fukushima, atunci când discutam despre accidente severe, le includeam în categoria accidentelor aflate în afara bazelor de proiectare ale CNE (BDBA – Beyond Design Basis Accidents). După Fukushima, o parte din aceste BDBA au devenit DEC, iar analiza lor a fost utilizată pentru proiectarea unor sisteme care să reducă riscul asociat accidentelor severe.
- Prin proiectul instalației nucleare se asigură că evenimentele anticipate în exploatare au consecințe minore, iar evenimentele care ar putea avea consecințe grave au o probabilitate de apariție extrem de redusă.

Obiective și criterii de securitate nucleară

În conformitate cu **Normele fundamentale de securitate nucleară** (emise de CNCAN - Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare și publicate în Monitorul Oficial, Partea I nr. 597 din 08 iulie 2020):

Obiectivul general de securitate nucleară care trebuie avut în vedere în proiectarea, amplasarea, construcția, punerea în funcțiune, exploatarea și dezafectarea unei instalații nucleare este **de a reduce la minimum riscurile asociate expunerii la radiații ionizante pentru personalul care desfășoară activități profesionale, populație și mediul înconjurător.**

Titularul, respectiv solicitantul de autorizație trebuie să ia toate măsurile rezonabile, posibile din punct de vedere tehnic și practicabile pentru prevenirea evenimentelor care ar putea conduce la expunerea personalului care desfășoară activități profesionale, a populației și a mediului peste limitele prevăzute de legislația în vigoare.

De asemenea trebuie luate toate măsurile rezonabile, posibile din punct de vedere tehnic și practicabile pentru limitarea consecințelor accidentelor nucleare, pentru situațiile în care astfel de evenimente ar putea avea loc.

Obiective și criterii de securitate nucleară

În conformitate cu **Normele fundamentale de securitate nucleară**:

În scopul îndeplinirii obiectivului general de securitate nucleară, instalațiile nucleare trebuie să fie proiectate, amplasate, construite, puse în funcțiune, exploatate și dezafectate astfel încât să se prevină accidentele și, în cazul unui accident, să se atenueze consecințele acestuia și să se evite:

a) eliberările timpurii/intempestive de materiale radioactive, care ar impune luarea de măsuri de răspuns la urgență în afara amplasamentului fără să existe suficient timp pentru punerea în aplicare a acestora;

b) eliberările masive de materiale radioactive, care ar necesita măsuri de protecție care nu pot fi limitate în spațiu sau timp.

Aceste cerințe transpun cerințele din directiva europeană de securitate nucleară și sunt conforme cu prevederile din standardele internaționale de securitate nucleară.

Obiective și criterii de securitate nucleară

Pentru a facilita îndeplinirea obiectivului de securitate nucleară din art. 4 din NSN-21 (preluat din directiva europeană de securitate nucleară), au fost revizuite criteriile de doză pentru analizele deterministe de securitate nucleară, prin emiterea normei NSN-24 (Normele privind analizele deterministe de securitate nucleară pentru instalațiile nucleare <http://www.cncan.ro/assets/NSN/NSN-24.pdf>) :

Criterii de doză pentru analiza evenimentelor bază de proiect pentru instalațiile nucleare

Clasa de evenimente	Categorია de evenimente		Frecvența anuală estimată de apariție a unui eveniment sau a unei secvențe de evenimente	Valoarea maximă a dozei efective pentru cea mai expusă persoană aflată în afara zonei de excludere, calculată pentru 30 de zile de la începutul emisiei, pentru toate căile de expunere așteptate
Clasa 1	Evenimente anticipate în exploatare	Evenimente bază de proiect	$f > 1E-2$	0.5 mSv
Clasa 2	Accidente bază de proiect		$1E-2 > f > 1E-5$	20 mSv
Clasa 3	Condiții de extindere a bazelor de proiectare de tip A	Condiții de extindere a bazelor de proiectare; acestea reprezintă un subset al evenimentelor din afara bazelor de proiectare	$f < 1E-5$	Nu sunt stabilite criterii de doză, dar au fost stabilite obiective cantitative în GSN-03
Clasa 4	Condiții de extindere a bazelor de proiectare de tip B			Nu sunt stabilite criterii de doză, dar au fost stabilite obiective cantitative în GSN-03

Obiective și criterii de securitate nucleară

Pentru a facilita îndeplinirea obiectivului de securitate nucleară din art. 4 din NSN-21 (preluat din directiva europeană de securitate nucleară), au fost emise recomandări într-un ghid CNCAN (GSN-03), cu stabilirea următoarelor obiective cantitative de securitate nucleară:

*a) frecvența de eliberare în mediul înconjurător a unei cantități de materiale radioactive care ar necesita evacuarea temporară a populației din vecinătatea amplasamentului instalației nucleare, cuantificată ca **suma frecvențelor tuturor secvențelor de accident cu termenul-sursă mai mare de 1000 TBq de Iod-131, să fie mai mică de $1E-5$ /an***. Acest obiectiv cantitativ are ca scop evitarea eliberărilor timpurii/intempestive de materiale radioactive, care ar impune luarea de măsuri de răspuns la urgență în afara amplasamentului fără să existe suficient timp pentru punerea în aplicare a acestora. Pentru secvențele de accident pentru care termenii-sursă depășesc 1000 TBq de Iod-131 se va demonstra că emisia de materiale radioactive nu se poate produce într-un timp atât de scurt încât să nu permită evacuarea populației din vecinătatea amplasamentului instalației nucleare;

*b) frecvența de eliberare în mediul înconjurător a unei cantități de materiale radioactive care ar necesita relocarea populației din vecinătatea amplasamentului instalației nucleare, cuantificată ca **suma frecvențelor tuturor secvențelor de accident cu termenul-sursă mai mare de 100 TBq de Cesium-137, să fie mai mică de $1E-6$ /an***. Acest obiectiv cantitativ are ca scop evitarea eliberărilor masive de materiale radioactive, care ar necesita măsuri de protecție care nu pot fi limitate în spațiu sau timp;

*c) **frecvența cumulativă a secvențelor de accident care pot conduce la doze efective de peste 100 mSv în primele 7 zile***, pentru care este necesară evacuarea populației din vecinătatea amplasamentului instalației nucleare, conform criteriilor generice din Regulamentul privind gestionarea situațiilor de urgență specifice riscului nuclear sau radiologic, aprobat prin Ordinul ministrului afacerilor interne și al președintelui Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare nr. 61/113/2018, ***să fie mai mică de $1E-5$ /an***;

*d) **frecvența cumulativă a secvențelor de accident care pot conduce la doze efective de peste 100 mSv în primul an***, pentru care este necesară relocarea temporară a populației din vecinătatea amplasamentului instalației nucleare, conform criteriilor generice din Regulamentul privind gestionarea situațiilor de urgență specifice riscului nuclear sau radiologic, ***să fie mai mică de $1E-6$ /an***.

Evenimente anticipate în exploatare

Exemple de evenimente anticipate în exploatare

Evenimentele de inițiere analizate și considerate în categoria evenimentele anticipate în exploatare pentru o CNE de tip CANDU includ:

- Defectarea sistemelor de control ale reactorului;
- Defectarea sistemului de aer instrumental;
- Pierderea alimentării normale cu energie electrică (pierdere de clasă IV);
- Declanșarea în funcționare a unei pompe principale din sistemul primar de transport al căldurii;
- Deschiderea intempestivă a armăturilor de control al presiunii sau de descărcare ale sistemului primar de transport al căldurii sau ale sistemelor conectate la acesta;
- Indisponibilitatea sau degradarea funcționării sistemului moderatorului.

Aceste evenimente sunt din categoria tranzițiilor suficient de importanți pentru a fi analizați în mod deterministic pentru a demonstra îndeplinirea cerințelor din normele în vigoare.

Pe lângă acestea, în operarea normală, mai pot surveni și alte evenimente, care duc la reducerea puterii reactorului și chiar la opriri neplanificate, cu consecințe pentru producția de energie electrică și termică, dar fără un impact semnificativ din punct de vedere al securității nucleare.

Exemple de accidente bază de proiect

Evenimentele de inițiere analizate și considerate în categoria accidentelor bază de proiect pentru o CNE de tip CANDU includ:

- Ruperea oricărei conducte sau a oricărui colector din sistemul primar de răcire a reactorului;
- Ruperea unui tub de presiune și a tubului calandria asociat acestuia;
- Ruperea tuburilor generatorului de abur;
- Defectarea unui fitting terminal al unui canal de combustibil;
- Blocarea curgerii în canalul de combustibil;
- Defecțiuni ale mașinii de încărcare – descărcare combustibil;
- Avarii ale sistemului de apă de alimentare a generatorilor de abur sau a sistemului de abur viu, inclusiv ruperi de conducte.

În analizele deterministe de accident, aceste evenimente sunt analizate și în combinație cu pierderea alimentării normale cu energie electrică.

Condiții de extindere a bazelor de proiectare

Exemple de condiții de extindere a bazelor de proiectare

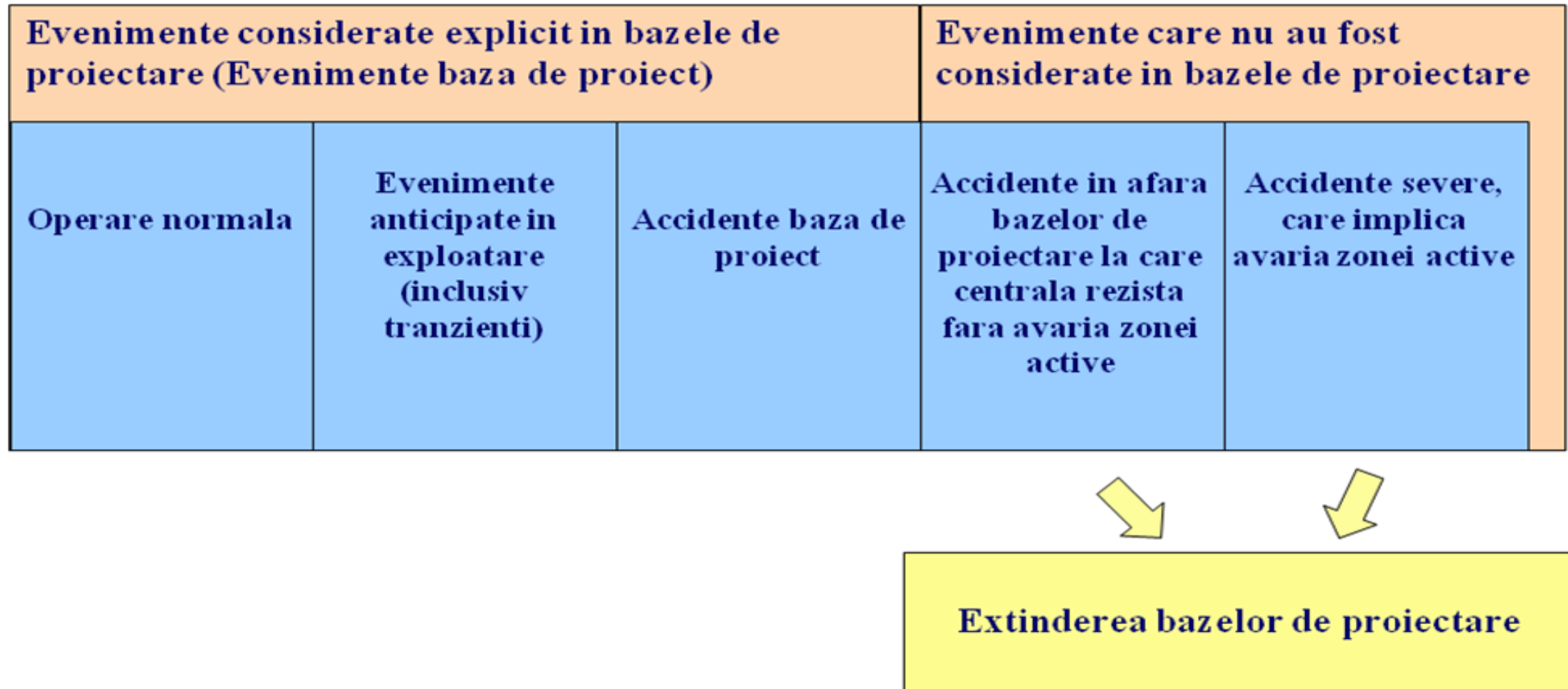
Pentru o CNE de tip CANDU, condițiile de extindere a bazelor de proiectare, conform normelor în vigoare, includ:

- avaria sistemului primar de răcire a reactorului fără intervenția sistemului de răcire la avarie a zonei active; (acest eveniment era considerat bază de proiect în conformitate cu normele canadiene și normele românești mai vechi, dar criteriile de acceptare pentru dozele calculate erau diferite de cele din prezent)
- ruperea conductei principale de abur plus ruperea unui număr de tuburi ale generatorului de abur;
- întreruperea totală a alimentării cu energie electrică din sursele de curent alternativ (Station Black-Out);
- pierderea funcției de transfer al căldurii către sursa finală de răcire.

Pentru centralele aflate deja în exploatare, pentru asigurarea protecției împotriva unor astfel de evenimente, mai grave decât accidentele bază de proiect, s-au prevăzut sisteme și echipamente suplimentare și s-au implementat modificări ale sistemelor existente, care să susțină răspunsul la aceste condiții, inclusiv managementul unui accident sever, în scopul reducerii consecințelor unui astfel de accident.

Procesul de modificare a proiectului original pentru a rezista la condiții care au fost luate în calcul în proiectul inițial reprezintă o extindere a bazelor de proiectare ale unei CNE.

Condiții de extindere a bazelor de proiectare



Categoriile de evenimente relevante pentru analizele de securitate pentru CNE

Protecția în adâncime

Protecția în adâncime, numită și apărarea în adâncime, reprezintă un concept de bază în domeniul securității nucleare, care prevede asigurarea următoarelor elemente:

- un ansamblu de **bariere fizice de protecție** succesive în calea eliberării necontrolate de materiale radioactive din instalația nucleară în mediul înconjurător;
- o serie de **niveluri de protecție**, constând în măsuri tehnice, organizatorice, procedurale și administrative, pentru asigurarea funcționării instalației nucleare conform proiectului și pentru supravegherea și menținerea integrității barierelor fizice, precum și pentru asigurarea răspunsului la evenimentele care implică o degradare a uneia sau mai multora din aceste bariere, având ca scop limitarea consecințelor acestor evenimente și protecția personalului expus profesional, a populației, mediului și bunurilor materiale împotriva expunerii la radiații ionizante, inclusiv a contaminării radioactive.

Se consideră ca barieră fizică de protecție orice structură și orice sistem sau ansamblu de sisteme, pasive sau active, capabile să prevină sau să limiteze consecințele unei avarii de proces sau secvențe de accident care ar putea altfel conduce la eliberări de materiale radioactive dintr-o instalație nucleară în mediul înconjurător.

Pentru fiecare eveniment luat în considerare la proiectarea CNE, trebuie să ne asigurăm că cel puțin o barieră fizică rămâne disponibilă astfel încât să se respecte criteriile de doză sau obiectivele cantitative de securitate nucleară stabilite prin reglementări.

Pentru o centrală nuclearelectrică (CNE), protecția în adâncime se bazează pe:

I. Barierele fizice prevăzute prin proiectul centralei:

- 1. matricea combustibilului nuclear (pastila de combustibil nuclear);**
- 2. teaca elementului de combustibil nuclear;**
- 3. circuitul primar de răcire a zonei active a reactorului nuclear (numit și sistemul primar de transport al căldurii – SPTC);**
- 4. anvelopa de protecție care adăpostește reactorul nuclear și sistemele aferente.**

Suplimentar, se poate considera ca ultimă barieră, deși nu este practic o barieră fizică, zona de excludere din jurul CNE, stabilită conform legislației, în care este interzisă amplasarea așezărilor umane cu caracter permanent și care asigură un spațiu pentru diluția atmosferică a produșilor de fisiune care ar putea fi eliberați accidental în mediu în cazul pierderii etanșeității anvelopei de protecție a reactorului nuclear. Raza zonei de excludere se calculează, în conformitate cu prevederile din normele în vigoare (mai multe explicații găsiți aici: <https://romanianucleara.ro/2022/07/15/amplasarea-centralelor-nuclearelectrice/>).

Note: Exemplele de mai sus sunt tipice pentru CNE de tip CANDU / PHWR, PWR, BWR. Pentru alte tipuri de reactoare nucleare și CNE, numărul și tipul barierelor fizice care asigură protecția în adâncime pot fi diferite.

Pentru fiecare din barierele fizice menționate mai sus, s-au stabilit limite de securitate nucleară.

II. Sistemele care asigură funcționarea fiabilă a centralei și sistemele care monitorizează și protejează barierele fizice mai sus menționate, în diferitele condiții de operare normală, tranzienți anticipați în exploatare, accidente bază de proiect și condiții de extindere a bazelor de proiectare, inclusiv accidente severe:

- 1. sistemele care asigură funcționarea normală a centralei;** (exemple de astfel de sisteme de la o CNE de tip CANDU-6: sistemul primar de transport al căldurii – SPTC, sistemul moderator, LZC, sistemul de aer instrumental, alimentarea cu energie electrică din clasa IV, sistemul turbină/generator, sistemul de apă de alimentare pentru generatoarele de abur, sistemele care asigură controlul chimismului etc.)
- 2. sistemele care asigură monitorizarea parametrilor de proces și detecția oricăror deviații de la valorile normale** (exemple de la CANDU-6: SLCD, GFP, AGS, TAM, AE13 & AE14 etc.) **și sistemele de control al proceselor centralei în funcționare normală, care acționează pentru limitarea deviațiilor de la condițiile de operare normală** (exemple de la CANDU-6: RRS cu subsistemele, programele de control al parametrilor din primar și secundar – HTC, BLC, BPC etc.);
- 3. sistemele de protecție, care intervin pentru limitarea și atenuarea consecințelor situațiilor de tranzient și accident care afectează funcțiile de securitate nucleară;** pentru o CNE de tip CANDU, acestea sunt sistemele speciale de securitate nucleară – cele două sisteme de oprire rapidă a reactorului (SDS#1 și SDS#2), sistemul de răcire la avarie a zonei active (SRAZA) și sistemul anvelopei, precum și sistemele suport pentru acestea (SDG, EPS, EWS, AFW);
- 4. sistemele utilizate pentru a menține etanșeitățile și integritatea anvelopei de protecție a reactorului și pentru a preveni eliberările necontrolate de produși de fisiune în mediul înconjurător în caz de accidente severe, care implică defectarea sistematică a combustibilului nuclear din reactor** (exemple de la CANDU-6: e.g. sisteme pentru controlul gazelor combustibile – arzătoare de hidrogen, recombinatoare pasive autocatalitice de hidrogen, sisteme pentru monitorizarea concentrației gazelor combustibile; EFCVS - sistem de depresurizare filtrată la urgență a anvelopei etc.).

II. Sistemele care asigură funcționarea fiabilă a centralei și sistemele care monitorizează și protejează barierele fizice (continuare)

Trebuie să știm că unele dintre sistemele menționate anterior pot îndeplini funcții doar în starea de operare normală (la nivelurile 1 și 2 de protecție în adâncime), pe când altele sunt proiectate să îndeplinească funcții atât în operare normală, cât și în condiții de accident (e.g. sistemul anvelopei).

Standardele curente cer ca nivelurile de protecție în adâncime să fie cât mai independente unele de altele. Îndeplinirea acestei cerințe trebuie evaluată pentru fiecare eveniment în parte.

O categorie de sisteme care, deși nu contribuie la prevenirea eliberării de produși de fisiune în mediul înconjurător, contribuie la reducerea consecințelor accidentelor, respectiv la reducerea expunerilor potențiale ale populației, este reprezentată de **sistemele care susțin implementarea răspunsului la situații de urgență** (e.g. sisteme de monitorizare a debitelor de doză, sisteme de monitorizare a parametrilor meteorologici, centre de răspuns la urgență, sisteme de comunicație etc.).

Deși în această prezentare facem referire, în mod generic, la sistemele CNE, trebuie să realizăm acestea au asociate structuri, componente și echipamente care contribuie la îndeplinirea funcțiilor sistemelor respective. De aceea, în reglementări apare des abrevierea SSCE (sisteme, structuri, componente și echipamente).

II. Sistemele care asigură funcționarea fiabilă a centralei și sistemele care monitorizează și protejează barierele fizice (continuare)

Sisteme de securitate preventive - denumire generică pentru ansamblul sistemelor cu funcții de securitate nucleară de natură preventivă, care contribuie la menținerea condițiilor de operare normală și care au rolul de a preveni ca evenimentele anticipate în exploatare să conducă la situații de accident; SSCE cu funcții de securitate nucleară de natură preventivă sunt:

- a) SSCE a căror defectare poate cauza eliberări de materiale radioactive peste limitele stabilite de legislația în vigoare, în absența altor acțiuni protective (de exemplu, defectarea sistemului primar de transport al căldurii);
- b) SSCE proiectate fără alte linii suplimentare de apărare, a căror defectare poate cauza eliberări de materiale radioactive peste limitele stabilite de legislația în vigoare (de exemplu, defectarea unui bazin de combustibil uzat din afara clădirii reactorului de tip CANDU);
- c) SSCE proiectate să prevină, în condiții de operare normală, defecte ce ar necesita acțiuni protective suplimentare și să asigure:
 - (i) controlul puterii reactorului într-o manieră normală;
 - (ii) oprirea reactorului într-o manieră normală;
 - (iii) îndepărtarea căldurii reziduale într-o manieră normală;
- d) SSCE a căror defectare în anumite situații definite poate cauza indirect eliberări de materiale radioactive sau poate afecta operarea altor SSCE cu funcții de securitate nucleară.

II. Sistemele care asigură funcționarea fiabilă a centralei și sistemele care monitorizează și protejează barierele fizice (continuare)

Sisteme de securitate protective - denumire generică pentru ansamblul sistemelor cu funcții de securitate nucleară de natură protectivă, care contribuie la limitarea și atenuarea consecințelor situațiilor de tranzient și de accident; SSCE cu funcții de securitate nucleară de natură protectivă sunt:

- a) SSCE proiectate să oprească rapid reacția nucleară în eventualitatea defectării SSCE cu funcții de securitate nucleară de natură preventivă;
- b) SSCE proiectate să îndepărteze căldura reziduală și să limiteze eliberările de materiale radioactive cauzate de defectarea SSCE cu funcții de securitate nucleară de natură preventivă;
- c) SSCE care asigură operarea corespunzătoare a SSCE cu funcții de natură protectivă de la lit. a) și b).

SSCE menționate la lit. a) și b) sunt numite și sisteme (speciale) de securitate, iar SSCE menționate la lit. c) sunt numite și sistemele suport de securitate.

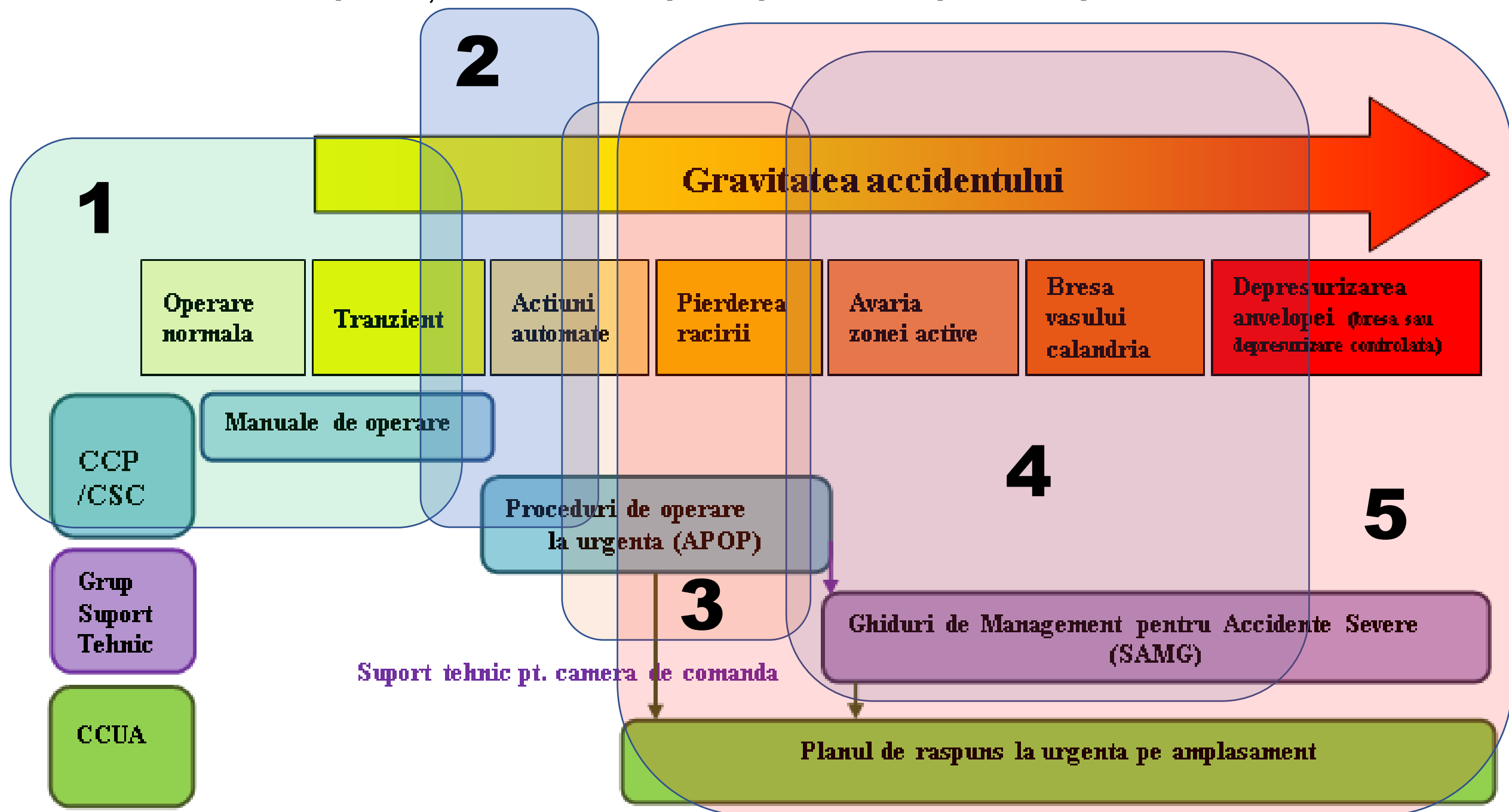
Pentru sistemele de securitate protective, s-au stabilit parametri de declanșare și condiții-limită de operare, precum și cerințe de supraveghere a performanțelor de securitate nucleară.

Protecția în adâncime

III. Nivelurile de protecție care asigură prevenirea accidentelor, respectiv minimizarea consecințelor acestora:

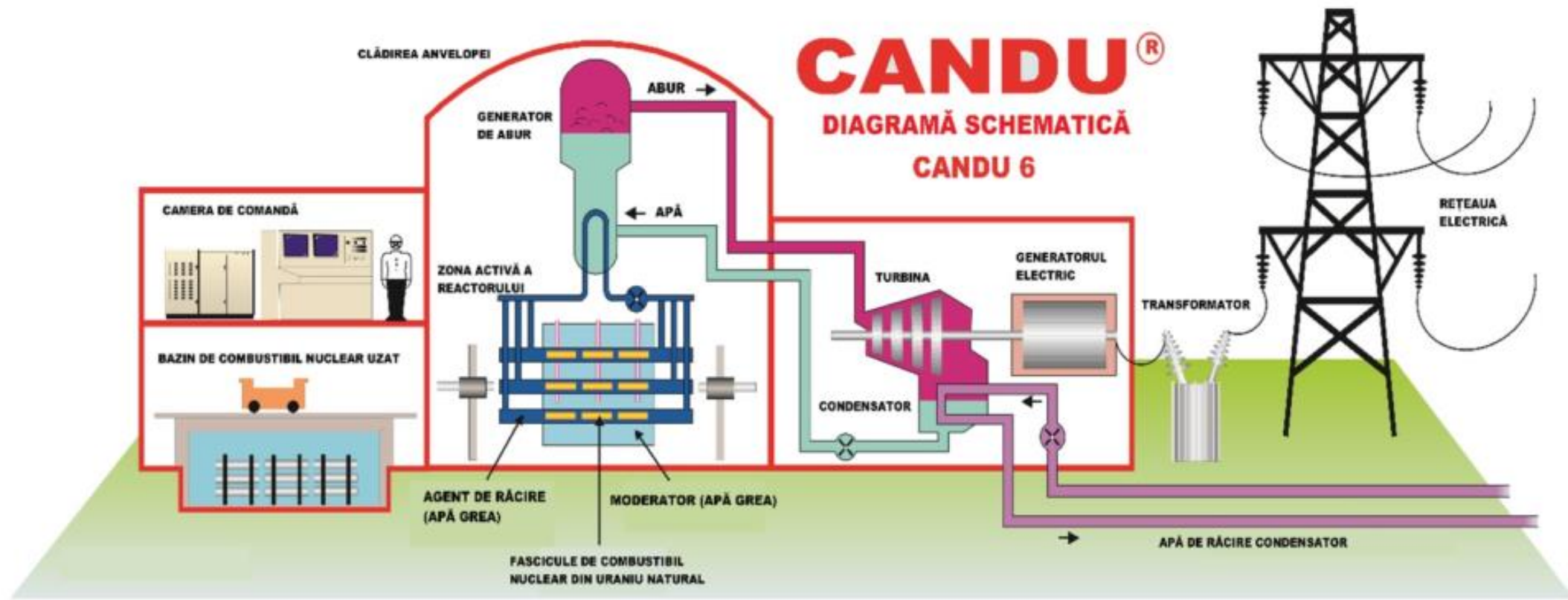
- 1. prevenirea condițiilor adverse** pentru securitatea nucleară, inclusiv a defectărilor sistemelor, structurilor, componentelor și echipamentelor (SSCE), erorilor umane și a impactului negativ al evenimentelor externe instalației nucleare; acesta reprezintă primul nivel de protecție în adâncime, iar măsurile aferente acestuia sunt cele care corespund operării normale a instalației nucleare, inclusiv respectarea cerințelor de proiectare și a procedurilor de operare, supraveghere, testare, întreținere, controlul configurației și inspecție în funcționare
- 2. detectarea, controlul și limitarea impactului condițiilor anormale, inclusiv a tranzițiilor anticipați în exploatare**, astfel încât să se prevină situațiile de accident; acesta reprezintă al doilea nivel de protecție în adâncime, iar măsurile aferente includ utilizarea procedurilor de răspuns la defecțiuni ale sistemelor cu funcții de securitate nucleară, inclusiv răspunsul la alarme, răspunsul la tranziții anticipați și intrarea în stare de alertă în vederea aplicării planurilor și procedurilor de răspuns la urgență, în cazul în care acestea ar deveni necesare
- 3. controlul accidentelor bază de proiect astfel încât să se prevină depășirea limitelor de securitate nucleară** (astfel încât să se protejeze integritatea barierelor fizice care previn eliberarea necontrolată de materiale radioactive în mediu); acesta reprezintă al treilea nivel de protecție în adâncime, iar măsurile aferente includ utilizarea procedurilor de operare la urgență pentru răspunsul la accidente bază de proiect, respectiv activarea și implementarea planurilor și procedurilor de răspuns la situații de urgență
- 4. controlul condițiilor severe**, care ar putea fi cauzate de defectări multiple, cum ar fi pierderea completă a tuturor funcțiilor unui sistem de securitate sau de un eveniment extrem de improbabil, inclusiv prevenirea creșterii în amploare a accidentelor și **reducerea consecințelor accidentelor severe**; acesta reprezintă al patrulea nivel de protecție în adâncime, iar măsurile aferente includ răspunsul la condițiile de extindere a bazelor de proiectare, inclusiv la accidente severe, prin implementarea ghidurilor de management al accidentelor severe, cu scopul de a păstra integritatea anvelopei de protecție a reactorului și a preveni eliberările necontrolate de produși de fisiune în mediu, respectiv implementarea planurilor și procedurilor de răspuns la situații de urgență, pentru protecția populației
- 5. gestionarea situațiilor de urgență**; acesta reprezintă al cincilea nivel de protecție în adâncime, iar măsurile aferente includ răspunsul la accidente severe cu consecințe radiologice în afara amplasamentului instalației nucleare, respectiv implementarea planurilor și procedurilor de răspuns la situații de urgență.

Nivelurile de protecție în adâncime dpdv al procedurilor pentru răspuns la evenimente



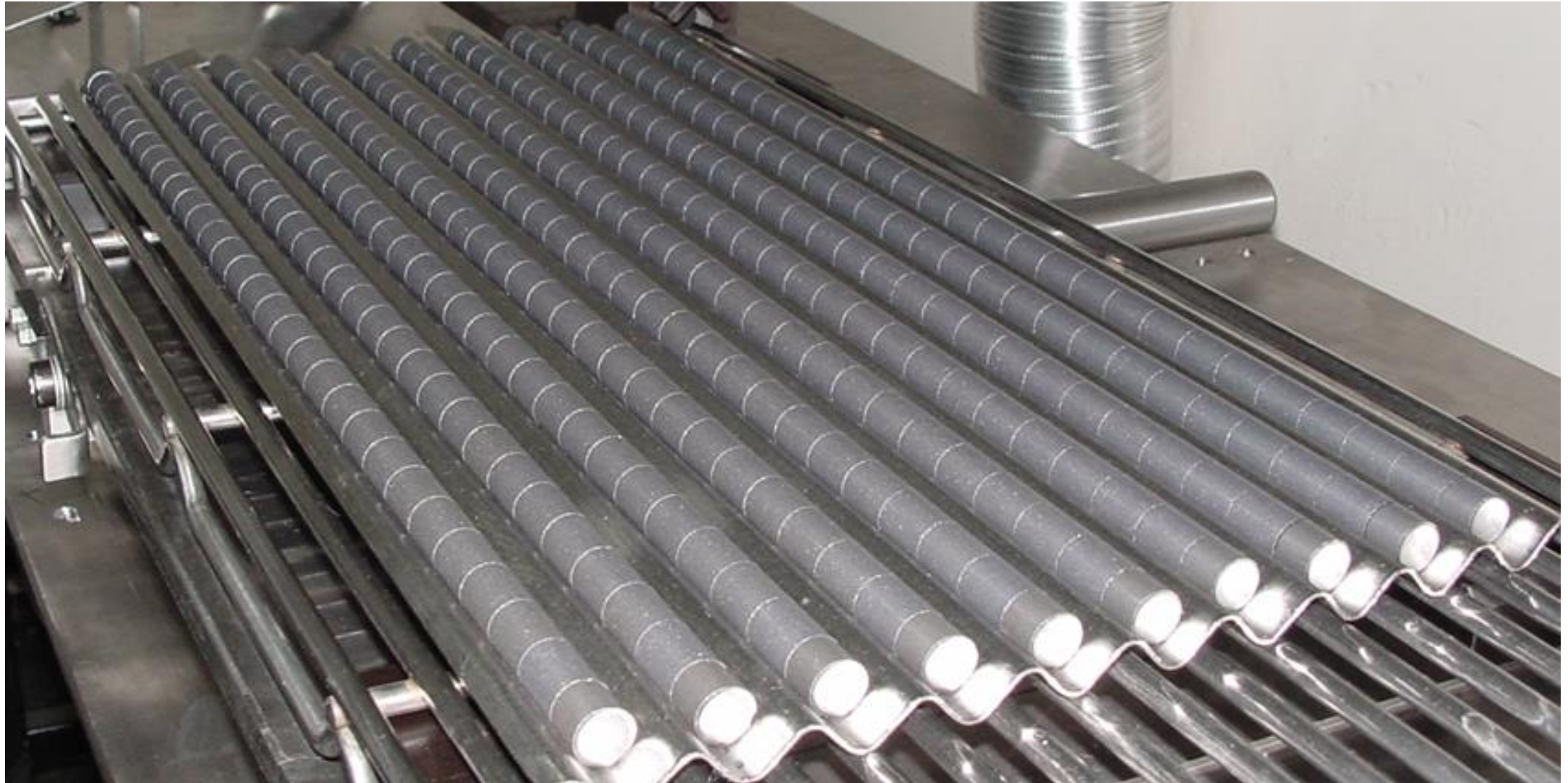
Protecția în adâncime

Pentru proiectarea, realizarea, punerea în funcțiune, operarea și întreținerea acestor bariere fizice și sisteme, precum și pentru implementarea și menținerea nivelurilor de protecție în adâncime, este esențială pregătirea și calificarea corespunzătoare a personalului implicat în aceste activități, atât a personalului de execuție, cât și a supervizorilor, coordonatorilor și personalului cu funcții de conducere.



CNE de tip CANDU-6 – diagramă schematică, adaptată după <http://www.nuclearfaq.ca/>

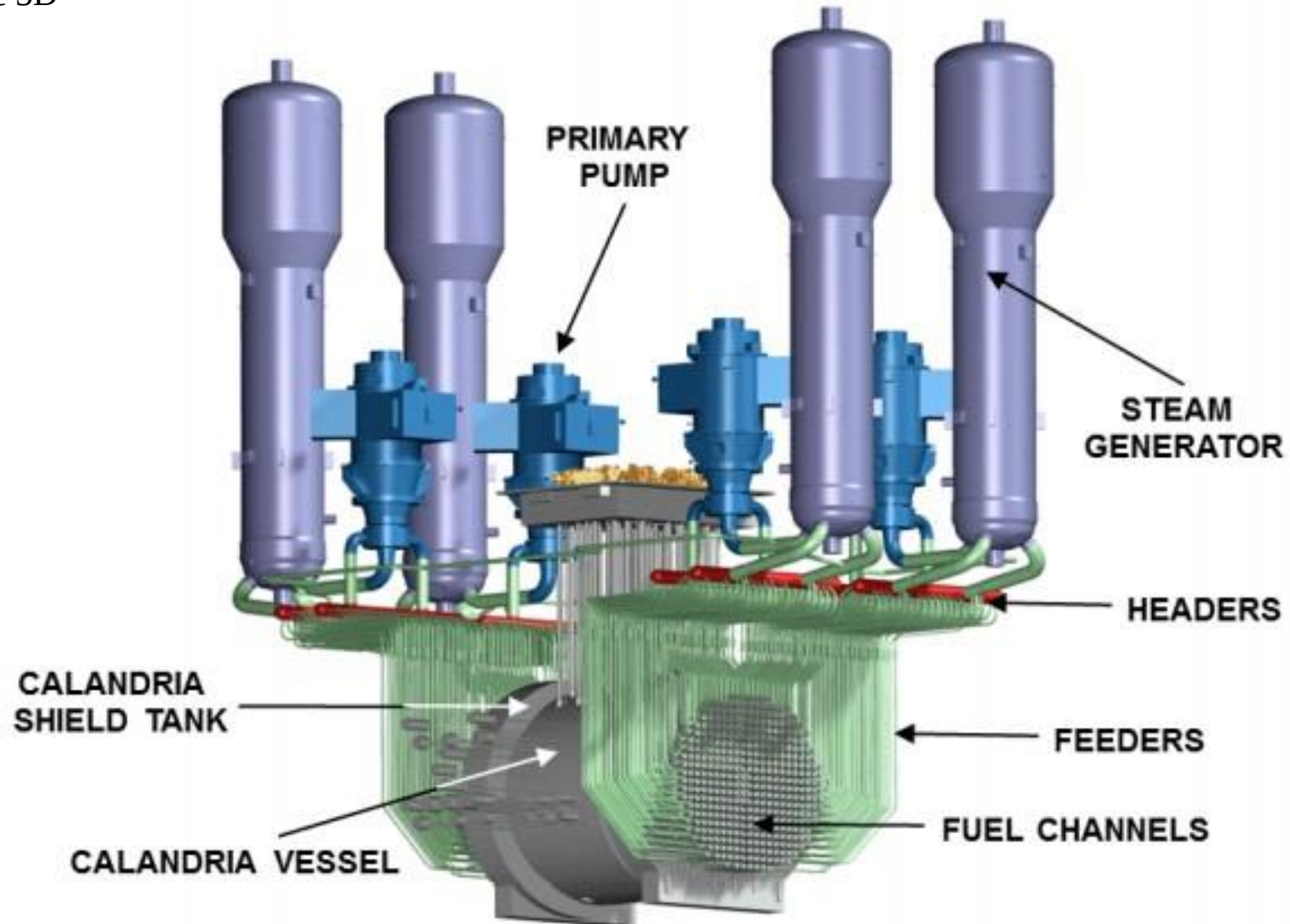
Pastilele de combustibil nuclear



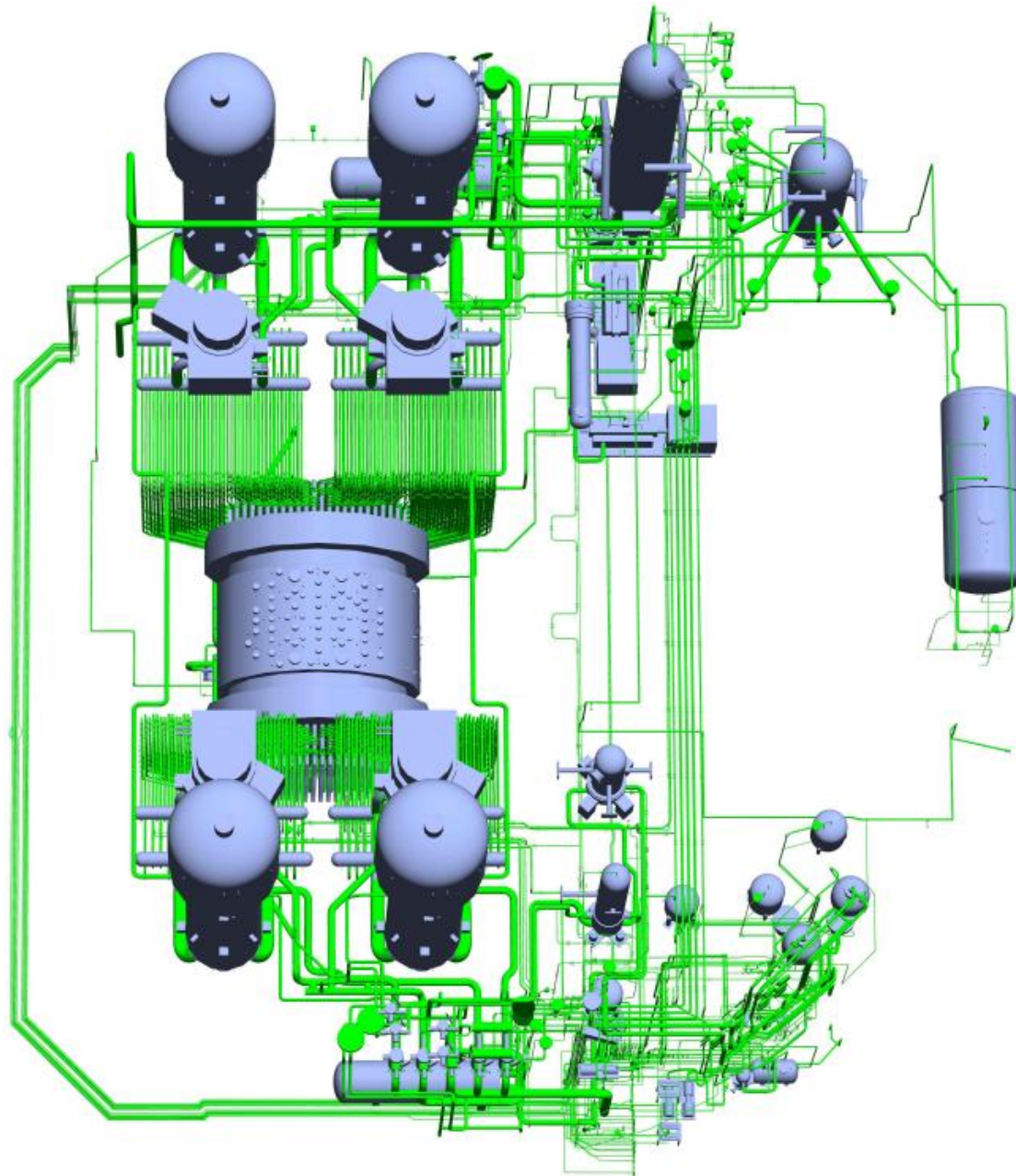
Protecția în adâncime

Fasciculele de combustibil nuclear





Protecția în adâncime



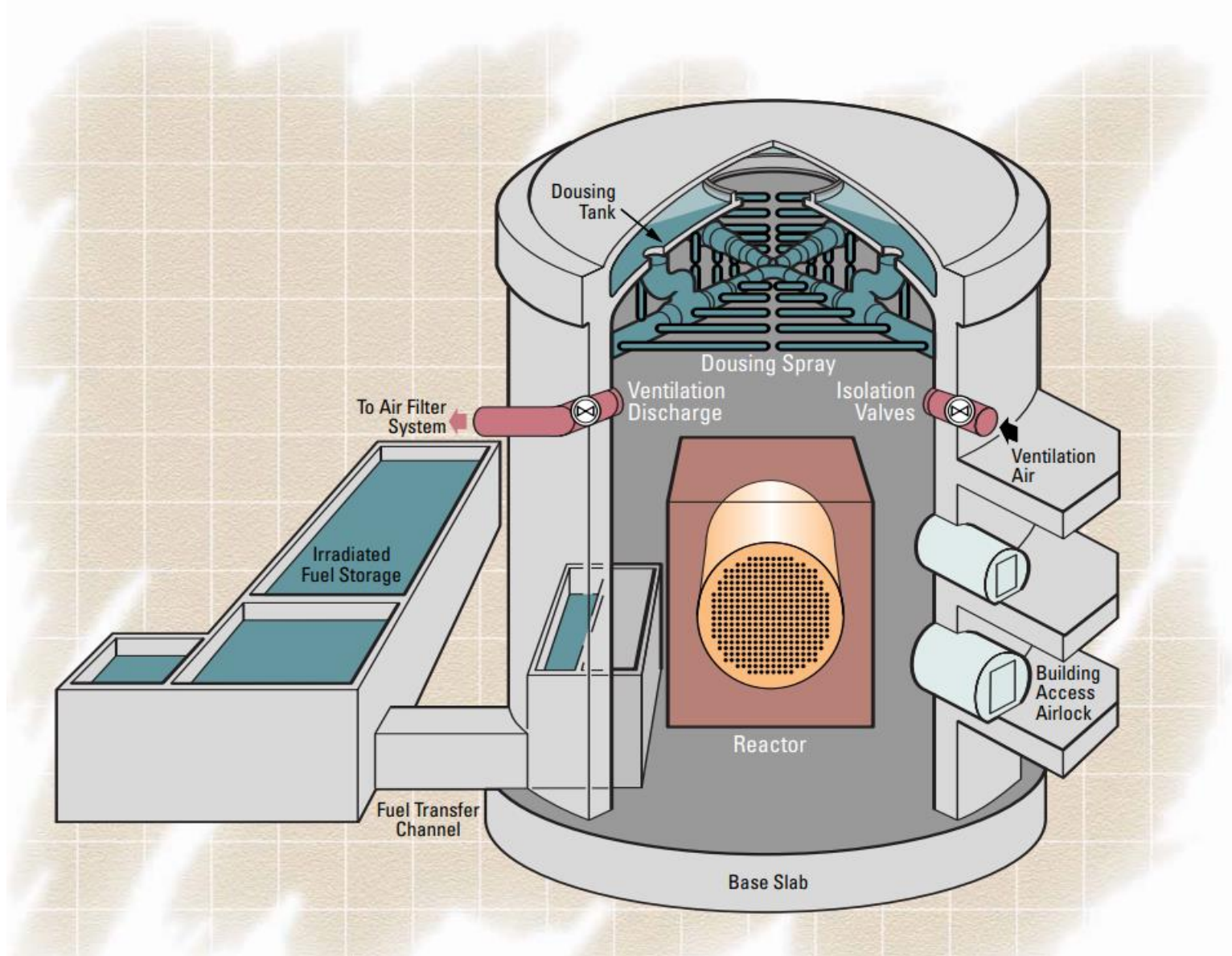
SPTC al CNE de tip CANDU-6
Reprezentare 3D

Heat Transport System

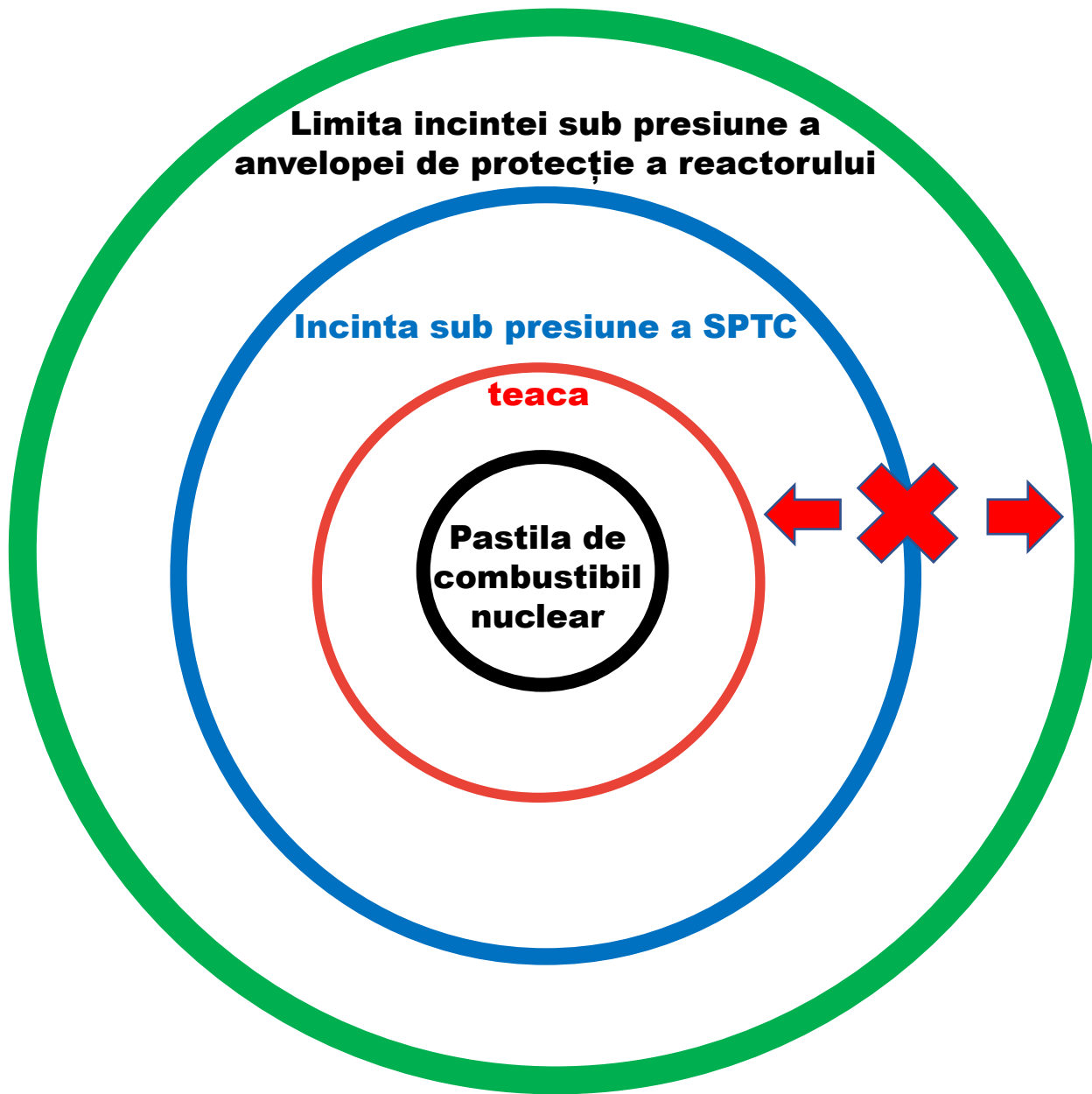
Anvelopele U1 și U2 ale CNE Cernavodă



Anvelopa reactorului de tip CANDU-6 – schema simplificată



Protecția în adâncime



De ce a fost accidentul Large LOCA ales ca cel mai important accident bază de proiect pentru CNE?

Accidentul de tip Large LOCA reprezintă o breșă a barierei fizice reprezentate de incinta sub presiune a SPTC și pune în pericol toate celelalte bariere fizice, care trebuie protejate de sistemele speciale de securitate.