

# MBROJTJA NGA RREZATIMI NË PROJEKTIMIN E INSTALIMEVE NE RADIOTERAPI

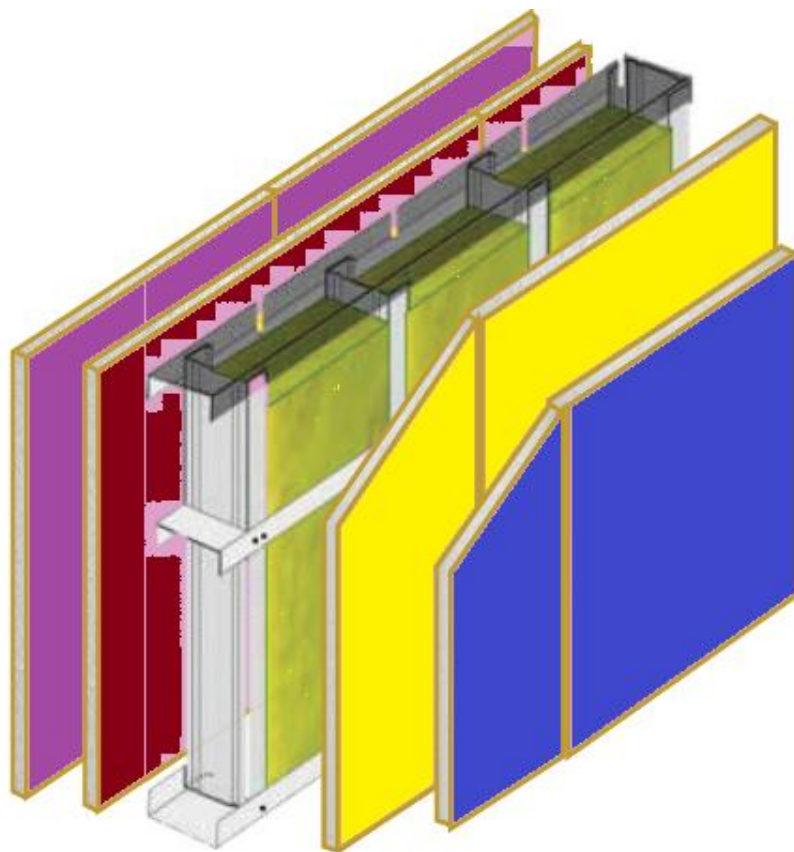
Përshtati dhe përpunoi

Dr.Fizikë Mjekësore. Rustem PACI

Ida PASHKO

Safety Reports Series No.47 IAEA

INSTITUTI I SHËNDETIT PUBLIK



Korrik 2025

## MBROJTJA NGA RREZATIMI NË PROJEKTIMIN E INSTALIMEVE NE RADIOTERAPI

Incidenca e kancerit në mbarë botën është në rritje për shkak të rritjes së jetëgjatësisë që ka ardhur si rezultat i përmirësimeve në standardet e jetesës. Rreth gjysma e të gjithë pacientëve me kancer marrin trajtim me radioterapi, qoftë si pjesë e trajtimit të tyre primar, ose në lidhje me rikthimin e sëmundjes apo për lehtësimin e simptomave.

Qëllimi i këtij dokumenti është të shpjegojë kërkesat për projektimin dhe mbrojtjen e strukturave të radioterapisë. Ky dokument ofron udhëzime mbi projektimin e qendrave të radioterapisë dhe përshkruan mënyrën se si duhet të përcaktohet mbrojtja strukturore e nevojshme.

Në të jepen metoda për të përcaktuar mbrojtjen strukturore të nevojshme për njësi me rreze të jashtme TELETERAPI (njësi me  $^{60}\text{Co}$ , akseleratorë linearë, njësi për trajtime sipërfaqe dhe ortovolatazhi dhe simulatorë), si dhe për mbrojtjen në njësitë e brakiterapisë. Të dhënat e përdorura për të përcaktuar mbrojtjen strukturore të nevojshme për të gjitha llojet e qendrave të radioterapisë janë përfshirë në këtë dokument, dhe për çdo lloj qendre janë dhënë edhe shembuj përlllogaritjesh. Projektimi i qendrave në mënyrë që të plotësohen objektivat e sigurisë për burimet radioaktive gjithashtu trajtohet në këtë botim.

Ky Dokument mbi Sigurinë është menduar të përdoret kryesisht nga fizikantë të shëndetit, fizikantë mjekësorë EKSPERTE TE MBROTJES NGA RREZATIMI dhe profesionistë të tjerë të mbrojtjes nga rrezatimi në planifikimin dhe projektimin e qendrave të reja të radioterapisë si dhe në rindërtimin e atyre ekzistuese. Pjesë të dokumentit do të jenë gjithashtu me interes për arkitektë, inxhinierë ndërtimi, administratorë spitalësh dhe persona të tjerë të përfshirë në projektimin e qendrave të radioterapisë. Për më tepër, udhëzimet në këtë dokument do të jenë të dobishme edhe për personelin rregullator përgjegjës për licencimin dhe inspektimin e këtyre qendrave.



# **PËRMBAJTJA**

**1.Hyrje**

**2. TERMINOLOGJIA**

**3. KARAKTERISTIKAT E PROJEKTIMIT**

**4. MATERIALET PËR MBROJTJE**

**5. METODAT E LLOGARITJES**

**6. SHEMBUJ TË NGARKESES SE PUNES TË OBJEKTEVE TE TELETERAPISE**

**6. SHEMBUJ TË NGARKESES SE PUNES TË OBJEKTEVE TE TELETERAPISE**

**8. SHEMBULL I NJË OBJEKTI TË BRAKITERAPISË**

**9. SHEMBUJ TË PUNUAR PËR PROCEDURA SPECIALE**

**10. INSPEKTIMI I RREZATIMIT**

# **1.Hyrje**

## **1.1. Te pergjithshme**

Incidenca e kancerit në mbarë botën është në rritje si pasojë e rritjes së jetëgjatësisë që ka ardhur nga përmirësimet në standardet e jetesës. Rreth gjysma e pacientëve me kancer marrin radioterapi, qoftë si pjesë e trajtimit të tyre kryesor, ose në lidhje me rikthimin e sëmundjes apo për qëllime palliatimi. Përgatitja e këtij dokumenti mbi Sigurinë u iniciua si rezultat i një rritjeje të pritshme në ndërtimin e qendrave të radioterapisë dhe në përgjigje të kërkesave nga Shqipëria që kanë kërkuar udhëzime praktike mbi projektimin dhe mbrojtjen e këtyre qendrave.

## **1.2. Objektivi**

Objektivi i këtij dokumenti është të sqarojë kërkesat për projektimin dhe mbrojtjen e strukturave të qendrave të radioterapisë, siç përcaktohen në ne Standardet për Mbrojtjen nga Rrezatimit Jonizues dhe për Sigurinë e Rrezatimit.

## **1.3. Fusha e zbatimit**

Ky dokument është menduar të përdoret kryesisht nga fizikantë të shëndetit, fizikantë mjekësorë eksperte dhe profesionistë të tjerë të mbrojtjes nga rrezatimi në planifikimin dhe projektimin e qendrave të reja të radioterapisë si dhe në rindërtimin e qendrave ekzistuese. Jep udhëzime për projektimin e qendrave të radioterapisë dhe përshkruan mënyrën e përcaktimit të mbrojtjes strukturore të kërkuar. Janë paraqitur metoda për të përcaktuar mbrojtjen strukturore të nevojshme për njësi teleterapi me rrezatim nga jashtë (njësi me  $^{60}\text{Co}$ , akseleratorë linearë, njësi për sipërfaqe dhe ortovoltazhi dhe simulatorë), si dhe për njësi të brakiterapisë. Të dhënat që përdoren për përcaktimin e mbrojtjes strukturore të nevojshme për të gjitha llojet e qendrave të radioterapisë janë riprodhuar në këtë dokument dhe janë dhënë shembuj përlogaritjesh për secilin lloj qendre. Gjithashtu, adresohen edhe aspektet e projektimit të qendrave në mënyrë që të përmbushen objektivat e sigurisë për burimet radioaktive.

Duke qenë se ndërtimi është i kushtueshëm, është e rëndësishme që çështjet e sigurisë të trajtohen dhe që mbrojtja strukturore të projektohet dhe instalohet siç duhet gjatë procesit fillestar të ndërtimit. Gjithashtu, është e këshillueshme që planifikimi të marrë parasysh nevojat e mundshme të ardhshme për pajisje të reja, energji më të larta të rrezatimit dhe ngarkesa më të mëdha pune. Duhet kushtuar vëmendje e veçantë faktit se ngarkesa e punës mund të rritet ndjeshëm me teknikat e reja që kërkojnë më shumë kohë për trajtim ose që mundësojnë trajtimin e një numri më të madh pacientësh në njësi kohe. Nuk ka një standard ndërkombëtar sasior për shternigmet e dozës në qendrat e radioterapisë.

Mbrojtja duhet të projektohet nga një ekspert i kualifikuar, siç përkufizohet në Shqperi, për të siguruar që të arrihet niveli i kërkuar i mbrojtjes nga rrezatimi. Eksperti duhet të konsultohet që në fazat e hershme të planifikimit. Shpesh, kërkesat për mbrojtje ndikojnë në përzgjedhjen e vendndodhjes së qendrës së rrezatimit dhe në llojin e ndërtimit të objektit. Rekomandohet që një ekspert i kualifikuar të aprovojë projektet dhe specifikimet përfundimtare të mbrojtjes përpara fillimit të ndërtimit. Aspektet e tjera të qendrave me rreze X dhe gama, si alarmet e sigurisë, shenjat dhe dritat paralajmëruese dhe ndriçimi i dhomës, përmenden gjithashtu në këtë dokument.

Edhe pse në këtë botim përdoren metoda përlllogaritëse specifike në shembujt e dhënë, metoda alternative mund të jenë po aq të përshtatshme për sigurimin e mbrojtjes nga rrezatimi. Vlerësimi përfundimtar i mjaftueshmërisë së projektimit dhe ndërtimit të mbrojtjes strukturore duhet të bazohet në matjet e rrezatimit pas përfundimit të instalimit. Nëse këto matje tregojnë mangësi, do të nevojiten mbrojtje shtesë ose modifikime në pajisje.

#### **1.4. Struktura**

Pas një përmbledhjeje të shkurtër të terminologjisë në Seksionin 2, karakteristikat e projektimit të objekteve të radioterapisë përshkruhen në Seksionin 3, ndërsa në Seksionin 4 përshkruhen materialet që përdoren për mbrojtjen e këtyre objekteve. Seksioni 5 shqyrton metodat për llogaritjen e barrierave ndaj rrezatimit në objektet e radioterapisë. Seksionet 6–9 ofrojnë shembuj të objekteve me rreze të jashtme, simuluesve dhe njësive ortovolve, objekteve për brakiterapi, si dhe procedurave të veçanta të radioterapisë. Më në fund, Seksioni 10 jep udhëzime mbi mënyrën e kryerjes së një studimi të rrezatimit në këto objekte.

## **2. TERMINOLOGJIA**

### **2.1. Barrierat ndaj rrezatimit dhe labirintet**

Objektet e trajtimit me rrezatim përbëhen nga bariera parësore dhe dytësore. Kur tufa kryesore e rrezatimit mund të godasë murin apo tavanin, është e nevojshme një barierë parësore. Nëse objekti ndodhet mbi një zonë të qasshme, edhe dyshemeja duhet të shërbejë si barierë parësore. Barrierat parësore do të jenë shumë më të trasha sesa muret e tjera, të cilat mund të jenë bariera dytësore. Barrierat dytësore mbrojnë ndaj rrezatimit të shpërhapur dhe rrjedhës nga pajisja.

Për njësitë e terapisë me rrezatim të jashtëm, shtrirja e barrierës parësore përcaktohet nga shpërhapja e tufes parësore (siç përcaktohet nga koni parësor) deri në skajet e jashtme të barrierës. Kjo barierë parësore më pas zgjerohet me 300 mm në secilën anë, për të marrë parasysh shpërndarjen në kënd të vogël (e njohur gjithashtu si efekti shperhapes – plume effect).

Materialet që zakonisht përdoren për mbrojtje ndaj rrezatimit janë betoni (i zakonshëm ose me dendësi të lartë), çeliku apo plumbi. Betoni është zakonisht materiali më i lirë, pasi është më i lehtë për t'u transportuar dhe për t'u përdorur në ndërtim. Megjithatë, dendësia e betonit nuk është aq e qëndrueshme sa ajo e çelikut apo e plumbit, prandaj është më e vështirë për t'u monitoruar dhe kontrolluar. Kjo kërkon më shumë përkushtim nga ndërtuesi dhe inxhinieri strukturor për sa i përket kontrollit të cilësisë së betonit, shmangies së boshllëqeve dhe menyres së hedhjes së tij.

Rekomandohet që gjatë fazës së hedhjes së betonit të përdoret testimi i betonit në vendngjarje. Në ndërtimet e reja duhet të përdoret beton standard me dendësi 2350 kg/m<sup>3</sup>, megjithëse mund të ketë ndryshime në dendësi. Nëse ka kufizime hapësinore, atëherë mund të jetë e nevojshme të përdoren materiale me dendësi më të lartë si çeliku apo plumbi.

### **2.2. Zonat e kontrolluara dhe të mbikëqyrura**

Fjalori i BSS përkufizon një zonë të kontrolluar si zonë në të cilën kërkohen ose mund të kërkohen masa të veçanta mbrojtëse dhe dispozita sigurie për:

(a) Kontrollin e ekspozimeve normale ose për të parandaluar përhapjen e ndotjes gjatë kushteve normale të punës;

(b) Parandalimin ose kufizimin e shkallës së ekspozimeve të mundshme.

Një zonë e mbikëqyrur përkufizohet në fjalorin e BSS si zonë që nuk është klasifikuar si zonë e kontrolluar, por për të cilën kushtet e ekspozimit profesional mbahen nën vëzhgim, edhe pse zakonisht nuk kërkohen masa mbrojtëse specifike dhe dispozita sigurie.

Klasifikimi i zonave si të kontrolluara ose të mbikëqyrura mund të përcaktohet ndonjëherë në bazë të normës së dozës në kufijtë e zonës. Një qasje e tillë mund të jetë e përshtatshme, por nuk duhet të përdoret pa një vlerësim të kujdesshëm.

BSS kërkon që objektet të projektohen në mënyrë që:

"...të minimizohet nevoja për mbështetje në kontrollat administrative dhe në pajisjet personale mbrojtëse për mbrojtje dhe siguri gjatë operacioneve normale..."

Prandaj, objektet duhet të projektohen me qëllimin që numri dhe shtrirja e zonave të kontrolluara të jetë sa më i kufizuar, duke marrë parasysh faktorë ekonomikë dhe socialë.

Sipas sistemit të klasifikimit të BSS, dhoma e trajtimit zakonisht klasifikohet si zonë e kontrolluar. Zona e kontrollit të trajtimit dhe zona të tjera ngjitur me dhomën e trajtimit mund të klasifikohen gjithashtu si zona të kontrolluara, nëse objekti nuk mund të projektohet në mënyrë që normat e dozës në këto zona të jenë aq të ulëta sa të konsiderohen zona të mbikëqyrura.

Zonat e kontrolluara duhet të kenë qasje të kufizuar dhe të etiketohen në mënyrë të përshtatshme.

### **2.3. Ngarkesa e punës, faktorët e përdorimit dhe të zënies së hapësirës**

Termi ngarkesë pune (W) përdoret për të dhënë një tregues të gjenerimit javor të rrezatimit nga burimet e terapisë me rreze X dhe gama me rrezatim të jashtëm.

Faktori i përdorimit (U) përshkruan orientimet e ndryshme të tufes rrezeve që përdoren gjatë trajtimit, kur llogaritet trashësia e nevojshme e barrierës për secilën orientim të tufes. Fraksioni i kohës gjatë së cilës rrezatimi që po shqyrtohet është i drejtuar ndaj një barriere të caktuar. Nëse do të përdoren teknika konvencionale trajtimi, Raporti NCRP sugjeron një faktor përdorimi prej 1 për dyshemenë kur rrezja është e drejtuar vertikalisht poshtë, dhe 0.25 për secilën mur dhe tavan, nëse nuk ka vlera specifike të disponueshme. Këta faktorë përdorimi mund të varen nga përdorimi specifik i objektit dhe nga energjia që përdoret. Për shembull, një objekt që kryen shumë trajtime me rrezatim të plotë të trupit mund të ketë një faktor përdorimi më të madh se 0.25 .

Faktori i zënies së hapësirës (T) lidhet me sasinë e kohës që dhomat ngjitur me dhomën e trajtimit janë të zëna. Një zonë me baze në tokë nuk do të kishte fare zënie dhe për rrjedhojë T do të ishte zero. Zona që zihen herë pas here, si korridoret, do të kishin një zënie pak më të madhe, ndërsa zyrat edhe më të lartë. Në kushte të barabarta, një zonë ngjitur që është më shpesh e zënë do të kërkojë më shumë mbrojtje. Faktori i zënies për një zonë duhet të merret si fraksioni i kohës që kalon një person i vetëm, që është i pranishëm aty më gjatë. Faktori i zënies së hapësirës përcaktohet më së miri si fraksioni i një dite 8-orëshe ose 2000 orë në vit, për të cilin një individ i vetëm mund të qëndrojë në një zonë të caktuar.

### **2.4. Norma e fuqisë së dozës së çastit dhe norma e dozës mesatare në kohë**

Gjatë projektimit të barrierave mbrojtëse ndaj rrezatimit, zakonisht supozohet që ngarkesa e punës do të shpërndahet në mënyrë të barabartë gjatë gjithë vitit. Prandaj, është e arsyeshme që një barrierë të projektohet për të përmbushur një kufi javor doze të barabartë me një të pesëdhjetën e kufirit vjetor.

Megjithatë, një zvogëlim i mëtejshëm i kufirit të dozës në intervale kohore më të shkurtra mund të çojë në nevojë për mbrojtje ndjeshëm më të madhe. Kjo është leximi i drejtpërdrejtë i dozimetrave, që jep vlerën e dozës për orë, të mesatarizuar gjatë një minute.

Gjatë llogaritjes së barrierave të nevojshme për mbrojtje, është e dobishme të llogaritet (instantaneous dose rate) IDR-ja e pritur, për ta krahasuar më vonë me matjet reale pas ndërtimit të objektit dhe instalimit të njësisë së trajtimit.

Norma e dozës mesatare në kohë (time-averaged dose rate, TADR) është norma e dozës e zbutur (dobesuar) nga barriera, e mesatarizuar gjatë një periudhe të caktuar kohe.

TADR është proporcionale me IDR, dhe përfshin faktorët W (ngarkesa e punës), U (faktori i përdorimit).

TADR zakonisht vlerësohet për një ditë 8-orëshe ( $R_8$ ), duke marrë parasysh përdorimin dhe ngarkesën e punës, për një skenar më të keq tipik, pra kur faktori i zënies së hapësirës është 1.

Për njësitë e trajtimit me energji megavolte, ndonëse njësia mund të jetë në përdorim për 8 orë në ditë, koha reale kur pajisja është e ndezur (beam-on) është zakonisht shumë më e vogël.

TADR, ose  $R_8$ , përcaktohet duke shumëzuar IDR-në me kohën e përditshme të ndezjes së pajisjes me rrezatim, dhe më pas duke e ndarë me kohëzgjatjen e ditës së punës:

$$TADR = IDR \times \frac{\text{Daily beam-on time}}{\text{Length of working day}} \quad (1)$$

Ose e shprehur ndryshe ,

$$R_8 = IDR \times \frac{W_d U}{8 \times DR_0} \quad (2)$$

ku;

$R_8$  është TADR: norma e dozës mesatare në kohë, mesatarizuar gjatë një dite 8-orëshe, dhe shprehet në  $mSv \cdot h^{-1}$ . Përfaqëson dozën e zbutur nga barriera në një ditë pune të zakonshme, në kushte të zakonshme funksionimi.

IDR: është norma e dozës së çastit, e matur në  $mikroSv \cdot h^{-1}$ , mesatarizuar gjatë një minute në një pikë 0.3 metra pas barrierës, kur makina funksionon me shkallën standarde të daljes së dozës ( $DR_0$ ). Përdoret për të vlerësuar ekspozimin e menjëhershëm gjatë funksionimit të aparatit.

$W_d$  është ngarkesa ditore e punës, e definuar në një distancë 1 m, e shprehur në Gy për një ditë 8-orëshe. Tregon sasinë e rrezatimit që përdoret gjatë një dite pune.

U është faktori i përdorimit, i cili tregon pjesën e kohës kur rrezja është e orientuar drejt një barriere të caktuar. Për barrierat dytësore ose hyrjen e labirintit, merret si  $U = 1$ .

$DR_0$  është shkalla e daljes së dozës në një distancë 1 metër nga burimi, dhe matet në  $Gy \cdot h^{-1}$  ose  $Sv \cdot h^{-1}$ . Është një vlerë standarde për karakteristikat e aparaturës.

Në formulat për projektimin e mbrojtjes,  $TADR = (IDR \times \text{koha e ndezjes së rrezes në ditë}) / 8 \text{ h}$ , për të krahasuar me kufijtë javorë të dozës dhe për të siguruar që ekspozimi është brenda standardeve të sigurisë.

TADR2000 është norma e dozës mesatare në kohë, e vlerësuar gjatë 2000 orëve. Kjo merr parasysh ngarkesën e punës (workload), përdorimin (use factor) dhe zënien e hapësirës (occupancy factor).

Sipas udhëzimeve nga Mbretëria e Bashkuar [6], nëse: IDR (norma e dozës së çastit) është më

pak se  $7.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ , dhe TADR është më pak se  $0.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ , ose TADR2000 është më pak se  $0.15 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ , atëherë zona nuk ka nevojë të klasifikohet si zonë e mbikëqyrur (supervised area). Vlera prej  $0.15 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$  është e barasvlershme me  $3/10$  e  $0.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$  ose me  $0.3 \text{ mSv} \cdot \text{vjetore}$  ( $\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ ), e cila është kufiri i dozës për një punonjës zyre.

#### 2.4.1. Norma javore mesatare e dozës ( $R_w$ )

Mund të përcaktohen edhe norma të tjera mesatare të dozës:

Nëse  $R_w$  është **TADR** (norma e dozës mesatare në kohë) e llogaritur gjatë një **jave prej 40 orësh**, atëherë mund të përfitohet kjo formulë:

$$R_w = \text{IDR} \times \frac{WU}{\text{DR}_0} \quad (3)$$

$$R_w = \text{IDR} \times W \cdot U / \text{DR}_0$$

ku:

- $R_w$  është TADR mesatare javore, në  $\text{Sv} \cdot \text{javë}^{-1}$ ;
- $\text{IDR}$  është norma e dozës së çastit, në  $\text{Sv} \cdot \text{orë}^{-1}$ , kur makina funksionon me normën e daljes së dozës  $\text{DR}_0$ ;
- $W$  është ngarkesa javore (workload) e përcaktuar në 1 metër, në  $\text{Gy}$ ;
- $\text{DR}_0$  është norma e daljes së dozës në 1 metër, në  $\text{Gy} \cdot \text{orë}^{-1}$ ;
- $U$  është faktori i përdorimit (use factor).

Koncepti i  $R_w$  është i dobishëm për vlerësimin e **adekuatësisë së barrierave mbrojtëse**.

#### 2.4.2. Kufiri i dozës për çdo orë – TADR ( $R_h$ )

Në disa vende (për shembull në SHBA), rregulloret për sigurinë ndaj rrezatimit përcaktojnë një kufi për TADR ( $R_h$ ) prej **20 mikroSv në çdo orë** në ambientet publike. Për shembull, Komisioni Rregullator Bërthamor i SHBA-së (US NRC) specifikon:

“Doza në çdo zonë të pakufizuar nga burime të jashtme nuk duhet të kalojë  $0.02$  milisievert në asnjë orë.”

Kjo kërkesë merr parasysh numrin maksimal të procedurave normale të pacientëve që mund të kryhen brenda një ore. Për qëllime të projektimit të mbrojtjes, mund të supozohet që doza maksimale në një orë nuk është më e madhe se ngarkesa javore (workload-i javor).

Barriera duhet të vlerësohet në dy hapa për të përmbushur kërkesat për TADR ( $R_h$ ):

1. Së pari, merret në konsideratë koha që kërkohet për një procedurë të zakonshme, që zakonisht përfshin përgatitjen e pacientit, vendosjen e fushave të rrezatimit dhe ndezjen e pajisjes rrezatuese. Me tej përcaktohet **numri maksimal i procedurave që mund të kryhen brenda një ore**.

2. Ngarkesa përkatëse, e shprehur në **Gy·orë<sup>-1</sup>**, krahasohet me vlerën numerike të ngarkesës javore (në **Gy·javë<sup>-1</sup>**), dhe **vlera më e vogël** merret si **Wh** që do të përdoret në hapin e dytë.

Shënim:

**Wh** është në njësi të **gray ose sievert për çdo orë**.

Më pas, **TADR Rh** llogaritet me formulën:

$$R_h = IDR \times \frac{W_h U}{DR_0} \quad (4)$$

$R_h = IDR \times (W_h \cdot UR / DR_0)$

ku:

- **Rh** është TADR për çdo orë, në **Sv/orë**;
- **IDR** është norma e dozës së çastit, në **Sv·orë<sup>-1</sup>**, me makinën që funksionon në normën e daljes **DR<sub>0</sub>**;
- **Wh** është ngarkesa për çdo orë, në **Sv/orë**;
- **U** është faktori i përdorimit;
- **DR<sub>0</sub>** është norma e daljes së dozës në 1 m, në **Sv·orë<sup>-1</sup>**.

**Shënime të rëndësishme:**

- **Wh** nuk është gjithmonë e lidhur drejtpërdrejt me **W** (ngarkesën javore).
- As **Rh** nuk është drejtpërdrejt e lidhur me **Rw** (TADR javore).
- Vlera numerike e **Rh** është gjithmonë më e vogël ose e barabartë me vlerën e **Rw**.
- Po ashtu, **Wh** është gjithmonë më e vogël ose e barabartë me **W**.

### 3. KARAKTERISTIKAT E PROJEKTIMIT

#### 3.1. Vendndodhja

Departamentet e radioterapisë zakonisht vendosen në periferi të kompleksit spitalor për të shmangur problemet e mbrojtjes nga rrezatimi që lindin nga dhomat e terapisë pranë zonave me nivel të lartë të popullimit. Efikasiteti operacional, kostoja fillestare, si dhe mundësia për zgjerim të ardhshëm dhe/ose rritje të ngarkesës së punës, duhet të merren parasysh gjatë përcaktimit të vendndodhjes së një instalimi radioterapie. Afërsia me shërbime ndihmëse, qasja e lehtë për pacientët e shtruar dhe ata ambulatorë, si dhe konsolidimi i të gjitha shërbimeve terapeutike radiologjike, megjithatë, mund të jenë më të rëndësishme sesa kostoja e ndërtimit. Për dhomat që ndodhen nën nivelin e tokës, reduktimi i kostove të mbrojtjes për dyshme dhe muret e jashtme duhet të peshohet kundrejt shpenzimeve për gjërmim, izolim nga uji dhe sigurimi i aksesit. Për dhomat në ose mbi nivelin e tokës, muret e jashtme gjithmonë kërkojnë mbrojtje; dhe mbështetje shtesë strukturore mund të jetë e nevojshme për pajisjet e rënda dhe për peshën shtesë të barrierave mbrojtëse.

Sasia e mbrojtjes që nevojitet për secilën nga barrierat e bunkerit të trajtimit do të varet deri diku nga përdorimi i zonave përreth. Zonat me nivele të larta të popullimit do të kërkojnë mbrojtje më të madhe. Kudo që është e mundur, bunkerit i trajtimit duhet të rrethohet me dhoma me përdorim të ulët ose të kontrolluar. Për shembull, mund të kontrollohet hyrja në hapësirën mbi tavanin e bunkerit me kyçje ose shenja që ndalojnë hyrjen e paautorizuar.

### 3.2. Aksesi

Duhet marrë parasysh hyrja në dhomë për dorëzimin dhe zëvendësimin e njësive të trajtimit dhe më pas nga pacientët. Pacientët mund të mbërrijnë me karroca, barrelë ose shtretër. Hyrja në dhomë mund të bëhet përmes një dere të mbrojtur ose përmes një labirinti. Është e nevojshme të përfshihet në projektimin e dhomës një kanal i hapur për kabllot e pajisjeve të dozimetrike. Ky kanal për dozimetrit duhet gjithmonë të kalojë nëpër një barrierë sekondare në mënyrë që rrezja primare të mos e godasë atë kurrë. Idealisht, ai duhet të kalojë në një kënd përmes barrierës në zonën e kontrollit të trajtimit.

Gjithashtu, për arsye sigurie, objektet e radioterapisë që përdorin burime radioaktive duhet të vendosen në zona ku hyrja nga publiku në dhomat ku përdoren dhe ruhen burimet mund të kufizohet. Për më tepër, duhet të merret parasysh afërsia e hapësirave të ruajtjes së burimeve me personelin që mund të përgjigjet në rast të një shkeljeje sigurie.

### 3.3. Përmasat e dhomës

Manuali i prodhuesit të pajisjes duhet të ofrojë dimensionet minimale të dhomës (gjatësia, gjerësia dhe lartësia). Dhomat duhet të jenë mjaftueshëm të mëdha për të lejuar shtrirjen e plotë të shtratit në çdo drejtim, me hapësirë për një operator që të ecë përreth. Madhësia e dëshirueshme varet nga lloji i trajtimeve; për shembull, një procedurë e rrezatimit të gjithë trupit (TBI) do të kërkojë një distancë më të madhe trajtimi deri në një mur. Për procedurat intra-operatore (IORT) që kërkojnë staf dhe pajisje të shumta ndihmëse, dhoma mund të duhet të jetë më e madhe. Pajisjet ndihmëse si aplikatorët e elektroneve, bordet për pozicionimin e gjoksit, etj., zakonisht ruhen brenda dhomës, dhe duhet të vendosen për të minimizuar distancën e ecjes gjatë vendosjes së pacientit.

### 3.4. Labirintet

Për të reduktuar dozën e rrezatimit pranë hyrjes, mund të përfshihet në projektim një korridor me qasje të kufizuara që çon në dhomën e trajtimit. Ky korridor quhet **labirint**. Idealja është që ai të jetë sa më i gjatë dhe me seksion sa më të vogël të jetë e mundur. Gjerësia minimale mund të përcaktohet nga dimensionet e njësisë së trajtimit që do të transportohet nëpër të ose nga nevoja për të kaluar një shtrat spitalor.

Një labirint siguron që rrezatimi fotonik mund të dalë nga dhoma vetëm pasi të jetë përhapur dhe të jetë dobësuar. Një labirint zvogëlon nevojën për një derë të rëndë mbrojtëse. Nëse gjatësia e labirintit është e mjaftueshme, ose nëse ka mjaft kthesa, mund të mos jetë e nevojshme të vendoset një derë mbrojtëse në hyrjen e labirintit. Megjithatë, rekomandohet që të instalohet një

barrierë fizike si një derë normale ose portë për të penguar hyrjen në labirint gjatë trajtimit të pacientëve nëse nuk nevojitet derë e mbrojtur.

Aceleratorët linear zakonisht kërkojnë vetëm një portë për të ndaluar hyrjen gjatë kohës së trajtimit dhe/ose detektorë lëvizjeje për të zbuluar hyrje të paautorizuara, në rast se nuk nevojitet derë e mbrojtur për të reduktuar normat e dozës. Një përparësi tjetër e labirintit është mundësia për të kaluar kanalet e ventilimit dhe kabllot elektrike pa kompromentuar mbrojtjen nga rrezatimi.

### 3.5. Dyert dhe sistemet e ndërlidhjes (interlocks)

Dhoma e trajtimit që përmban pajisjet e radioterapisë do të jetë një zonë e kontrolluar sipas standardeve dhe, në përgjithësi, rekomandohet që të instalohet një barrierë në hyrje të labirintit ose dhomës së trajtimit për të kufizuar hyrjen gjatë ekspozimeve. Nëse kërkohet një barrierë e mbrojtur për të reduktuar normat e dozës, mund të jetë e nevojshme një derë e motorizuar.

Një derë e motorizuar duhet të ketë një mënyrë manuale për t'u hapur në rast të një dështimi të furnizimit me energji ose defekti mekanik. Duhet gjithashtu të ketë një mënyrë emergjente për të ndaluar lëvizjen e derës. Për më tepër, çdo derë e motorizuar që është shumë e rëndë për t'u ndaluar manualisht, duhet të ketë sensorë që ndalin lëvizjen e saj për të parandaluar lëndimet e personelit dhe pacientëve.

Të gjitha dyert, portat, rrezet fotoelektrike dhe detektorët e lëvizjes duhet të jenë të ndërthurura me njësinë e trajtimit për të parandaluar një ekspozim nëse ndonjë derë është e hapur. Sistemi i ndërthurjes (interlock) duhet gjithashtu të sigurojë që kur dera të hapet, rrezatimi të ndërpritet. Dalja e rrezatimit nga pajisja **nuk duhet** të rifillojë automatikisht pas mbylljes së derës. Ndërthurja duhet të jetë e sigurt ndaj dështimeve (fail-safe), në mënyrë që siguria të mos rrezikohet në rast të një dështimi të ndonjë komponenti të sistemit.

Në disa vende (si Mbretëria e Bashkuar), këshillohet që një buton për rivendosjen e derës (door-reset switch) të vendoset pranë daljes nga dhoma e trajtimit në një pozicion ku personi që del të ketë pamje të qartë të dhomës. Vetëm pas aktivizimit të këtij butoni mund të ndizet rrezatimi. Nëse ka një labirint, ky buton duhet të ketë një vonesë për t'i dhënë personit kohë të dalë nga dhoma dhe labirinti pas rivendosjes së butonit. Ky buton duhet të jetë i lidhur në seri me një buton të dytë jashtë derës. I njëjti person duhet të aktivizojë të dy butonat. Në rastet kur dera është qartë e dukshme nga paneli i kontrollit, mbyllja e derës mund të aktivizojë butonin e dytë. Vetëm pas aktivizimit të **të dy** butonave mund të ndizet pajisja rrezatuese.

Në objektet që përdorin burime radioaktive, një barrierë që kufizon hyrjen në dhomën e trajtimit jashtë orarit të punës mund të përdoret gjithashtu për të përmbushur objektivat e sigurimit për burimet radioaktive. Karakteristikat e barrierës për qëllime sigurie duhet të përcaktohen si rezultat i një analize të kërcënimeve.

Objektet që përdorin burime radioaktive duhet të zbatojnë masa për të siguruar që hyrja e paautorizuar në burim të zbulohet në kohë. Për të realizuar këtë, mund të përfshihen masa teknike si: një kamerë video për mbikëqyrje të vazhdueshme në distancë të pajisjes, një rreze

fotoelektrike ose sistem detektimi lëvizjeje i instaluar në labirint dhe/ose dhomën e trajtimit, ose një ndërthurje dere. Nëse këto pajisje tregojnë prezencë të mundshme të një personi të paautorizuar, duhet të ndizet një alarm lokal dhe në distancë për të lejuar reagimin në kohë të personelit. Këto masa teknike janë të pavarura nga sistemet e ndërthurjes që ndalin rrezatimin gjatë funksionimit normal, pasi ato nuk janë aktive kur pajisja e trajtimit është e fikur jashtë orarit të punës.

### **3.6. Zona e kontrollit të trajtimit**

Zona e kontrollit të trajtimit është vendi ku operatorët kontrollojnë funksionimin e aparatit. Kjo zonë duhet të jetë afër hyrjes së bunkerit të trajtimit në mënyrë që operatorët të kenë pamje të qartë të hyrjes.

Zona e kontrollit duhet të jetë mjaftueshëm e madhe për të akomoduar panelin e kontrollit të njësisë së trajtimit dhe pajisjet e lidhura. Mund të ketë terminale kompjuterike për regjistrimin dhe verifikimin e të dhënave, për imazherinë elektronike në portë (electronic portal imaging), për sistemin e informacionit të spitalit dhe për pajisjet e dozimetrisë, si dhe monitore me qark të mbyllur (CCTV) për vëzhgimin e pacientit.

### **3.7. Vëzhgimi dhe komunikimi me pacientin**

Operatori duhet të jetë në gjendje të monitorojë vizualisht pacientin gjatë trajtimit përmes kamerave me qark të mbyllur (CCTV). Rekomandohen dy kamera [13]. Ato duhet të vendosen me një kënd prej 15° nga dhe mbi boshtin e rrotullimit të gantrit për të ofruar vëzhgimin optimal të pacientit në shtratin e trajtimit. Kamerat duhet të vendosen sa më larg burimit të rrezatimit, në përputhje me aftësitë tele-zoom, për të minimizuar degradimin e sensorit të imazhit nga rrezatimi i shpërhapur.

Gjithashtu duhet të sigurohet komunikim me dy drejtime me zë ndërmjet zonës së kontrollit të trajtimit dhe dhomës së trajtimit. Mund të kërkohej një alarm i aktivizuar nga pacienti për ata pacientë që nuk mund të japin sinjal zanor.

### **3.8. Depërtimi i kanaleve (ducts)**

Kanalet dhe tubacionet ndërmjet dhomës së trajtimit dhe ambientit të jashtëm duhet të mbrohen në mënyrë adekuate. Kjo përfshin kanalet për kabllot e nevojshme për të kontrolluar pajisjen e trajtimit, kanalet e ngrohjes dhe ventilimit, kanalet për pajisjet e fizikës si dhe kanale të tjera shërbimi. Rekomandohet që këto kanale të depërtojnë dhomën e trajtimit vetëm përmes barrierave dytësore. Asnjë kanal me diametër më të madh se 30 mm nuk duhet të depërtojë barrierën parësore të mbrojtjes.

Kanalet duhet të vendosen në mënyrë të tillë që rrezatimi që kalon përmes tyre të kërkojë kompensim minimal për materialin e barrierës që zëvendësohet. Asnjë kanal nuk duhet të kalojë në mënyrë ortogonale përmes një barrierë rrezatimi. Ato duhet të kalojnë në kënd përmes barrierës ose të kenë një ose më shumë kthesa në mënyrë që gjatësia totale e kanalit të jetë më e madhe se trashësia e barrierës së rrezatimit.

Nëse kërkohet, pllakat prej plumbi ose çeliku janë materiale të përshtatshme për të kompensuar mbrojtjen e zëvendësuar. Për të mbrojtur ndaj rrezatimit të shpërhapur që kalon përgjatë kanalit, është më mirë që mbrojtja shtesë të vendoset jashtë dhomës së trajtimit, ku rrezatimi ka energji mesatare më të ulët dhe për rrjedhojë kërkon më pak material mbrojtës.

Kabllo e pajisjeve të trajtimit zakonisht kalojnë nën nivelin e dyshemesë, nën barrierat parësore ose dytësore, para se të ngjiten për të arritur në zonën e kontrollit të trajtimit. Përderisa nuk ka dhoma poshtë, mbrojtja shtesë zakonisht nuk kërkohet, përveç rasteve kur zona e kontrollit është drejtpërdrejt pas një barriere parësore dhe kablloja kalon nën të njëjtën barriërë.

Tubat e ujit dhe kanalizimet e ngushta elektrike zakonisht vendosen në grupe brenda një kanali më të madh. Rekomandohet që ato gjithashtu të mos depërtojnë përmes barrierave, por të ndjekin labirintin për të dalë nga dhoma e trajtimit siç u përshkrua më sipër, ose të ndjekin një rrugë nën barrierën mbrojtëse.

Kanalet e ngrohjes dhe ventilimit nuk duhet të depërtojnë përmes barrierave parësore për shkak të seksionit të tyre të madh tërthor, i cili e bën të kushtueshëm kompensimin për materialin mbrojtës të zëvendësuar. Nëse duhet të kalojnë përmes një barriere dytësore, seksioni i kanalit duhet të ketë një raport të madh aspekti (gjatësi/gjerësi) për të zvogëluar rrezatimin që kalon përmes kanalit si rezultat i ndërveprimeve të shumta të shpërndarjes me muret e kanalit/barrierës. Boshti i kanalit dhe ana më e gjatë e seksionit të tij duhet të jenë sa më ortogonale të jetë e mundur ndaj drejtimit të rrezatimit të rrjedhshëm nga objektivi drejt kanalit.

Sasia e mbrojtjes shtesë të nevojshme për të mbrojtur depërtimet në muret mbrojtëse varet nga energjia e rrezes së rrezatimit, plani i dhomës dhe rrua e kanalit(ve). Mbrojtja duhet të vlerësohet me kujdes nëse kanalet duhet të depërtojnë barrierën parësore. Vendosja e rekomanduar e këtyre kanaleve është mbi një tavan të rremë përgjatë rrugës së labirintit, për të dalë nga labirinti në ose pranë derës së jashtme, ku fluksi i fotoneve dhe/ose neutroneve është më i ulët. Për përshpejtues me energji deri në 10 MV, zakonisht nuk kërkohet mbrojtje shtesë rreth kanalit. Për energji më të larta, rekomandime shtesë për mbrojtje.

Nëse është e nevojshme që kanalet të kalojnë përmes barrierës dytësore, ato duhet të vendosen sa më lart të jetë e mundur për të minimizuar rrezatimin e shpërhapur ndaj personelit jashtë dhomës.

Kanalet janë të nevojshme për kabllot e dozimetrisë, për sistemet e kontrollit të mbledhjes së të dhënave të rrezatimit, për pajisjet e kontrollit të cilësisë (QA), dhe për kabllot e pajisjeve për dozimet **in vivo**. Kanalet zakonisht janë tuba PVC me diametër 80–100 mm, të përfshira në kallëpet e betonit. Ato duhet të jenë të pjerrëta në planin horizontal dhe vertikal dhe të depërtojnë vetëm barrierën dytësore, jo atë parësore. Nëse hapjet janë të paktën 300 mm mbi nivelin e dyshemesë, ato janë më të përshtatshme për përdorim. Idealja është që hapja në zonën e kontrollit të trajtimit të jetë në nivelin e tavolinës dhe hapja në anën e dhomës së trajtimit të jetë në një nivel tjetër, por të arritshëm me lehtësi. Kanalet e përshkruara më sipër zakonisht nuk kanë nevojë për mbrojtje shtesë përveç rasteve kur barriera është ndërtuar nga material me densitet shumë më të lartë se 2350 kg/m<sup>3</sup>

### 3.8.1. Mbrojtja rreth kanaleve mbi hyrjen e labirintit për pajisje me energji të lartë

Normat e dozës ekuivalente të fotoneve dhe neutroneve të dera e labirintit ku kanalet depërtojnë barrierën mund të vlerësohen duke përdorur metodat e përshkruara në Seksionet me poshte, Meqenëse zona e depërimit duhet të vendoset rreth 3 metra ose më shumë mbi dysheme, rrezatimi i shpërhapur që arrin te një person reduktohet më tej.

Për fotone me energji 18 MV, nevoja për mbrojtje shtesë varet fuqishëm nga gjatësia e labirintit. Për një labirint me gjatësi 5 metra, doza totale në hyrjen e jashtme të labirintit është e ulët dhe zakonisht nuk kërkohet mbrojtje shtesë rreth kanalit. Megjithatë, për labirinte më të shkurtra se 3 metra, mund të nevojitet një pengesë mbrojtëse për të reduktuar dozën.

Për një tufe parësore me energji 18 MV, një reduktim i dozës ekuivalente me  $\frac{1}{4}$  **për neutronet** dhe  $\frac{1}{2}$  **për fotonet** mund të arrihet përmes një kanali me gjatësi 1.2 m të mbështjellë me **10 mm plumb** dhe **25 mm polietilen** në një labirint me gjatësi 3.6 m. Plumbi duhet të mbështillet fillimisht rreth pjesës së jashtme të kanalit, ndjekur nga shtresa e polietilenit nga jashtë.

Për dhoma që përfshijnë më shumë se një kthesë në labirint, zakonisht nuk kërkohet mbrojtje për kanalet.

### 3.9. Shenjat dhe dritat e paralajmërimit

BSS [1] kërkon që licencuarit të:

**“shfaqin një simbol paralajmërues, si ai i rekomanduar nga Organizata Ndërkombëtare për Standardizim (ISO) [15] ... në pikat e hyrjes dhe vende të tjera të përshtatshme brenda zonave të kontrolluara.”**

Rekomandohet që një tabelë paralajmëruese e ndriçuar të vendoset në hyrje të labirintit ose të dhomës së trajtimit, si dhe disa brenda vetë dhomës së trajtimit. Duhet të jetë e mundur të shihet një shenjë paralajmëruese nga çdo pozicion brenda dhomës së trajtimit. Këto shenja duhet të vendosen në nivelin e syve (1650 mm mbi nivelin e dyshemesë së përfunduar) dhe të jenë të lidhura në mënyrë ndërkyçe me kontrollin e njësisë së trajtimit.

Shenjat e ndriçuara mund të kenë dy ose tre faza:

- **Për një tabelë me dy faza**, faza e parë ndizet kur ka energji të njësia e trajtimit, dhe faza e dytë ndizet kur rrezja aktivizohet.
- **Për një tabelë me tre faza**, faza e parë ndizet kur ka energji në njësinë e trajtimit, faza e dytë ndizet kur njësia është programuar për të dhënë një rreze rrezatimi, dhe faza e tretë ndizet kur rrezja aktivizohet.

Një tabelë paralajmëruese duhet të tregojë natyrën e rrezikut. Nëse ka zona të kontrolluara me akses të kufizuar jashtë dhomës së trajtimit, ato duhet të etiketohen në mënyrë të përshtatshme. Simboli paralajmërues për rrezatimin është ai i rekomanduar nga ISO [15].

### 3.10. Ndriçimi i dhomës dhe lazera për nivelimet

Për të vendosur pacientin për trajtimin me rrezatim, ndriçimi i dhomës duhet të jetë **i zbutshëm (me intensitet të rregullueshëm)** në mënyrë që **drita e fushës së njësisë së trajtimit dhe lazerët për rreshtim** të jenë lehtësisht të dukshëm. Është e dobishme që dritat e dhomës dhe lazerët të mund të kontrollohen nga pulti i kontrollit të njësisë së trajtimit brenda bunkerit të trajtimit.

Kur ndizet drita e fushës, dritat e dhomës duhet të zbuten në një nivel të paracaktuar (por të rregullueshëm), dhe gjithashtu të ndizen lazerët për nivelim. Meqë **dritat fluoreshente nuk zbuten në mënyrë të kënaqshme**, rekomandohet që për ndriçimin e zbutur të përdoren **llamba inkandeshente**. Ndriçimi kryesor i dhomës mund të realizohet me drita fluoreshente që fiken kur ndizet drita e fushës, ndërsa llambat inkandeshente përdoren për ndriçimin e zbutur. Kur drita e fushës fiket, **ndizen dritat kryesore të dhomës dhe fiken lazerët**. Ndriçimi i zbutur mund të qëndrojë ndezur gjatë gjithë kohës.

Nëse **kutitë e lidhjes elektrike ose lazerët për Nivelim** futen në mure, atëherë zgavrat e krijuara duhet të mbështeten me **pllakë çeliku me trashësi 40 mm** dhe me një **rrethore 30 mm përreth**. Në varësi të zënies së zonës përreth (okupimit të saj), mund të jetë e pranueshme të ketë një **reduktim të mbrojtjes në një zonë të vogël**, sidomos kur bëhet fjalë për një **barrierë sekondare**.

Rekomandohet përdorimi i gjithsej **katër lazerëve për nivelim**:

- **Tre lazerë që projektojnë një kryq**: dy të orientuar me pozicionet e gantrit në **90° dhe 270°**, dhe një i montuar në **tavan, direkt mbi izocentër**.
- **Lazeri i katërt** duhet të projektojë një vijë **pergjysmuese** përgjatë boshtit të gantrit. Ky lazer zakonisht vendoset në një **mbajtëse të pjerrët në murin përballë gantrit**.

Ndërrimi i lazerëve duhet të kontrollohet nga **telekomanda**, por gjithashtu është e dobishme që ato të mund të fiken në mënyrë të pavarur për testet e kontrollit të cilësisë (**QA**).

### 3.11. Sigurimi i burimeve radioaktive

Siguria e burimeve radioaktive kërkon kontrollin e ekspozimit ndaj rrezatimit nga këto burime gjatë kushteve normale të funksionimit dhe gjatë incidenteve, përfshirë ato që rezultojnë nga cënimi i sigurimit të një burimi. Për këtë qëllim, objektet e licencuara duhet të përfshijnë masa sigurimi për të parandaluar humbjen, vjedhjen ose aksesin e paautorizuar tek burimet radioaktive.

Për më tepër, pasi aspektet e sigurisë dhe mbrojtjes së burimeve janë të lidhura ngushtë, shumë nga masat e projektuara për të adresuar njërën do të ndihmojnë edhe në adresimin e tjetrës. Për këtë arsye, disa nga elementët e përshkruar më parë (dyer, mure, ndërprerës ndërkyçës etj.), të cilat synojnë të kufizojnë ekspozimin ndaj rrezatimit, gjithashtu do të kontribuojnë në sigurimin e burimeve.

Objektivat e sigurimit janë të zhvilluara në katër grupe të ndryshme sigurimi (nga A deri në D).

## KONSIDERTA TE PERGJITTHESHE PER SIGURIMIN

### 3.11.1. Depot e sigurimit për burimet radioaktive të teleterapisë

Burimet radioaktive të teleterapisë zakonisht janë burime të Kategorisë 1 dhe, për rrjedhojë, përfshihen në Grupin e Sigurisë A, që ka si objektiva sigurie parandalimin e aksesit të paautorizuar dhe zbulimin në kohë të aksesit apo marrjes së paautorizuar të burimit. Gjithashtu, masat e sigurisë duhet të vonojnë marrjen e burimit derisa të bëhet e mundur një reagim.

Për të arritur objektivat e Grupit të Sigurisë A, sugjerojmë zbatimin e dispozitave të mëposhtme:

#### **Burimet në ruajtje:**

- Vendosen në kontejner ruajtjeje të burimit, të kyçur dhe të fiksuar, siç është psh koka e teleterapisë apo kontejneri i transportit;
- Një dhomë ruajtjeje e kyçur që ndan kontejnerin nga personeli i paautorizuar;
- Kontrolli i aksesit në dhomën e ruajtjes;
- Zbulimi i aksesit të paautorizuar ose i heqjes së burimeve;
- Aftësia për të reaguar në kohë ndaj një zbulimi të tillë.

#### **Burimet në përdorim:**

- Një kokë teleterapie e kyçur në një zonë ku mund të kontrollohet aksesit;
- Kontrolli i aksesit në zonën përkatëse;
- Monitorim i vazhdueshëm për përpjekje ndërhyrjeje të paautorizuar, qoftë përmes mbikëqyrjes njerëzore apo pajisjeve elektronike;
- Roje sigurie që janë të aftë të japin një përgjigje në kohë.

Për të zbatuar këto dispozita, disa masa teknike duhet të përfshihen në projektimin e një objekti të radioterapisë. Këto përfshijnë:

- një mekanizëm për të kyçur kokën e teleterapisë në mënyrë që burimi të mos mund të hiqet;
- një sistem për të kyçur dhomën e trajtimit/ruajtjes;
- përfshirjen e një alarmi kundër ndërhyrjes që njofton personelin nëse siguria e burimit mund të jetë komprometuar.

### 3.11.2. Depot e sigurimit për burimet e brakiterapise me dozë të lartë dhe të mesme

Burimet e brakiterapike me dozë të lartë (HDR) dhe me dozë të mesme (MDR) zakonisht caktohen në Grupin e Sigurisë B. Masat përkatëse të sigurimit duhet të vendosen për të penguar aksesin e paautorizuar dhe për të zbuluar në kohë aksesin dhe marrjen e paautorizuar të burimit.

Për burimet e Grupit të Sigurisë B sugjerohet zbatimi i dispozitave të mëposhtme:

#### **Burimet në ruajtje:**

- Vendosi në kontejner ose pajisje të kyçur dhe të fiksuar që përmban burimin;
- Një dhomë e kyçur për të ndarë kontejnerin nga akses i paautorizuar;
- Kontrolli i aksesit në dhomë;
- Aftësia për të zbuluar aksesin e paautorizuar ose heqjen e burimit.

**Burimet në përdorim:**

- Përdorimi i burimit në një dhomë të kyçur ose zonë të kontrolluar;
- Mbikëqyrje e vazhdueshme e burimit;
- Kontroll i aksesit në dhomën ose zonën e kontrolluar.

**3.11.3. Depot e sigurimit për burimet e brakiterapise me dozë të ulët**

Burimet e brakiterapise me dozë të ulët (LDR) zakonisht caktohen në Grupin e Sigurisë C. Masat përkatëse të sigurisë duhet të vendosen për të penguar aksesin e paautorizuar dhe për të verifikuar praninë e burimit në intervale të caktuara.

Për burimet e Grupit të Sigurisë C që janë në ruajtje, sugjerojmë që burimi(t) të ruhen në një kontejner të fiksuar dhe të kyçur, brenda një dhome me kontroll të aksesit.

Për burimet e Grupit të Sigurisë C që janë në përdorim, sugjerojmë që kontrolli përkatës mund të jetë siguri që një person i autorizuar e përdor burimin vetëm në një zonë me akses të kontrolluar, ose që burimi të jetë i mbyllur në mënyrë të sigurt në një zonë ku ka personel që mund të zbulojë çdo ndërhyrje ndaj burimit.

## 4 MATERIALET PËR MBROJTJE

Për ndërtimet e reja që do të strehojnë pajisje për trajtim me rrezatim, betoni zakonisht është materiali i zgjedhur, pasi është më pak i kushtueshëm. Megjithatë, nëse hapësira është e kufizuar, mund të jetë e nevojshme përdorimi i një materiali ndërtimor me dendësi më të lartë. Tabela 1 jep një listë të materialeve tipike të ndërtimit me dendësitë e tyre.

| Material ndërtimor             | Dendësia (kg/m <sup>3</sup> ) | Koment                                                                                  |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Beton                          | 2350                          | Do të ndryshojë në varësi të përmbajtjes minerale                                       |
| Beton me barit                 | 3400–3500                     | Përdoret zakonisht për beton me dendësi të lartë, por është i kushtueshëm               |
| Mineral hekuri me ferrosilikon | 4000–5400                     | Dendësia varet nga përzierja e xeherorit me rërën                                       |
| Bloqe                          | 3844 dhe 4613                 | Bloqe të paraformuara me densitet të lartë nga Atomic International, Inc.               |
| Tulla balte                    | 1600                          | Mund të përdoren për instalime deri në 500 kV me mbrojtje shtesë prej plumbi ose çeliku |
| Bloqe të lehta                 | 1100–1400                     | –                                                                                       |
| Mbushje me dhe                 | 1600                          | Mund të jetë e dobishme nëse bunkeri është nën nivelin e tokës                          |
| Çelik                          | 7900                          | Përdoret zakonisht si mbrojtje shtesë në dhoma ekzistuese                               |
| Plumb (i ngurtë)               | 11340                         | Mbrojtje për një dhomë ekzistuese                                                       |

**TABELA 1. Materialet ndërtimore dhe dendësitë e tyre**

Dendësia e betonit ndryshon në varësi të agregatit të përdorur. Shumica e të dhënave të botuara supozojnë një dendësi prej **2350 kg/m<sup>3</sup>** për betonin. Për beton me dendësi të ndryshme, është e nevojshme të bëhet një rregullim për të përcaktuar trashësinë e nevojshme të barrierës.

Për instalimet terapeutike që funksionojnë mbi 500 kV, perthithja nga efekti kompton është dominues dhe materiali mbrojtës do të përthithë rrezatimin në përputhje me dendësinë e tij.

Dendësia e betonit ndryshon sipas agregatit lokal të përdorur. Nëse përcaktohet një dendësi projekti që nuk mund të realizohet në mënyrë lokale, atëherë kostoja do të rritet, kryesisht për shkak të transportit të aggregateve.

Dendësia e betonit zakonisht mund të arrihet brenda **±50 kg/m<sup>3</sup>** nga ajo e specifikuar. Është më e leverdishme të përcaktohet dendësia që mund të prodhohet lokalisht dhe të llogariten trashësitë e

nevojshme të barrierave në përputhje me këtë, duke marrë si bazë kufirin e poshtëm të dendësisë së specifikuar.

Normalisht, betoni specifikohet sipas rezistencës, ndërsa dendësia ka rëndësi dytësore. Rezistenca rritet duke shtuar përqindjen e çimentos në përzierje, ndërsa dendësia rritet duke shtuar agregatin. Shtimi i ujit në përzierje zvogëlon dendësinë pasi formohen xhepa ajri ndërsa thahet. Për të shmangur xhepat e ajrit, është zakon që betoni të vibrohet gjatë derdhjes. Çdo barrierë duhet të formohet në një derdhje të vetme për të shmangur shtresimet ndërmjet shtresave të ndryshme.

Blloqet e paraformuara të betonit kanë vetëm **2000 kg/m<sup>3</sup>** dendësi, por disa tulla ndërtimi me dendësi të lartë janë të disponueshme. Shembuj të tillë janë tulla me barit, barium, me një dendësi rreth **3000 kg/m<sup>3</sup>**. Nëse përdoren tulla me dendësi të lartë, është e rëndësishme të përdoren llaçe të rënda për të shmangur rrugët e "shkëlqimit" të rrezatimit midis tullave. Llaçi i zakonshëm me rërë ka vetëm **2000 kg/m<sup>3</sup>** dendësi.

Në raste kur hapësira është e kufizuar, mund të përdoren betone të veçanta me dendësi të lartë ose materiale me dendësi të lartë si çeliku ose plumbi. Pllakat e çelikut shpesh përdoren në dhoma ekzistuese që kanë nevojë për përforcim. Pllakat zakonisht janë **10 mm** të trasha dhe montohen një nga një në mur, duke u kujdesur që fiksuesit të mos mbivendosen.

Për instalimet që funksionojnë mbi **10 MV**, duhet të merret në konsideratë mbrojtja ndaj neutroneve. Betoni përmban një sasi të lartë të hidrogjenit dhe për këtë arsye është efektiv për mbrojtje ndaj neutroneve të shpejtë.

**TVL (Trashësia për dobësim dhjetëshe)** për rrezet X primare është afërsisht dy herë më e madhe se ajo për fotoneutronet e prodhuara nga akseleratorët mjekësorë linearë, kështu që çdo mbrojtje e projektuar për rrezet X do të jetë mëse e mjaftueshme edhe për fotoneutronet.

Neutronet e shpejtë ngadalësohen përmes përplasjes elastike me atomet e hidrogjenit. Pas disa përplasjesh ato bëhen neutrone të ngadalta, të cilët kapen nga materiale të ndryshme dhe çlirohen rreze gama me depërtim të madh. Spektri i rrezeve gama të kapjes në beton shkon mbi **8.0 MeV**, me një energji mesatare prej **3.6 MeV**. Kapja e neutroneve të ngadalta nga hidrogjeni në beton shkakton një pikë karakteristike në spektrin e fotonëve në **2.21 MeV**.

**Bori dhe kadmiumi** kanë seksione të mëdha për kapjen e neutroneve të ngadalta. Bori futet në **polietilenin**, i cili ka përmbajtje të lartë hidrogjeni, duke krijuar një mbrojtje shumë efektive për neutrone. Kapja e neutroneve të ngadalta në bor rezulton në çlirimin e një rreze gama me energji të ulët prej **0.473 MeV**. Një përbërje prej 5% **bor në peshë** në polietilen përdoret zakonisht për dyert mbrojtëse ndaj neutroneve në dhomat e trajtimit.

## 5. METODAT E LLOGARITJES

Filozofia e projektimit për barrierat e rrezatimit do të varet nga kufijtë ligjorë të dozës në fuqi. Aktualisht, **BSS** IAEA përcakton kufijtë e dozës. Organet qeveritare i kanë inkorporuar këto standarde në legjislacion. Kufijtë e dozës të vendosur nga **BSS**, Shtetet e Bashkuara të Amerikës , Mbretëria e Bashkuar , Shqipëria, që lidhen me Projektimin e barrierave për njësi trajtimi me rrezatim.

Për të përcaktuar trashësinë e nevojshme të barrierës për të arritur kufijtë e dozës, është e nevojshme të vlerësohet ngarkesa e punës (workload) e njësisë së rrezatimit dhe të dihet shpejtësia e dozës me të cilën do të operojë njësia e trajtimit. Trashësitë e nevojshme të barrierave do të varen nga arritja e kufijve të dozës, por edhe nga fuqia e dozës. Është e dobishme të përcaktohet fuqia e dozës në çdo pikë interesi (p.sh. jashtë të gjitha barrierave primare dhe sekondare dhe hyrjes), pasi këto vlera mund të krahasohen me matjet direkte gjatë vlerësimit të rrezatimit pas instalimit të njësisë së trajtimit.

### 5.1. Barrierat primare

#### 5.1.1. Fuqia javore e dozës

Dobesimi i kërkuar i barrierës B mund të përcaktohet në përputhje me një kufizim të dëshiruar të dozës (kufizimi i projektimit) që rrjedh nga një kufi dozash profesionale ose për publikun. Formula e mëposhtme përdoret për të përcaktuar dobësimin e kërkuar nga barrierë (Muret):

$$B = \frac{P(d + SAD)^2}{WUT} \quad (5)$$

$$B = (P(d + SAD)^2) / WUT$$

Ku:

- **P<sub>d</sub>** është doza e lejuar për javë (Sv·javë<sup>-1</sup>) jashtë barrierës;
- **d** është distanca nga izocentri deri jashtë barrierës, në metra (m);
- **SAD** është distanca burim-aks (izocentri), në metra (m);
- **W** është ngarkesa e punës (workload), në Gy·javë<sup>-1</sup> në distancë 1 metër;
- **U** është faktori i përdorimit ose fraksioni i kohës që rrezja pritët të godasë barrierën;
- **T** është faktori i okupimit ose fraksioni i kohës që zona jashtë barrierës pritët të jetë e zënë/me persona

Në thelb, këto përkufizime përdoren për të llogaritur sa duhet të jetë trashësia e barrierës që do të kufizojë rrezatimin në një nivel të sigurt jashtë saj, duke marrë parasysh sa shpesh dhe

me çfarë intensiteti përdoret aparati i rrezatimit, si dhe kush dhe sa kohë qëndron në zonën përreth.

Trashësia e nevojshme e betonit mund të përcaktohet nga grafiqet e zbehjes (attenuation), ose përmes përdorimit të TVL-ve. Numri i TVL-ve të nevojshme për të arritur këtë dobësim përcaktohet nga:

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{B} \right) \quad (6)$$

Tabela 4 [2, 22] jep vlerat e TVL-ve për një gamë energjish të rrezeve X me megavoltazh në beton (me dendësi  $2350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

#### 5.1.2. Norma momentale e fuqisë dozës (IDR — Instantaneous Dose Rate)

Trashësia e barrierës që kërkohet për të ulur normën momentale të dozës në një nivel të pranueshëm në anën tjetër të barrierës përcaktohet si më poshtë.

Zbehja (dobësimi) e nevojshme  $B_{\text{IDR}}$  jepet nga:

$$B_{\text{IDR}} = \frac{P_{\text{IDR}} (d + \text{SAD})^2}{\text{DR}_0} \quad (7)$$

ku:

- $P_{\text{IDR}}$  është kufiri projektues i dozës momentale, në  $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ;
- $d$  është distanca nga izocentri deri te pika e interesit në anën tjetër të barrierës, në metra;
- $\text{SAD}$  është distanca burim–bosht (zakonisht 1 m për akseleratorët linearë);
- $\text{DR}_0$  është norma e dozës në izocentër (1 m), në  $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Numri i TVL-ve të betonit përcaktohet më pas nga Ekuacioni (6), në të njëjtën mënyrë si për metodën e kufirit vjetor të dozës.

Trashësitë e mureve të përcaktuara për barrierat primare do të jenë më se të mjaftueshme për të mbrojtur kundër rrezatimit të rrjedhur (leakage) dhe të shpërhapur (scattered), dhe nuk kërkohen llogaritje të mëtejshme.

#### 5.2. Barrierat sekondare

Këto janë barrierat që nuk ndodhen në vijë të drejtpërdrejtë me rrezen e rrezatimit, por janë të nevojshme për të mbrojtur nga rrezatimi i rrjedhur (leakage) nga koka e aparatit të trajtimit dhe rrezatimi i shpërhapur (scatter) nga pacienti (ose fantoma) dhe muret e dhomës së trajtimit.

### 5.2.1. Rrezatimi i rrjedhur (leakage)

Për një akselerator linear, protokollet kombëtare dhe ndërkombëtare përcaktojnë që rrjedhja e rrezatimit nga koka e trajtimit nuk duhet të kalojë **0.5%** të rrezes primare, jashtë rrezes së dobishme në **1 m** nga rruga e elektroneve midis armës dhe dritares së shënjestrës, dhe mesatarisht mbi **100 cm<sup>2</sup>**. Në planin e pacientit, rrjedhja nuk duhet të kalojë një mesatare prej **0.1%** dhe një maksimum prej **0.2%** brenda një rrezeje prej **2 m** nga aksi qendror i rrezes [19].

Në përgjithësi, prodhuesit i kanë mbrojtur makineritë e tyre më mirë se niveli 0.1%, dhe është e arsyeshme të merret ky vlerësim kur përcaktohet trashësia e nevojshme e barrierës sekondare.

Zbehja e nevojshme (**B<sub>L</sub>**) për mbrojtje kundër rrezatimit të rrjedhur jepet si më poshtë:

$$B_L = \frac{1000Pd_s^2}{WT} \quad (8)$$

ku:

- **P** është kufiri i projektuar i dozës (në Sv·javë<sup>-1</sup>),
- **d** është distanca nga burimi i rrjedhjes deri në pikën e interesit,
- **W<sub>L</sub>** është ngarkesa e punës për rrjedhje (zakonisht si përqindje e ngarkesës primare).

Gjatë përcaktimit të mbrojtjes kundër rrezatimit të rrjedhur (leakage), faktori i përdorimit (**U**) është **gjithmonë i barabartë me një** dhe për këtë arsye **nuk shfaqet në ekuacion**. Meqenëse faktori i përdorimit është një, pozicioni mesatar i kokës së trajtimit merret si në izocentër, kështu që distanca **d** matet nga izocentri.

Në këtë shembull, supozohet se mbrojtja në kokën e trajtimit e redukton rrezatimin e rrjedhur në **1/1000** të rrezes së dobishme (**0.1%**).

Rrezatimi i rrjedhur ka energji dukshëm më të ulët se rrezja primare për shkak të shpërndarjes brenda kokës së trajtimit, siç tregohet nga të dhënat e TVL-ve në **Tabelën 4**.

### 5.2.2. Rrezatimi i shpërhapur (scatter)

Zbehja (transmetimi i nevojshëm) **B<sub>p</sub>** që nevojitet për të mbrojtur ndaj rrezatimit të shpërhapur nga pacienti jepet dhe në **Ekuacionin (9)**:

$$B_p = \frac{Pd_{sca}^2 d_{sec}^2}{aWT(F/400)} \quad (9)$$

ku:

- **P**, **W** dhe **T** kanë të njëjtin kuptim si në Ekuacionin (8);
- **d<sub>sca</sub>** është distanca nga burimi i rrezatimit deri te pacienti, në metra;
- **d<sub>sec</sub>** është distanca nga pacienti deri te pika e interesit, në metra;
- **a** është fraksioni i shpërndarjes (scatter fraction), i përcaktuar në **d<sub>sca</sub>**. Raporti i shpërndarjes primare ( $\alpha$ ) varet nga energjia e rrezeve X dhe këndi i shpërndarjes. Këto të dhëna janë të tabeluara për një sipërfaqe të rrezatuar prej 400 cm<sup>2</sup> për <sup>60</sup>Co, si dhe për rreze X me energji **6, 10, 18 dhe 24 MV**, në **Tabelën 5** [2, 20];
- **F** është sipërfaqja e fushës që bie mbi pacientin, në cm<sup>2</sup>.

**Rrezatimi i shpërhapur nga pacienti apo fantoma zakonisht është më pak se 0.1% e rrezatimit incident për çdo 0.1 m<sup>2</sup> të sipërfaqes së rrezatuar. Për kënde të mëdha të shpërndarjes, energjia e rrezatimit të shpërhapur degradohet dhe mbrojtja e projektuar ndaj rrezatimit të rrjedhur është zakonisht e mjaftueshme edhe për rrezatimin e shpërhapur nga pacienti.**

Megjithatë, **kur këndi i shpërndarjes është i vogël**, shpërhapja nga pacienti nuk duhet neglizhuar. Për kënde të vogla të shpërndarjes (p.sh. 10°), vlera e fraksionit të shpërndarjes **a** mund të arrijë deri në **0.0178** për rreze X me energji **24 MV** (shih **Tabelën 5**), dhe **fotonet e shpërndara kanë energji afër asaj të rrezes incident.**

**Faktori i transmetimit të barrierës (B<sub>w</sub>)** që nevojitet për mbrojtje ndaj rrezatimit të shpërhapur kur rrezja primare godet një mur jepet nga ekuacioni vijues:

$$B_w = \frac{Pd_w^2 d_r^2}{\alpha AWUT} \quad (10)$$

ku:

- **d<sub>w</sub>** është distanca nga burimi i rrezatimit deri te sipërfaqja që shkakton shpërndarjen (muri), në metra;
- **d<sub>r</sub>** është distanca nga sipërfaqja që shkakton shpërndarjen (muri) deri te pika e interesit, në metra;
- **$\alpha$**  është koeficienti i reflektimit të murit, i cili varet nga materiali i murit, këndi i shpërndarjes dhe energjia e rrezes (Tabelat 6 dhe 7 japin koeficientët e reflektimit për betonin);
- **A** është sipërfaqja e fushës e projektuar mbi murin përkatës, në m<sup>2</sup>.

**Fotonet e shpërndara nga muri dhe nga pacienti kanë afërsisht të njëjtën energji.** Nëse trashësia e kërkuar për të mbrojtur nga shpërhapja e pacientit është **e ndryshme nga ajo për murin me më shumë se një TVL**, përdor trashësinë më të madhe.

Nëse ndryshimi është **më pak se një TVL**, përdor trashësinë më të madhe **dhe shto një shtresë gjysmësore (HVL)** për energjinë përkatëse.

Po kështu, nëse trashësia e nevojshme për mbrojtje nga **rrezatimi i rrjedhur (leakage)** ndryshon **nga ajo për mbrojtje nga shpërhapja** me më pak se një TVL, përdor trashësinë më të madhe **dhe shto një HVL** për energjinë e rrezatimit të rrjedhur. Nëse ndryshimi është më shumë se një TVL, përdor trashësinë më të madhe.

### 5.3. ÇATITË (tavani)

Pjesa e çatisë që mund të goditet drejtpërdrejt nga rrezja duhet të trajtohet si **barrierë primare**, dhe formulat për përcaktimin e trashësisë së saj janë të njëjtat si në Seksionin 5.1 (Ekuacionet 5–7).

**Kufiri i dozës për çatinë** varet nga vendndodhja e bunker-it. Nëse bëhet fjalë për një ndërtesë me **vetëm një kat**, konsiderata e vetme mund të jetë **kufizimi i aksesit** në hapësirën e çatisë.

Megjithatë, nëse ndërtesa mund të **shikohet nga ndërtesa të tjera**, duhet marrë në konsideratë **"skyshine"** – rrezatimi i shpërhapur nga atmosfera – që mund të ndikojë **ndërtesat përreth**. Nëse në afërsi ndodhet një **departament i mjekësisë bërthamore**, duhet pasur kujdes, pasi **kamerat gamma dhe pajisje të tjera të ndjeshme** mund të ndikohen edhe nga nivele shumë të ulëta rrezatimi.

Nëse ndërtesa ka **kate të tjera mbi bunker-in**, është e këshillueshme që mbi të të vendoset **një dhomë teknike ose magazinë**, sepse këto kanë **përdorim të kufizuar dhe mund të kenë akses të kontrolluar**, duke lejuar kështu **kufi më të lartë të dozës së projektimit** sesa nëse do të ndodhej një zyrë.

### 5.4. Koridoret (labirnitet mazes)

Një njohje e mirë e **karakteristikave të shpërndarjes së rrezeve X (dhe gamma për burimet  $^{60}\text{Co}$ )** nga pacienti dhe muret e dhomës është e nevojshme kur projektohen **koridoret apo kanalet**.

Për pajisjet që funksionojnë me rreze X **nën 10 MV** dhe për burime  $^{60}\text{Co}$ , duhet të merren parasysh **shpërhapja dhe transmetimi i rrezatimit primar, i rrjedhur dhe i shpërhapur**.

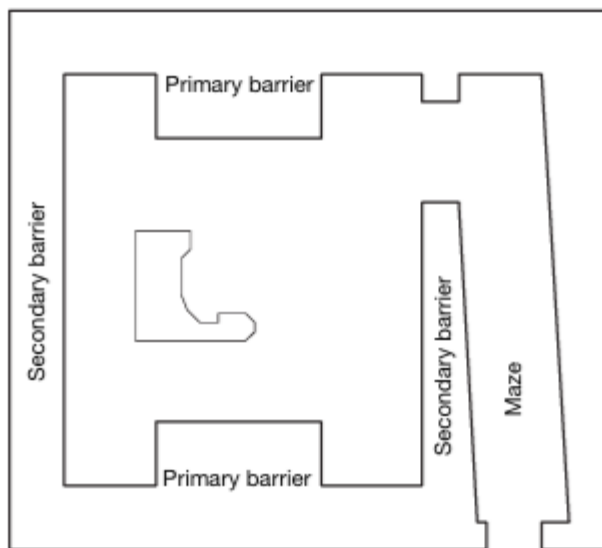
Për pajisjet me energji **mbi 10 MV**, duhet marrë parasysh **fluksa i neutroneve** (shih Seksionin 5.6).

Për skemën e pajisjes në **Figurën 1**, ku **boshti i rrotullimit të gantry-t është pingul me boshtin e koridorit (maze)**, **doza totale në hyrje të koridorit** ( $D_{\text{d}}$ ) jepet nga:

$$D_d = \sum_G D_p + \sum_G f \times D_w + \sum_G D_L + \sum_G D_T \quad (11)$$

ku:

- $\sum$  integron për të gjitha këndet e gantry-t;
- $D_p$  është doza që rezulton nga **rrezatimi i shpërhapur nga pacienti**;
- $f$  është **rrezatimi primar i transmetuar përmes pacientit**;
- $D_w$  është **rrezatimi primar i shpërhapur nga muri** në drejtim të korridorit (maze);
- $D_L$  është **rrezatimi i rrjedhur që shpërndahet përgjatë korridorit**;
- $D_T$  është **rrezatimi i rrjedhur i transmetuar përmes murit të korridorit**.



**FIG. 1. Skemë tipike e dhomës ku boshti i rrotullimit të gantry-t është pingul me boshtin e korridorit (maze)**

Në këtë skemë zakonisht paraqitet një pamje planimetrike (nga sipër) e bunker-it të terapisë me rrezatim, ku:

- **Gantry** është krahu rrotullues i pajisjes së trajtimit (zakonisht nga një akcelerator linear).
- **Maze** është korridori i hyrjes që shmang përdorimin e një dere të rëndë plumbi, duke siguruar dobësim të mjaftueshëm të rrezatimit përmes gjatësisë dhe kthesave të tij.
- Vendndodhja e pacientit dhe murit të brendshëm zakonisht jepet për të kuptuar burimet kryesore të rrezatimit të shpërhapur dhe rrjedhur që arrijnë hyrjen e korridorit.

Kur boshti i rrotullimit të gantry-t është **paralel me boshtin e korridorit (maze)** (Fig. 2), shprehja do të marrë formën:

$$D_d = \sum_G D_p + \sum_G f \times D_{wT} + \sum_G D_L + \sum_G D_T \quad (12)$$

Ku simbolet kanë të njëjtën kuptim si në ekuacionin (11), përveç se në këtë rast  $D_{WT}$  do të jetë rrezatimi primar që transmetohet përmes murit të korridorit dhe më pas shpërndahet drejt hyrjes së korridorit.

Ekuacionet (11) dhe (12) përdoren për të përcaktuar dozën totale në hyrjen e korridorit. Megjithatë, ato mund të përdoren edhe për të përcaktuar **IDR** (shkallën e dozës instantanee).

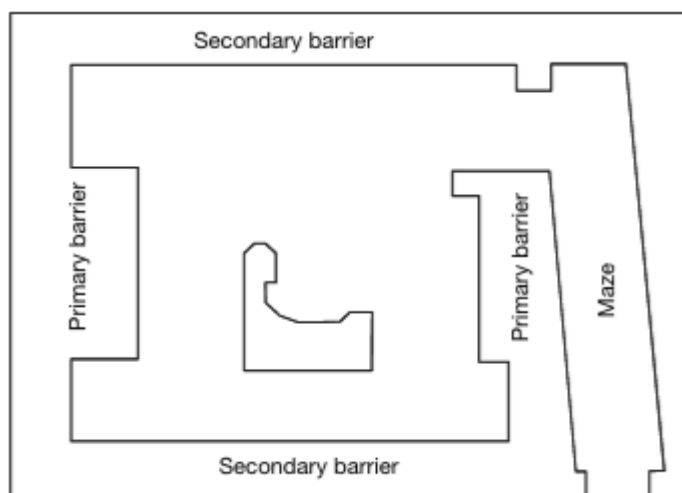
Ekuacionet që vijnë përdoren për të përcaktuar kontributet e dozës nga komponentë të ndryshëm. Nëse vlerat e **workload (W)** dhe **use factor (U)** në këto ekuacione zëvendësohen me **DR<sub>0</sub>** (shkalla e dozës së absorbimit në  $Gy \cdot h^{-1}$  në 1 m nga burimi i rrezatimit), atëherë rezultati është IDR në hyrje të korridorit.

#### 5.4.1. Doza që lind nga shpërhapja nga pacienti $D_p$

Raporti NCRP 51 [11] jep një shprehje përafërsisht për llogaritjen e shpërndarjes në fund të korridorit për rrezet X me energji nën 10 MV.

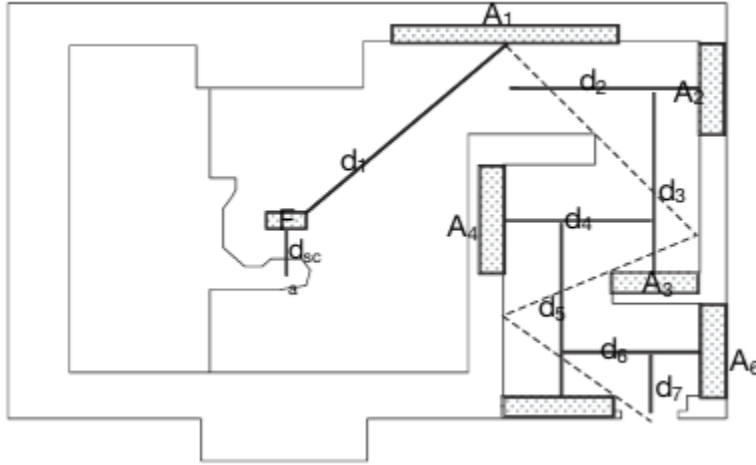
Figura 3 tregon rrugën e shpërndarjes përgjatë korridorit (shënuar me vijë të plotë), me incidencë normale në pesë mure reflektuese me reflektime  $90^\circ$  në secilën sipërfaqe. Korridori drejton shpërndarjen përgjatë çdo dege të tij.

Është gjithashtu e mundur të vizatohet rruga e shpërndarjes e treguar me vijë të prerë në figurë, që ka vetëm dy shpërndarje përgjatë korridorit me kënd incidence dhe reflektimi nominalisht  $45^\circ$  në secilën sipërfaqe.



**FIG. 2. Skemë tipike e dhomës ku boshti i rrotullimit të gantry-t është paralel me boshtin e korridorit (maze)**

Në këtë konfigurim, boshti i rrotullimit të pajisjes së trajtimit (gantry) është në të njëjtën drejtim me aksin e korridorit hyrës, gjë që ndryshon rrugën dhe shpërndarjen e rrezatimit brenda dhomës krahasuar me rastin kur boshtet janë pingul.



**FIG. 3. Diagramë skematike që tregon rrugët e shpërndarjes drejt hyrjes së korridorit (maze).**

(Për rrugën me vijë të prerë, sipërfaqet reflektuese do të jenë në këtë rrugë shpërndarjeje janë të ndryshme nga ato të treguara në Fig. 3. Në praktikë, është dëshmuar që doza e matur qëndron ndërmjet rezultateve të dhëna nga këto dy metoda.

Në formalizmin e NCRP [11], shpërhapursi i parë merret muri, por një përafërsi më e mirë arrihet nëse pacienti merret si shpërhapursi i parë.

Doza  $D_p$  në hyrjen e korridorit për shkak të shpërndarjes nga pacienti mund të përcaktohet nga ekuacioni (13). Ky ekuacion është i vlefshëm për çdo pozicionim të makinerisë brenda dhomës së trajtimit, dmth., nëse boshti i rrotullimit të gantry-t është ose pingul ose paralel me boshtin e korridorit.

$$D_p = \frac{WU_0a(F/400)(\alpha_1A_1)\cdots(\alpha_{n-1}A_{n-1})}{(d_{sca} \times d_1 \cdots d_n)^2} \quad (13)$$

Ku:

- **W** është workload-i (ngarkesa), në Gy·javë<sup>-1</sup>;
- **U<sub>0</sub>** është faktori i përdorimit (zakonisht supozohet 0.25 për secilën nga katër drejtimet kryesore të fushës së rrezatimit);
- **a, α<sub>1</sub>, F, A<sub>1</sub>** janë raporti primar i shpërndarjes tek pacienti (ose fantomi). Këto vlera janë të tabuluara për një fushë rrezatimi prej 400 cm<sup>2</sup> në pacient (Tabela 5);

- Koeficientët e reflektimit të mureve për rrezet X me energji 0.5 MeV (supozuar të jetë e njëjtë për të gjitha proceset e mëvonshme të shpërndarjes) janë dhënë në Tabelat 6 dhe 7;
- **A** është sipërfaqja e fushës që bie mbi pacientin, në cm<sup>2</sup>;
- Sipërfaqet e mureve (etc.) janë ato sipërfaqe ku rrezatimi i shpërhapur mund të përplasët dhe të reflektohet në korridor (maze). Sipërfaqet pasuese merren si sipërfaqet kryqëzuese të korridorit;
- **dsca** është distanca nga burimi i rrezatimit deri te pacienti, në metra;
- **d<sub>1</sub>...d<sub>n</sub>** janë distancat deri te sipërfaqja e ardhshme të shpërndarjes dhe më pas gjatësia e secilës degë të korridorit, në metra.

#### 5.4.2. Doza që lind nga rrezatimi primar i shpërhapur nga muri D<sub>w</sub>

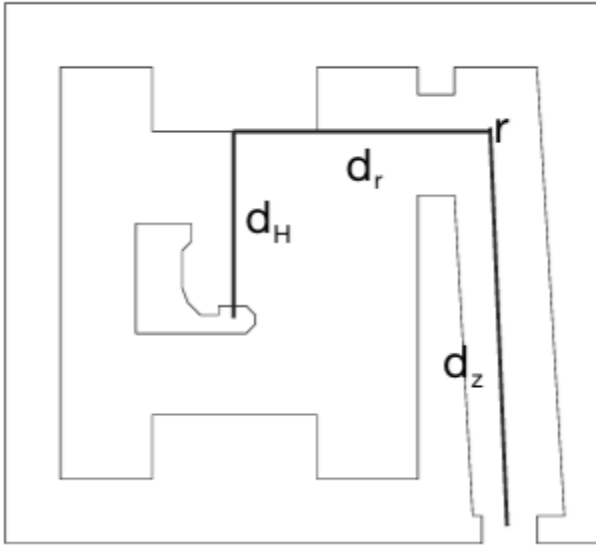
Kur boshti i rrotullimit të gantry-t është pingul me korridorin, doza **D<sub>w</sub>** do të rezultojë nga rrezatimi primar që shpërndahet nga muri H në korridor.

Në Fig. 4, doza që lind nga rrezatimi primar i shpërhapur nga muri H dhe depërton në korridor, **D<sub>w</sub>**, jepet nga:

$$D_w = \frac{WU_H}{d_H^2} \times \frac{\alpha_H A_H \alpha_r A_r}{d_r^2 \times d_z^2} \quad (14)$$

Ku:

- **W** është workload-i, në Gy·m<sup>2</sup> për javë;
- **U<sub>H</sub>** është faktori i përdorimit për murin H, zakonisht supozohet të jetë 0.25;
- **α<sub>H</sub>** është koeficienti i reflektimit nga muri H;
- **A<sub>H</sub>** është sipërfaqja e fushës maksimale të projektuar mbi murin H, në m<sup>2</sup>;
- **α<sub>r</sub>** është koeficienti i reflektimit të murit në pozicionin r;
- **A<sub>r</sub>** është sipërfaqja kryqëzuese e hapjes së brendshme të korridorit (maze), në m<sup>2</sup>.



**FIG. 4.** Diagramë skematike që tregon rrugën e shpërndarjes së rrezatimit primar drejt hyrjes së korridorit (boshti i rrotullimit të gantry-t është pingul me boshtin e korridorit).

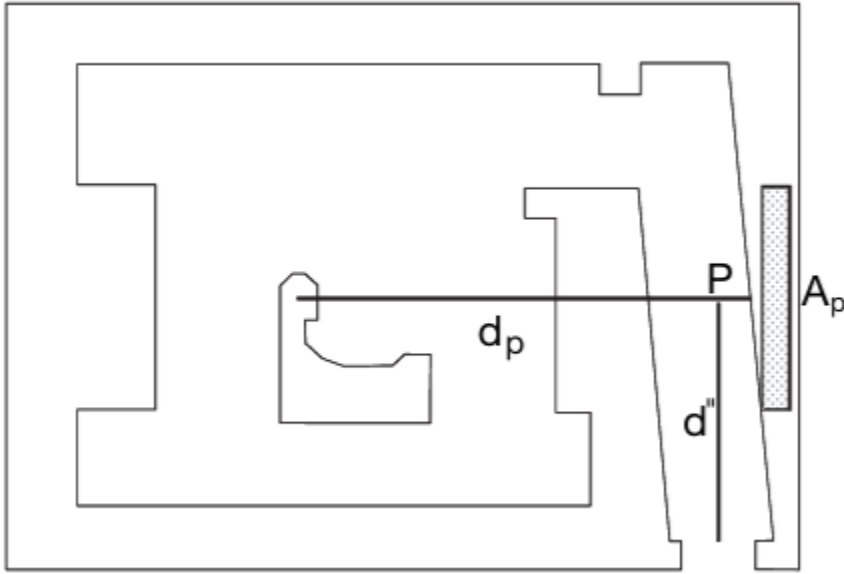
- $d_H$  është distanca nga burimi i rrezatimit deri te muri H, në metra;
- $d_r$  është distanca nga pika ku boshti qendror i fushës së rrezatimit përplasë në murin H deri te qendra e hapjes së korridorit në pikën r, në metra;
- $d_z$  është distanca nga pika r deri te hyrja e korridorit, në metra.

Kur boshti i rrotullimit të gantry-t është paralel me boshtin e korridorit, doza  $D_{wT}$  do të lindë nga rrezatimi primar i transmetuar përmes murit të korridorit deri te hyrja e tij, siç tregohet në Fig. 5.

$$D_{wT} = \frac{WU_m B_{pr} \alpha_P A_P}{(d_P d'')^2} \quad (15)$$

Ku:

- $W$  është workload-i, në Gy·m<sup>2</sup> për javë;
- $U_m$  është faktori i përdorimit për rrezen që drejtohet nga muri i korridorit (zakonisht 0.25);
- $B_{pr}$  është transmetimi i rrezatimit primar përmes murit të korridorit;
- $d_P$  është distanca nga burimi deri te qendra e murit P;
- $d$  është distanca nga qendra e murit P deri te hyrja e korridorit;
- $\alpha_P$  është koeficienti i reflektimit të murit në P;
- $A_P$  është sipërfaqja e fushës maksimale të projektuar mbi murin P, në metra katrorë.



**FIG. 5. Diagramë skematike që tregon rrugën e shpërndarjes së rrezatimit primar drejt hyrjes së korridorit (boshti i rrotullimit të gantry-t paralel me boshtin e korridorit).**

Për të dy orientimet e boshtit të rrotullimit të gantry-t, vetëm një pjesë e rrezatimit primar do të transmetohet përmes pacientit. Transmetimi i pacientit  $f$  merret si përqindja e dozës në thellësi për një fushë  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  në një thellësi  $30 \text{ cm}$ . Këto vlera janë të listuara në Tabelën 8 [21].

Për një korridor me shumë degë si në Fig. 3, ekuacionet (14) dhe (15) mund të modifikohen duke i shumëzuar me faktorë  $((a_j A_j / d_j^2)$  për degët  $j = 3$  deri në 6, në mënyrë të ngjashme me ekuacionin (13).

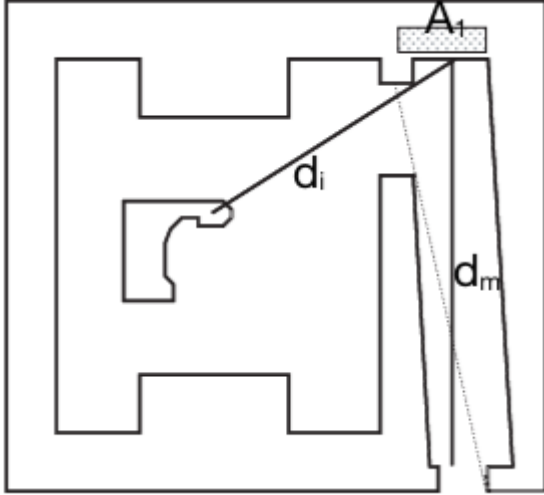
5.4.3. Doza që vjen nga shpërhapja e rrjedhjes së kokës së makinës në hyrjen e korridorit  $D_L$

Doza në derën e korridorit në Fig. 6, e shkaktuar nga rrjedhja e shpërndarë e kokës së makinës,  $D_L$ , jepet nga:

$$D_L = \frac{L_0 W \alpha_1 A_1}{(d_i d_m)^2} \quad (16)$$

ku

$L_0$  është fraksioni i dozës që vjen nga rrjedhja e kokës së pajisjes në një distancë prej  $1.0 \text{ m}$  nga burimi i rrezatimit, në krahasim me dozën në boshtin e rrezes në një metër (zakonisht në izocentër);  $W$  është ngarkesa javore (workload), në  $\text{Gy} \cdot \text{m}^2$  për javë;



**FIG. 6. Diagram skematik që tregon rrugën e rrjedhjes së shpërndarë nga koka e pajisjes drejt hyrjes së labirintit (maze).**

- $\alpha_1$  është koeficienti i reflektimit nga muri;
- $A_1$  është sipërfaqja e murit që mund të shihet nga hyrja e labirintit;
- $d_i$  është distanca nga burimi i rrezatimit deri në vijën qendrore të labirintit;
- $d_m$  është distanca përgjatë vijës qendrore të labirintit.

Ashtu si në ekuacionin (13), ky ekuacion është i vlefshëm për çdo pozicionim të pajisjes brenda dhomës së trajtimit. Fraksioni i dozës që i atribuohet rrjedhjes nga koka e pajisjes merret si **0.001 (0.1%)**, dhe energjia e rrezatimit nga rrjedhja e kokës mund të merret si **1.4 MeV për rrezet X 6 MV** dhe **1.5 MeV për rrezet X 10 MV** [22].

Gjithashtu, për një labirint me shumë kthesa, siç tregohet në Fig. 3, **ekuacioni (16)** mund të modifikohet duke shumëzuar me faktorët  $(\alpha_j \cdot A_j / d_j^2)$  për kthesat **j = 3 deri në 6**, në mënyrë të ngjashme me ekuacionin (13).

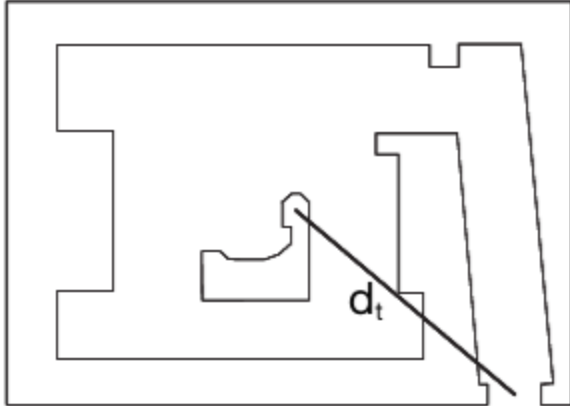
#### 5.4.4. Transmetimi i rrjedhjes nga koka drejt hyrjes së labirintit DT

Në **Fig. 7**, doza e rrezatimit në hyrjen e labirintit që vjen nga rrjedhja e kokës së pajisjes dhe transmetohet përmes murit të labirintit do të jepet nga:

$$D_T = \frac{L_0 WB}{(d_t)^2} \quad (17)$$

ku:

- $L_0$  është fraksioni i dozës që vjen nga rrjedhja e kokës së pajisjes në distancë 1 metër nga burimi i rrezatimit, në krahasim me dozën në boshtin e rrezes në 1 metër (zakonisht në izocentër);
- $W$  është ngarkesa javore e pajisjes (workload), në  $Gy \cdot m^2$  në javë;
- $B$  është faktori i transmetimit përmes murit të labirintit;
- $d_t$  është distanca nga burimi i rrezatimit deri te hyrja e labirintit, në metra.



**FIG. 7. Diagramë skematike që tregon rrugën e rrezatimit të rrjedhjes nga koka e pajisjes, që transmetohet përmes murit të labirintit deri te hyrja e labirintit.**

Ky ekuacion është i zbatueshëm si kur boshti i rrotullimit të gantrisë është paralel, ashtu edhe kur është pingul me boshtin e labirintit (shih Ekuacionet (13) dhe (16)). Kur muri i labirintit është një **barrierë primare**, ky kontribut duhet të jetë i papërfillshëm.

Ka një rast të veçantë kur:

- **boshti i rrotullimit të gantrisë është pingul** me boshtin e labirintit,
- **dhe dhoma ka një labirint të gjatë mesatar,**
- **dhe faktori i përdorimit mund të merret si 0.25** për katër drejtimet kryesore të rrezes.

Në këtë rast, **doza totale e fotonit** në hyrjen e labirintit do të jetë **shuma e dozave për skenarin më të keq**, shumëzuar me 2.64. Në Fig. 4, ky skenar më i keq është kur **rrezja është e drejtuar nga muri H**.

(Vërejtje: faktori i përdorimit 0.25 duhet të zbatohet për të gjitha katër komponentët, përfshirë edhe dozën e rrjedhjes  $D_{LH}$ .)

$$D_d = 2.64 \left( D_{pH} + f \times D_{wH} + D_{LH} + D_{TH} \right) \quad (18)$$

**ku:**

**f** — është faktori i transmetimit të pacientit i përshkruar më herët në këtë seksion dhe i paraqitur në Tabelën 8.

Në **Mbretërinë e Bashkuar**, doza e (IDR) në hyrjen e labirintit për secilin kënd të gantrisë do të llogaritej. Kjo arrihet duke zëvendësuar normën e dozës **DR<sub>0</sub>** në 1 m (zakonisht në izocentër) për ngarkesën e punës (W), faktorin e përdorimit (U) dhe faktorin e zënies (T) në ekuacionet e mësipërme. Përshtatshmëria e Projektimit të labirintit do të vlerësohet mbi bazën e **IDR-së për skenarin më të keq**. Qëllimi do të ishte të reduktohet **IDR në hyrjen e labirintit në 7.5 mSv/h ose më pak** për këtë rast më të keq.

Metodat e përshkruara në këtë seksion janë gjithashtu të vlefshme për akseleratorë me energji më të madhe se 10 MV. **Megjithatë**, në këto raste duhet marrë parasysh edhe prania e **foneutronëve** dhe **gama të kapjes**, çka përshkruhet në Seksionin 5.7.

## 5.5. Dyert

Pasi të jetë llogaritur doza në fund të labirintit, nevoja për një **derë për qëllime sigurie ndaj rrezatimit** mund të përcaktohet. Kjo do të varet nga kufiri i Projektimit të dozës që është në fuqi.

Në **Mbretërinë e Bashkuar**, udhëzimi [6] është që zona të kategorizohet si:

- **e kontrolluar**, nëse **IDR > 7.5 mikroSv/h**, dhe
- **e mbikëqyrur**, nëse **TADR < 7.5 mikroSv/h** me një IDR maksimale prej 500 mikroSv/h.

Për një **zonë të kontrolluar**, kufiri vjetor i Projektimit të dozës është **6 mSv në vit** në Mbretërinë e Bashkuar [7], ndërsa **NCRP në SHBA rekomandon një pjesë të 10 mSv në vit** [9].

Për një **zonë publike**, kufiri i Projektimit është **0.3 mSv në vit** në Mbretërinë e Bashkuar dhe **1 mSv në vit** në SHBA [10].

Në Mbretërinë e Bashkuar, **një zonë publike ose e pa mbikëqyrur** duhet të ketë një **TADR më pak se 0.5 mikroSv/h** dhe një **IDR maksimale prej 7.5 mikroSv/h** [6].

Pjesët e mëposhtme janë të rëndësishme për vendimin nëse nevojitet një derë:

- **Duke pjesëtuar kufirin e zgjedhur të dozës së projektuar me vlerën e llogaritur të dozës në fund të labirintit**, mund të përcaktohet **dobësimi (atenuimi)** i kërkuar që duhet të ofrojë dera.
- Të dhënat për të përcaktuar **TVL-në e kërkuar të plumbit** janë dhënë në Tabelën 4.

Nëse një **derë e mbrojtur nuk kërkohet**, rekomandohet gjithsesi që të ketë një **pengesë fizike** në hyrjen e labirintit, si **një portë**, për të penguar hyrjen e paautorizuar.

Gjithashtu, rekomandohet që instalimet e njësive  **$^{60}\text{Co}$**  të kenë **dyer që mund të kyçen**, në mënyrë që hyrja të mund të kufizohet jashtë orarit normal të përdorimit (shih gjithashtu Seksionin 3.11).

## 5.6. Neutronët në dhomat e akseleratorëve linearë me energji të lartë

Prodhimi i neutroneve bëhet i rëndësishëm në akseleratorët linearë mjekësorë me energji të lartë (linac) **mbi 10 MV**. **Fotoneutronët** prodhohen kur fotonet ndërveprojnë me **kollimatorët, targetin, filtërin e sheshezimit** (flattening filter) dhe me materiale të tjera përgjatë rrugës së rrezeve të elektroneve dhe fotoneve.

**Plumbi, tungsteni** dhe materiale të tjera me numër atomik të lartë (Z) janë **efektivë si mbrojtje ndaj fotoneve**, por **jo ndaj neutroneve**. Megjithatë, për shkak të reaksioneve të tilla si **(n,2n)** dhe **(n,p)**, si dhe përhapjes jo elastike (inelastike), metalet e rënda gjithashtu ofrojnë **efekte mbrojtëse duke ulur energjinë mesatare të neutroneve**.

**Fluksi i neutroneve** në çdo pikë të dhomës përbëhet nga:

- **neutronë të drejtpërdrejtë**
- **neutronë të shpërndarë**
- dhe **neutronë termikë**

**McCall et al. [23]** kanë treguar se **fluksi i drejtpërdrejtë i neutroneve** jepet nga një shprehje specifike që vijon (mund të vazhdoj me përkthimin e formulës dhe pjesës tjetër nëse dëshiron).

$$\varphi_d = \frac{Q_N}{4\pi d^2} \quad (19)$$

**Ku:**

- **d** është **largësia** nga burimi (zakonisht izocentri ose koka e akseleratorit) deri në pikën e interesit, në metra.
- **$Q_N$**  është **forca e dukshme e burimit të neutroneve**, e shprehur si **numri i neutroneve të emetuar nga koka e mbrojtur e akseleratorit për njësi doze fotonësh të dorëzuar në izocentër**.

**Vlera e  $Q_N$**  varet nga materiali i mbrojtjes së kokës së akseleratorit:

- **$Q_N$**  është e njete me **Q** nëse koka është e mbrojtur me **plumb**,
- **$Q_N=0.85Q$**  nëse është e mbrojtur me **tungsten**.

## **Fluksi i neutroneve të shpërndarë (scatter neutron fluence)**

Fluksi i neutroneve të shpërndarë jepet nga:

$$\varphi_{sc} = \frac{5.4Q_N}{S} \quad (20)$$

ku:

S është sipërfaqja e përgjithshme e dhomës së trajtimit duke përfshiruar zonën e korridorit (mazes). Sipërfaqja S përbëhet nga shuma e të gjitha sipërfaqeve të mureve që janë të dukshme nga izocentri.

Kur barrierat primare dalin përtej në dhomën e trajtimit, ato zvogëlojnë sipërfaqen e murit të ekspozuar ndaj neutroneve.

Në këto raste, sipërfaqja llogaritet më mirë duke përdorur mesataren e dimensioneve maksimale dhe minimale të dhomës për të përcaktuar sipërfaqen.

Shembulli 10 në Seksionin 6.3 ilustron metodën e përdorur për të llogaritur S.

McCall [24] raportoi se në një dhomë betoni ku ndodhet një akselerator, fluksi i neutroneve termikë jepet nga:

$$\varphi_{th} = \frac{1.26 Q_N}{S} \quad (21)$$

Duke kombinuar të tre komponentët, fluksi total i neutroneve në një distancë  $d$  për njësi doze fotonesh në izocentër jepet nga:

$$\varphi = \varphi_d + \varphi_{sc} + \varphi_{th} \quad (22)$$

Për akceleratorët linearë mjekësorë me energji në intervalin 10–25 MV, vlerat e fuqisë burimore të neutroneve janë të disponueshme në literaturën e botuar dhe janë paraqitur në Tabelën 9 [14, 29].

Fluksi i neutroneve lidhet me ekuivalentin e dozës neutronike (rem), por faktori i konvertimit varet nga energjia e neutroneve. McCall et al. [28] ofruan një recete për të përcaktuar energjinë mesatare të neutroneve. Ekuivalenti i dozës mund të përftohet më pas nga fluksi i neutroneve duke përdorur faktorët e konvertimit të tabuluar. Një metodë për përcaktimin e energjisë mesatare të neutroneve është përshkruar në Ref. [26]. Megjithatë, për akceleratorët linearë me energji ndërmjet 10 MV dhe 25 MV, energjia mesatare e neutroneve direkte që dalin nga koka e mbrojtur nuk është zakonisht më e lartë se 1 MeV, ndërsa energjia mesatare e neutroneve të shpërndarë nga dhoma është rreth 0.24 MeV [26]. Bazuar në metodën e përshkruar në Ref. [26], energjia mesatare e neutroneve, duke përfshiruar neutroneve termike, është rreth 0.34 MeV. (Shënim:  $1 \text{ rem} = 1.00 \times 10^{-2} \text{ Sv}$ )

Neutronet e shpejtë zbuten në mënyrë efikase nga materiale me përmbajtje të lartë hidrogjeni. Betoni ka një përmbajtje relativisht të lartë hidrogjeni (përmbajtja e ujit është 4–5% sipas peshës) dhe TVL (trashësia për një nivel barazimi të vlerës së dozës) për fotoneutronet me energji 0.34

MeV në beton është rreth 210 mm. Kjo është afërsisht gjysma e vlerës së TVL-së për betonin ndaj rrezeve X me energji të lartë (10–25 MeV), që është 400–500 mm. Prandaj, nëse mbrojtja është e mjaftueshme për fotonet, ajo do të jetë gjithashtu e mjaftueshme për neutronet. Megjithatë, ndonëse dendësisë e ndryshme të betonit ndikojnë në transmetimin e fotoneve, ato nuk ndikojnë në transmetimin e neutroneve, kështu që duhet përdorur një TVL prej 210 mm në beton, pavarësisht dendësisë së tij. Specifikimet e rrjedhjes së neutroneve për të gjithë akceleratorët linearë mjekësorë kryesorë janë më të ulëta se 2–3 mSv për çdo Gy të depozituar në izocentër, ndërsa specifikimi i rrjedhjes së fotoneve që përdoret në llogaritjet për mbrojtjen e dhomës është 1 mGy për çdo Gy në izocentër (0.1%). Prandaj, për sa kohë që mbrojtja me beton e projektuar për mbrojtje ndaj rrjedhjes së fotoneve është të paktën një TVL, e njëjta mbrojtje do të zvogëlojë rrjedhjen e neutroneve nën nivelin e rrjedhjes së fotoneve.

Nëse për mbrojtjen e dhomës përdoren metale të rënda ose materiale me numër atomik të lartë (Z), një mbrojtje e mjaftueshme për fotonet **nuk** nënkupton automatikisht një mbrojtje të mjaftueshme për neutronet. Nëse në mbrojtje është përfshirë plumbi ose hekuri, do të nevojitet një material moderator për të kapur neutronet që janë ngadalësuar brenda metalit. Duhet kryer një vlerësim i kujdesshëm për mbrojtjen ndaj neutroneve për të siguruar sigurinë. Ky vlerësim mund të jetë kompleks dhe nuk trajtohet në këtë raport. Lexuesi duhet të kërkojë këshilla nga ekspertë të fushës.

## 5.7. Dozat e gammës dhe neutroneve në hyrjen e labirinitit

Një dhomë tipike trajtimi me akcelerator linear përdor një dizajn maze për të zvogëluar dozën në hyrjen e jashtme në mënyrë që të mos kërkohej mbrojtje e rëndë në dyer. Kjo është veçanërisht e rëndësishme për akceleratorët me energji të lartë mbi 10 MV për shkak të neutroneve të shpërndara dhe fotoneve të gammas së kapjes, të gjeneruara nga neutronet që ndërveprojnë me derën e mazës dhe muret e mazës.

Doza në hyrjen e jashtme të mazës mund të merret duke vlerësuar tre përbërësit kryesorë: dozën e fotoneve të shpërndara dhe rrjedhjes, dozën e gammas së kapjes dhe dozën e neutroneve. Doza e fotoneve të shpërndara dhe rrjedhjes mund të vlerësohet duke përdorur metodat e përshkruara në Seksionin 5.4. Ky është përbërësi më i rëndësishëm për akceleratorët me energji nën 10 MV. Për energjitë më të larta të akceleratorit, përbërësit e dozës së gammas së kapjes dhe neutroneve dominojnë pasi rriten shpejt me energjinë e akceleratorit.

McGinley [14] zhvilloi metoda për të vlerësuar përbërësit e dozës së gammas së kapjes dhe neutroneve për një dhomë tipike akceleratori si ajo e treguar në Fig. 8 dhe këto përshkruhen në Seksionet 5.7.1 dhe 5.7.2.

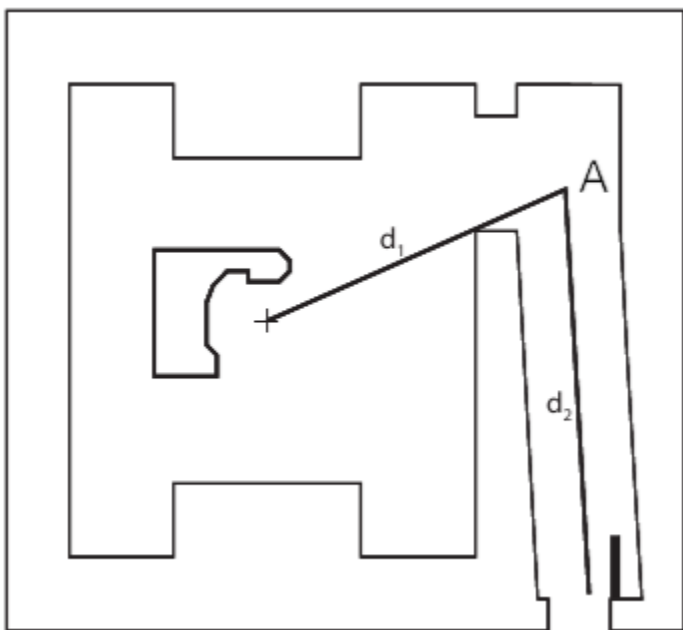
### 5.7.1. Doza e gammas

Në Fig. 8, doza e gammas së kapjes në mazë  $D\phi$  varet nga gjatësia e mazës  $d_2$  dhe fluksi total i neutroneve  $\phi A$  në pikën e brendshme të mazës A. Pika e brendshme e mazës A është pika ku

ndërpritet linja qendrore e mazës me linjën që lidh izocentrin dhe fundin e murit të mazës, në 1 metër mbi nivelin e dyshemesë. Figura 8 tregon vendndodhjen e pikës A.

Fluksi total i neutroneve  $\phi_A$  në pikën e brendshme të mazës A mund të vlerësohet nga fuqia e dukshme e burimit të neutroneve  $Q_N$ , distanca  $d_1$  (në metra) nga pozicioni mesatar i burimit deri në pikën e brendshme të mazës A, dhe sipërfaqja e dhomës së trajtimit  $S$  (në m<sup>2</sup>). Fluksi total i neutroneve është shuma e neutroneve të drejtpërdrejta nga koka e akceleratorit, neutroneve të shpërndara dhe neutroneve termike, siç tregohet në Eq. 23 [27]:

$$\phi_A = \frac{Q_N}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_N}{2\pi S} + \frac{1.26Q_N}{2\pi S} \quad (23)$$



**FIG. 8.** Një dhomë tipike akceleratori me një maze, duke treguar distancat e përdorura për të përcaktuar dozën e gammas.

ku:

- $\phi_A$  është fluksi total i neutroneve në pikën e brendshme të mazës A, në  $n \cdot m^{-2}$  për X ray·Gy në 1 m (për makinat me energji të lartë izocentri supozohet të jetë në 1 m sipas formalizmit më poshtë);
- $Q_N$  është fuqia e burimit të neutroneve, siç jepet në Tabelën 9;
- $d_1$  është distanca nga izocentri deri në pikën e brendshme të mazës A, në metra;
- $S$  është sipërfaqja e dhomës së trajtimit, në m<sup>2</sup>.

Frakcioni  $\frac{1}{2}\pi$  në termat e dytë dhe të tretë është i nevojshëm për të marrë parasysh faktin që vetëm një pjesë e sipërfaqes së dhomës mund të kontribuojë në fluksin e neutroneve në pikën A [28].

Pasi të përcaktohet fluksi total i neutroneve  $\phi_A$  në pikën e brendshme të mazës, doza e gammas së kapjes  $D_\phi$  përcaktohet si vijon:

$$D_\phi = 5.7 \times 10^{-16} \times \phi_A \times 10^{-\frac{d_2}{6.2}} \quad (24)$$

ku

$D_\phi$  është doza e gammas së kapjes, në Gy për foton në izocentër. Gy për një gjatësi të mazës  $d_2$  në metra [29]. Doza ekuivalente javore për shkak të gammas së kapjes, në  $\text{Sv} \cdot \text{javë}^{-1}$ , është produkti i ngarkesës së punës dhe  $D_\phi$ :

$$D_c = W \times D_\phi \quad (25)$$

ku  $W$  është ngarkesa javore e punës, në  $\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ .

#### 5.7.2. Doza e neutroneve

Në hyrjen e mazës, doza ekuivalente e neutronit është zakonisht komponenti dominues për akseleratorët me energji mbi 10 MV. Doza e neutronit në çdo pikë të mazës varet nga disa faktorë, përfshirë distancën nga pika e brendshme e mazës A deri te izocentri ( $d_1$ ), sipërfaqen  $S$  të dhomës së trajtimit, sipërfaqen e prerjes së hyrjes së brendshme të mazës ( $A_r$ ) dhe sipërfaqen e prerjes së mazës ( $S_1$ ). Gjithashtu, është funksion i energjisë, këndit të gantrisë dhe madhësisë së fushës së rrezatimit me fotone.

Në pikën e brendshme të mazës A (e shfaqur në Fig. 8), ekuacioni (23) jep rrjedhën totale të neutronëve, e cila është funksion i  $d_1$ ,  $S$  dhe  $Q_N$ . Për të reduktuar rrjedhën e neutronëve në A, mund të zgjidhet një distancë më e gjatë  $d_1$ , ose një sipërfaqe më e vogël hyrjeje brenda mazës  $A_r$  gjatë Projektimit të dhomës. Një dhomë më e madhe gjithashtu do të ulë dozën e neutronëve në A.

Doza e neutronëve zvogëlohet përgjatë mazës me një gjatësi vlerë dhjetë (TN) prej 5–7.5 m për shumë dhoma akseleratorësh mjekësorë. Vlera e TN varet nga sipërfaqja e prerjes së mazës. Një sipërfaqe më e vogël prerjeje lejon më shumë ndërveprime midis neutronëve dhe murit, duke ulur kështu dozën e matur në hyrjen e mazës dhe gjatësinë e vlerës dhjetë.

Doza e neutronëve në mazë është më e lartë kur këndi i gantrisë është në pozicionin më afër hyrjes së brendshme të mazës. Kjo sepse neutronët e prodhuar dalin nga koka në të gjitha drejtimet, pasi materiali i mbrojtjes së kokës me numër atomik të lartë ka pak efekt në ndalimin e tyre. Doza më e ulët gjendet kur koka e gantrisë është më larg, edhe nëse rrezja me fotone është e drejtuar në drejtim të hyrjes së brendshme të mazës. Nuk është e pazakontë të shohim një

ndryshim faktor 2 në dozë midis këtyre dy këndeve të gantrisë. Kur rrezja është drejtuar poshtë, doza është pak më e lartë se mesatarja e dy rasteve ekstreme [29]. Për qëllime llogaritjesh mbrojtëse, konsiderohet e përshtatshme përdorimi i të dhënave të dozës së neutronëve me rrezën të drejtuar poshtë.

Madhësitë më të vogla të fushës rezultojnë në një dozë më të lartë neutronësh në çdo pikë përgjatë mazës në distancë më shumë se 1 m nga pika A. Duke krahasuar dozat në të njëjtën pikë me rrezën të vendosur në madhësinë më të madhe dhe më të vogël të fushës, ndryshimi është rreth 10–20% për një mazë me Projektimin e përshkruar në këtë publikim [29]. Prandaj, për arsye konservative, kolimatorët supozohen të jenë në pozicionin plotësisht të mbyllur kur bëhen vlerësimet e dozës së neutronëve.

McGinley dhe Butker [30] vlerësuan dozën ekuivalente të neutronëve në hyrjen e mazës në disa objekte akseleratorësh mjekësorë me energji të lartë dhe krahasuan rezultatet me metodën empirike të zhvilluar nga Kersey [31]. Ata zbuluan se metoda e Kersey-it në përgjithësi jepte vlerësime më të larta të dozës dhe prandaj është konservative për qëllime të llogaritjeve të kërkesave për mbrojtje. Metoda e Kersey-it jep dozën ekuivalente të neutronëve në hyrjen e mazës si më poshtë:

$$D_n = H_1 \times 10^{-3} \times (A_r / S_1) \times (1/d_1)^2 \times 10^{-d_2/5} \quad (26)$$

ku

$D_n$  është doza ekuivalente e neutronëve në hyrjen e mazës, në Sv për X-ray·Gy në izocentër.  
 $H_1$  është doza ekuivalente e neutronëve në 1 m nga burimi i rrezeve X (targeti), në mSv për X-ray·Gy në izocentër. Vlerat e  $H_1$  janë tabeluar në Tabelën 10.

$A_r$  dhe  $S_1$  janë sipërfaqet e prerjes së hyrjes së brendshme të mazës dhe të mazës, përkatësisht, në  $m^2$ .

$d_1$  është distanca, në metra, nga izocentri deri te pika e brendshme e mazës A, siç është përcaktuar më sipër.

$d_2$  është distanca, në metra, nga pika e brendshme e mazës A deri te hyrja e jashtme e mazës.

Për një mazë me një kthesë shtesë si në Fig. 9, doza në hyrjen e mazës jepet nga ekuacioni më poshtë [14]:

$$D_n = H_1 \times 10^{-3} \times (A_r / S_1) \times (1/d_2)^2 \times (10^{-d_2/5}) \times (10^{-d_3/5}) \times (1/3) \quad (27)$$

ku:

$d_2$  është distanca, në metra, nga pika A deri te pika B në Fig. 9;

$d_3$  është distanca, në metra, nga pika B deri te hyrja e mazës.

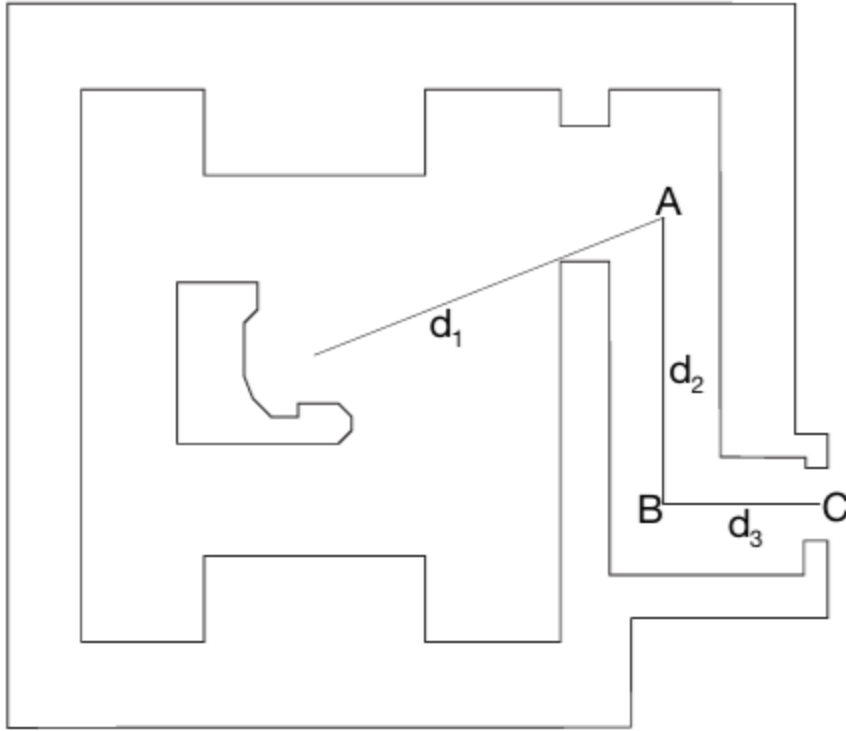
Nga ky ekuacion kuptohet se shtimi i një kthese në Projektimin e mazës ul dozën e neutronëve në hyrjen e mazës me një faktor prej 1/3 për të njëjtën gjatësi totale të mazës. Kjo ndodh sepse shumica e neutronëve do të kenë më shumë ndërveprime me murin e mazës para se të dalin në hyrjen e mazës. Kjo ulje nuk do të jetë e vlefshme nëse njëra nga kthesat e mazës është shumë e

shkurtër, ose sipërfaqja e prerjes së mazës apo e hyrjes së mazës është shumë e madhe. Lexuesi këshillohet të vlerësojë situatën specifike për vlefshmërinë e ekuacionit.

Për facilitetet e akseleratorëve me dizajn strukturor të ngjashëm me atë të Fig. 8, doza ekuivalente e neutronëve mund të merret me një metodë alternative të zhvilluar nga Wu dhe McGinley [29]. Ata gjetën se doza e neutronëve zvogëlohet përgjatë mazës me një gjatësi vlerë dhjetë proporcionale me rrënjën katrore të sipërfaqes së prerjes së mazës:

$$T_N = 2.06 \times \sqrt{S_1} \quad (28)$$

where  $T_N$  is the tenth value length, in m;  $S_1$  is the cross-sectional area of the maze, in m. Wu and McGinley [29] also found that the neutron dose equivalent at a point along the maze is given by the equation:



**FIG. 9. Dhoma me dy kthesa në mazen që tregon distancat e përdorura për të përcaktuar dozën e gamma kapur.**

$$D_n = 2.4 \times 10^{-15} \times \varphi_A \times \sqrt{A_r/S_1} \times \left[ 1.64 \times 10^{-\left(\frac{d_2}{1.9}\right)} + 10^{-\left(\frac{d_2}{T_N}\right)} \right] \quad (29)$$

ku

- $D_n$  është doza ekuivalente e neutronëve në hyrjen e mazës, në Sv për X-ray·Gy në izocentër;
- $\phi_A$  është fluenca e neutronëve e dhënë nga Eq. (23).

Ekuacionet (26), (27) dhe (29) të gjitha japin vlerësime të besueshme për dozën ekuivalente. Ekuacioni (27) zakonisht jep vlerësime më konservatore për qëllime mbrojtjeje. Për dizajne dhomash trajtimi me madhësi të jashtëzakonshme, ose maza me gjerësi apo gjatësi të jashtëzakonshme, Eq. (29) do të japë rezultate më të sakta. Lexuesi këshillohet të vlerësojë përparësitë e të dy ekuacioneve para se të zgjedhë vlerën për të marrë dozën javore të parashikuar nga neutronët.

Doza javore nga neutronët jepet me ekuacionin vijues:  $D_E = W \times D_N$  (30)

Ku:

- $D_E$  është doza ekuivalente javore nga neutronët, në Sv·javë<sup>-1</sup>;
- $W$  është ngarkesa javore (Gy·m<sup>2</sup>).

Doza totale javore  $D_W$  në hyrjen e jashtme të mazës është shuma e të tre komponentëve:

$D_d$  nga ekuacioni (18),

$D_c$  nga ekuacioni (25),

dhe  $D_E$  nga ekuacioni (30):

$$D_W = D_d + D_c + D_E \quad (31)$$

### 5.7.3. Projektimi i derës së mazës

Projektimi i derës për mbrojtje kundër fotoneve të shpërndara dhe rrjedhëse që arrijnë derën e mazës përshkruhet në Seksionin 5.7. Për akseleratorët me energji të lartë, doza nga shpërndarja dhe rrjedhja është relativisht e ulët në krahasim me dy komponentët e tjerë (gamma kapur dhe neutronët).

Energjia mesatare e rrezatimit gamma të kapur është 3.6 MeV [14], dhe mund të arrijë deri në rreth 10 MeV [26] për maza shumë të shkurtra. Trashësia e plumbit përcaktohet duke përdorur një TVL prej 61 mm [26]. Për dhomat me gjatësi maze mbi 5 m, energjia e rrezeve gamma është shumë më e ulët, duke kërkuar një TVL prej rreth 6 mm plumb [31].

Energjia mesatare e neutronëve në hyrjen e mazës është rreth 100 keV për të gjitha akseleratorët. TVL në polietileni është 45 mm [26]. Polietileni i boratuar (5% peshë) është pak më efektiv në mbrojtjen nga neutronët e shpejtë, por shumë më efektiv kundër neutronëve termikë në krahasim me polietilenin pa bor. TVL është 38 mm për neutronët 2 MeV dhe 12 mm për neutronët termikë sipas disa publikimeve. Për qëllime mbrojtjeje të derës së mazës, rekomandohet të përdoret vlera 45 mm për trashësinë e polietilenit me bor (BPE).

Shumë dhoma akseleratori me gjatësi të mjaftueshme maze do të kërkojnë 6–12 mm plumb dhe 20–40 mm BPE për mbrojtje nën limitin e projektuar. Aranzhimi i zakonshëm është që BPE të vendoset mes dy shtresave plumbi. Plumbi nga ana e rrezatimit ndaj BPE-së zvogëlon energjinë e neutronëve me shpërndarje jo elastike, duke e bërë BPE më efektiv në mbrojtjen nga neutronët. Plumbi nga jashtë e BPE-së do të shërbejë për të zbutur rrezatimin gamma të kapur nga BPE me energji 0.473 MeV.

Dhoma akseleratori me gjatësi të shkurtër maze do të kërkojnë plumb dhe BPE shumë më të trashë. Kjo sepse gamma kapur nga ndërveprimi i neutronëve me betonin ka një energji mesatare 7.2 MeV, me energjinë më të lartë deri në 10 MeV [32]. TVL për këtë rang energjie është 61 mm plumb. Për më tepër, neutronët në hyrjen e maze-ve të shkurtra kanë energji më të larta dhe janë më pak termalizuar, duke kërkuar deri në trefishin e trashësisë së BPE për mbrojtje. Për më shumë informacion mbi Projektimin e maze-ve të shkurtra dhe ndërtimet direkte të derës së mbrojtjes, lexuesi këshillohet të konsultojë publikime të tjera [13, 26].

Një dhomë akseleratori me maze të gjatë, si në Fig. 1, do të kërkojë një derë relativisht të lehtë, siç tregohet në Seksionin 6.3.3.4, Shembulli 12, dhe Seksionet 9.3.7 dhe 9.3.8, Shembujt 7 dhe 8. Mbrojtja ndaj neutronëve përbën shumicën e peshës së derës. Për të dizajnuar një dhomë trajtimi që kërkon më pak mbrojtje në derë, mund të konsiderohet rritja e gjatësisë së mazës, zvogëlimi i sipërfaqes së hapjes së brendshme të mazës, dhe shtimi i një kthese në maze. Mënyra të tjera për të zvogëluar kërkesat për mbrojtje të derës përfshijnë aplikimin e BPE-së në muret e mazës për të zvogëluar dozën e neutronëve [33], dhe shtimin e një dere të brendshme të mazës që mund të mbyllet kur përdoret rrezatim me energji të lartë [29].

## 5.8. TË DHËNAT

TABELA 2. PËRMBLEDHJE E KUFIZIMEVE TË REKOMANDUARA/LIGJORE TË DOZËS EFEKTIVE DHE KUFIZIMEVE TË DOZËS EFEKTIVE PËR PROJEKTIMIN

| Dose limit                             | IAEA [1]                                                                        | USA                                                                                                       | United Kingdom                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Occupational exposure dose limit       | 20 mSv per year averaged over 5 consecutive years and 50 mSv in any single year | Implied annual limit of 10 mSv, cumulative dose of age $\times$ 10 mSv, and 50 mSv in any single year [9] | 20 mSv in a year or 100 mSv in 5 consecutive years and 50 mSv in any single year [7]                                                                                                  |
| Design limit for occupational exposure |                                                                                 | Fraction of 10 mSv annually [9]                                                                           | 6 mSv in a year [7]<br>IDR is $7.5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ [6]                                                                                                                |
| Public dose limit                      | 1 mSv in a year                                                                 | Infrequently, 5 mSv annually, and continually, 1 mSv annually [9]                                         | 1 mSv in a year [7]                                                                                                                                                                   |
| Design limit for public area           |                                                                                 | 1 mSv annually [10]<br>20 $\mu\text{Sv}$ in any hour [8]                                                  | 0.3 mSv in a year [7]<br>IDR is $<7.5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ [6]<br>TADR is $<0.5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ [6]<br>TADR2000 $<0.15 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ [6] |

TABELA 3. FAKTORËT E PONDERUESTË NDRYSHËM

(sa herë që është e mundur, duhet të vlerësohet situata lokale para përcaktimit të faktorëve që do të përdoren)

| Type of area                                                                                                        | NCRP 49 [2] | BIR/IPEM 2000 [12] |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| Offices, reception areas, laboratories, shops, children's play areas, nurse's stations, staff rooms<br>Control room | 1           | 1                  |
| Wards, patient rooms                                                                                                | 1           | 0.2                |
| Patient examination and treatment rooms                                                                             | —           | 0.5                |
| Corridors                                                                                                           | 1/4         | 0.2                |
| Toilets, bathrooms, outside areas with seating                                                                      | 1/16        | 0.1                |
| Stairways, unattended waiting rooms, store rooms (not film)                                                         | 1/16        | 0.05               |

TABELA 4. SHITESA E DHJETË DOBESUESE (TVL) PËR Co-60 DHE ENERJITË E RREZEVE X

(vlera të përafërta bazuar në zbutje të madhe)

|                                                               | Co-60 <sup>a</sup> | 4 MV <sup>b</sup> | 6 MV <sup>b</sup> | 10 MV <sup>b</sup> | 15 MV <sup>b</sup> | 18 MV <sup>b</sup> | 20 MV <sup>b</sup> | 24 MV <sup>b</sup> |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| TVL for concrete (density 2350 kg · m <sup>-3</sup> ) (in mm) |                    |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Primary beam gamma/ X rays                                    | 218                | 290               | 343               | 389                | 432                | 445                | 457                | 470                |
| Leakage gamma and X rays (90°)                                | 218                | 254               | 279               | 305                | 330                | 330                | 343                | 356                |
| TVL for steel (density 7800 kg · m <sup>-3</sup> ) (in mm)    |                    |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Primary beam gamma/ X rays                                    | 71                 | 91                | 98                | 105                | 108                | 111                | 111                | 107                |
| Secondary beam gamma/ X rays                                  | 69                 | 79                | 80                | 85                 | 87                 | 87                 | 88                 | 89                 |
| TVL for lead (density 11360 kg · m <sup>-3</sup> ) (in mm)    |                    |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Primary beam gamma/ X rays                                    | 41                 | 53                | 55                | 56                 | 57                 | 56                 | 55                 | 52                 |
| Secondary beam gamma/ X rays                                  | 40                 | 47                | 45                | 46                 | 47                 | 47                 | 49                 | 51                 |

<sup>a</sup> Cobalt-60 data from Ref. [2].

<sup>b</sup> Adapted from Varian Associates. The TVL of leakage X rays is based on calculations by Nelson and LaRiviere [22].

TABLE 5. SCATTER FRACTIONS OF DOSE  $a$ , AT 1 m, FOR A 400 cm<sup>2</sup> INCIDENT BEAM

| Angle<br>(degree) | Co-60 <sup>a</sup>   | 6 MV <sup>b</sup>     |                       | 10 MV <sup>b</sup>    |                       | 18 MV <sup>b</sup>    |                       | 24 MV <sup>b</sup>    |                       |
|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |                      | Max $a$               | $a$ at 1.5 cm         | Max $a$               | $a$ at 2.5 cm         | Max $a$               | $a$ at 2.5 cm         | Max $a$               | $a$ at 2.5 cm         |
| 10                | $1.1 \times 10^{-2}$ | $1.68 \times 10^{-2}$ | $1.04 \times 10^{-2}$ | $1.69 \times 10^{-2}$ | $1.66 \times 10^{-2}$ | $2.43 \times 10^{-2}$ | $1.42 \times 10^{-2}$ | $2.74 \times 10^{-2}$ | $1.78 \times 10^{-2}$ |
| 20                | $8.0 \times 10^{-2}$ | $1.15 \times 10^{-2}$ | $6.73 \times 10^{-3}$ | $1.03 \times 10^{-2}$ | $5.79 \times 10^{-3}$ | $1.17 \times 10^{-2}$ | $5.39 \times 10^{-3}$ | $1.27 \times 10^{-2}$ | $6.32 \times 10^{-3}$ |
| 30                | $6.0 \times 10^{-3}$ | $5.36 \times 10^{-3}$ | $2.77 \times 10^{-3}$ | $6.73 \times 10^{-3}$ | $3.18 \times 10^{-3}$ | $7.13 \times 10^{-3}$ | $2.53 \times 10^{-3}$ | $7.21 \times 10^{-3}$ | $2.74 \times 10^{-3}$ |
| 45                | $3.7 \times 10^{-3}$ | $2.97 \times 10^{-3}$ | $1.39 \times 10^{-3}$ | $3.25 \times 10^{-3}$ | $1.35 \times 10^{-3}$ | $3.05 \times 10^{-3}$ | $8.64 \times 10^{-4}$ | $3.06 \times 10^{-3}$ | $8.30 \times 10^{-4}$ |
| 60                | $2.2 \times 10^{-3}$ | $1.74 \times 10^{-3}$ | $8.24 \times 10^{-4}$ | $1.84 \times 10^{-3}$ | $7.46 \times 10^{-4}$ | $1.42 \times 10^{-3}$ | $4.24 \times 10^{-4}$ | $1.37 \times 10^{-3}$ | $3.86 \times 10^{-4}$ |
| 90                | $9.1 \times 10^{-4}$ | $7.27 \times 10^{-4}$ | $4.26 \times 10^{-4}$ | $7.14 \times 10^{-4}$ | $3.81 \times 10^{-4}$ | $3.75 \times 10^{-4}$ | $1.89 \times 10^{-4}$ | $3.53 \times 10^{-4}$ | $1.74 \times 10^{-4}$ |
| 135               | $5.4 \times 10^{-4}$ | $4.88 \times 10^{-4}$ | $3.00 \times 10^{-4}$ | $3.70 \times 10^{-4}$ | $3.02 \times 10^{-4}$ | $2.59 \times 10^{-4}$ | $1.24 \times 10^{-4}$ | $2.33 \times 10^{-4}$ | $1.20 \times 10^{-4}$ |
| 150               | $1.5 \times 10^{-4}$ | $3.28 \times 10^{-4}$ | $2.87 \times 10^{-4}$ | $3.16 \times 10^{-4}$ | $2.74 \times 10^{-4}$ | $2.26 \times 10^{-4}$ | $1.20 \times 10^{-4}$ | $2.12 \times 10^{-4}$ | $1.13 \times 10^{-4}$ |

<sup>a</sup> Values are measured data in Ref. [2].

<sup>b</sup> Computed data from Monte Carlo simulations [20]. The measured values quoted in Ref. [2] fall between the computed surface values and at a depth, demonstrating the difficulty of measuring the scatter primary ratio.

TABELA 6. E DOZËS DIFERENCIALE (KOEFIÇIENTI I REFLEKTIMIT TË MURIT)  
Kënd incidencë 45°, beton i zakonshëm [34]

|          | Angle of reflection (from normal) |          |          |          |
|----------|-----------------------------------|----------|----------|----------|
|          | 75                                | 45       | 15       | 0        |
| 24 MV    | 3.37E-03                          | 3.91E-03 | 3.91E-03 | 3.74E-03 |
| 20 MV    | 3.75E-03                          | 4.20E-03 | 4.14E-03 | 3.95E-03 |
| 18 MV    | 4.01E-03                          | 4.41E-03 | 4.32E-03 | 4.11E-03 |
| 15 MV    | 4.48E-03                          | 4.78E-03 | 4.56E-03 | 4.34E-03 |
| 10 MV    | 5.75E-03                          | 5.75E-03 | 5.38E-03 | 5.10E-03 |
| 6 MV     | 7.69E-03                          | 7.35E-03 | 6.71E-03 | 6.35E-03 |
| 4 MV     | 9.36E-03                          | 9.01E-03 | 8.19E-03 | 7.77E-03 |
| Co-60    | 1.26E-02                          | 1.19E-02 | 1.07E-02 | 1.02E-02 |
| 0.5 MeV  | 1.70E-02                          | 2.15E-02 | 2.10E-02 | 2.03E-02 |
| 0.25 MeV | 1.82E-02                          | 3.05E-02 | 3.50E-02 | 3.39E-02 |

TABELA 7. DOZA DIFERENCIALE (KOEFIGIENTI I REFLEKTIMIT TË MURIT)  
Incidencë normale, beton i zakonshëm [34]

|         | Angle of reflection (from normal) |          |          |          |          |
|---------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|         | 75                                | 60       | 45       | 30       | 0        |
| 24 MV   | 1.47E-03                          | 2.30E-03 | 2.82E-03 | 3.15E-03 | 3.20E-03 |
| 20 MV   | 1.57E-03                          | 2.43E-03 | 2.98E-03 | 3.31E-03 | 3.34E-03 |
| 18 MV   | 1.62E-03                          | 2.51E-03 | 3.07E-03 | 3.42E-03 | 3.46E-03 |
| 15 MV   | 1.75E-03                          | 2.69E-03 | 3.29E-03 | 3.65E-03 | 3.66E-03 |
| 10 MV   | 2.06E-03                          | 3.15E-03 | 3.83E-03 | 4.24E-03 | 4.25E-03 |
| 6 MV    | 2.60E-03                          | 3.92E-03 | 4.76E-03 | 5.28E-03 | 5.35E-03 |
| 4 MV    | 3.16E-03                          | 4.77E-03 | 5.81E-03 | 6.46E-03 | 6.62E-03 |
| Co-60   | 4.06E-03                          | 5.94E-03 | 7.00E-03 | 7.65E-03 | 7.79E-03 |
| 0.5 MeV | 7.54E-03                          | 1.26E-02 | 1.58E-02 | 1.78E-02 | 1.82E-02 |

TABELA 8. FAKTORËT E SUGJERUAR TË TRANSMETIMIT  
(Dozat në përqindje në thellësi për një fushë 10 cm × 10 cm, me distancë burim–sipërfaqe (SSD)  
prej 100 cm në një thellësi prej 30 cm) [21]

| Energy                 | Co-60 | 6 MV | 10 MV | 15 MV | 18 MV | 25 MV |
|------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Transmission, <i>f</i> | 0.15  | 0.23 | 0.28  | 0.33  | 0.34  | 0.38  |

TABELA 9. FUQIA E DUKSHME E BURIMIT TË NEUTRONËVE, QN, NË  $10^{12}$  NEUTRONË PËR X RREZE·Gy NË IZOCENTËR [14, 29]

| Manufacturer | Model      | Stated MV | NAP <sup>a</sup> MV | Q <sub>N</sub>    |
|--------------|------------|-----------|---------------------|-------------------|
| Varian       | 1800       | 10        | Unknown             | 0.06              |
| GE           | Saturne 41 | 12        | 11.2                | 0.24              |
| GE           | Saturne 41 | 15        | 12.5                | 0.47              |
| Varian       | 2100 EX    | 15        | 13                  | 0.50 <sup>b</sup> |
| Philips      | SL-20      | 17        | 17                  | 0.69              |
| Varian       | 1800       | 15        | 13                  | 0.76              |
| Siemens      | KD         | 20        | 16.5                | 0.92              |
| Varian       | 1800       | 18        | 16.8                | 1.22              |
| GE           | Saturne 43 | 18        | 14                  | 1.50              |
| Philips      | SL-25      | 22        | 20.4                | 2.37              |
| GE           | Saturne 43 | 25        | 18.5                | 2.40              |

<sup>a</sup> NAP is the nominal accelerating potential defined in the TG21 protocol [35].

<sup>b</sup> Ref. [29].

TABELA 10. DOZA EKUIVALENTE E NEUTRONËVE  $H_1$  NË 1 m NGA OBJEKTIVI (NË mSv PËR X RREZE·Gy NË IZOCENTËR)

| Accelerator manufacturer | Model | Stated MV | NAP MV  | $H_1$     |
|--------------------------|-------|-----------|---------|-----------|
| Varian                   | 1800  | 10        | Unknown | 0.08      |
| GE Saturne               | 41    | 12        | 11.2    | 0.18      |
| Siemens                  | MD    | 15        | Unknown | 0.34      |
| GE Saturne               | 41    | 15        | 12.5    | 0.64      |
| Philips/Elekta           | SL-20 | 20        | 17      | 0.87      |
| GE Saturne               | 43    | 18        | 14      | 1.09      |
| Varian                   | 1800  | 15        | Unknown | 1.57–2.58 |
| Varian                   | 1800  | 18        | 16.8    | 2.03–3.18 |
| Siemens                  | KD    | 20        | 16.5    | 2.19–2.47 |
| GE Saturne               | 43    | 25        | 18.5    | 2.74      |
| Philips/Elekta           | SL-25 | 25        | 22      | 3.98      |

**Note:** Prepared from the  $H_0$  values from (Table 2) [14] by multiplying the  $H_0$  values with  $1.41^2$ .  $H_0$  is the neutron dose equivalent at 1.41 m from target per unit dose of X ray at the isocentre.

TABELA 11. VLERAT E PARA TË TVL-sëa (NË mm BETONI) PËR RREZATIMIN E SHPËRNDARË NGA PACIENTI NË KËNDË TË NDRYSHËM SHPËRNDARJE

| Scatter angle | Co-60 | 4 MV | 6 MV | 10 MV | 15 MV | 18 MV | 20 MV | 24 MV |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15            | 223   | 320  | 367  | 410   | 436   | 449   | 457   | 477   |
| 30            | 213   | 248  | 261  | 275   | 285   | 288   | 290   | 293   |
| 45            | 197   | 223  | 229  | 233   | 237   | 238   | 239   | 240   |
| 60            | 189   | 201  | 205  | 209   | 211   | 211   | 212   | 212   |
| 90            | 151   | 169  | 171  | 173   | 174   | 174   | 174   | 175   |
| 135           | 128   | 143  | 144  | 144   | 145   | 145   | 145   | 145   |

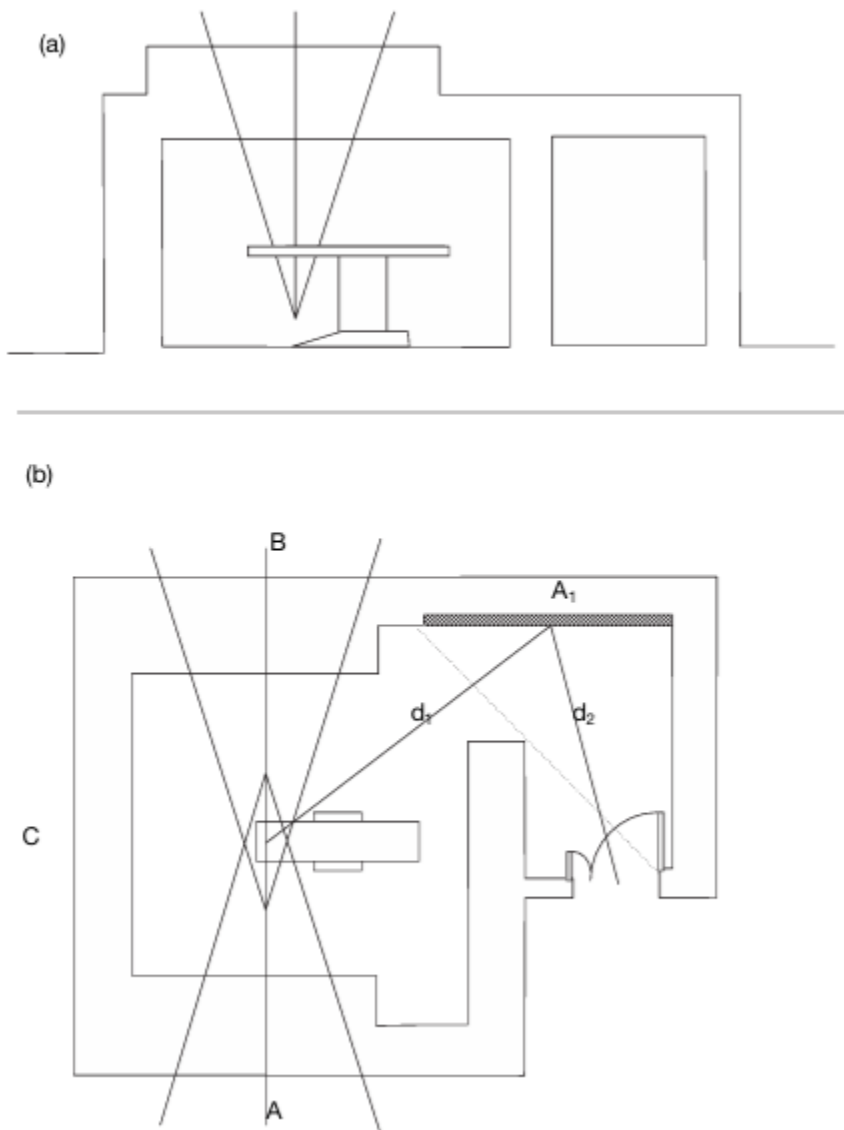
<sup>a</sup> First TVL values are greater than approximate TVL values based on large attenuation. Values are valid for shielding design purposes and are conservative in nature.

<sup>b</sup> TVL values for a scattered angle of 15° are primary beam TVL values by Nelson and LaRiviere. [22] TVL values for scattered angles of 30–135° were derived from Figs 10 and 15 in Ref. [2], based on the assumption that the TVLs for the scatter radiation are closely related to the energies of the monochromatic photon scattered due to Compton interaction.

## 6. SHEMBUJ TË NGARKESES SE PUNES TË OBJEKTEVE TE TELETERAPISE

### 6.1. Objekti me baze co-60

Ky shembull bazohet në një rast sipas **Figures 10** qe paraqet pamjen në plan vertical dhe dhe planin horizontal të një bunkeri për terapi me rrezatim **Co-60**. Vini re se përdorimi i një korridori **labirint** (maze) lejon përdorimin e një dere të veshur me **plumb 6.5 mm**, në vend të një dere shumë më të rëndë me mbrojtje direkte.



**FIG. 10.** Paraqitje skematike e një dhome me Co-60, që tregon: (a) pamjen anësore vertikale dhe (b) planin horizontal.

Figura tregon gjithashtu se dhoma kërkon **barriera primare të trasha** në mure dhe në tavan, kudo që rrezja e  **$^{60}\text{Co}$**  mund të drejtohet, pasi kjo njësi nuk ka një **ndalues rrezatimi** (beam-stopper) të montuar. Nëse do të kishte hapësirë përdorimi nën dysheme, atëherë edhe dyshemeja do të duhej të ishte një barriera primare shumë e trashë. Megjithatë, për shkak të **peshës së njësies së trajtimit dhe mbrojtjes së saj**, gjithmonë është më e përshtatshme që një objekt i tillë të vendoset mbi **tokë të pa gërmuar**.

#### 6.1.1. Kufijtë e dozës për Projektimin

Për reference kemi marre për zonat e kontrolluara një **kufizim shterngues I dozës prej 6 mSv/vit**. Nëse nuk do të kryhen procedura të veçanta, atëherë doza shpërndahet në mënyrë të barabartë gjatë vitit, dhe kufiri javor i dozës është:

$$(6 \div 50 =) \mathbf{0.12 \text{ mSv/javë.}}$$

Për **zonat publike** përdoret një **kufizim shterngues prej 0.3 mSv/vit**, që korrespondon me:

$$(0.3 \div 50 =) \mathbf{0.006 \text{ mSv/javë.}}$$

Ky shembull ilustron **llogaritjen e barrierave** duke u bazuar në këtë grup kufijsh. Në varësi të **rregulloreve lokale**, mund të aplikohen kufij të tjerë, dhe si rezultat, kërkesa të ndryshme për barrierat.

#### 6.1.2. Specifikimi i burimit

Nëse **specifikimi i burimit** është **0.8 Gy/min në distancë 1 m**, dhe distanca izocentrike e njësies së trajtimit (SAD) është **80 cm**, atëherë:

- Fuqia e dozës në izocentër është:  
 $(0.8 \times (100/80)^2 \times 60) = \mathbf{75 \text{ Gy/orë}}$
- Fuqia e dozës në distancë 1 m është:  
 $(0.8 \times 60) = \mathbf{48 \text{ Gy/orë}}$

#### 6.1.3. Ngarkesa e punës (Workload)

Për një objekt me teleterapi **Co-60**, një supozim i arsyeshëm është **40 pacientë/ditë për 8 orë pune**.

Nëse doza e dhënë për çdo pacient në izocentër është **3 Gy**, dhe objekti përdoret **5 ditë në javë**, atëherë:

- Ngarkesa javore në izocentër (**SAD = 80 cm**) është:  
 $(40 \times 3 \times 5) = \mathbf{600 \text{ Gy/javë}}$

- Ngarkesa javore në distancë 1 m është:  
 $(600 \times 0.8^2) = 384 \text{ Gy/javë}$

Doza totale e dhënë në izocentër për çdo ditë është:  
 $(40 \times 3) = 120 \text{ Gy/ditë}$

Koha totale “beam-on” për ditë është:  
 $(120 \div 75) = 1.6 \text{ orë/ditë}$

Fuqia mesatare ditore e dozës (**TADR**) për këtë shembull përcaktohet sipas **Ekuacionit (1)**.

$$\text{TADR} = \text{IDRx}((1.6 \times U)/8)$$

#### 6.1.4. Barriera primare

Dobesimi i kërkuar **B** përcaktohet nga **Ekuacioni me poshte**, ku:

- **P** – kufiri i projektimit për një zonë të kontrolluar është **0.12 mSv/javë**;
- **SAD** – distanca burim-aks (izocentër) është **0.8 m**;
- **d** – distanca nga izocentri deri në pikën e interesit (pikët A dhe B në **Figurën 10**) është **3.0 m**;
- **W** – ngarkesa javore është  **$384 \times 10^3 \text{ mGy/javë}$**  (384 Gy/javë);
- **U** – faktori i përdorimit është **0.25**;
- **T** – faktori i okupimit është **1**

$$B = (0.12 \times (3.0 + 0.8)^2) / (384 \times 10^3 \times 0.25 \times 1)$$

Nga **Ekuacioni (6)**, mund të përcaktohet **numri i TVL-ve** të betonit me **dendësi  $2350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$**

$$n\text{TVL} = \text{Log}_{10}(1/(1.81 \times 10^{-5})) = 4.74$$

**TVL-ja për  $^{60}\text{Co}$  në beton** (me dendësi  $2350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) është **218 mm** (shih Tabelën 4).

Prandaj, **trashësia e kërkuar për barrierat primare** është:

$$4.74 \times 218 = 1033 \text{ mm}$$

Pasi të kemi trashësinë e barrierës, **Fuqia e dozës (IDR)** përtej barrierës mund të përcaktohet. Fuqia e dozës në burim (**DR<sub>0</sub>**) merret nga specifikimi i burimit në distancë 1 m. Nëse specifikimi është:

- **0.8 Gy/min** në distancë 1 m
- **DR<sub>0</sub> = 48 Gy/orë =  $48 \times 10^6 \text{ } \mu\text{Gy/orë}$**

atëherë **IDR jashtë barrierës primare** do të jetë:

$$\text{IDR} = (48 \times 10^6 \times 1.81 \times 10^{-5}) / ((3 + 0.8)^2) = 60 \text{ } \mu\text{Sv/h}$$

**TADR (Fuqia Mesatare Ditore e Dozës –  $R_8$ )** mund të përcaktohet nga kjo vlerë e **IDR**

**Koha totale "beam-on" në ditë** është llogaritur më parë si **1.6 orë në një ditë pune prej 8 orësh**.

Duke supozuar një **faktor përdorimi (U)** prej **0.25**, atëherë:

$$TADR(R_8)=60 \times ((1.6 \times 0.25)/8) = 3 \mu\text{Sv/h}$$

**TADR2000** mund të përcaktohet gjithashtu duke shpërhapur kufirin e dozës së projektimit gjatë **2000 orëve**:  $6 \text{ mSv} \div 2000 = 3 \mu\text{Sv h}^{-1}$ . Faktori i përdorimit (**U**) është marrë tashmë në konsideratë në këtë vlerë, por **okupimi (T)** është supozuar të jetë **1** (pra, zënë gjatë gjithë kohës). Nëse zona përtej barrierës është një **zyrë me okupim të lartë**, ajo duhet të klasifikohet si **zonë e kontrolluar**. Por nëse zona ka **okupim të ulët, p.sh. 0.05**, dhe nuk ka akses për publikun, atëherë:

$$TADR2000 = 6 \text{ mSv} \times 0.05 = 0.15 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

Me një nivel të tillë të okupimit, zona duhet të klasifikohet si **zonë e mbikëqyrur (supervised area)**

Nëse zona përtej barrierës është **zonë publike**, atëherë mund të përdoret një **kufizim dose shternguese që ne projektim** prej:

- **0.3 mSv/vit**, ose
- **IDR =  $7.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$**

**Trashësia e barrierës** që kufizon **IDR** në këtë nivel duhet të llogaritet në bazë të këtyre kufijve.

Përdoren të **njetat vlera** si më parë, përveç:

- **P** (kufiri i dozës) është tani  **$7.5 \text{ mikroSv} \cdot \text{h}^{-1}$**
- **DR<sub>0</sub>** (Fuqia e dozës në 1 m) përdoret në vend të produktit **WUT**

Nga **Ekuacioni**, **dobessimi i kërkuar (B<sub>IDR</sub>)** jepet nga:

$$B_{IDR} = (7.5 \times (3.0 + 0.8)^2) / (1 \times 48 \times 10^2) = 2.26 \times 10^{-6}$$

$$n_{TVL} = \text{LOG}_{10}(1 / (2.26 \times 10^{-6})) = 5.65$$

**Trashësia e murit** e nevojshme për të ulur **IDR** në  **$7.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$**  është:

Bazuar në këtë vlerësim të **IDR**, një **trashësi prej 1232 mm** do të ishte e nevojshme për **barrierat primare, nëse ato mbrojnë zona publike**.

**Metodë alternative:**

Përdoret një **kufizim i dozës vjetore prej 0.3 mSv/y**.

Duke përdorur **Ekuacionin (5)** dhe të dhënat hyrëse:

- $P = (0.3 \times 10^3 \mu\text{Sv/vit}) \div 50 = 6 \mu\text{Sv/javë}$
- $d = 3 \text{ m}$
- $SAD = 0.8 \text{ m}$
- $W = 384 \times 10^6 \mu\text{Gy/javë}$  (pra 384 Gy/javë)
- $U = 0.25$
- $T = 1$

$$B = (6 \times (3 + 0.8)^2) / (384 \times 10^6 \times 0.25 \times 1) = 9.03 \times 10^{-7}$$

$$N_{TVL} = \text{Log}_{10}(1 / (9.03 \times 10^{-7})) = 6.04$$

Prandaj, për të mbrojtur një **zonë publike me faktor okupimi 1**, nevojitet një **barrierë primare betoni me trashësi:**

$$6.04 \times 218 = 1317 \text{ mm beton}$$

Për një **zonë publike me faktor okupimi 0.5**, një llogaritje e ngjashme jep një trashësi prej **1252 mm**.

Për **faktor okupimi 0.2**, kërkohet **1165 mm**.

Megjithatë, nëse bazoheni në kriterin e **IDR**, trashësia e barrierës duhet të jetë **1232 mm**.

**Një vlerësim i riskut** duhet të kryhet për të vlerësuar **okupimin e mundshëm të zonës përtej barrierës**, në mënyrë që të përcaktohet mbrojtja e nevojshme.

**Barriera primare** duhet të jetë gjithashtu **mjaft e gjerë** për të mbrojtur ndaj **rrezatimit të shpërhapur në kënde të vogla, përpara** se trashësia të reduktohet në nivelin e barrierës dytësore, siç tregohet në **Figurëme siper**.

**Në përfundim, barrierat primare të mureve prej betoni** duhet të jenë:

- **1033 mm të trasha** nëse ato mbrojnë një **zonë të kontrolluar**, dhe
- **1165 mm të trasha** nëse ato mbrojnë një **zonë publike me faktor okupimi më të vogël ose të barabartë me 0.2**,

## 6.1.5. Barriera dytësore

### 6.1.5.1. Rrezatimi i rrjedhur (Leakage radiation)

Për rrezatimin e rrjedhur nga **koka e njësisë së trajtimit**, duhet të përdoret **specifikimi i prodhuesit**.

Mund të jepen **dy vlera të rrezatimit të rrjedhur** nga prodhuesi:

- një **kur burimi është në pozicion të sigurt**, dhe

- një kur burimi është i ekspozuar për trajtim; për siguri në llogaritjet e mbrojtjes duhet të përdoret **vlera më e madhe**.

Kjo vlerë **zakonisht është më pak se 0.1% (1/1000)** e rrezatimit primar të lejuar. Për të përcaktuar **trashësinë e nevojshme të barrierës**, përdoret **Ekuacioni (8)**.

**Në këtë shembull konkret:**

- **ds** – distanca nga izoqendra deri menjëherë jashtë barrierës dytësore (**pika C**) e cila është **2.6 m**
- **P** – kufiri i dozës efektive për një **zonë publike** është **6 µSv/javë**
- **T** – faktori i okupimit është **1**

$$B = \frac{1000 \times 6 \times (2.6)^2}{384 \times 10^6 \times 1} = 1.06 \times 10^{-4}$$

$$n\text{TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{1.06 \times 10^{-4}} \right) = 4.0$$

Pra, kërkohet një **trashësi muri prej:**

4×218=872 mm beton për tu mbrojtur ndaj **rrezatimit të rrjedhur** nga koka e njësisë së trajtimit.

**Fuqia instatane e dozës (IDR)** përcaktohet duke **me ekuacionin**.

$$\text{IDR} = \frac{\text{DR}_0 \times B}{1000 \times d_s^2} = \frac{48 \times 10^6 \times 1.06 \times 10^{-4}}{1000 \times (2.6)^2} = 0.8 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

#### 6.1.5.2. Rrezatimi i shpërhapur (Scatter radiation)

**Trashësia e barrierës** që nevojitet për të mbrojtur ndaj **rrezatimit të shpërhapur nga pacienti** përcaktohet duke përdorur **Ekuacionin (9)**:

- **P** është kufiri i dozës = **6 mSv/javë** (për zonë publike);
- **dsCa** është distanca izocentrike = **0.8 m**;
- **dsc** ka të njëjtën vlerë si **ds** në llogaritjen e mëparshme = **2.6 m**;
- **a** është **pjesa e shpërhapjes së tufes** për **këndin 90°**, që është **0.0009** për çdo **400 cm² fushë rrezatimi** (shih Tabela 5);

- **F** është **sipërfaqja maksimale e fushës së tufes renese mbi pacientin**, që është:  
20 cm×20 cm=400 cm<sup>2</sup>

$$B = \frac{6 \times 0.8^2 \times 2.6^2}{0.0009 \times 384 \times 10^6 \times 1 \times (400/400)} = 7.5 \times 10^{-5}$$

$$n\text{TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{7.5 \times 10^{-5}} \right) = 4.12$$

Kjo është e ngjashme me numrin e TVL-ve të nevojshme për të mbrojtur ndaj rrezatimit të rrjedhur. Për shpërhapje në kënd 90°, energjia e rrezatimit të shpërhapur do të jetë e zvogëluar dhe mbrojtja e projektuar për rrezatimin e rrjedhur duhet të ofrojë mbrojtje të mjaftueshme edhe ndaj rrezatimit të shpërhapur nga pacienti. (TVL-ja për rrezatim të shpërhapur në kënd 90° është **151 mm beton** (Tabela 11) në krahasim me **218 mm beton** për rrezatim me tufe te gjere nga Co-60 (Tabela 4).)

#### 6.1.6. Doza në derën e hyrjes

Rasti më i keq do të jetë kur njësia e trajtimit të jetë e drejtuar nga **muri B**. Në këtë rast, **doza në derën e hyrjes** do të përbëhet nga:

- doza e shpërhapur nga pacienti,
- rrezatimi primar i shpërhapur nga **muri B**,
- rrezatimi i rrjedhur që shpërndahet përgjatë korridorit të labirintit,
- dhe rrezatimi i rrjedhur që transmetohet nëpërmjet murit të labirintit.

**Doza e shpërhapur nga pacienti  $D_p$**  (Ekuacioni (13)) drejt **murit B**, për të gjitha këndet e gantrit, përcaktohet nga vlerat e mëposhtme:

- **W** është **384 Gy/javë**;
- **a** për shpërndarje në kënd 90° është **0.0009** (Tabela 5);
- **F** është **400 cm<sup>2</sup>**;
- **$\alpha$**  koeficienti i shpërndarjes në mur për **0.5 MeV** është **0.021** për një incidencë prej **45°** dhe reflektim prej **15°** (vlerë e rrumbullakosur nga Tabela 6);
- **A<sub>1</sub>**, sipërfaqja e murit, është **3.0 m (gjerësi) × 2.5 m (lartësi) = 7.5 m<sup>2</sup>**;
- **d<sub>s</sub>c<sub>a</sub>** është **0.8 m**;
- **d<sub>1</sub>** është **5.0 m**;
- **d<sub>2</sub>** është **3.0 m**.

$$D_p = \frac{384 \times 1 \times 0.0009 (400/400) (0.021 \times 7.5)}{(0.8 \times 5.0 \times 3.0)^2} = 3.78 \times 10^{-4} \text{ Gy-week}^{-1}$$

Në mënyrë të ngjashme, fuqia e dozës (IDR) do të jepet nga:

$$IDR_p = \frac{48 \times 10^6 \times 0.0009 \times 0.021 \times 7.5}{(0.8 \times 5.0 \times 3.0)^2} = 47 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Doza e shpërhapur nga muri B drejt derës së hyrjes,  $D_w$ , përcaktohet nga Ekuacioni (14):**

- $U_H$  supozohet të jetë **0.25**;
- $d_H$ , distanca deri te muri B, është **1.6 m**;
- $a_H$ , koeficienti i reflektimit për incidencë normale dhe reflektim  $75^\circ$  për **C-60**, është  **$4.06 \times 10^{-3}$**  (Tabela 7);
- $\alpha_r$ , koeficienti i reflektimit për incidencë normale dhe reflektim  $75^\circ$  për **0.5 MeV**, është  **$7.54 \times 10^{-3}$** ;
- $A_H$ , sipërfaqja e madhësisë maksimale të fushës së projektuar në murin B në distancën  $d_H$  është:  $0.04 \times (1.6/0.8)^2 = 0.16 \text{ m}^2$
- $A_r$ , sipërfaqja kryqëzore e hapjes së brendshme të labirintit, është:  $1.5 \text{ m}$  (gjerësi)  $\times 2.5 \text{ m}$  (lartësi)
- $d_r$  është **4.3 m**;
- $d_z$  është **2.5 m**.

$$D_w = \frac{384 \times 0.25}{1.6^2} \times \frac{4.06 \times 10^{-3} \times (0.16) \times 7.54 \times 10^{-3} \times (1.5 \times 2.5)}{(4.3)^2 \times (2.5)^2}$$

$$= 5.96 \times 10^{-6} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

IDR do të jetë;

$$IDR_w = \frac{48 \times 10^6}{1.6^2} \times \frac{4.06 \times 10^{-3} \times (0.16) \times 7.54 \times 10^{-3} \times (1.5 \times 2.5)}{(4.3)^2 \times (2.5)^2}$$

$$= 2.98 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Doza e rrezatimit të rrjedhur që shpërndahe (shpërhapet) përgjatë labirintit,  $D_L$ , përcaktohet nga Ekuacioni (16):**

- $L_0$  është **0.001** (0.1% e rrezatimit primar);
- $\alpha_r$  është  **$1.07 \times 10^{-2}$**  për incidencë  $45^\circ$  dhe reflektim  $15^\circ$  për **Co-60** (Tabela 6);
- $A_1$  është  **$7.5 \text{ m}^2$**  ( $2.5 \text{ m}$  lartësi  $\times 3.0 \text{ m}$  gjerësi);
- $d_i$  është **5.0 m**;
- $d_m$  është **3.0 m**.

**Doza në hyrjen e labirintit nga rrjedhja e kokës së njësisë së trajtimit e shpërhapur përgjatë labirintit,  $D_L$ , për të gjitha rotacionet e gantrit (sipas Ekuacionit (16)) është:**

$$D_L = \frac{0.001 \times 384 \times 0.0107 \times 7.5}{(5.0 \times 3.0)^2} = 1.37 \times 10^{-4} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

dhe IDR

$$\text{IDR}_L = \frac{0.001 \times 48 \times 10^6 \times 0.0107 \times 7.5}{(5.0 \times 3.0)^2} = 17 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Doza në hyrjen e labirintit, që vjen nga rrjedhja e transmetuar nëpërmjet murit të labirintit,  $D_T$ , jepet nga Ekuacioni (17):**

- **BB** është faktori i transmetimit për barrierën =  $1.06 \times 10^{-4}$ ;
- **$d_t$**  është distanca nga burimi deri në derë = **5.0 m**.

$$D_T = \frac{0.001 \times 384 \times 1.06 \times 10^{-4}}{5.0^2} = 1.63 \times 10^{-6} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

$$\text{IDR}_T = \frac{0.001 \times 48 \times 10^6 \times 1.06 \times 10^{-4}}{5.0^2} = 0.2 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Doza totale në derë,  $D_d$ , për rastin më të keq kur rrezja është e drejtuar nga muri B, merret duke përdorur një version të modifikuar të Ekuacionit (11) për vetëm një orientim të gantrit.

$$\begin{aligned} D_d &= \frac{3.78 \times 10^{-4}}{4} + (1.0) \times 5.96 \times 10^{-6} + \frac{1.37 \times 10^{-4}}{4} + \frac{1.63 \times 10^{-6}}{4} \\ &= 1.35 \times 10^{-4} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1} = 135 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{week}^{-1} \end{aligned}$$

**Termi i parë, i tretë dhe i katërt** pjestohen secili me **4**, pasi supozohet që gantri do të jetë në këtë orientim vetëm për **25% të kohës së përdorimit**.

**Termi i dytë**, i cili buron nga **rrezja primare e shpërhapur nga muri**, zakonisht do të **dobësohet nga pacienti** përpara se të godasë murin, por është përdorur një **faktor transmetimi prej 1.0**. Meqenëse kjo përfaqëson **rastin më të keq, doza totale javore** do të jetë **më pak se katërfish i këtij vlerësimi**, pra më pak se:

$$4 \times 135 = 540 \text{ } \mu\text{Sv/jave}$$

Sipas Ekuacionit (18), **doza totale në hyrjen e labirintit** është:

$$2.64 \times 135 = 356 \text{ } \mu\text{Sv/jave}$$

**Fuqia e dozës (IDR<sub>d</sub>)** te dera për rastin më të keq do të jetë:

$$\text{IDR}_d = 47 + 2.98 + 17 + 0.2 = 67.2 \text{ mirkoSv/h}$$

Nëse zona menjëherë jashtë derës është **zonë e kontrolluar**, atëherë **kufiri i dozës** është **120  $\mu\text{Sv/javë}$**  (ose 6 mSv/vit). Për të ulur dozën në një **nivel të pranueshëm, mjafton një TVL**.

Rrezatimi i shpërhapur nga pacienti, rrezja primare e shpërhapur nga muri B dhe rrezatimi i rrjedhur i shpërhapur përgjatë labirintit të gjitha kanë kaluar të paktën **një shpërndarje (shperhapje)** për të arritur në hyrjen e labirintit. Prandaj, për përcaktimin e trashësisë së nevojshme të derës, mund të përdoret **TVL-ja për rrezatim të shpërhapur në kënd 90°**. TVL-ja për rrezatim të shpërhapur në 90° është **6.5 mm plumb** (Tabela 23), kështu që **dye me këtë trashësi plumbi** do ta reduktonin **dozën javore** nga 356  $\mu\text{Sv/jave}$  në rreth 35  $\mu\text{Sv/jave}$ , që është shumë brenda kufijve të projektimit.

**Rasti më i keq i IDR<sub>d</sub>** do të reduktohej nga 67.2  $\mu\text{Sv/h}$  në 7  $\mu\text{Sv/h}$  me një derë plumbi **6.5 mm**.

Kjo do të jepte një **TADR** prej:  $(7 \times 1.6) \div 8 = 1.4 \text{ } \mu\text{Sv/h} = 1.4 \text{ } \mu\text{Sv/h}$  e cila do të jepte shumë e pranueshme.

## 6.2. Objekti me akselerator linear 6 mv

Figura 11 paraqet një propozim për një strukturë me akselerator linear 6 MV. Kufijtë e dozës që do të përdoren janë ato për **zonat publike — 0.3 mSv në vit për çdo vendvëndosje**. Fuqia e dozës (**IDR**) duhet të kufizohet në **7.5 mSv/h** [6, 7].

Ngarkesa e pritshme (workload) është:

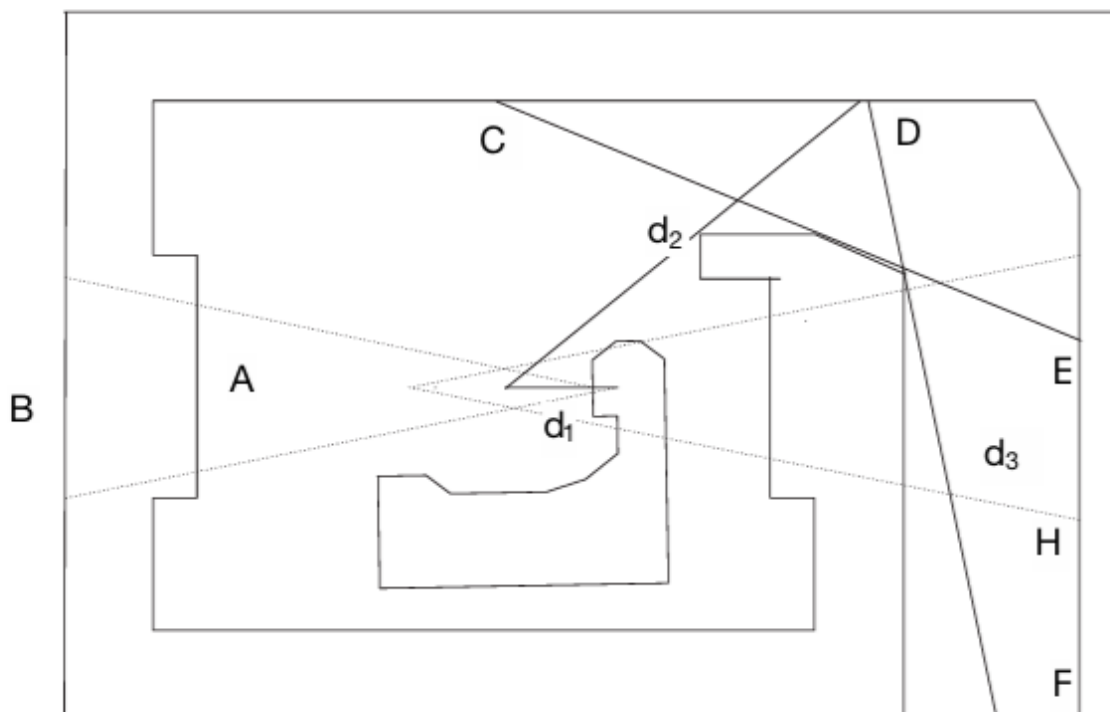
- **50 pacientë në ditë** (në një ditë pune prej 8 orësh),
- **5 ditë në javë**,
- dhe një **dozë prej 3 Gy** e dhënë në izocentër për çdo pacient.

### 6.2.1. Barriera primare

### 6.2.1.1. Shembull 1

Për të përcaktuar trashësinë e kërkuar të barrierës në bazë të kufirit vjetor të dozës, përdoret Ekuacioni (5), ku:

- **P** është kufiri i projektuar i dozës për një zonë publike =  $0.3 \text{ mSv/vit} \div 50 = 6 \text{ } \mu\text{Sv/jave}$ ;
- **d** është distanca nga izoqendra deri në pikën e interesit në anën tjetër të barrierës = 5 m;
- **SAD** (Burim – distance e aksit ) është: 1 m.



**FIG. 11. Skema e vendosjes së një objekti me akselerator 6 MV**  
(E - pamje nga lart; d<sub>3</sub>, H, F - pika dhe sipërfaqe të referencuara në përlogaritje)

- **W**, ngarkesa javore për një javë me 5 ditë pune, do të jetë **në mënyrë nominale  $10^3 \text{ Gy}$**  ( $50 \text{ paciente} \times 3 \text{ Gy} \times 5 \text{ dite}$  por mund të jetë përafërsisht  $10^3 \text{ Gy}$  në një konfigurim të kufizuar ose për qëllime ilustrimi në këtë shembull;
- **U**, faktori i përdorimit (use factor), është **0.25**;
- **T**, faktori i okupimit (zenies), është **0.1**.

**Pra:**

$$B = \frac{6(5+1)^2}{10^3 \times 10^6 \times 0.25 \times 0.1} = 8.6 \times 10^{-6}$$

Numri i nevojshëm i TVL-ve për të arritur këtë dobësim përcaktohet nga Ekuacioni (6):

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{8.6 \times 10^{-6}} \right) = 5.1$$

Nga Tabela 4, TVL-ja për rreze X me energji 6 MV në beton është **343 mm** dhe trashësia e kërkuar e barrierës është:  $5.1 \times 343 = 1750 \text{ mm}$

### 6.2.1.2. Shembull 2

Në Figurën 11, dobësimi i nevojshëm nga barrierat primare B do të përcaktohet nga Ekuacioni (7) duke përdorur kufirin e dozës IDR:

- $P_{IDR}$ , kufiri i projektuar i dozës është **7.5 mSv/h**;
- **D** distanca nga izocentri deri në pikën e interesit në anën tjetër të barrierës, është **5 m** (si në Shembullin 1);
- **SSD** (Source-to-Surface Distance) është **1 m**;
- **DR<sub>0</sub>**, shkalla e dozës, është **2.5 Gy/min** ose  $=150 \text{ Gy/h}$

$$B = \frac{7.5 \times (5+1)^2}{2.5 \times 10^6 \times 60} = 1.8 \times 10^{-6}$$

Numri i nevojshëm i TVL-ve për të arritur këtë dobësim përcaktohet nga Ekuacioni (6):

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{1.8 \times 10^{-6}} \right) = 5.7$$

**TVL-ja për rreze X me energji 6 MV në beton** (me dendësi  $2350 \text{ kg/m}^3$ ) është **343 mm** (Tabela 4); prandaj, **trashësia e kërkuar e barrierës** është:

$$343 \times 5.7 = 1955 \text{ mm. } 343 \times 5.7 = 1955 \text{ mm.}$$

Kjo është **më shumë** se trashësia e barrierës prej **1750 mm** e kërkuar në **Shembullin 1**. Do të ishte e arsyeshme që të përdoret trashësia më e madhe, pasi **faktori i përdorimit (U)** dhe **faktori i okupimit (T)** janë vetëm **vlerësime të përafërta** dhe mund të ndryshojnë në të ardhmen.

Vlerat e përdorura për TVL-të në beton bazohen në një dendësi betoni prej **2350 kg/m<sup>3</sup>**. Nëse betoni i përdorur në vend ka një dendësi ndryshe, **trashësia e murit duhet të përshtatet në përputhje me këtë.**

Për shembull, nëse trashësia e kërkuar është përcaktuar si **1955 mm** për beton me dendësi **2350 kg/m<sup>3</sup>**, por **betoni lokal ka dendësi vetëm 2000 kg/m<sup>3</sup>**, atëherë **trashësia aktuale e murit** duhet të jetë:  $1955 \times 2350 / 2000 = 2300$  mm beton me dendësi lokale.

### 6.2.1.3. Shembull 3

Nëse në **Shembullin 2**, **shkalla e dozës DR<sub>0</sub>** ishte **5 Gy/min**, atëherë **dobësimi BBB** i kërkuar për ta ulur dozën në **7.5 mSv/h** do të ishte:

$$B = \frac{7.5 \times (5+1)^2}{5 \times 10^6 \times 60} = 9 \times 10^{-7}$$

Numri i nevojshëm i TVL-ve për të arritur këtë dobësim do të ishte

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{9 \times 10^{-7}} \right) = 6$$

Dhe **trashësia e kërkuar e barrierës** është:  $343 \times 6 = 2100$  mm.

**Shtrirja (gjerësia dhe lartësia) e barrierës primare** do të përcaktohet nga **hapja e tufes primare** (siç përcaktohet nga koni primar) deri në pjesën e jashtme të murit, me një **shtesë prej 300 mm në secilën anë** për të përfshirë **rrezatimin e shpërhapur të brendshëm** (i njohur gjithashtu si **efekti i plume**).

Për një kon primar me **diametër 500 mm në izocentër**, **hapja në mur nga jashtë në distance 5 m larg izoqendres** do të jetë:

$$500 \times (1+5) = 3000 \text{ mm.}$$

Shtimi i **300 mm në secilën anë** do ta çojë **gjerësinë totale të kërkuar të barrierës** në:

$$3000 + 300 + 300 = 3600 \text{ mm.}$$

Përllogaritja:

$$B = 6.2$$

### 6.2.2. Barriera sekondare

#### 6.2.2.1. Rrezatimi i rrjedhur (leakage radiation)

Mbrojtja e nevojshme kundër **rrezatimit të rrjedhur nga koka e akseleratorit** përcaktohet sipas **Ekuacionit (8)**. Supozimi standard është se **rrezatimi i rrjedhur është 0.1% (1/1000)** e rrezes primare.

- **P**, kufiri i dozës për publikun është: 6 µSv/jave;
- **d<sub>s</sub>**, distanca nga izocentri deri në pikën e interesit përtej barrierave sekondare është: 5.0 m;
- **W**, ngarkesa javore është: 103 Gy/jave“;
- **T**, faktori i okupimit:
  - është **1** për një barrierë sekondare (**zona e kontrolluar**, p.sh. dhoma e kontrollit),
  - dhe **0.1** për barrierën tjetër (**zonë publike ose më pak e përdorur**).

**Dobësimi i kërkuar BL** do të jepet sipas formulës në vijim;

$$B_L = \frac{1000 \times 6 \times 5^2}{10^3 \times 10^6 \times 1} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ (or } 1.5 \times 10^{-3} \text{ for occupancy of 0.1)}$$

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{1.5 \times 10^{-4}} \right) = 3.8 \text{ (or 2.8 TVLs for occupancy 0.1)}$$

Nga **Tabela 4**, TVL-ja në beton për rrezatimin e rrjedhur të energjisë 6 MV është 279 mm. Prandaj:

- Një **barrierë sekondare** duhet të ketë trashësi prej:

$$3.8 \times 279 = 1060$$

Dhe tjerat:

$$2.8 \times 279 = 780$$

Të dyja vlerat janë **rrumbullakuar në 10 mm më të afërt**.

#### 6.2.2.2. Rrezatimi i shpërhapur (scatter)

**Dobësimi i barrierës** që nevojitet për të mbrojtur ndaj **rrezatimit të shpërhapur nga pacienti** përcaktohet nga **Ekuacioni (9)**, ku:

- **P**, kufiri i dozës për publikun është: 6 µSv/jave
- **d<sub>sa</sub>** është **1.0 m** (distanca nga burimi te pacienti);
- **d<sub>sec</sub>** është **5.0 m** (distanca nga pacienti te pika përtej barrierës sekondare);

- **a**, fraksioni i rrezatimit të shpërhapur në 90° për rrezet X me 6 MV, është:  
0.0006 per 400 cm<sup>2</sup> (Tabela 5);  
**W**, ngarkesa javore, është: 10<sup>3</sup> Gy/jave;
- **T**, faktori i okupimit:
  - është **1** për një barrierë sekondare (p.sh. dhoma e kontrollit),
  - dhe **0.1** për barrierën tjetër;
- **F**, madhësia e fushës, është:  
400 cm<sup>2</sup> (megjithatë madhësia maksimale është 40 cm × 40 cm) përdorimi i një fushe  
20 cm × 20 cm është më realist

$$B_p = \frac{6 \times 1^2 \times 5^2}{0.0006 \times 10^3 \times 10^6 \times 1 \times (400/400)}$$

$$= 2.5 \times 10^{-4} \text{ (or } 2.5 \times 10^{-3} \text{ for } T = 0.1)$$

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{2.5 \times 10^{-4}} \right) = 3.6 \text{ (or 2.6 TVLs for } T = 0.1)$$

Këto vlera të **TVL-ve** janë të njëjta me ato që përcaktohen për mbrojtje ndaj **rrezatimit të rrjedhur**. Prandaj, duhet shtuar një **HVL** (gjysmë-vlerë e shtresës dobësuese) shtesë në trashësinë e murit.

Për një TVL prej **279 mm**, një HVL është **84 mm**, kështu që:

- Trashësia e barrierës sekondare do të jetë:

$$1060 + 84 = 1150 \text{ mm}$$

për zona me **okupim 1** (p.sh. dhoma e kontrollit), dhe:

- $780 + 84 = 870 \text{ mm}$  për zona me **okupim 0.1**.

### 6.2.3. Fuqia e dozës në hyrjen e labirintit (maze)

Në këtë shembull, **fuqia e dozës (IDR)** është përcaktuar duke zëvendësuar vlerat **W** dhe **U** me **shkallën e dozës në izocentër (DR<sub>0</sub>)**. Shembulli në vijim përcakton shkallën e dozës në hyrjen e labirintit kur tufa është e drejtuar nga **muri i labirintit**, i cili përfaqëson rastin më të keq.

#### 6.2.3.1. Fuqia e dozës që vjen nga pacienti (DR<sub>p</sub>)

Fuqia e dozës e prodhuar nga **rrezatimi i shpërhapur nga pacienti (DRp)** përcaktohet nga **Ekuacioni (13)**, ku:

- **DR<sub>0</sub>** —fuqia e dozës në izocentër është

$$2.5 \text{ Gy/min} = 2.5 \times 60 \times 10^6 \text{ mikroGy/h}$$

- **a** — raporti i rrezatimit të shpërhapur për rreze X me 6 MV në kënd 90° është

$$0.0006 \text{ (Tabela 5)}$$

**F** — madhësia e fushës është

$$20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

- **α** — koeficienti i reflektimit për rreze X me energji 0.5 MeV është

$$0.022 \text{ (vlerë e rumbullakuar nga Tabela 6 për reflektim në kënd 45°)}$$

- **A<sub>1</sub>** — sipërfaqja e murit që kontribuon në rrezatimin e shpërhapur drejt labirintit është

$$3.3 \text{ m linear gjerësi dhe } 3.5 \text{ m në lartësi}$$

- **A<sub>2</sub>** — sipërfaqja e prerjes tërthore të labirintit është 3.0 m (lartësi) × 2.0 m *(tavani në labirint është ulur për të reduktuar rrezatimin e shpërhapur në hyrje)*

- **d<sub>sca</sub>** — distanca nga burimi te pacienti është 1 m

- **d<sub>1</sub>** — distanca mesatare deri te muri (CD) është 4 m

- **d<sub>2</sub>** — distanca nga muri te hyrja e labirintit është 7.2 m

$$\begin{aligned} DR_p &= \frac{2.5 \times 60 \times (0.0006 \times 1) \times (0.022 \times 3.3 \times 3.5) \times (0.022 \times 2.0 \times 3.0)}{(1 \times 4 \times 7.2)^2} \\ &= 3.6 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

#### 6.2.3.2. Fuqia e dozës që vjen nga tufa primare (DRw)

Transmetimi i tufes primare në labirint përmes murit të labirintit duhet të merret parasysh duke përdorur Ekuacionin (15), ku:

**DR<sub>0</sub>**, Fuqia e dozës është  $(2.5 \times 60 \times 10^6) \text{ mikroGy} \cdot \text{h}^{-1}$ ;

**B<sub>pr</sub>**, transmetimi i tufes primare përmes barrierës së labirintit është  $1.8 \times 10^{-6}$ ;

**α<sub>p</sub>**, koeficienti i reflektimit për tufe të shpërndare në 75° nga tufa primare e dobësuar që godet murin e jashtëm të labirintit është 0.0003 (Tabela 7);

**A<sub>p</sub>**, madhësisë maksimale të fushës në anën tjetër të murit të labirintit është 4.0 m i gjerë dhe lartësia është e kufizuar nga lartësia e dhomës, 3.0 m;

**dP**, distanca nga burimi te muri i jashtëm i labirintit është 8.0 m;  
**d''**, distanca nga qendra e sipërfaqes **Ap** te hyrja e labirintit është 4.5 m.

6.2.3.3. Fuqia e dozës nga rrjedhja e kokës së akseleratorit e shpërhapur drejt hyrjes së labirintit ( $DR_L$ )

Kontributi i rrezatimit të rrjedhur nga koka e akseleratorit e shpërhapur përcaktohet nga Ekuacioni (16), ku:

$DR_0$ , shkalla e dozës në izocentër është  $(2.5 \times 60 \times 10^6)$  mikroGy·h<sup>-1</sup>;

$L_0$ , rrjedhja në 1.0 m është  $10^{-3}$  (0.1%);

$\alpha_1$ , koeficienti i reflektimit në murin prej betoni për rreze X me 6 MV është 0.007;

$A_1$ , sipërfaqja e prerjes tërthore të labirintit është 2.0 m gjerësi  $\times$  3.0 m lartësi deri në tavan;

$dI$ , distanca nga burimi te qendra e labirintit është 7.75 m (rasti më i keq);

$dm$ , distanca përgjatë qendrës së labirintit është 8.75 m.

Në këtë shembull, shkalla e dozës që vjen nga rrjedhja e shpërhapur drejt hyrjes së labirintit do të jetë:

$$DR_L = \frac{2.5 \times 60 \times 10^{-3} \times (0.007 \times 2.0 \times 3.0)}{(7.75 \times 8.75)^2} = 1.4 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

6.2.3.4. Fuqia e dozës nga transmetimi i rrjedhjes së kokës drejt hyrjes së labirintit ( $DR_T$ )

Kjo përcaktohet nga Ekuacioni (17), ku:

$DR_0$  është  $(2.5 \times 60)$  Gy·h<sup>-1</sup>;

$L_0$ , rrjedhja është  $10^{-3}$  si më parë;

**B**, transmetimi përmes barrierës dytësore drejt hyrjes së labirintit është  $1.5 \times 10^{-4}$ ;

**dt**, distanca më e shkurtër nga burimi te hyrja e labirintit është 6.0 m.

$$DR_L = \frac{2.5 \times 60 \times 10^{-3} \times (1.5 \times 10^{-4})}{(6.0)^2} = 0.6 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Shkalla totale e dozës në hyrjen e labirintit  $DR_d$  do të jetë shuma e këtyre komponentëve:

$$DR_d = 3.6 + (0.75 \times 10^{-3}) + 1.4 + 0.6 = 5.6 \text{ mikroSv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Kjo është dukshëm më poshtë se kufiri prej **7.5 mSv·h<sup>-1</sup>**. Kontributi më i madh vjen nga rrezatimi i shpërhapur nga pacienti.

### 6.3. OBJEKTI I AKCELERATORIT LINEAR 18 MV

Figura 12 paraqet një propozim për një objekt me akcelerator linear 18 MV të vendosur në SHBA. Kufijtë e dozës që do të përdoren në projekt janë 1 mSv në vit për çdo person. Objekti

është projektuar për zona publike me kufi doze prej 1 mSv në vit, dhe për zonën e kontrollit të trajtimit me kufi prej 5 mSv në vit. Kufiri i dozës për orë (Rh) është 20 mSv. Ngarkesa e pritshme është 40 pacientë në ditë me orar tetëorësh, pesë ditë në javë, dhe çdo pacient merr një dozë prej 3 Gy në izocentër. Akceleratori ka një normë maksimale të daljes së dozës prej 12 Gy·min<sup>-1</sup>, ndërsa norma normale e përdorur është 5 Gy·min<sup>-1</sup>.

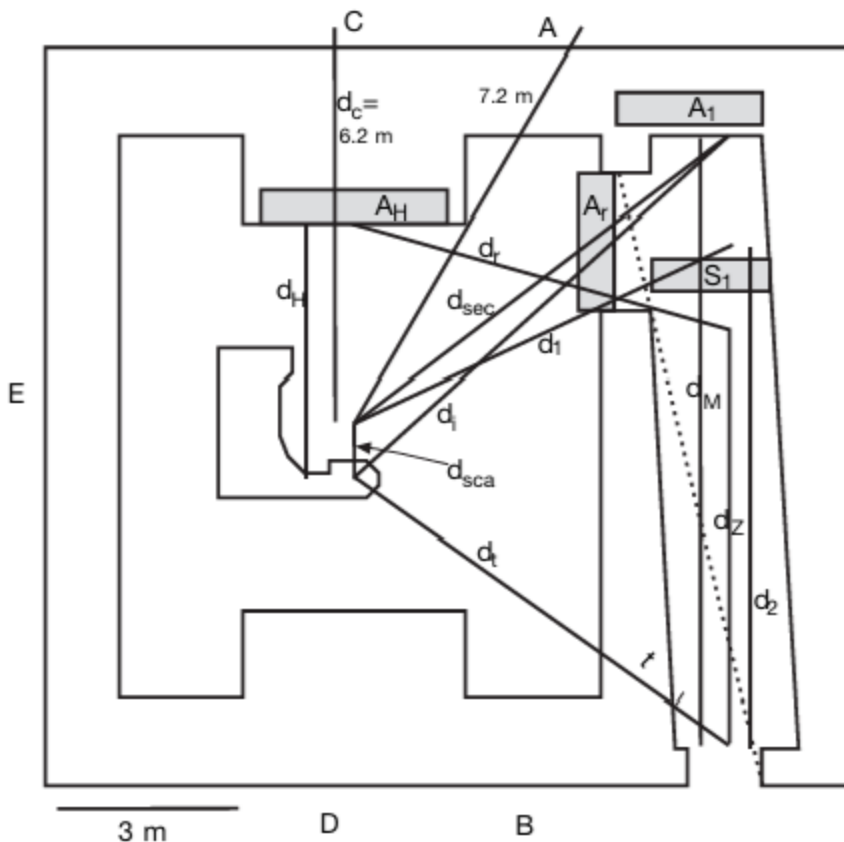


FIG. 12. Skema e një objekti me akcelerator 18 MV.

### 6.3.1. Barriera parësore

#### 6.3.1.1. Zona publike në vendndodhjen C

##### Shembulli 1: Barriera parësore

Për të përcaktuar trashësinë e nevojshme të barrierës në vendndodhjen C, e cila është një parking i pambikëqyrur, përdoret ekuacioni (5):

- **P**: kufiri i projektuar për një zonë publike është 20 μSv·javë<sup>-1</sup> (1 mSv ÷ 50 = 20 μSv·javë<sup>-1</sup>);
- **dc**: distanca nga izocentri është 6.2 m;
- **W**: ngarkesa për një javë me pesë ditë është 600 Gy (40 pacientë × 3 Gy × 5 ditë);

- **U:** faktori i përdorimit është 0.25;
- **T:** faktori i zënies është 0.0625 (1/16) sipas Tabelës 3.

$$B = \frac{20 \times 10^{-6} \times (6.2 + 1)^2}{600 \times 0.25 \times 0.0625} = 1.11 \times 10^{-5}$$

Numri i nevojshëm i TVL-ve (niveli i vlerës së transmetimit) për të arritur këtë zvogëlim (attenuim) përcaktohet nga Ekuacioni (6):

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{2.76 \times 10^{-5}} \right) = 3.96$$

TVL-ja për rrezet X me energji 18 MV në beton është 445 mm (sipas Tabelës 4), dhe për rrjedhojë trashësia e nevojshme e barrierës është:

$$3.96 \times 445 = 1762 \text{ mm.}$$

### Shembulli 2: Vlerësimi i kufirit të dozës për çdo orë (TADR)

Për të përcaktuar nëse respektohet kufiri i dozës për çdo orë, merret parasysh norma maksimale e daljes së dozës në izocentër, që është **12 Gy·min<sup>-1</sup>**.

Në këtë normë dozimi, doza e pritshme në vendndodhjen C, duke llogaritur zvogëlimin (dobesimin) **B = 1.11 × 10<sup>-4</sup>**, është:

$$\text{IDR} = \frac{12 \times 60 \times 1.11 \times 10^{-4}}{7.2^2} = 1.54 \times 10^{-3} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Është përcaktuar se në një orë nuk mund të rrezatohen më shumë se 12 pacientë, që përkon me një ngarkesë pune prej **36 Gy**. Duke krahasuar një ngarkesë pune prej **600 Gy** për javë (nëse e gjithë puna javore do të kryhej brenda një ore) me ngarkesën maksimale orare prej **36 Gy**, merret vlera më e vogël, pra **36 Gy**, si vlera për **Wh** (ngarkesa orare e punës).

Sipas **Ekuacionit (4)**, doza në çdo orë është:

$$R_h = 1.54 \times 10^{-3} \times \frac{36 \times 0.25}{12 \times 60} = 1.93 \times 10^{-5} \text{ Sv}$$

E cila kenaq kerkesen prej 20mikroSv per ore

### Shembulli 3: Konsideratat për rrezatimin e shpërhapur (leakage)

Për të përcaktuar trashësinë e barrierës që nevojitet për të mbrojtur ndaj rrezatimit të shpërhapur në vendndodhjen C, përdoren **Ekuacionet (6) dhe (8)**.

Pasi njësitet e trajtimit janë në përgjithësi të mbrojtura për të siguruar më pak se **0.1%** rrjedhje (faktor 1/1000), **barriera parësore është e mjaftueshme** për të mbrojtur edhe nga rrezatimi i shpërhapur, siç ilustron në shembullin e mëposhtëm.

**Të dhënat hyrëse janë:**

- $P = 20 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{javë}^{-1}$ ;
- $ds = 6.2 \text{ m}$ ;
- $W = 600 \text{ Gy} \cdot \text{javë}^{-1}$ ;
- $T = 0.0625 \text{ (1/16)}$ .

$$B_L = \frac{1000 \times 20 \times 10^{-6} \times 6.2^2}{600 \times 0.0625} = 2.05 \times 10^{-2}$$

dhe

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{2.05 \times 10^{-2}} \right) = 1.69$$

Numri i **TVL-ve** të nevojshëm për mbrojtjen ndaj **rrezatimit të shpërhapur (leakage)** është shumë më i vogël se ai i kërkuar për mbrojtjen nga rrezja parësore. Prandaj, **trashësia e barrierës parësore është mëse e mjaftueshme për të mbrojtur edhe nga rrezatimi i shpërhapur**.

### Shembulli 4: Konsideratat për shpërhapjen e tufes nga pacienti

Për të përcaktuar trashësinë e nevojshme të barrierës për mbrojtje nga **rrezatimi i shpërhapur nga pacienti** në vendndodhjen C, përdoret **Ekuacioni (9)**.

**Rasti më i keq** është kur rrezja është e drejtuar direkt nga vendndodhja C, pasi **koeficienti i shpërhapjes ( $\alpha$ )** është më i madh dhe **energja e rrezatimit të shpërhapur me kënd të vogël** është gjithashtu më e lartë.

Nëse **barriera parësore është mjaftueshëm e gjerë** për të mbuluar edhe rrezatimin e shpërhapur me kënd të vogël, **nuk nevojitet trashësi shtesë** për mbrojtjen ndaj shpërhapjes. Shembulli i mëposhtëm e ilustron këtë pikë.

**Të dhënat hyrëse janë:**

- $P = 20 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{javë}^{-1}$

- $d_{sca} = 1$  m (distanca nga pacienti deri në pikën e shpërhapjes)
- $d_{sec} = 6.2$  m (distanca nga vendi i shpërhapjes deri në pozicionin C)
- $\alpha = 1.42 \times 10^{-2}$  (sipas Tabelës 5, për rrezatimin 18 MV të shpërhapur në  $10^\circ$  në një thellësi prej 2.5 cm)
- $W = 600$  Gy·javë<sup>-1</sup>
- $T = 0.0625$  (1/16)
- **Fusha F** =  $40 \times 40$  cm<sup>2</sup> (fusha maksimale e rrezes përdoret për arsye konservative)

$$B_p = \frac{20 \times 10^{-6} \times 1 \times 6.2^2}{1.42 \times 10^{-2} \times 600 \times 0.25 \times 0.0625 \times (40 \times 40 / 400)} = 3.61 \times 10^{-4}$$

**Numri i TVL-ve të nevojshëm** për të arritur këtë zvogëlim (attenuim) përcaktohet nga Ekuacioni (6):

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{3.61 \times 10^{-4}} \right) = 3.44$$

n=3.44

Në krahasim me numrin e TVL-ve të nevojshme për të zvogëluar rrezën parësore

$$n = 3.96 + 2 \times 0.301 = 4.56$$

(i llogaritur më herët), **trashësia e nevojshme për të zvogëluar rastin më të keq të shpërhapjes nga pacienti është më e vogël se për tufen parësore me më shumë se një TVL.** Prandaj, trashësia e murit e përcaktuar për barrierën parësore do të jetë **më se e mjaftueshme për të mbrojtur edhe nga rrezatimi i shpërhapur.**

Për kënde të tjera të gantrit (gantry), **fraksioni i shpërhapjes** do të jetë ndjeshëm më i vogël dhe **energia e rrezatimit të shpërhapur** gjithashtu shumë më e ulët. Prandaj, **trashësia e barrierës së nevojshme për tufen parësore do të jetë e mjaftueshme për të zvogëluar të gjithë rrezatimin e shpërhapur.**

### 6.3.1.2. Zona e kontrollit të trajtimit

#### Shembulli 5: Barrierë parësore në vendndodhjen D

Për zonën e kontrollit të trajtimit, kufiri i projektuar i dozës **P** është:

- **5 mSv/vit, ose 0.1 mSv/javë**

Të dhënat e tjera për përdorim në **Ekuacionin (5)** janë:

- $d = 6.2$  m (distanca nga D deri në izocenter)
- $W = 600$  Gy·javë<sup>-1</sup>
- $U = 0.25$
- $T = 1$  (faktori i zënies është i plotë, sepse zona është gjithmonë e zënë nga personeli)

$$B = \frac{0.1 \times 10^{-3} \times (6.2 + 1)^2}{600 \times 0.25 \times 1} = 3.46 \times 10^{-5}$$

dhe Nr

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{3.46 \times 10^{-5}} \right) = 4.46$$

**Trashësia e nevojshme e barrierës është:**

$$4.46 \times 445 \text{ mm} = 1985$$

**Barriera parësore**, ashtu siç u tregua edhe në **shembujt 3 dhe 4**, është e mjaftueshme për të mbrojtur kundër **rrezatimit të shpërhapur (leakage)** dhe **shpërhapjes nga pacienti (scatter)**.

### 6.3.2. Barriera dytësore

#### 6.3.2.1. Zona publike në vendndodhjen A

**Shembulli 6: Konsiderata për rrezatimin e shpërhapur dhe atë nga pacienti**

Në këtë rast, merren parasysh **vetëm rrezatimi i shpërhapur (leakage)** dhe **shpërhapja nga pacienti**, pasi **nuk ka tufe parësore të drejtuara** në drejtim të vendndodhjes A.

Për arsye konservative, përdoret **këndi minimal i shpërhapjes prej 30°**, për të marrë vlerën e koeficientit të shpërhapjes  $\alpha$  nga Tabela 5.

**Të dhënat hyrëse** që përdoren në **Ekuacionet (6), (8) dhe (9)** janë:

- $P = 20 \times 10^{-6}$  Sv·javë<sup>-1</sup>
- $d_s = 7.2$  m (distanca për rrezatimin e shpërhapur)
- $d_{sa} = 1$  m (distanca nga pacienti te pika e shpërhapjes)
- $d_{sec} = 7.2$  m (distanca nga pika e shpërhapjes te vendndodhja A)
- $\alpha = 2.53 \times 10^{-3}$  (për rrezatim 18 MV në thellësi 2.5 cm dhe kënd 30°)
- $W = 600$  Gy·javë<sup>-1</sup>
- **Fusha (F)** = 40 × 40 cm<sup>2</sup>
- $T = 0.0625$  (1/16)

Per rrezatimin rrjedhes perdorim Eq. (8)

$$B_L = \frac{1000 \times 20 \times 10^{-6} \times 7.2^2}{600 \times 0.0625} = 2.76 \times 10^{-2}$$

$$n \text{ (leakage)} = 1.56$$

TVL-ja për rrezatimin e shpërhapur (leakage) me energji 18 MV në beton është 330 mm (sipas Tabelës 4); prandaj, trashësia e nevojshme e barrierës për rrezatimin e shpërhapur është:  
 **$1.56 \times 330 = 515 \text{ mm}$**  beton.

Për përcaktimin e mbrojtjes ndaj shpërhapjes nga pacienti përdoret **Ekuacioni (9)**:

$$B_p = \frac{20 \times 10^{-6} \times 1 \times 7.2^2}{2.53 \times 10^{-3} \times 600 \times 0.0625 \times (40 \times 40 / 400)} = \times 10^{-3}$$

Numri i TVL-ve për shpërhapjen nga pacienti është:  $n=2.56$  Sipas Tabelës 11, TVL-ja për shpërhapjen e pacientit me kënd  $30^\circ$  në beton është 288 mm. Prandaj, trashësia e barrierës për shpërhapjen nga pacienti është:

$$2.56 \times 288 = 737 \text{ mm}$$

Dallimi midis trashësisë së barrierës për shpërhapjen dhe asaj për rrezatimin e shpërhapur (leakage) është:

$737 \text{ mm} - 515 \text{ mm} = 222 \text{ mm}$  që është më pak se një TVL Prandaj, duhet të shtohet një **HVL** (Half-Value Layer) mbi vlerën më të lartë. Për një TVL prej 330 mm, një HVL është: 99 mm

Kështu, trashësia totale e barrierës së nevojshme për vendndodhjen A është:

$$737 + 99 = 836 \text{ mm}$$

Kjo trashësi korrespondon me:

- **2.90 TVL** për shpërhapjen me kënd  $30^\circ$  (sipas Tabelës 11), me një zvogëlim  $B_p = 1.25 \times 10^{-3}$ ;
- dhe **2.53 TVL** për rrezatimin e shpërhapur (leakage), me një zvogëlim  $BL = 2.93 \times 10^{-3}$

---

## Shembulli 7: Konsiderata për kufirin e dozës në çdo orë (TADR $R_h$ )

Për të përcaktuar nëse respektohet kufiri i dozës në çdo orë, duhet përdorur norma maksimale e daljes së dozës në izocentër, **12 Gy·min<sup>-1</sup>**. Në këtë normë doze, doza e pritshme në vendndodhjen A është shuma e normave të dozës që kontribuohen nga **shpërhapja nga pacienti** dhe **rrezatimi i shpërhapur (leakage)**.

Duke përdorur fraksionin e shpërhapjes  $\alpha=2.53 \times 10^{-3}$  nga Tabela 5, norma e fuqisedozës nga shpërhapja nga pacienti është:

$$\text{IDR}_p = \frac{12 \times 60 \times 2.53 \times 10^{-3} \times (40 \times 40 / 400) \times 1.25 \times 10^{-3}}{7.2^2} \\ = 1.76 \times 10^{-4} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Dhe fuqia e dozës së rrjedhur është

$$\text{IDR}_L = \frac{12 \times 60 \times 2.93 \times 10^{-3}}{1000 \times 7.2^2} = 4.07 \times 10^{-5} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Fuqia e Dozës totale (IDR) në vendndodhjen A është:

$$\text{IDR} = \text{IDR}_p + \text{IDR}_L = 1.76 \times 10^{-4} + 4.07 \times 10^{-5} = 2.2 \times 10^{-4} \text{ Gy}$$

Duke përdorur vlerën e ngarkesës orare të punës  $W_h = 36 \text{ Gyh}^{-1}$ , siç u përshkrua në shembullin 2, dhe nga **Ekuacioni (4)**, doza në çdo orë llogaritet si:

$$R_h = 2.2 \times 10^{-4} \times \frac{36 \times 1}{12 \times 60} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Kjo vlerë është më e ulët se kufiri prej **20 mSv në çdo orë**.

### 6.3.2.2. Barriera dytësore në vendndodhjen B

#### Shembulli 8

Në vendndodhjen B nuk drejtohet rrezatim parësor. Duhet të merren në konsideratë vetëm **rrezatimi i shpërhapur (leakage)** dhe **shpërhapja nga pacienti**. Për arsye konservative përdoret këndi minimal i shpërhapjes prej **30°** për të marrë funksionin e shpërhapjes nga Tabela 5.

**Të dhënat hyrëse që përdoren në Ekuacionet (6), (8) dhe (9) janë:**

- $P = 0.1 \times 10^{-3} \text{ Sv} \cdot \text{jave}^{-1}$
- $d_s = 7.2 \text{ m}$

- $d_{sca}=1$  m
- $d_{sec}=7.2$  m
- $a=2.53 \times 10^{-3}$
- $W=600$  Gyjave<sup>-1</sup>
- $F=40 \times 40$  cm<sup>2</sup>
- $T=1$
- Per rrezatimin rrjedhes (Eq.((8))

$$B_L = \frac{1000 \times 0.1 \times 10^{-3} \times 7.2^2}{600 \times 1} = 8.64 \times 10^{-3}$$

Numri i TVL-ve për rrezatimin e shpërhapur (leakage) është:

$$n=2.06n = 2.06n=2.06$$

Trashësia e barrierës së nevojshme për të mbrojtur nga rrezatimi i shpërhapur është:

$$\text{Barriera per rrjeshje} = 2.06 \times 330 = 681 \text{ mm beton}$$

Për shpërhapjen nga pacienti përdoret **Ekuacioni (9)**:

$$B_p = \frac{0.1 \times 10^{-3} \times 1^2 \times 7.2^2}{2.53 \times 10^{-3} \times 600 \times 1 \times (40 \times 40 / 400)} = 8.54 \times 10^{-4}$$

Numri i TVL-ve për shpërhapjen nga pacienti është:  $n=3.07$

Sipas Tabelës 11, TVL-ja për shpërhapjen e pacientit me kënd 30° në beton është 288 mm.

Prandaj, trashësia e barrierës së nevojshme për mbrojtjen nga rrezatimi i shpërhapur nga pacienti është:

$$3.07 \times 288 = 884 \text{ mm}$$

Dallimi midis trashësive të barrierës për shpërhapjen dhe rrezatimin e rrjedhur është:

$$884 \text{ mm} - 681 \text{ mm} = 203 \text{ mm që është më pak se një TVL.}$$

Prandaj, sipas Seksionit 5.2.2, shtohet një trashësi **HVL** për rrezatimin e shpërhapur mbi vlerën më të madhe. Duke marrë HVL-në prej 99 mm, trashësia totale e barrierës për vendndodhjen B është:  $884 + 99 = 983 \text{ mm}$

### 6.3.3. Zona e derës së labirintit (maze)

#### 6.3.3.1. Shembulli 9: Rrezatimi i shpërhapur dhe ai i rrjedhes (leakage)

Për një akselerator me energji të lartë, kontributi i **rrezatimit të shpërhapur dhe rrjedhës** që arrin në **derën e labirintit (maze door)** është relativisht i vogël në krahasim me përbërësit e dozës nga **rrezatimi gama dhe neutronet**, të paraqitur në shembujt 10 dhe 11. Meqenëse struktura e dhomës është e ngjashme me atë të paraqitur në **Figurën 4**, mund të përdoret **Ekuacioni (18)** për të thjeshtuar llogaritjen e **dozës në derë,  $D_d$** :

$$D_d = 2.64 \left( D_{pH} + f \times D_{wH} + D_{LH} + D_{TH} \right)$$

Ku çdo element llogaritet si më poshtë:

### **Komponenti i shpërhapjes nga pacienti $D_{pH}$**

Përdoret **Ekuacioni (13)** për të llogaritur **dozën në derë**, të shpërhapur nga pacienti kur rrezja është e drejtuar nga muri H, ose vendndodhja C, siç paraqitet në **Figurën 12**.

**Të dhënat hyrëse janë:**

- $W=600$  Gy/jave (ngarkesa javore e punës)
- $U_0=0.25$  (faktori i përdorimit për atë drejtim)
- $F=40 \times 40$  cm<sup>2</sup> (fusha e tufes renese)
- $d_{sca}=1$  m (distanca pacient–pikë shpërhapjeje)
- $d_1=7.3$  m (distanca nga izocentri te muri A1)
- $d_M=9.9$  m (distanca nga muri A1 te dera e labirintit)
- $A1=2.8 \times 4.2$  m<sup>2</sup>=11.8 m<sup>2</sup> (sipërfaqja e murit)
- $\alpha = 8.64 \times 10^{-4}$  (funksioni i shpërhapjes për kënd 45°, nga Tabela 5)
- $\alpha = 2.03 \times 10^{-2}$  (koeficienti i reflektimit të murit prej betoni për kënd incident 45° dhe reflektim 0°, për fotone me 0.5 MeV, nga Tabela 6)

### **Shënim:**

Koeficienti i reflektimit  $\alpha_1$  varet nga **energja e rrezes dhe këndi i incidencës**. Pas shpërhapjes nga pacienti, për shkak të ndërveprimeve të efekti Compton-it, energjia mund të bjerë deri në **0.5 MeV**. Tabela 6 tregon se **koeficienti i reflektimit rritet me uljen e energjisë**, kështu që përdorimi i vlerës për 0.5 MeV **nuk do të nënvlerësojë dozën në derën e labirintit**.

Përdorimi i **Ekuacionit (13)** me të dhënat e përmendura më parë na jep vlerën e dozës së shpërhapur nga pacienti që arrin në derën e labirintit:

$$D_{pH} = \frac{600 \times 0.25 \times 8.64 \times 10^{-4} \times (40 \times 40 / 400) \times 2.03 \times 10^{-2} \times 11.8}{(1 \times 7.3 \times 9.9)^2}$$

$$= 2.38 \times 10^{-5} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

Komponenti i shpërhapjes nga muri ( $D_{wH}$ ) (Eq. 14)

Përlllogaritja e dozës që arrin në derën e labirintit si rezultat i **rrezatimit të shpërhapur nga muri H**, bëhet me **Ekuacionin (14)**.

**Të dhënat hyrëse janë:**

- $W = 600 \text{ Gy} \cdot \text{javë}^{-1}$
- $U_H = 0.25$  (faktori i përdorimit për drejtimin e murit H)
- $d_H = 4.2 \text{ m}$  (distanca nga izocentri te muri H)
- $d_r = 5.9 \text{ m}$  (distanca nga muri H te hyrja e brendshme e labirintit)
- $d_z = 6.8 \text{ m}$  (distanca nga hyrja e brendshme e labirintit te dera)
- $\alpha_H = 1.62 \times 10^{-3}$  (koeficient reflektimi për 18 MV, kënd reflektimi  $75^\circ$ , incidencë normale)
- $\alpha_r = 7.54 \times 10^{-3}$  (koeficient reflektimi për 0.5 MeV, po të njëjtin kënd)
- $A_H = 2.82 \text{ m}^2$  (fusha e rrezes e projektuar në murin H)
- $A_r = 10.2 \text{ m}^2$  (sipërfaqja e hyrjes së brendshme të labirintit)

**Forma e përgjithshme e ekuacionit (14):**

$$D_{wH} = \frac{600 \times 0.25 \times 1.62 \times 10^{-3} \times 2.82 \times 7.54 \times 10^{-3} \times 10.2}{(4.2 \times 5.9 \times 6.8)^2}$$

$$= 1.86 \times 10^{-6} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

Kjo vlerë përfaqëson dozën nga **shpërhapja dytësore (dy reflektime)** e rrezatimit nga muri H, që arrin në derën e labirintit.

Edhe kjo është një **kontribut i vogël** në dozën totale në derë, krahasuar me burimet më dominuese të rrezatimit si gama dhe neutronët.

Komponenti i shpërhapjes nga rrjedhja e kokës së njësisë ( $D_{LH}$ )

Ky komponent përfaqëson **dozën që arrin te dera e labirintit** si rezultat i **rrjedhjes (leakage)** nga koka e akseleratorit, që shpërndahet nga **muri A1**.

### Të dhënat hyrëse:

- $L_0=1\times 10^{-3}$  (rrjedhja standarde e kokës e lejuar = 0.1%)
- $W=600$  Gy/jave
- $U_H=0.25$
- $\alpha_1=4.11\times 10^{-3}$  (koeficient reflektimi për 18 MV, kënd incidence  $45^\circ$ , kënd reflektimi  $0^\circ$  Tabela 6)
- $A_1=11.8$  m<sup>2</sup> (sipërfaqja e murit A1)
- $d_i=7.9$  m (distanca nga burimi në kokë te muri A1)
- $d_m=9.9$  m (distanca nga muri A1 te dera e labirintit)

Doza në derën e labirintit nga rrjedhja e kokës së akseleratorit e shpërhapur nga muri A<sub>1</sub> ( $D_{LH}$ )

$$D_{LH} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 600 \times 0.25 \times 4.11 \times 10^{-3} \times 11.8}{(7.9 \times 9.9)^2}$$
$$= 1.19 \times 10^{-6} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

### Doza nga rrjedhja e kokës makines përmes murit të labirintit ( $D_{TH}$ )

#### Ekuacioni (17)

Ky komponent përfaqëson **rrjedhjen direkte të rrezatimit nga koka e akseleratorit që kalon përmes murit të labirintit** në mënyrë të pjerrët (jo përmes derës).

### Të dhënat hyrëse:

- $L_0=1\times 10^{-3}$  (rrjedhja standarde e kokës = 0.1%)
- $W=600$  Gy/jave
- $U_H=0.25$  (faktori i përdorimit për atë drejtim)
- $d_t=7.1$  m (distanca nga burimi në kokë te pika e llogaritjes pas murit)
- Trashësia pjeret e murit të labirintit  $t=1200$  mm=1.2 m
- TVL për rrezatim rrjedhës (leakage) në beton = 330 mm (sipas Tabelës 4)

### Llogaritja e transmetimit B:

$$B = 10^{-1200/330} = 2.31 \times 10^{-4}$$

The dose  $D_{TH}$  from Eq. (17) is:

$$D_{TH} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 600 \times 0.25 \times 2.31 \times 10^{-4}}{(7.1)^2} = 6.87 \times 10^{-7} \text{ Gy} \cdot \text{week}^{-1}$$

## Doza totale nga shpërhapja dhe rrjedhja, $D_d$

Doza totale në derën e labirintit për shkak të rrezatimit të shpërhapur dhe rrjedhjes, duke përdorur **Ekuacionin (18)** dhe  $f = 0.34$  (nga Tabela 8), është:

$$D_d = 2.64 \times (2.38 \times 10^{-5} + 0.34 \times 1.86 \times 10^{-6} + 1.19 \times 10^{-6} + 6.87 \times 10^{-7}) = 6.95 \times 10^{-5} \text{ Gy/jave}$$

### 6.3.3.2. Shembulli 10: Doza nga gama në derën e labirintit

Supozoni përsëri në këtë shembull se ngarkesa javore e punës është **600 Gy/javë**. Gjatësia e labirintit nga pika e brendshme e tij deri te dera është ( $d_2 =$ ) **8.5 m**.

Për të përcaktuar **dozën nga gama kapëse  $D_\phi$** , përdoret **Ekuacioni (24)**.

Fluksi total i neutroneve  $\phi_A$  në pikën e brendshme të labirintit përcaktohet fillimisht me **Ekuacionin (23)**. Akseleratori është një makinë **Varian 18 MV**, dhe nga **Tabela 9**, vlera e  $Q_N = 1.22 \times 10^{12}$  neutrone për cdo Gy në izocentër. Distanca nga izocentri deri te pika e brendshme e labirintit është ( $d_1 =$ ) **6.4 m**. Skema dhe dimensionet e dhomës së trajtimit paraqiten në **Figurat 13 dhe 14**.

Sipërfaqja e brendshme e dhomës S, për përdorim në **Ekuacionin (23)**, është shuma e sipërfaqeve të:

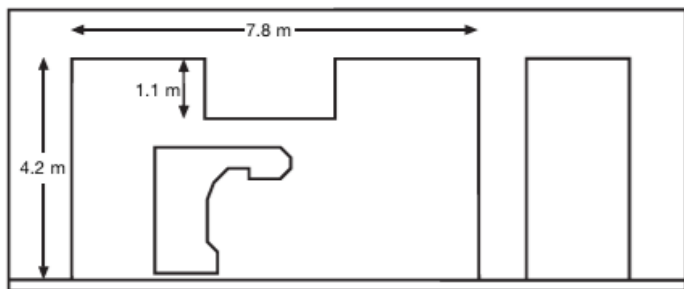
- tavanit dhe dyshemesë,
- mureve të përparme dhe të pasme,
- mureve anësore të majta dhe të djathta.

Lartësia mesatare e dhomës është **3.65 m**, gjerësia mesatare është **7.8 m**, dhe gjatësia mesatare është gjithashtu **7.8 m** (shih Seksionin 5.6).

Prandaj, sipërfaqja totale është:

$$S = 2 \times (7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 7.8) = 236 \text{ m}^2$$

Fluksi total i neutroneve për cdo **Gy në X-rayizocentër**, në pikën A të labirintit të brendshëm, nga **Ekuacioni (23)** është:

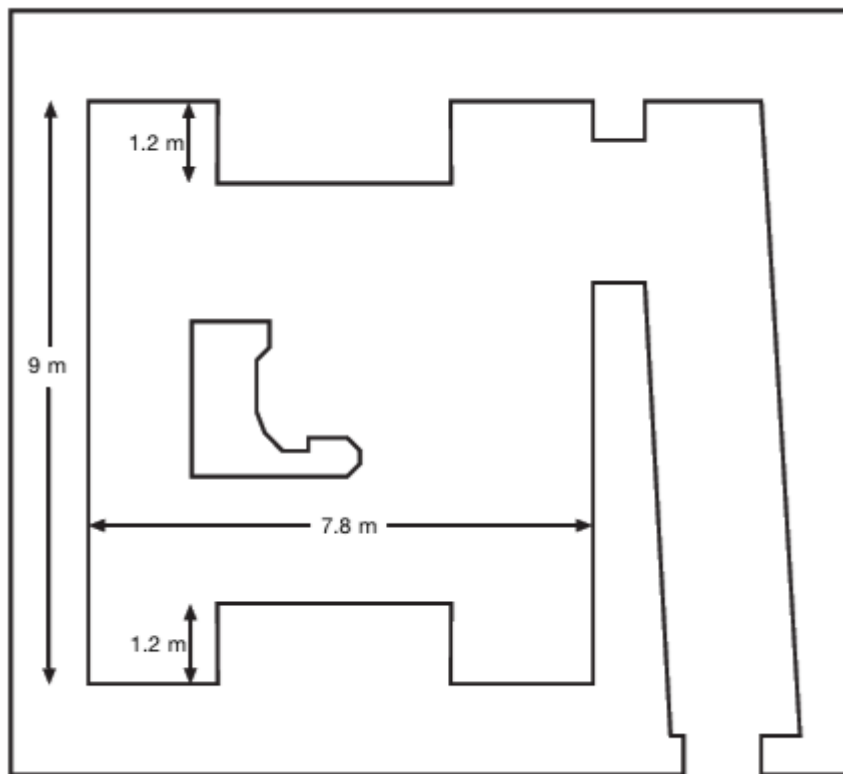


**FIG. 13. Skemë prerjeje e dhomës së trajtimit**

Ky është një diagram i seksionit (prerjes vertikale) të dhomës së trajtimit, i cili zakonisht përfshin:

- **Akseleratorin linear** të pozicionuar në izocentër.
- **Muret mbrojtëse** përreth, duke përfshirë barrierën primare dhe dytësore.
- **Labirintin** me kthesa për reduktimin e rrezatimit që arrin te dera.
- **Dera e labirintit**, vendndodhja për të cilën llogaritet doza e mbetur.
- **Pikat karakteristike** si distanca nga izocentri te pika e brendshme e labirintit (d1d\_1d1) dhe te dera (d2d\_2d2).

Ky vizatim është i domosdoshëm për të kuptuar rrjedhën e rrezatimit dhe për të identifikuar drejtimet e shpërhapjes, rrjedhjes dhe burimet e dozës që duhen përfshirë në llogaritjet e mbrojtjes.



**FIG. 14. Dimensionet e dhomës së trajtimit**

Kjo figurë paraqet përmasat fizike të dhomës së trajtimit, dhe zakonisht përfshin informacionet e mëposhtme:

- **Gjatësia** mesatare e dhomës: **7.8 m**
- **Gjerësia** mesatare e dhomës: **7.8 m**
- **Lartësia** mesatare e dhomës: **3.65 m**

Nga këto dimensione llogaritet:

Sipërfaqja totale e brendshme e dhomës (S) =  $2 \times (7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 7.8) = 236 \text{ m}^2$   
 Sipërfaqja totale e brendshme e dhomës (S) =  $2 \times (7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 3.65 + 7.8 \times 7.8) = 236 \text{ m}^2$

#### Qëllimi i Fig. 14:

Kjo figurë shërben për:

- përcaktimin e sipërfaqes së mureve për llogaritjen e **fluksit të neutroneve** në brendësi të labirintit,
- për llogaritjen e **dendësisë së rrezatimit** në pika të ndryshme,
- dhe për verifikimin e **efikasitetit të barrierave mbrojtëse**.

$$\begin{aligned}\varphi_A &= \frac{1.22 \times 10^{12}}{4\pi \times 6.4^2} + \frac{5.4 \times 1.22 \times 10^{12}}{2\pi \times 236} + \frac{1.26 \times 1.22 \times 10^{12}}{2\pi \times 236} \\ &= 7.85 \times 10^9 \text{ neutrons} \cdot \text{m}^{-2}\end{aligned}$$

Doza e gamma kapëse në derën e labirintit, sipas Ekuacionit (24), është:

$$D_\varphi = 5.7 \times 10^{-16} \times 7.85 \times 10^9 \times 10^{-(8.5/6.2)} = 1.9 \times 10^{-7} \text{ Gy/isocentre Gy}$$

Doza javore në derën e labirintit  $D_c$  sipas Ekuacionit (25), është:

$$D_c = 600 \times 1.9 \times 10^{-7} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ Sv} \cdot \text{week}^{-1}$$

#### 6.3.3.3. Shembulli 11: Doza e neutroneve në derën e labirintit

Për të përcaktuar dozën e neutroneve në hyrjen e labirintit për dhomën e trajtimit të përshkruar në Shembullin 10, nevojiten:

- Sipërfaqja e hapjes së brendshme të labirintit,  $A_r$ ,
- Sipërfaqja kryqëzore e labirintit,  $S_1$ , të cilat janë të paraqitura në Figurinë 12.

**Të dhënat për këtë dhomë janë:**

- $A_r = 10.2 \text{ m}^2$
- $S_1 = 8.76 \text{ m}^2$

Doza e neutroneve në hyrjen e labirintit përcaktohet me Ekuacionin (26), duke përdorur të dhënat hyrëse nga Shembulli 10 dhe vlerën më të lartë të  $H_1$  për një njësinë trajtimi me rreze X 18 MeV nga Tabela 10.

$$D_n = 3.18 \times 10^{-3} \times (10.2/8.76)(1/6.4)^2 \times 10^{-8.5/5} \\ = 1.80 \times 10^{-6} \text{ Sv per X ray-Gy at isocentre}$$

Për të vlerësuar dozën e neutroneve duke përdorur metodën alternative të  $W_u$  dhe McGinley, së pari përcaktohet gjatësia e labirintit për vlerën e dhjetë (TN) duke përdorur Ekuacionin (28).

$$T_N = 2.06 \times \sqrt{8.76} = 6.1 \text{ m}$$

Doza e neutroneve në hyrjen e labirintit përcaktohet më pas duke përdorur Ekuacionin (29), së bashku me të dhënat hyrëse nga Shembulli 10 dhe vlerën e fluksit neutronik  $\phi_A$  të marrë në Shembullin 10.

$$D_n = 2.4 \times 10^{-15} \times 7.85 \times 10^9 \times \sqrt{10.2/8.76} \times \left[ 1.64 \times 10^{-\left(\frac{8.5}{1.9}\right)} + 10^{-\left(\frac{8.5}{6.1}\right)} \right] \\ = 0.83 \times 10^{-6} \text{ Sv per X ray-Gy at isocentre}$$

Për Projektimin e dhomës siç është paraqitur, kjo metodë alternative pritet të japë një vlerësim më të saktë sesa metoda e Kersey-t.

#### 6.3.3.4. Shembulli 12: Barrierë mbrojtëse për derën e labirintit

Hyrja e labirintit ndodhet në një zonë të kontrolluar dhe kufiri i projektimit është **0.1 mSv·javë<sup>-1</sup>** (kjo është gjysma e 10 mSv·vit<sup>-1</sup>, e ndarë me 50 javë për të marrë 0.1 mSv·javë<sup>-1</sup>).

**Doza javore e neutroneve në hyrjen e labirintit, nga Ekuacioni (30):**

$$D_E = 600 \times 0.83 \times 10^{-6} = 5.0 \times 10^{-4} \text{ Sv/jave}$$

**Për të ulur dozën e neutroneve nga  $5.0 \times 10^{-4}$  Sv/jave, numri i TVL-ve të nevojshme është:**

$$N = \log_{10} (0.5/0.1) = 0.7$$

**Përdorimi i TVL-së për BPE (boron polyethylene) prej 45 mm (sipas Seksionit 5.7.3):**

Trashësia e nevojshme= $0.7 \times 45 = 32$  mm. Kjo është trashësia e nevojshme për mbrojtjen nga neutronet.

**Doza javore nga shpërhapja dhe rrjedhja ( $D_d$  nga Shembulli 9) dhe gamma ( $D_c$  nga Shembulli 10):**

$$D_d + D_c = 6.95 \times 10^{-5} + 1.14 \times 10^{-4} = 0.18 \times 10^{-3} \text{ Sv/jave}$$

**Për të ulur dozën javore nga 0.18 mSv/jave në kufirin prej 0.1 mSv/jave, numri i TVL-ve të kërkuar është:**

$$n = \text{Log}_{10}(0.18/0.1) = 0.26$$

Duke përdorur një TVL prej 6 mm për plumbin (Seksioni 5.7.3), trashësia e kërkuar është:

$$0.26 \times 6 = 1.5 \text{ mm}$$

Mbrojtja totale e nevojshme për derën e labirintit është:

- **1.5 mm plumb**, dhe
- **32 mm BPE** (boron polyethylene).

BPE-ja do të vendoset midis dy shtresave plumbi, secila me trashësi **0.75 mm**.

## 7. Shembuj të Punuar për një Simulator dhe Një Njësi Orto-voltazh

### 7.1. SIMULATORI

Një simulator konvencional ka një montim izocentrik dhe posedon kapacitete radiografike dhe fluoroskopike.

- **Dhoma e simulatorit** zakonisht është e mbyllur me panele gipsi ose mure betoni.
- Në rast nevojë për mbrojtje shtesë, zakonisht zëvendësohen ose shtohen panele me mbulesë plumbi me trashësi të përcaktuar si ekuivalente plumbi.
- Panele të mbuluara me plumb zakonisht shtrihen deri në një lartësi rreth **2.1 m**, përveç nëse tavanit nuk i bie sasia e mjaftueshme e dozës mbi simulatorin.
- Simulatori duhet të pozicionohet në mënyrë që rrezja primare të mos godasë drejtpërdrejt ekrane mbrojtëse, dritare apo dyer.
- Zona e konsolës së kontrollit duhet të mbrohet mirë nga rrezatimi primar, i shpërhapur dhe rrjedhës.
- Kjo arrihet zakonisht me ndarje prej panele gipsi të mbuluara me plumb dhe një dritare me xham plumbi që lejon pamjen e plotë të pacientit dhe simulatorit.
- Zona e konsolës duhet të jetë e dizajnuar në mënyrë që as rrezatimi primar dhe as ai i shpërhapur nuk të arrijë direkt operatorin.
- Edhe pse kabina e kontrollit është vetëm për punonjës të ekspozuar ndaj rrezatimit, kufiri i dozës në dizajn është i barabartë me atë për zonat e pakontrolluara apo publike.

**Figura 15** tregon një dhomë tipike simulatori.

Metodat e llogaritjes së mbrojtjes përshkruar në Seksionet 5.1 deri 5.3 zbatohen edhe për dhomat e simulatorëve.

- Për shkak se pacienti e zbut rrezën primare deri në një faktor deri në 1000, rrezatimi primar i shpërhapur nga muri është zakonisht i parëndësishëm dhe mund të anashkalohet.
- Rrezatimi i shpërhapur nga pacienti mund të vlerësohet duke përdorur Ekuacionin (9) dhe fraksionin e shpërndarjes 'a' të listuar në Tabelën 12 [38], ose duke përdorur ekuacionin tjetër dhe faktorin e shpërndarjes 'S' të dhënë në Tabelën 13 [37].

$$B_p = \frac{P d_{sca}^2 d_{sec}^2}{SW_{DAP} T}$$

Parametrat  $B_p$ ,  $P$ ,  $d_{scad}$   $T$  janë të njëjtë si ata të përdorur në Ekuacionin (9).

Faktori i shpërndarjes  $S$  është kerma e shpërhapur në ajër në 1 m nga shpërhapursi, për çdo njësi të produktit të dozës sipërfaqësore (Dose Area Product - DAP) në vendndodhjen e shpërhapursit.

Faktori i shpërndarjes lidhet me fraksionin e shpërndarjes  $a$  përmes shprehjes:

$$S=a/400$$

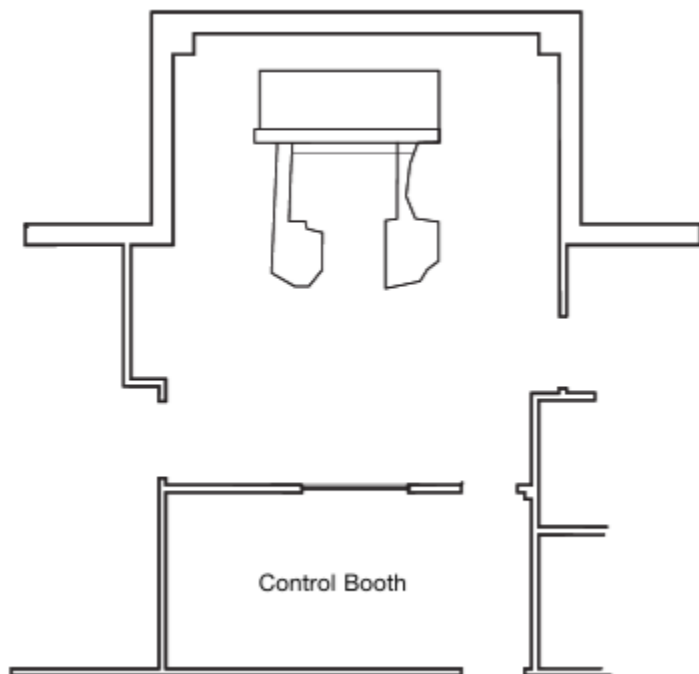


FIG. 15. Një dhomë tipike për një simulator me kapacitet fluoroskopik.

Për të vlerësuar rrezatimin e shpërhapur nga pacienti duke përdorur **Ekuacionin (9)**, të dhënat nga **Tabela 12** japin fraksionin e shpërndarjes së rrezatimit në pikën me interes, bazuar në punën e **Simpkin dhe Dixon**. Fraksionet e shpërndarjes të rekomanduara këtu janë më konservative për qëllime mbrojtjeje sesa vlerat e paraqitura në **NCRP 49**, pasi matjet janë kryer në mënyrë që të minimizohet vetëperthithja nga shpërhapursi.

Nëse përdoret **Ekuacioni (32)** për të vlerësuar rrezatimin e shpërhapur nga pacienti, atëherë **Tabela 13** jep faktorin e shpërndarjes  $S$ , të marrë nga matjet me fantomin **Rando**.

Në **Ekuacionet (5), (8) dhe (9)**, **workload-i  $W$**  është kerma në ajër në  $\text{Gy} \cdot \text{javë}^{-1}$ , bazuar në numrin e pritur të simulimeve javore të pacientëve. Në **Ekuacionin (32)**, **ngarkesa javore mesatare  $W_{\text{DAP}}$**  matet me **matës DAP(doze area product)** dhe jepet në  $\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$  (ose  $\text{Sv} \cdot \text{cm}^2$ , nëse  $P$  shprehet në Sv). Ngarkesa varet nga faktorët teknikë të përdorur për çdo rast, ose nga leximet e DAP-it nga një simulator ekzistues. Nëse kjo e dhënë nuk është e disponueshme, mund të përdoret një ngarkese javore prej **1 Gy në 1 m** me Eq. (9), ose  **$W_{\text{DAP}} = 400 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$**  me Eq. Ky workload bazohet në **25 procedura simulimi në javë**. **Alternativisht**, workload-i javor mund të perafrohet duke matur kermën në ajër në 1 m për një fushë prej **20 cm × 20 cm**, në **100 kVp dhe 40 mAs**.

Vlera e matur më pas ndahet me:

- **2.5 ekspozime radiografike për pacient** (në 100 kVp dhe 40 mAs për ekspozim), dhe
- **5 mA-min. fluoroskopi për pacient.**

Workload-i që korrespondon me këtë përdorim mA-min. merret si **1 Gy·javë<sup>-1</sup>**.

Nëse numri i javor i simulimeve është ndjeshëm ndryshe nga 25, ose modeli i përdorimit të ekspozimit radiografik dhe fluoroskopik është ndryshe, atëherë workload-i duhet të rregullohet në përputhje me rrethanat.

**Faktori i përdorimit (use factor)** për çdo mur, tavan dhe dysHEME mund të vlerësohet bazuar në përdorimin real.

Nëse kjo e dhënë nuk është e disponueshme:

- përdoret **0.25** për dy mure dhe tavanin që përbëjnë barrierat primare,
- dhe **1.0** për dysHEMENË.
- **Për rrjedhje (leakage)**, faktori i përdorimit është **gjithmonë 1**.

Për të mbrojtur ndaj rrezatimit të shpërhapur nga pacienti me barrierë sekondare, transmetimi i lejuar  $B_p$  mund të përcaktohet gjithashtu me Eq. (9), njësoj si për barrierën primare. Duhet përdorur fraksioni apo faktori i shpërndarjes për **rastin më të keq**, dhe projektimi i barrierës duhet të bëhet për të përmbushur kufirin e dozës në atë skenar. **Tabela 12** jep vlerat e fraksioneve të shpërndarjes deri në kënde **140°**, dhe **Tabela 13** jep faktorët e shpërndarjes deri në **150°**. Rekomandohet që të përdoret **vlera maksimale**, dhe trashësia e barrierës të përcaktohet për zbutjen e rrezes primare, edhe pse energjia e fotonëve të shpërhapur është më e ulët.

**Faktorët e kërkuar të zbutjes B** për barrierat llogariten, dhe trashësia përkatëse në **plumb, çelik apo beton** merret nga **Tabelat 15–18**.

- Këto tabela japin trashësitë për rrezet X me **100 kVp**.
- Edhe nëse potenciali operacional maksimal i simulatorit është më i lartë, përdoren të njëjtat tabela.
- Tabelat 15–17 janë gjeneruar nga modele matematikore të botuara nga **Archer** dhe **Simpkin**.
- **Tabela 18** jep të dhëna për **TVL**.

**Shënim:** Rrezatimi sekondar përbëhet nga rrjedhja dhe shpërhapja dhe është më penetrues për shkak të forcimit të rrezes X që filtrohet nëpër mbrojtjen e kokës së burimit.

#### 7.1.1. Detaje të tjera të mbrojtjes

Sistemi i intensifikimit të imazhit ose paneli i sheshtë me silikon amorf zakonisht kap rrezet primare të simulatorit. Këto sisteme mund të konsiderohen pjesë e barrierës primare nëse janë të pajisura me ndërprerje sigurie të përshtatshme, në mënyrë që rrezatimi primar të kolimohet gjithmonë brenda kufijve të pajisjes së imazhit dhe për rrjedhojë të zbutet gjithmonë. Pajisja e imazhit mund të konsiderohet se zbut plotësisht rrezet primare dhe mbrojtja do të nevojitet vetëm kundër rrezatimit të shpërhapur dhe rrjedhjeve.

Megjithatë, nëse nuk ka një sistem të integruar për marrjen e imazhit, ose nëse ai është i tërheqshëm dhe lejon që një pjesë e rrezes së pa-zbutur të arrijë murin, atëherë barrierë primare duhet të ketë trashësinë e plotë. Gjerësia e barrierës primare duhet të jetë më e madhe se diagonali i madhësisë maksimale të fushës.

Konstruksioni i dyshemesë dhe tavanit duhet të vlerësohet për të siguruar mbrojtje të mjaftueshme nëse nivelet e dozës së rrezatimit sipër dhe/ose poshtë simulatorit përbëjnë shqetësim.

Dera e hyrjes në dhomën e simulatorit zakonisht është prej druri. Nëse nevojitet mbrojtje shtesë, dera prej druri vishet me plumb, dhe korniza e derës duhet gjithashtu të vishet me plumb në mënyrë që plumbi në derë dhe ai në kornizë të mbivendosen.

Dritarja e vrojtimit midis dhomës së kontrollit dhe simulatorit duhet të jetë prej xhami plumbi me trashësi ekuivalente me barrierën që ajo zëvendëson. Korniza e xhamit mund të ketë nevojë për veshje të brendshme me plumb për të shmangur ndonjë boshllëk midis xhamit dhe murit të veshur me plumb. Dritaret prej xhami plumbi janë të kushtueshme, ndaj një sistem televizioni me qark të mbyllur midis dhomës së kontrollit dhe simulatorit mund të jetë një alternativë më ekonomike.

Kanale ventilimi, tubacione, dhe instalime elektrike duhet të kalojnë barrierat në një lartësi mbi 2.1 m nga dyshemeja, ose të vendosen në një barrierë sekondare. Nëse tubacionet apo kutitë e shërbimit kalojnë përmes barrierave dhe për rrjedhojë rritet transmetimi i rrezatimit, mund të nevojitet përdorimi i një pengese (baffle) për të ofruar efektin e duhur mbrojtës. Projektimi i kësaj pengese duhet të bëhet me kujdes duke marrë parasysh orientimin e rrezes, madhësinë e fushës, madhësinë dhe vendndodhjen e hapjes, si dhe personat, instrumentet ose materialet që duhen mbrojtur.

#### **7.1.2. Dhomë errësire dhe hapësira për ruajtjen e filmave**

Nëse është e nevojshme, dhoma e errët dhe zona e ruajtjes së filmave duhet të jenë të vendosura afër dhomës së simulatorit. Për të shmangur mbrojtjen e kushtueshme, dhoma e errët nuk duhet të jetë ngjitur me një barrierë primare. Mbrojtja kundër rrezatimit sekondar duhet të shkojë mbi lartësinë prej 2.1 m, në varësi të rafteve të projektuar për ruajtjen e filmave.

Kutia e kalimit të filmave midis dhomës së errët dhe dhomës së simulatorit duhet të ketë ndërprerje sigurie që të mos lejojë hapjen e dyerve në të dy anët njëkohësisht. Muret e kutisë duhet të kenë veshje me plumb që të sigurojnë mbrojtje të mjaftueshme për të shmangur mjegullimin e filmit në kasetat e ruajtura në të.

#### **7.1.3. Shembull llogaritjesh**

Të merret parasysh mbrojtja e barrierave primare dhe sekondare të një dhome të treguar në Fig. 16, e cila përdoret për simulim konvencional radioterapeutik me një gjenerues rrezesh X me frekuencë të lartë, me energji deri në **125 kVp**. Distanca burim–aks është **1 m**. Numri i pacientëve është **50**.

- **Vendndodhja 1** ndodhet në një parking, **3 m** nga izocentri, me **faktor okupuese T = 1/16**.
- **Vendndodhja 2** ndodhet në një korridor, gjithashtu **3 m** nga izocentri dhe është zonë **jo e kontrolluar (publike)**, ku kufiri i dozës është **0.02 mSv/javë** dhe **T = ¼**.
- **Vendndodhja 3** është zona e panelit të kontrollit, **3.2 m** nga izocentri, me kufi dozimi të projektuar prej **0.1 mSv/javë** dhe **T = 1**.

#### 7.1.3.1. Shembulli 1: Vendndodhja 1, parkingu

##### Mbrojtja e barrierës primare

Zbutja e kërkuar B dobesimi përcaktohet nga **Ekuacioni (5)**, ku:

- P është kufiri i projektuar i dozës për një zonë **jo të kontrolluar**, që është **0.02 mSv/javë** ( $1 \text{ mSv/vit} \div 50 \text{ javë} = 0.02 \text{ mSv/javë}$ )
- ddd është **3 m**
- W është **2000 mSv/javë** (sepse ngarkesa javore e punës është 1000 mSv për 25 pacientë në javë, kështu për 50 pacientë:  $1000 \times 2 = 2000$   $1000 \times 2 = 2000$   $1000 \times 2 = 2000$  mSv/javë)

Kjo do të përdoret për të llogaritur vlerën e B e cila më pas përdoret për të përcaktuar trashësinë e barrierës primare për të përmbushur kufirin e dozës në vendndodhjen 1 (parkingu).

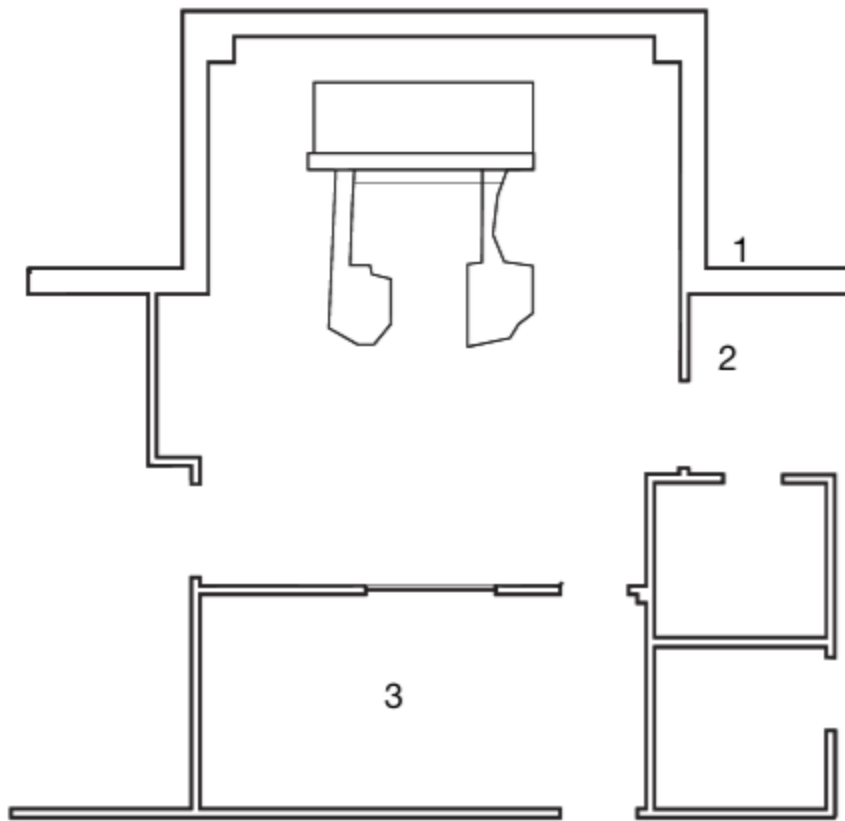


FIG. 16. Schematic layout of a simulator room.

$$U=1/4$$

$$T=1/16$$

$$B = \frac{0.02 \times (3+1)^2}{2000 \times (1/4) \times (1/16)} = 1.02 \times 10^{-2}$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{1.02 \times 10^{-2}} \right) = 2 \text{ TVL}$$

Nga Tabela 15, kërkohet një **barrierë me trashësi prej 0.9 mm plumbi** për të siguruar mbrojtje ndaj **rrezes primare**. Kjo barrierë mund të tregohet se është **e mjaftueshme edhe për rrezatimin nga rrjedhja (leakage)** dhe **rrezatimin e shpërhapur (scatter)**, siç vlerësohet më poshtë:

**Rrezatimi nga rrjedhja (Leakage radiation)**

Zbutja e kërkuar për rrjedhjen BLB\_LBL përcaktohet nga **Ekuacioni (8)**.

Supozimi është që mbrojtja në tubin e rrezeve X **e redukton rrjedhjen e rrezatimit në 1/1000** të rrezes së dobishme, pra:

Ky vlerësim do të përdoret për të llogaritur nëse trashësia ekzistuese prej **0.9 mm plumbi** është gjithashtu e mjaftueshme për të zbutur rrezatimin e rrjedhjes. Nëse B rezulton më i vogël ose i barabartë me B për tufen primare, atëherë **nuk nevojitet shtesë trashësie për rrjedhjen**.

Leakage radiation=1/1000 tufes ku ;

### **Të dhënat:**

- $P=0.02$  mSv/jave
- $d_s=3$  m
- $W=2000$  mSv/jave
- $T=1/16$

### **Llogaritja:**

$$B_L = \frac{1000 \times 0.02 \times 3^2}{2000 \times (1/16)} = 1.44$$

Pra, **zbutja e kërkuar për rrjedhjen është  $B_L=1.44 \times 10^{-3}$**

Meqenëse B është disa rinde madhësish më i vogël se  $B_L$ , llogaritja e trashësisë së barrierës primare është e mjaftueshme për mbrojtjen nga rrjedhja.

### **Rrezatimi i shpërhapur**

Zbutja e kërkuar  $B_p$  përcaktohet nga Ekuacioni (9), ku:

- P është 0.02 mSv/javë;
- $d_{scad}$  është 1 m;
- $d_{secd}$  është 3 m;
- F është 400 cm<sup>2</sup>;
- a është koeficienti i shpërndarjes në 90° = 0.0021 për 125 kVp (nga Tabela 12)

$$B_p = \frac{0.02 \times 1^2 \times 3^2}{0.0021 \times 2000 \times (1/16) \times (400/400)} = 0.68$$

Meqenëse ka një ndryshim më të madh se një TVL nga trashësia e mbrojtjes për rrezet primare prej 2 TVL të llogaritur më sipër, nuk është e nevojshme të shtohet më shumë trashësi për barrierën primare.

### **Konsideratat për IDR dhe TADR**

Normat e menjëhershme të dozës (IDR) zakonisht nuk janë të aplikueshme për pajisjet diagnostike me rreze X. Ndërsa një fushë trajtimi me energji të lartë (megavoltage) mund të kërkojë një pjesë të minutës ose më shumë për t'u dhënë, një ekspozim diagnostik me rreze X zgjat vetëm një fraksion të sekondës. Në praktikën klinike është shumë e pamundur që të kryhen më shumë se një ekspozim në minutë. Prandaj, nuk është praktike matja e IDR-së (mesatarisht për një minutë) për një ekspozim diagnostik me rreze X.

Për më tepër, në një pajisje diagnostike me rreze X, pacienti do të zbusë rrezet X nga  $10^{-3}$  deri në 0.1, në varësi të zonës trupore, dhe kjo duhet të merret parasysh gjatë projektimit të mbrojtjes. (Në të kundërt, për një pajisje me energji të lartë (megavoltage), pacienti do t'i zbusë rrezet X vetëm deri në 50%, prandaj mbrojtja bazohet në rrezet e pazbutura.) Mbrojtja totale e kërkuar për Vendndodhjen 1 është **0.9 mm plumb (2 TVL)**.

#### **7.1.3.2. Shembulli 2: Vendndodhja 2, korridori**

##### **Mbrojtja e barrierës primare**

Zbutja e kërkuar BBB përcaktohet nga Ekuacioni (5), ku:

- P është 0.02 mSv/javë;
- d është 3 m;
- W është 2000 mSv/javë;
- U është 0.25;
- T është 0.25.

$$B = \frac{0.02 \times (3 + 1)^2}{2000 \times 0.25 \times 0.25} = 2.56 \times 10^{-3}$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{2.56 \times 10^{-3}} \right) = 2.6 \text{ TVL}$$

Nga Tabela 7.4, kërkohen **1.4 mm plumb** për të siguruar mbrojtjen nga rrezatimi primar. Më poshtë trajtohet mbrojtja për rrezatimin dytësor.

### **Rrezatimi nga rrjedhjet (Leakage radiation)**

Zbutja e kërkuar **BL** përcaktohet nga Ekuacioni (8), ku:

- P është 0.02 mSv/javë;
- **ds** është 3 m;
- **W** është 2000 mSv/javë;
- **T** është 0.25.

$$B_L = \frac{1000 \times 0.002 \times 3^2}{2000 \times (0.25)} = 0.36$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{0.36} \right) - 0.44 \text{ TVL}$$

Mbrojtja primare vetëm është e mjaftueshme për mbrojtjen ndaj rrezatimit primar dhe rrjedhjeve.

### **Rrezatimi i shpërhapur (Scatter radiation)**

Zbutja e kërkuar  $B_p$  përcaktohet nga Ekuacioni (9), ku:

- $P=0.02 \text{ mSv/jave}$
- $d_{sca}=1 \text{ m}$
- $d_{sec}=3 \text{ m}$
- $a=0.0034$ , fraksioni i shpërndarjes për skenarin më të keq në  $0^\circ$  (nga Tabela 12);
- $T=0.25$
- $F=400 \text{ cm}^2$

$$B_p = \frac{0.02 \times 1^2 \times 3^2}{0.0034 \times 2000 \times (0.25) \times (400/400)} = 0.11$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{0.11} \right) = 1 \text{ TVL}$$

Meqenëse kërkesa është më shumë se një TVL më pak se kërkesa për mbrojtjen nga rrezatimi primar prej 2.6 TVL që u mor më sipër, nuk nevojitet shtesë në mbrojtje. Mbrojtja totale e nevojshme për Vendndodhjen 2 është 1.4 mm plumb.

#### **7.1.3.3. Shembulli 3: Vendndodhja 3, zona e konsolës së kontrollit**

##### **Mbrojtja e barrierës sekondare**

Për shkak se nuk është e mundur që rrezatimi primar të drejtohet në Vendndodhjen 3, nuk nevojitet barrierë primare, por vetëm barrierë sekondare.

##### **Rrezatimi i rrjedhjes (Leakage radiation)**

Zbutja e kërkuar  $BLB\_LBL$  përcaktohet nga Ekuacioni (8), ku:

- $P=0.1 \text{ mSv/jave}$
- $ds=3.2 \text{ m}$
- $W=2000 \text{ mSv/jave}$
- $T=1$

$$B_L = \frac{1000 \times 0.1 \times 3.2^2}{2000 \times 1} = 0.51$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{0.51} \right) = 0.3 \text{ TVL}$$

Nga Tabela 15, për mbrojtjen nga rrezatimi i rrjedhjes (leakage), kërkohen 0.1 mm plumb, sipas të dhënave për barrierën sekondare.

### **Rrezatimi i shpërhapur (Scatter radiation)**

Zbutja e kërkuar  $B_p$  përcaktohet nga Ekuacioni (9), ku:

- $P=0.1 \text{ mSv/jave}$
- $d_{sca}=1 \text{ m}$
- $d_{sec}=3.2 \text{ m}$
- $a=0.0021$  (nga Tabela 12), për rreze X me 125 kVp në kënd shpërndarjeje  $90^\circ$ ;
- $T=1$
- $F=400 \text{ cm}^2$

$$B_p = \frac{0.1 \times 1^2 \times 3.2^2}{0.0021 \times 2000 \times 1 \times (400/400)} = 0.24$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{0.24} \right) = 0.6 \text{ TVL}$$

Nga kolona e rrezeve sekondare në Tabelën 15, trashësia e kërkuar është 0.2 mm plumb. Duke qenë se kjo është vetëm 0.3 TVL më shumë se kërkesa për mbrojtje nga rrjedhja e rrezatimit (leakage) e llogaritur më sipër, është e nevojshme të shtohet një trashësi e një HVL mbi barrierën më të trashë. Një trashësi prej 0.3 mm plumb do të jetë më shumë se e mjaftueshme.

#### **7.1.3.4. Shembulli 4: Vendi 3, zona e konzollës së kontrollit (me makinerinë të orientuar në mënyrë që kjo zonë të jetë brenda rrezatimit primar)**

Rekomandohet që gjatë planifikimit të dhomës, simulatori të pozicionohet në mënyrë që rrezja primare të mos drejtohet drejt zonës së konzollës së kontrollit. Për shembull, për të treguar llogaritjen e mbrojtjes në rast se simulatori duhet të pozicionohet në mënyrë që rrezja primare të godasë barrierën që mbron zonën e konzollës së kontrollit, do të përdoren këto të dhëna hyrëse për të përcaktuar trashësinë e barrierës primare:

- $d=3.2 \text{ m}$
- $W=2000 \text{ mSv/jave}$
- $U=1/4$
- $T=1$

$$B = \frac{0.1 \times (3.2 + 1)^2}{2000 \times (1/4) \times 1} = 3.53 \times 10^{-3}$$

$$n = \log_{10} \left( \frac{1}{7.06 \times 10^{-3}} \right) = 2.45 \text{ TVL}$$

Nga kolona e rrezeve primare në Tabelën 15, trashësia e kërkuar është 1.3 mm plumb. Duke qenë se kjo është më shumë se një TVL më shumë se barrierat për shkak të rrezatimit të shpërhapur (scatter) dhe rrjedhjes (leakage), këto të fundit mund të injorohen.

## 7.2. njësitë sipërfaqesore dhe ortovoltazh

Një njësi trajtimi superficial mund të funksionojë në diapazonin 50 deri në 150 kV, ndërsa një njësi rrezatimi me ortovoltazh mund të funksionojë në diapazonin 50 kV deri në 300 kV. Të dy llojet e pajisjeve kërkojnë mbrojtje strukturore. Kërkesa për mbrojtje duhet të bazohet në energjinë më të lartë në të cilën mund të përdoret njësi trajtimi.

Në këtë diapazon energjie, koeficienti fotoelektrik është i madh në materialet me numër atomik të lartë (Z). Prandaj, një shtresë e hollë plumbi do të jetë ekuivalente me një shtresë të trashë betoni. Barrierat zakonisht ndërtohen nga betoni, që është opsioni më ekonomik. Megjithatë, muret prej tullash të linjizuara me plumb do të ishin një tjetër alternativë nëse hapësira është e kufizuar.

Njësitë superficial dhe ortovoltazh nuk kanë montim izocentrik dhe makinat e trajtimit mund të ekspozojnë të gjitha muret mbrojtëse, dyshtesë dhe çatinë. Njësia e trajtimit duhet të pozicionohet në mënyrë që rrezja kryesore e rrezeve X të mos drejtohet drejt derës së dhomës ose dritares së vëzhgimit gjatë përdorimit normal. Në disa raste mund të jetë e nevojshme të kufizohet përdorimi i njësive për orientime të caktuara me stopa mekanikë ose elektrikë. Këto kufizime duhet të përfshihen në kërkesat që rregullojnë përdorimin e njësive.

Për vëzhgimin e pacientit ka dy opsione: një dritare prej qelqi plumbi në barrierën midis dhomës së trajtimit dhe tavolinës së kontrollit, ose sistem televiziv me qark të mbyllur (CCTV). Dhoma për njësitë superficial dhe ortovoltazh zakonisht nuk kanë korridore të ngushta (mazes) por kanë dyer të linjuara me plumb. Dyerat duhet të kenë mbivendosje të mira dhe kornizat e dyerve duhet gjithashtu të përfshijnë mbrojtje me plumb që mbivendosen me dyert dhe muret ngjitur.

Shkalla e dozës së prodhuar nga njësitë ortovoltage është dukshëm më e ulët se ajo e njësive të trajtimit me megavoltage dhe ngarkesa e punës është për pasojë më e ulët. Për rrezet X të gjeneruara në 500 kV dhe më poshtë, ekspozimi nga rrezatimi rrjedhës (leakage) është i njëjtë me atë nga rrezatimi i shpërhapur, pra rreth 0.1% e intensitetit të rrezeve kryesore në vendin e shpërndarjes. Rrezatimi i shpërhapur supozohet të kërkojë të njëjtën zbutje sikur të ishte rrezatim primar. Vlerat e TVL të tabuluara për diapazonin energjetik 50–300 kV për plumb, çelik dhe beton jepen në Tabelën 15.

Për këto lloje instalimesh, faktori i përdorimit (use factor) merret 1 për dyshemenë dhe 0.25 për muret. Faktori i përdorimit për tavan varet kryesisht nëse njësia mund të drejtohet fizikisht drejt tavanit. Më parë është sugjeruar faktori 0.06 për tavan, por mund të preferohet një faktor më konservator 0.25. Secila instalim duhet të vlerësohet veçmas.

### 7.2.1. Shembuj llogaritjesh

Një shembull i një dhome ortovoltage paraqitet në Fig. 17. Njësia ortovoltage është e montuar në një stativ dyshemeje. Dy nga muret e dhomës janë të jashtme dhe një mur është barrierë primare për një njësi megavoltage ngjitur. Muri i katërt ka një tavolinë kontrolli në anën tjetër dhe gjithashtu një dritare vëzhgimi dhe derë hyrjeje.

Njësia ortovoltage funksionon në 250 kV. Shkalla e dozës në distancën e trajtimit prej 50 cm është 0.6 Gy/min. Ngarkesa e punës është 30 pacientë në ditë për 5 ditë në javë, me një dozë mesatare prej 4 Gy/pacient në 50 cm. Vlera e W është

$(30 \times 5 \times 4 \times (50/100)^2 =) 150 \text{ Gy} \cdot \text{javë}^{-1}$  në 1 m.

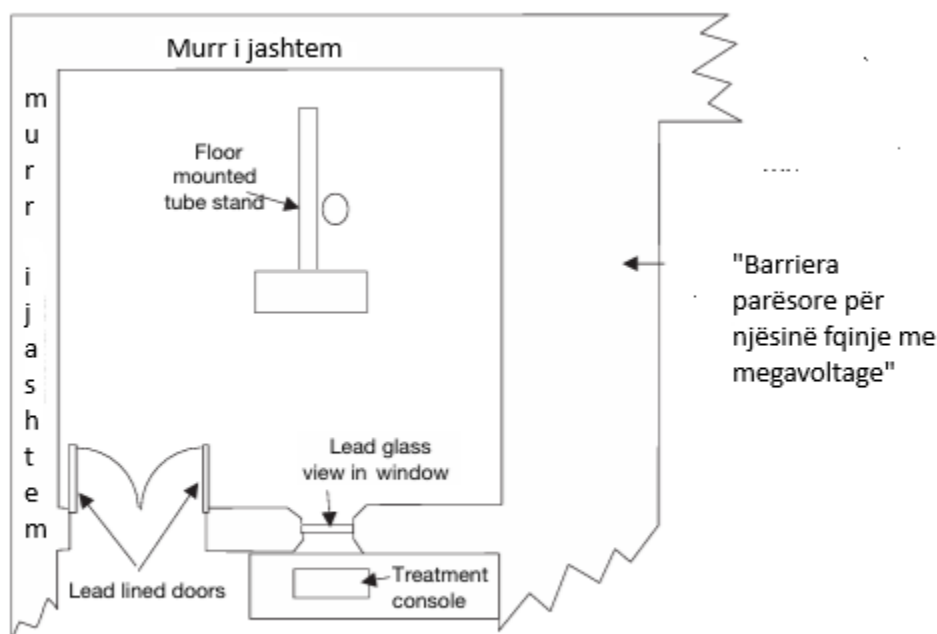


FIG. 17. Example layout of an orthovoltage room.

#### 7.2.1.1. Shembulli 1: Llogaritja e barrierës parësore (konsola e kontrollit në anën e kundërt)

Transmetimi i nevojshëm për barrierën përcaktohet nga Ekuacioni (5), ku:

- P është doza e projektimit, që është **0.12 mSv/javë** ( $6 \text{ mSv} / 50 = 0.12 \text{ mSv}$ );

- **d** është distanca nga pozicioni i trajtimit deri në pikën me interes (konsola e trajtimit), që është **3 m**;
- **SSD** është **0.5 m** (distanca burim–sipërfaqe);
- **W** është ngarkesa javore për një javë 5-ditore, që është **150 Gy/javë**;
- **U** është faktori i përdorimit, që është **0.25**;
- **T** është faktori i zënies, që është **1** për zonën e kontrollit të trajtimit.

$$B = \frac{0.12 \times 10^{-3} (3 + 0.5)^2}{150 \times 0.25 \times 1} = 3.92 \times 10^{-5}$$

"Numri i TVL-ve jepet nga Ekuacioni (6)"

(TVL – Thickness of a Tenth-Value Layer / Trashësia e shtresës që redukton dozën në një të dhjetën)

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{3.92 \times 10^{-5}} \right) = 4.4$$

Nga Tabela 18, TVL është **2.8 mm plumb** ose **98 mm beton**.

Barriera parësore do të duhet të jetë (**2.8 mm × 4.4 =**) **12.3 mm xham me ekuivalent plumbi** për dritaren e vrojtimit dhe (**98 mm × 4.4 =**) **430 mm beton** për murin (dendësia e betonit 2350 kg·m<sup>-3</sup>).

Për muret e jashtme, parametrat do të jenë të njëjtë, **përveç faktorit të zënies**, i cili do të merret si **0.1**. Kjo mund të duket si një vlerë e lartë e panevojshme për një zonë të jashtme, por ndërtesa mund të zgjerohet në të ardhmen. Me këtë vlerë të zënies, **muret e jashtme** do të duhet të jenë **3.4 TVL**, pra (**98 mm × 3.4 =**) **340 mm beton**.

Trashësia e murit të mbetur përcaktohet nga njësia e trajtimit me megavoltage, e cila do të tejkalojë çdo kërkesë për njësinë ortovoltage.

#### 7.2.1.2. Shembulli 2: Shkalla e dozës së menjëhershme (IDR) në zonën e kontrollit

IDR në konsolën e kontrollit përcaktohet nga shkalla e dozës së zbutur:

$$\text{IDR} = 0.6 \times \left( \frac{50}{100} \right)^2 \times 60 \times \left( \frac{1}{3.5} \right)^2 \times 3.92 \times 10^{-5} = 28.8 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Koha ditore e rrezatimit (TADR)** përcaktohet nga koha ditore e ndezjes së rrezes (beam-on), e cila llogaritet si doza për pacient të ndarë me fuqinë e dozës dhe shumëzuar me numrin e pacientëve:

**Koha ditore e ndezjes së rrezes** = (4/0.6)×30 = 200 minuta ≈ **3.3 orë**

Duke supozuar një **faktor përdorimi prej 0.25** dhe një ditë pune prej **8 orësh**, përdorimi i Ekuacionit (1) jep:

$$\text{TADR} = 28.8 \times ((3.3 \times 0.25) / 8) = 3.9 \text{ mikroSv/h}$$

Këto norma doze tregojnë se zona duhet të **mbikqyret**, sipas përcaktimeve të BSS, pasi **IDR** është më e madhe se **7.5 mikroSv·h<sup>-1</sup>** dhe **TADR** është më e madhe se **2.5 mikroSv·h<sup>-1</sup>**. Kjo do të thotë që **kushtet e ekspozimit profesional** duhet të mbahen nën shqyrtim të vazhdueshëm, megjithëse **masat mbrojtëse specifike dhe dispozitat e sigurisë nuk janë të domosdoshme**.

Në praktikë, ka shumë gjasa që tufa **parësore të zbutet nga pacienti**, dhe **normat reale të dozës të jenë shumë më të ulëta** se ato të llogaritura.

Megjithatë, **procedurat duhet të ndalojnë drejtimin e rrezes së pazbutur** drejt zonës së kontrollit gjatë testeve të kontrollit të cilësisë (QC) dhe matjeve të daljes së rrezatimit.

### 7.2.1.3. Shembulli 3: Barriera dytësore

Nëse **lëvizja e njësive është e kufizuar** në mënyrë që të **mos mund të drejtohet drejt derës së hyrjes**, atëherë **dera e hyrjes mund të trajtohet si një barriere dytësore**.

Ky kufizim duhet të jetë i **përfshirë në mënyrë të qartë në procedurat e funksionimit**.

Përderisa zona menjëherë jashtë derës së hyrjes **nuk përdoret si zonë pritjeje**, mund të konsiderohet si **korridor me faktor zënies prej 0.2**.

### Rrezatimi i rrjedhjes (Leakage radiation)

Për **mbështjellësit e tubave të terapisë**, rrjedhja është e kufizuar në **10 mSv (1 R/h) në 1 m largësi nga burimi**. Norma e dozës është **0.6 Gy/min në 50 cm**, që është ekuivalente me **9 Gy/h në 1 m**. Prandaj, rrjedhja është **e rendit të 1/1000 (0.1%)**.

Mbrojtja e nevojshme për një barriere dytësore ndaj rrjedhjes përcaktohet sipas **Ekuacionit (8)**:

- **P = 0.12 mSv/javë** (pasi zona përtej barrierës dytësore është zonë e kontrolluar);
- **d = 3.5 m** (distanca nga pozicioni i trajtimit te pika e interesit);
- **W = 150 Gy/javë** (ngarkesa javore);
- **T = 0.2** (faktori i zënies).

$$B_L = \frac{1000 \times 0.12 \times 10^{-3} \times 3.5^2}{150 \times 0.2} = 4.9 \times 10^{-2}$$

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{4.9 \times 10^{-2}} \right) = 1.3$$

### rezatimi i shpërhapur (shperhapur) (Scattered radiation)

Mbrojtja e nevojshme për të mbrojtur ndaj rrezatimit të shpërhapur përcaktohet nga **Ekuacioni (9)**, ku:

- **P** është **0.12 mSv/javë** (doza e projektimit);
- **d<sub>sca</sub>** është **0.5 m** (distanca nga burimi deri në pikën ku ndodh shpërhapja);
- **d<sub>sec</sub>** është **3.5 m** (distanca nga pika e shpërndarjes deri në pikën e interesit);
- **a** është **koeficienti i shpërndarjes** për një kënd 90°, që është **0.0019** (sipas Tabelës 14);
- **W** është **ngarkesa javore**, që është **150 Gy/javë**;
- **T** është **faktori i zënies**, që është **0.2**;
- **F** është **madhësia maksimale e fushës**, që është **15 × 15 cm = 225 cm<sup>2</sup>**.

$$B_p = \frac{0.12 \times 10^{-3} \times 0.5^2 \times 3.5^2}{0.0019 \times 150 \times 0.2 (225/400)} = 1.15 \times 10^{-2}$$

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10} \left( \frac{1}{1.15 \times 10^{-2}} \right) = 1.9$$

Barriera kërkon **1.3 TVL** për mbrojtje ndaj **rrezatimit të rrjedhjes** dhe **1.9 TVL** për **rrezatimin e shpërhapur**. Këto dy vlera janë **brenda një TVL-je nga njëra-tjetra**, prandaj **zbutja e kërkuar e barrierës është 1.9 TVL plus 1 HVL** (Half-Value Layer – Shtresë me vlerë gjysmë).

Për rrjedhojë, **dera duhet të ketë veshje prej: (2.8 mm × 1.9) + 0.84 mm = 6.16 mm plumb**.

### 7.3. TË DHËNA

**TABELA 12. RAPORTI I SHPËRNDARJES PARËSORE AAA, NË 1 METËR NGA NJË FANTOM ME PËRMASA NJERËZORE, PËR NJË MADHËSI FUSHE RREZATIMI PREJ 400 CM<sup>2</sup> NË SIPËRFAQEN E FANTOMIT DHE PËR NJË DISTANCË NGA BURIMI TE FANTOMI PREJ 1 M**

| Scatter angle<br>(from central<br>ray) | Peak X ray energy |        |         |         |         |
|----------------------------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|
|                                        | 50 kVp            | 70 kVp | 100 kVp | 125 kVp | 150 kVp |
| 0                                      | 0.0029            | 0.0030 | 0.0032  | 0.0034  | 0.0035  |
| 10                                     | 0.0025            | 0.0026 | 0.0028  | 0.0030  | 0.0031  |
| 20                                     | 0.0022            | 0.0023 | 0.0025  | 0.0026  | 0.0028  |
| 30                                     | 0.0019            | 0.0020 | 0.0022  | 0.0024  | 0.0025  |
| 40                                     | 0.0017            | 0.0018 | 0.0020  | 0.0022  | 0.0023  |
| 50                                     | 0.0016            | 0.0017 | 0.0019  | 0.0020  | 0.0022  |
| 60                                     | 0.0015            | 0.0016 | 0.0018  | 0.0020  | 0.0021  |
| 70                                     | 0.0015            | 0.0016 | 0.0018  | 0.0020  | 0.0021  |
| 80                                     | 0.0015            | 0.0016 | 0.0018  | 0.0020  | 0.0021  |
| 90                                     | 0.0016            | 0.0017 | 0.0019  | 0.0021  | 0.0022  |
| 100                                    | 0.0017            | 0.0018 | 0.0020  | 0.0022  | 0.0023  |
| 110                                    | 0.0018            | 0.0020 | 0.0022  | 0.0023  | 0.0025  |
| 120                                    | 0.0020            | 0.0022 | 0.0023  | 0.0025  | 0.0027  |
| 130                                    | 0.0022            | 0.0024 | 0.0026  | 0.0027  | 0.0029  |
| 140                                    | 0.0025            | 0.0026 | 0.0028  | 0.0030  | 0.0031  |

**TABELA 13.**

RAPORTI I KERMA-S SË SHPËRHAPUR NDAJ PRODUKTIT DOZË–SIPËRFAQE (FAKTORI I SHPËRNDARJES) S (MGY)  $(\text{GY} \cdot \text{CM})^{-1}$  SI FUNKSION I KËNDIT TË SHPËRNDARJES (A) DHE KILOVOLTASHIT (KV)

| Scattering angle | Kilovoltage |      |      |       |       |
|------------------|-------------|------|------|-------|-------|
|                  | 50          | 70   | 85   | 100   | 125   |
| 30°              | 1.77        | 2.11 | 2.41 | 2.71  | 3.18  |
| 60°              | 1.82        | 2.14 | 2.40 | 2.70  | 3.16  |
| 90°              | 2.99        | 3.43 | 3.79 | 4.08  | 4.56  |
| 120°             | 5.53        | 6.32 | 6.82 | 7.27  | 7.89  |
| 150°             | 7.85        | 8.96 | 9.67 | 10.31 | 11.11 |

**TABELA 14.**

RAPORTI I SHPËRNDARJES PARËSORE AAA, I MATUR NË 1 METËR LARGËSI NGA NJË FANTOM ME PËRMASA NJERËZORE, PËR NJË MADHËSI FUSHE RREZATIMI PREJ 400 CM<sup>2</sup> NË SIPËRFAQEN E FANTOMIT DHE PËR NJË DISTANCË NGA BURIMI TE FANTOMI PREJ 1 METËR

| Energy | Scattering angle from central ray (degrees) |        |         |         |        |        |
|--------|---------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
|        | 30                                          | 45     | 60      | 90      | 120    | 135    |
| 50 kV  | 0.0005                                      | 0.0002 | 0.00025 | 0.00035 | 0.0008 | 0.0010 |
| 100 kV | 0.0015                                      | 0.0012 | 0.0012  | 0.0013  | 0.0020 | 0.0022 |
| 150 kV | 0.0020                                      | 0.0016 | 0.0016  | 0.0016  | 0.0024 | 0.0026 |
| 200 kV | 0.0024                                      | 0.0020 | 0.0019  | 0.0019  | 0.0027 | 0.0028 |
| 250 kV | 0.0055                                      | 0.0021 | 0.0019  | 0.0019  | 0.0027 | 0.0028 |
| 300 kV | 0.0026                                      | 0.0022 | 0.0020  | 0.0019  | 0.0026 | 0.0028 |

**TABELA 15.**

TRASHËSIA E PLUMBIT DHE FAKTORI I ZBUTJES PËRKATËS **BBB** PËR  
LLOGARITJET E MBROJTJES PARËSORE DHE DYTËSORE TË DHOMËS SË  
SIMULATORIT, ME RREZE X 100 KVP

| Thickness<br>(mm) | Required attenuation, <i>B</i> |           | Thickness<br>(mm) | Required attenuation, <i>B</i> |           |
|-------------------|--------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|-----------|
|                   | Primary                        | Secondary |                   | Primary                        | Secondary |
| 0                 | 1.00E+00                       | 1.00E+00  |                   |                                |           |
| 0.1               | 3.01E-01                       | 3.20E-01  | 2.6               | 1.13E-04                       | 1.72E-04  |
| 0.2               | 1.47E-01                       | 1.67E-01  | 2.7               | 8.79E-05                       | 1.34E-04  |
| 0.3               | 8.53E-02                       | 1.02E-01  | 2.8               | 6.84E-05                       | 1.04E-04  |
| 0.4               | 5.44E-02                       | 6.78E-02  | 2.9               | 5.32E-05                       | 8.11E-05  |
| 0.5               | 3.66E-02                       | 4.72E-02  | 3.0               | 4.14E-05                       | 6.31E-05  |
| 0.6               | 2.55E-02                       | 3.39E-02  | 3.1               | 3.22E-05                       | 4.91E-05  |
| 0.7               | 1.83E-02                       | 2.48E-02  | 3.2               | 2.51E-05                       | 3.82E-05  |
| 0.8               | 1.33E-02                       | 1.84E-02  | 3.3               | 1.95E-05                       | 2.97E-05  |
| 0.9               | 9.85E-03                       | 1.38E-02  | 3.4               | 1.52E-05                       | 2.31E-05  |
| 1.0               | 7.36E-03                       | 1.05E-02  | 3.5               | 1.18E-05                       | 1.80E-05  |
| 1.1               | 5.54E-03                       | 7.99E-03  | 3.6               | 9.21E-06                       | 1.40E-05  |
| 1.2               | 4.20E-03                       | 6.12E-03  | 3.7               | 7.17E-06                       | 1.09E-05  |
| 1.3               | 3.20E-03                       | 4.70E-03  | 3.8               | 5.59E-06                       | 8.49E-06  |
| 1.4               | 2.45E-03                       | 3.62E-03  | 3.9               | 4.35E-06                       | 6.60E-06  |
| 1.5               | 1.88E-03                       | 2.79E-03  | 4.0               | 3.39E-06                       | 5.14E-06  |
| 1.6               | 1.45E-03                       | 2.16E-03  | 4.1               | 2.64E-06                       | 4.00E-06  |
| 1.7               | 1.11E-03                       | 1.67E-03  | 4.2               | 2.05E-06                       | 3.11E-06  |
| 1.8               | 8.61E-04                       | 1.30E-03  | 4.3               | 1.60E-06                       | 2.42E-06  |
| 1.9               | 6.66E-04                       | 1.01E-03  | 4.4               | 1.25E-06                       | 1.89E-06  |
| 2.0               | 5.16E-04                       | 7.81E-04  | 4.5               | 9.70E-07                       | 1.47E-06  |
| 2.1               | 4.00E-04                       | 6.07E-04  | 4.6               | 7.56E-07                       | 1.14E-06  |
| 2.2               | 3.10E-04                       | 4.71E-04  | 4.7               | 5.88E-07                       | 8.89E-07  |
| 2.3               | 2.41E-04                       | 3.66E-04  | 4.8               | 4.58E-07                       | 6.92E-07  |
| 2.4               | 1.87E-04                       | 2.85E-04  | 4.9               | 3.57E-07                       | 5.38E-07  |
| 2.5               | 1.45E-04                       | 2.22E-04  | 5.0               | 2.78E-07                       | 4.19E-07  |

**TABELA 16.**

TRASHËSIA E BETONIT DHE FAKTORI PËRKATËS I ZBUTJES **BBB** PËR  
LLOGARITJET E MBROJTJES PARËSORE DHE DYTËSORE TË DHOMËS SË  
SIMULATORIT, ME RREZE X 100 KVP

| Thickness<br>(mm) | Required attenuation, <i>B</i> |           | Thickness<br>(mm) | Required attenuation, <i>B</i> |           |
|-------------------|--------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|-----------|
|                   | Primary                        | Secondary |                   | Primary                        | Secondary |
| 0                 | 1.00E+00                       | 1.00E+00  |                   |                                |           |
| 5                 | 5.63E-01                       | 5.70E-01  | 130               | 4.89E-04                       | 7.15E-04  |
| 10                | 3.42E-01                       | 3.54E-01  | 135               | 3.96E-04                       | 5.81E-04  |
| 15                | 2.20E-01                       | 2.33E-01  | 140               | 3.20E-04                       | 4.73E-04  |
| 20                | 1.47E-01                       | 1.60E-01  | 145               | 2.60E-04                       | 3.85E-04  |
| 25                | 1.02E-01                       | 1.13E-01  | 150               | 2.11E-04                       | 3.14E-04  |
| 30                | 7.18E-02                       | 8.19E-02  | 155               | 1.72E-04                       | 2.56E-04  |
| 35                | 5.18E-02                       | 6.04E-02  | 160               | 1.40E-04                       | 2.09E-04  |
| 40                | 3.80E-02                       | 4.53E-02  | 165               | 1.14E-04                       | 1.71E-04  |
| 45                | 2.83E-02                       | 3.43E-02  | 170               | 9.26E-05                       | 1.40E-04  |
| 50                | 2.13E-02                       | 2.63E-02  | 175               | 7.55E-05                       | 1.14E-04  |
| 55                | 1.62E-02                       | 2.03E-02  | 180               | 6.16E-05                       | 9.33E-05  |
| 60                | 1.24E-02                       | 1.58E-02  | 185               | 5.03E-05                       | 7.64E-05  |
| 65                | 9.59E-03                       | 1.24E-02  | 190               | 4.11E-05                       | 6.25E-05  |
| 70                | 7.45E-03                       | 9.79E-03  | 195               | 3.36E-05                       | 5.12E-05  |
| 75                | 5.82E-03                       | 7.75E-03  | 200               | 2.75E-05                       | 4.19E-05  |
| 80                | 4.58E-03                       | 6.16E-03  | 205               | 2.25E-05                       | 3.43E-05  |
| 85                | 3.61E-03                       | 4.92E-03  | 210               | 1.84E-05                       | 2.81E-05  |
| 90                | 2.86E-03                       | 3.93E-03  | 215               | 1.51E-05                       | 2.30E-05  |
| 95                | 2.27E-03                       | 3.16E-03  | 220               | 1.23E-05                       | 1.89E-05  |
| 100               | 1.81E-03                       | 2.54E-03  | 225               | 1.01E-05                       | 1.55E-05  |
| 105               | 1.45E-03                       | 2.05E-03  | 230               | 8.27E-06                       | 1.27E-05  |
| 110               | 1.16E-03                       | 1.65E-03  | 235               | 6.78E-06                       | 1.04E-05  |
| 115               | 9.33E-04                       | 1.34E-03  | 240               | 5.56E-06                       | 8.52E-06  |
| 120               | 7.51E-04                       | 1.08E-03  | 245               | 4.56E-06                       | 6.99E-06  |
| 125               | 6.05E-04                       | 8.80E-04  | 250               | 3.74E-06                       | 5.73E-06  |

**TABELA 17.**

TRASHËSIA E PLLAKËS ÇELIKU DHE FAKTORI PËRKATËS I ZBUTJES **BBB** PËR LLOGARITJET E MBROJTJES PARËSORE DHE DYTËSORE TË DHOMËS SË SIMULATORIT, ME RREZE X 100 KVP

| Thickness<br>(mm) | Required attenuation, $B$ |           | Thickness<br>(mm) | Required attenuation, $B$ |           |
|-------------------|---------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|-----------|
|                   | Primary                   | Secondary |                   | Primary                   | Secondary |
| 0                 | 1.00E+00                  | 1.00E+00  | 26                | 9.06E-06                  | 1.45E-05  |
| 1                 | 2.01E-01                  | 2.23E-01  | 27                | 6.44E-06                  | 1.03E-05  |
| 2                 | 8.57E-02                  | 1.04E-01  | 28                | 4.57E-06                  | 7.32E-06  |
| 3                 | 4.55E-02                  | 5.89E-02  | 29                | 3.25E-06                  | 5.20E-06  |
| 4                 | 2.68E-02                  | 3.65E-02  | 30                | 2.31E-06                  | 3.69E-06  |
| 5                 | 1.68E-02                  | 2.37E-02  | 31                | 1.64E-06                  | 2.62E-06  |
| 6                 | 1.09E-02                  | 1.58E-02  | 32                | 1.17E-06                  | 1.86E-06  |
| 7                 | 7.26E-03                  | 1.08E-02  | 33                | 8.29E-07                  | 1.32E-06  |
| 8                 | 4.91E-03                  | 7.42E-03  | 34                | 5.89E-07                  | 9.38E-07  |
| 9                 | 3.37E-03                  | 5.16E-03  | 35                | 4.19E-07                  | 6.66E-07  |
| 10                | 2.33E-03                  | 3.61E-03  | 36                | 2.97E-07                  | 4.73E-07  |
| 11                | 1.62E-03                  | 2.54E-03  | 37                | 2.11E-07                  | 3.36E-07  |
| 12                | 1.14E-03                  | 1.79E-03  | 38                | 1.50E-07                  | 2.38E-07  |
| 13                | 7.97E-04                  | 1.26E-03  | 39                | 1.07E-07                  | 1.69E-07  |
| 14                | 5.61E-04                  | 8.93E-04  | 40                | 7.59E-08                  | 1.20E-07  |
| 15                | 3.96E-04                  | 6.32E-04  | 41                | 5.39E-08                  | 8.54E-08  |
| 16                | 2.80E-04                  | 4.48E-04  | 42                | 3.83E-08                  | 6.06E-08  |
| 17                | 1.98E-04                  | 3.18E-04  | 43                | 2.72E-08                  | 4.30E-08  |
| 18                | 1.40E-04                  | 2.25E-04  | 44                | 1.94E-08                  | 3.06E-08  |
| 19                | 9.96E-05                  | 1.60E-04  | 45                | 1.38E-08                  | 2.17E-08  |
| 20                | 7.06E-05                  | 1.13E-04  | 46                | 9.78E-09                  | 1.54E-08  |
| 21                | 5.01E-05                  | 8.05E-05  | 47                | 6.95E-09                  | 1.09E-08  |
| 22                | 3.56E-05                  | 5.72E-05  | 48                | 4.94E-09                  | 7.77E-09  |
| 23                | 2.53E-05                  | 4.06E-05  | 49                | 3.51E-09                  | 5.52E-09  |
| 24                | 1.80E-05                  | 2.88E-05  | 50                | 2.49E-09                  | 3.92E-09  |
| 25                | 1.28E-05                  | 2.05E-05  |                   |                           |           |

**TABELA 18.**

TË DHËNAT PËR TRASHËSINË E SHITESËS SË VLERËS SË DHJETË (TVL) PËR TENSIONET EFEKTIVE TË GJENERIMIT (RREZE TË GJERA) NË GAMËN E ENERGIJE SIPËRFAQËSORE DHE ORTOVOLTASH

| Effective<br>generating<br>voltage | Attenuating material<br>(mm) |       |          |
|------------------------------------|------------------------------|-------|----------|
|                                    | Lead                         | Steel | Concrete |
| 50 kV                              | 0.2                          | 1.6   | 17       |
| 100 kV                             | 0.9                          | 8.1   | 61       |
| 200 kV                             | 1.7                          | 17.8  | 93       |
| 250 kV                             | 2.8                          | 20.1  | 98       |
| 300 kV                             | 4.6                          | 22.2  | 106      |

## 8. SHEMBULL I NJË OBJEKTI TË BRAKITERAPISË

### 8.1. Konceptet e projektimit projektimit

Brakiterapia është trajtim me rrezatim që përdor burime radioaktive të mbyllura, të cilat mund të vendosen brenda kaviteteve trupore, në indet e trupit ose shumë afër sipërfaqes që do të trajtohet. Kohëzgjatja e trajtimit mund të variojë nga disa minuta për brakiterapinë HDR (high dose rate) deri në disa ditë për trajtimin intersticial me dozë të ulët (LDR). Ka shumë nuclide të ndryshme në dispozicion për përdorim klinik. Ato mund të jenë me energji të ulët që kërkojnë mbrojtje minimale ose me energji të lartë që kërkojnë dhoma të veçanta dhe të dizajnuara posaçërisht.

Brakiterapia LDR kryhet ose duke futur manualisht burimet në aplikatorë të pozicionuar në pacient, ose me sistemin e ngarkimit të largët (remote after-loading). Ky sistem i ngarkimit të largët mban burimet në një pozicion të mbrojtur dhe, kur është e nevojshme, i shtyn ato në aplikatorë. Gjithashtu, ai i tërheq burimet gjatë trajtimit kur dikush duhet të kujdeset për pacientin dhe në fund të kohës së trajtimit të përcaktuar. Dhoma të përdorura për brakiterapi LDR mund të mos kenë nevojë për mbrojtje të veçantë. Planifikimi i dhomës duhet të lejojë kujdesin e sigurt për pacientët dhe gjithashtu përdorimin e saj edhe për pacientë që nuk janë në brakiterapi.

Brakiterapia HDR kryhet vetëm me njësitë e ngarkimit të largët dhe kërkon facilitete të posaçme. Pjesa tjetër e këtij seksioni do të trajtojë dhomat e dizajnuara posaçërisht.

Kur dizajnoni një dhomë për brakiterapi, duhet të merren parasysh pikat e mëposhtme:

- Për cilat teknika trajtimi do të përdoret dhoma?
- Sa pacientë pritet të trajtohen në ditë/javë/vit?
- Sa radioaktivitet do të përdoret për trajtim/procedurë?
- Cilat nuclide do të përdoren dhe cila është energjia e tyre?
- Ku do të ruhen burimet para përdorimit dhe pas heqjes?
- Si do të arrihen objektivat e sigurisë për brakiterapi? (Shiko Kapitullin 3, Seksioni 3.11 për informacion shtesë.)

Dhomat e dizajnuara posaçërisht duhet të kenë mbrojtje të mjaftueshme për të kufizuar dozën e rrezatimit që marrin pacientë të tjerë, stafi infermior dhe publiku në zonën përreth në nivele të pranueshme.

Dhoma duhet të jetë e aksesueshme nga salla e operacionit dhe nga pajisjet e rrezeve X dhe CT. Po ashtu, duhet marrë parasysh vendndodhja e saj në raport me zonën përreth, përfshirë edhe ambjentet mbi dhe poshtë saj.

Në brakiterapi, mbrojtja duhet të jetë e mjaftueshme për të ulur rrezatimin parësor dhe atë të shpërhapur në limitet e projektimit në të gjitha drejtimet, pasi burimet janë të pa mbrojtura në çdo drejtim. Norma e dozës brenda dhomës do të jetë mbi  $7.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$  dhe dhoma do të konsiderohet si zonë e kontrolluar [6]. Norma e dozës jashtë dhomës duhet të ulet në  $2.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ . Me këtë kufi të dozës, një pacient në dhomën ngjitur për trajtim 24-orësh do të marrë

60 mSv. Kufiri vjetor i dozës prej 0.3 mSv [7] do të arrihet pas pesë ditësh trajtim, dhe kjo duhet të merret parasysh gjatë Projektimit të objektit dhe vendndodhjes së tij. Pacienti që merr brakiterapi do të zbusë rrezatimin; shkalla e zbutjes varet nga energjia e nuclidit që përdoret, madhësia e pacientit dhe pozicioni i burimit brenda pacientit.

Pasi burimet e brakiterapisë nuk janë të kolimuara, kërkesat për mbrojtjen bazohen në transmetimin e rrezatimit parësor përmes barrierave. Nëse është e mundur, dhoma duhet të dizajnohet në mënyrë që të mos ketë vijë të drejtpërdrejtë nga dera deri te krevati i pacientit. Nëse ka hapësirë të mjaftueshme për një labirint (maze), dera e mbrojtur mund të mos jetë e nevojshme, përndryshe zakonisht nevojitet një derë e mbuluar me plumb.

Duhet të caktohet një zonë përreth pacientit ku norma e dozës kalon  $7.5 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ , e cila do të jetë zonë e kontrolluar — kjo zakonisht përcaktohet nga muret e dhomës së trajtimit dhe jashtë saj mund të vendosen tabela paralajmëruese për rrezatimin [6]. Një monitor b–g që mat normën e dozës në zonën e pacientit duhet të jetë i dukshëm qartë në hyrje të zonës së kontrolluar.

Rekomandohet që të ketë vëzhgim në distancë të pacientit nga stacioni i infermierit përmes televizionit me qark të mbyllur (CCTV), së bashku me një interkom dykahëshe për të reduktuar kohën që stafi infermior kalon në ambientin me rrezatim. Duhet të jetë e mundur të shihet hyrja e dhomës nga stacioni i infermierit.

## **8.2. Dhomat e trajtimit ldr dhe mdr**

Për sistemet e ngarkimit të largët (qoftë LDR ose MDR), dera e dhomës së trajtimit do të jetë e kyçur automatikisht me njësinë e ngarkimit të largët në mënyrë që të minimizohet ekspozimi ndaj rrezatimit për stafin infermior. Mburojat e lëvizshme prej plumbi mund të përdoren për të ulur normat e dozës kur kushtet ideale nuk janë të realizueshme. Pësia dhe nevoja për manovrueshmëri kufizojnë trashësinë dhe madhësinë e mburojave të lëvizshme prej plumbi. Mburojat tipikisht kanë trashësi prej 25 mm dhe një sipërfaqe të mbrojtur prej 700–1000 mm me 500–600 mm. Ato zakonisht janë dizajnuar për të mbrojtur barkun e punonjësve që qëndrojnë pas tyre.

Disa makina me ngarkim të largët lejojnë trajtimin e më shumë se një pacienti në të njëjtën kohë, kështu që do të nevojiten disa dhoma. Do të kërkohet hapësirë për njësinë e ngarkimit dhe tubat e transferimit të burimit. Në mënyrë ideale, njësia e ngarkimit të largët duhet të ruhen jashtë dhomës së trajtimit në një zonë të veçantë të mbyllur. Kjo lejon mirëmbajtjen e njësisë kur dhoma e trajtimit përdoret për pacientë që nuk janë në brakiterapi.

## **8.3. Dhomat e trajtimit hdr**

Njësitë HDR me ngarkim të largët kërkojnë fasilite të veçanta. Të gjitha muret, dyshemeja dhe tavanet do të jenë barriera parësore dhe duhet të jenë me trashësi të mjaftueshme për të mbrojtur stafin, i cili qëndron jashtë dhomës gjatë trajtimit të pacientit. Është e këshillueshme të kufizohet pozicioni i burimit brenda dhomës, përndryshe të gjitha kërkesat për mbrojtjen duhet të bazohen në pozicionin më të pafavorshëm të burimit në dhomë, gjë që mund ta bëjë barrierën tepër të trashë.

Burimet HDR zakonisht janë  $^{192}\text{Ir}$  ose  $^{60}\text{Co}$ . Për të dyja, aktiviteti i lartë dhe norma e lartë e dozës kërkojnë që dhoma të ketë barriera betoni me trashësi 400–800 mm. Gjithashtu do të nevojitet një derë e rëndë prej plumbi, përveç nëse është parashikuar një labirint (maze) në dizajn. Njësitë HDR shpesh instalohen në dhoma të vjetra të radioterapisë që kanë tashmë mure, tavanë, dysheme dhe labirinte me trashësi të mjaftueshme ose dyer të mbrojtura.

Në brakiterapi HDR pacientët trajtohen shpesh menjëherë pasi aplikatorët janë pozicionuar. Në mënyrë ideale, dhoma duhet të ketë gjithashtu një pajisje rreze X për të konfirmuar pozicionimin e saktë të aplikatorëve para fillimit të trajtimit. Mund të kërkohet edhe një zonë pritjeje për pacientët në shtrat ku ata mund të mbahen nën kujdes derisa të përfundojnë llogaritjet e planifikimit të trajtimit.

Një facilitete HDR duhet të ketë derë të kyçur automatikisht, në mënyrë që burimi të rikthehet në pozicionin e sigurt sa herë që dera hapet, dhe duhet të ketë një tabelë paralajmëruese për rrezatimin në hyrjen e dhomës që tregon statusin “on-off” të burimit.

Shembuj të llojeve të trajtimit dhe trashësisë së barrierave janë dhënë në **Tabela 19**.

#### 8.4. Metodat e llogaritjes

Për të përcaktuar zbutjen e nevojshme të barrierave primare, përdoret ekuacioni (5). Për brakiterapinë, ngarkesa e punës  $W$  bazohet në dozën e dhënë për çdo trajtim dhe numrin e trajtimeve:

$$W = \text{RAKR} \times A \times t \times n$$

ku:

- **RAKR** është shkalla referuese e kerma-s në ajër për një burim me aktivitet njësi;
- **A** është aktiviteti total (aktiviteti për burim  $\times$  numri i burimeve);
- **t** është kohëzgjatja mesatare e trajtimit në orë;
- **n** është numri i trajtimeve në javë.

Duke përdorur specifikimet e Raportit 21 të AAPM, ngarkesa e punës mund të përfaqësohet nga:

$$W = S_k \times t \times n$$

ku:

- **$S_k$**  është forca e kerma-s në ajër e burimit në njësi **U** ose  $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Në mënyrë të ngjashme, shkalla e dozës  $D_0$  do të jepet nga:

$$D_0 = \text{RAKR} \times A$$

ose, duke përdorur specifikimet e Raportit 21 të AAPM [44]:

$$D_0 = S_k$$

Për brakiterapinë, burimet nuk janë të kolimuara, kështu që faktori i përdorimit **U** do të jetë gjithmonë njësi (**U = 1**).

Një version i modifikuar i ekuacionit (5) për mbrojtjen ndaj rrezatimit në brahiterapi mund të shkruhet si:

$$B = \frac{Pd^2}{RAKR \times A \times t \times n \times T}$$

or

$$B = \frac{Pd^2}{S_k \times t \times n \times T}$$

ku:

- **P** është kufiri i projektimit (doza maksimale e lejuar në pikën e interesit);
- **d** është distanca, në metra, nga pozicioni i burimit të ekspozuar deri në pikën e interesit jashtë barrierës;
- **T** është faktori i zënies së zonës jashtë barrierës (occupancy factor).

Ndryshe nga dhomat e mbrojtura për energji të larta (bunkerët e megavoltage), dhomat e brakiterapisë nuk përdoren aq shpesh.

Përdorimi i tyre shpesh kufizohet nga numri i seancave në sallën e operacionit që janë në dispozicion për vendosjen e aplikatorëve të burimeve të pacienti.

Si rrjedhojë, nëse projektohet mbrojtja bazuar në kufirin vjetor të dozës, kjo mund të çojë në nivele të larta të dozës së menjëhershme (**IDR – Instantaneous Dose Rate**) jashtë barrierave. Kjo mund ta bëjë të nevojshme që këto zona të klasifikohen si **zona të kontrolluara** gjatë periudhës së trajtimit, nëse IDR tejkalon **7.5 mikroSv·h<sup>-1</sup>** [6, 7].

Për këtë arsye, **rekomandohet** që:

- të vlerësohet **IDR** (në bazë të numrit maksimal të burimeve që përdoren zakonisht), dhe
- të vlerësohet **shkalla maksimale e dozës** (në bazë të numrit maksimal të burimeve të disponueshme)

**para** se të finalizohet Projektimi i mbrojtjes.

## 8.5. SHEMBULL LLOGARITJESH

Dhomat HDR të paraqitura në Figurën 18 do të përdoren për trajtime gjinekologjike. Njësia HDR përmban **20 burime të  $^{60}\text{Co}$** , secila me aktivitet prej **18.5 GBq** (ose **500 mCi**).

Shkalla referuese e kerma-s në ajër (**RAKR**) për  $^{60}\text{Co}$  është **0.308 mikroGy·MBq<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>** (shih Tabelën 20).

Duke përdorur specififikimet e Raportit 21 të AAPM [44], forca e kerma-s në ajër ( $S_k$ ) për çdo burim është:

- **5.70 kU**, ose
- **5.70 mGy·m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>**.

Ngarkesa e parashikuar e punës është **30 trajtime në javë**.

Në praktikë:

- përdoren **13 burime** për një tub intrauterin të mesëm, dhe
- **15 burime** për një tub intrauterin të gjatë.

Projektimi i mbrojtjes do të bazohet në përdorimin e **15 burimeve për pacient**, me një aktivitet total prej **277.5 GBq** (ose **7.5 Ci**).

Kohëzgjatja mesatare e trajtimit është **6 minuta** (ose **0.1 orë**) për të dhënë një **dozë të përthithur prej 7.5 Gy** në pikën e përshtatshme.

Ngarkesa javore e punës (**workload**) llogaritet nga Ekuacioni (33):

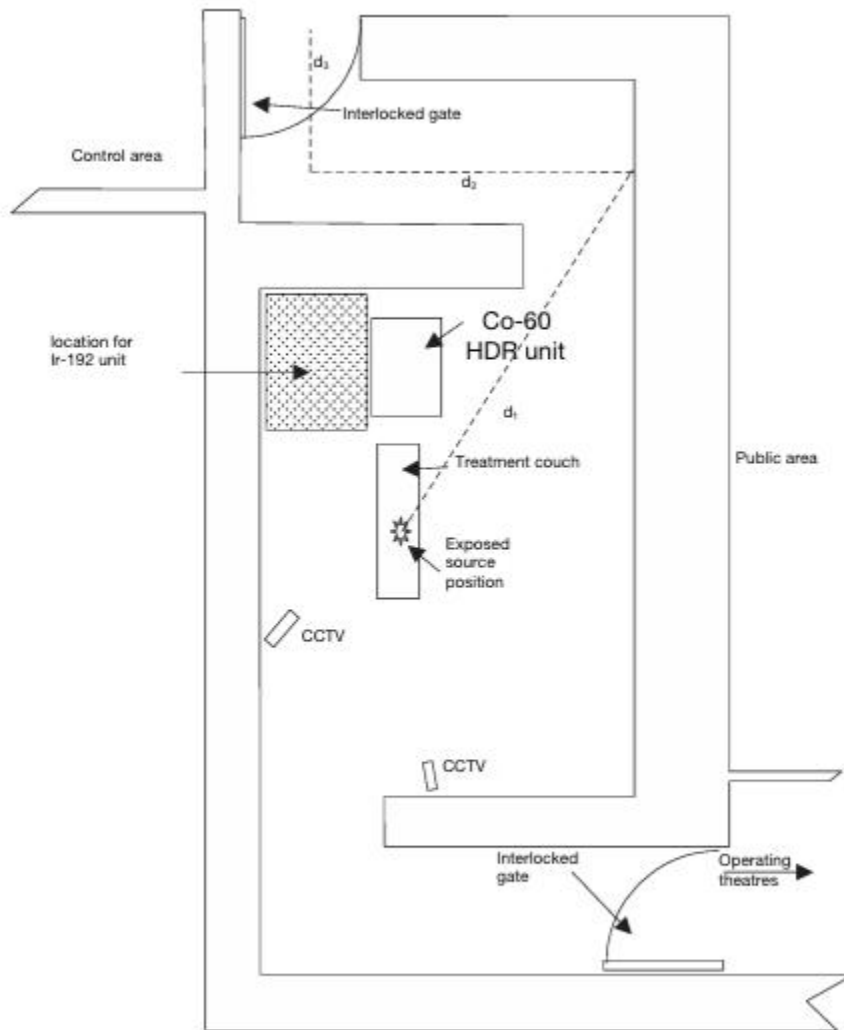


FIG. 18. Plan of an HDR  $^{60}\text{Co}$  treatment room.

$$W = 0.308 \times 277.5 \times 10^3 \times 0.1 \times 30 = 2.56 \times 10^5 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$$

**Kufiri i projektimit** është **6 mikroSv/javë** për një **zonë publike** (me **T = 0.1**), në një distancë prej **3.5 metrash** nga pozicioni i trajtimit të burimeve.

**Transmetimi i kërkuar përmes barrierës** përcaktohet nga **Ekuacioni (5)**:

$$B = \frac{6(3.5)^2}{2.56 \times 10^5 \times 0.1} = 2.87 \times 10^{-3}$$

Prandaj, numri i TVL-ve të nevojshme për mbrojtjen e barrierës është:

$$\log_{10}\left(\frac{1}{2.87 \times 10^{-3}}\right) = 2.54$$

**TVL-ja për  $^{60}\text{Co}$  është 218 mm në beton (Tabela 22 ), kështu që barriera do të duhet të jetë  $(218 \times 2.54 =) 554 \text{ mm}$  e trashë për të përmbushur kufirin vjetor të dozës prej **0.3 mSv/vit**.**

Megjithatë, **duhet të merret parasysh edhe IDR-ja** (shkalla e fuqisë dozës) **në rastin më të keq**, kur të gjitha **20 burimet janë të ekspozuara**:

$$D_0 = 0.308 \times 18.5 \times 10^3 \times 20 = 113,960 \text{ } \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$$

**Për të reduktuar shkallën e dozës në kufirin e projektimit për një zonë publike të pamenaxhuar, IDR-ja duhet të jetë më pak se  $7.5 \text{ mikroSv} \cdot \text{h}^{-1}$  në një distancë prej 3.5 metrash nga burimi:**

$$B = \frac{7.5(3.5)^2}{113,960} = 8.1 \times 10^{-4}$$

$$\text{No. of TVLs} = \log_{10}\left(\frac{1}{8.1 \times 10^{-4}}\right) = 3.1$$

**Kështu që barriera do të duhet të jetë  $(218 \times 3.1 =) 676 \text{ mm}$  beton i trashë në skenarin më të keq.**

Për një rast më të keq, supozohet:

- **5 pacientë në një ditë 8-orëshe, me numrin maksimal të burimeve, dhe një kohëzgjatje trajtimi prej 0.1 orë (6 minuta) për pacient.** Gjithashtu, supozohet se pacienti e dobëson rrezatimin me **faktor 0.81** për një thellësi prej **10 cm** në inde (Tabela 21 ).

**Shkalla mesatare e dozës së trajtimit (TADR) do të jetë: Kjo vlerë është ende nën kufirin udhëzues të TADR prej  $0.5 \text{ mikroSv} \cdot \text{h}^{-1}$  për një zonë të pamenaxhuar [6], kështu që nuk është e nevojshme që zona të klasifikohet si e mbikëqyrur apo e kontrolluar, me kusht që trashësia e barrierës të jetë 676 mm beton.**

### **Dera e labirintit (maze) të dhomës së trajtimit:**

Duhet të përcaktohen gjithashtu normat e dozës në hyrjen e labirintit. Metoda është e ngjashme me atë për një labirint në dhomë trajtimi me megavoltage, përveçse **nuk ka rrezatim rrjedhës (leakage) të veçantë** për t'u konsideruar.

**Doza në hyrjen e labirintit** do të vijë nga:

- rrezatimi primar i transmetuar përmes pacientit dhe murit të labirintit, si dhe
- rrezatimi primar i shpërhapur nga muri përgjatë hyrjes së labirintit.

**Zbutja e nevojshme përmes murit të labirintit** si barrierë primare përcaktohet nga **Ekuacioni (5)**.

- Kufiri i projektimit **P** është **7.5 mikroSv·h<sup>-1</sup>**,
- Distanca **d** nga burimet e ekspozuara deri te hyrja e labirintit është **5 metra**.

Mbrojtja llogaritet për **15 burime**, si në shembullin e mëparshëm.

$$B = \frac{7.5(5^2)}{0.308 \times 18.5 \times 10^3 \times 15} = 2.2 \times 10^{-3}$$

Kjo jep **2.7 TVL**.

**Muri i labirintit** duhet të ketë trashësi prej **218 mm × 2.7 = 589 mm beton**.

Meqë **pacienti dobëson rrezatimin me faktor 0.81** (Tabela 21), **shkalla reale e dozës** do të jetë:  $7.5 \times 0.81 = 6.08 \text{ mikroSv h}^{-1}$

**Rrezatimi i shpërhapur përgjatë labirintit** llogaritet sipas **Ekuacionit (14)**.

Në shembullin më poshtë, përcaktohet **shkalla e dozës në hyrjen e jashtme të labirintit**.

Të dhënat janë si më poshtë:

- **Distanca nga burimet e ekspozuara deri te hyrja e brendshme e labirintit:**  
 $d_1 = 4.5 \text{ m}$
- **Gjatësia e pjesës së brendshme të labirintit (këmba e parë):**  
 $d_2 = 3.75 \text{ m}$
- **Gjatësia e pjesës së jashtme të labirintit (këmba e dytë):**  
 $d_3 = 1 \text{ m}$

(këto janë të ilustruara në **Figurën 18**)

**Lartësia e tavanit** është **2.2 m** në të gjithë labirintin.

- **Gjerësia e hyrjes së brendshme të labirintit: 1.25 m**
- **Gjerësia e labirintit kryesor: 1.5 m**

**Koeficientët e reflektimit për <sup>60</sup>Co në beton** (Tabela 6 dhe 7) janë:

- **Për incidencë 45° dhe reflektim 0° (shpërhapja e parë):**  
 $1.02 \times 10^{-2}$

- Për incidencë normale dhe reflektim 75° (shpërhapja e dytë):  
 $4.06 \times 10^{-3}$

$$DR_w = \frac{0.308 \times 18.5 \times 10^3 \times 15 \times 0.81}{4.5^2} \times \frac{1.02 \times 10^{-2} \times (1.5 \times 2.2) \times 4.06 \times 10^{-3} \times (1.5 \times 2.2)}{3.75^2 \times 1^2} = 0.11 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Prandaj, norma totale e dozës në hyrjen e korridorit do të jetë (6.08 + 0.12 =) 6.2 mikroSv/h, që është e pranueshme.**

**Dhoma mund të përdoret në të ardhmen me një njësi HDR që përmban një burim të vetëm 370 GBq të Iridium-192 (p.sh. Microselectron nga Nucletron).**

Ngarkesa e parashikuar (workload) përsëri është 30 trajtime në javë me një dozë të përkthuar prej 7.5 Gy në 1 cm, me një kohë mesatare trajtimi prej 10 minutash (0.167 h). RAKR për Ir-192 është **0.111 mikroGy·h<sup>-1</sup>·MBq<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>** (shih Tabela 20).

**Ngarkesa javore përcaktohet nga Ekuacioni (33):**

$$W = 0.111 \times 370 \times 10^3 \times 0.167 \times 30 = 2.06 \times 10^5 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$$

Numri i TVL-ve është i ngjashëm me kërkesën për <sup>60</sup>Co; megjithatë, për <sup>192</sup>Ir, TVL në beton është vetëm 152 mm krahasuar me 218 mm për <sup>60</sup>Co. Çdo mbrojtje e projektuar për një njësi HDR me <sup>60</sup>Co duhet të jetë më se e mjaftueshme për një njësi me <sup>192</sup>Ir. Megjithatë, do të ishte e rëndësishme të kufizohej pozicioni i njësive lëvizëse me <sup>192</sup>Ir brenda dhomës në zonën e treguar në Fig. 18, dhe pozicioni i pacientit për trajtim gjithashtu duhet të jetë siç tregohet.

## 8.6. TË DHËNA

**TABELA 19. SHEMBUJ TË LLOJEVE TË TRAJTIMEVE DHE TRASHËSITË TIPIKE TË PENGESAVE PREJ BETONI NË 3 M NGA NJË BURIM RREZATIMI [3]**

| Treatment type   | Nuclide     | Activity (GBq) | Concrete thickness (mm) to reduce dose rate to |                           |
|------------------|-------------|----------------|------------------------------------------------|---------------------------|
|                  |             |                | 7.5 μSv · h <sup>-1</sup>                      | 2.5 μSv · h <sup>-1</sup> |
| MDR afterloading | Caesium-137 | 22.2           | 280                                            | 360                       |
| HDR afterloading | Cobalt-60   | 185            | 680                                            | 770                       |
| LDR afterloading | Iridium-192 | 37             | 310                                            | 360                       |
| HDR afterloading | Iridium-192 | 370            | 440                                            | 510                       |

**TABELA 20.** TË DHËNA FIZIKE PËR DISA IZOTOPE TË PËRDORURA NË BRAKITERAPI

| Nuclide | Mean photon energy<br>(MeV) | Half-life | RAKR<br>( $\mu\text{Gy} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ ) |
|---------|-----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Co-60   | 1.25                        | 5.27 a    | 0.308                                                                                 |
| I-125   | 0.028                       | 60.1 d    | 0.034                                                                                 |
| Cs-137  | 0.662                       | 30.0 a    | 0.077                                                                                 |
| Ir- 192 | 0.37                        | 74.0 d    | 0.111                                                                                 |
| Au-198  | 0.42                        | 64.7 h    | 0.056                                                                                 |
| Ra-226  | 0.78                        | 1600 a    | 0.195                                                                                 |

**TABELA 21.** VLERËSIME TË LLOGARITURA TË RAPORTIT TË INDËRIT NË AJË PËR BRAKITERAPI ( $F_2(D, \theta)$ ) PËR GJATËSI RRUGE 10 cm NË UJË [45]

| Nuclide          | Co-60 | Cs-137 | Ir-192 | Au-198 | Ra-226 |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Tissue air ratio | 0.81  | 0.86   | 0.93   | 0.90   | 0.86   |

**TABELA 22.** VLERËSIME AFËRSE TË LAGËRSIVE TË VLERËS SË MESME DHE TË DHJETËT SIPAS ATTENUIMIT TË MADH PËR RADIONUKLIDE TË PËRDORURA NË BRAKITERAPI [2] (SHTOJCA D, FIGURAT 11–13a)

| Nuclide    | Lead                          |                 | Steel                         |                               | Concrete    |                                 |
|------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|
|            | HVL<br>(mm)                   | TVL<br>(mm)     | HVL<br>(mm)                   | TVL<br>(mm)                   | HVL<br>(mm) | TVL<br>(mm)                     |
| Co-60      | 12<br>( $\text{HVL}_1 = 15$ ) | 41              | 21<br>( $\text{HVL}_1 = 35$ ) | 71<br>( $\text{TVL}_1 = 87$ ) | 62          | 218<br>( $\text{TVL}_1 = 245$ ) |
| I-125 [46] | 0.03                          | 0.1             | —                             | —                             | —           | —                               |
| Cs-137     | 6.5                           | 22              | 16<br>( $\text{HVL}_1 = 30$ ) | 53<br>( $\text{TVL}_1 = 69$ ) | 48          | 175                             |
| Ir-192     | 6                             | 16              | 13<br>( $\text{HVL}_1 = 19$ ) | 43<br>( $\text{TVL}_1 = 49$ ) | 43          | 152                             |
| Au-198     | 3.3                           | 11 <sup>b</sup> | —                             | —                             | 41          | 142                             |
| Ra-226     | 16.6                          | 45              | 22<br>( $\text{HVL}_1 = 35$ ) | 76<br>( $\text{TVL}_1 = 86$ ) | 69          | 240                             |

<sup>a</sup> Vlerat e para të HVL (Trashësia e Vlerës së Mesme) dhe TVL (Trashësia e Vlerës së Dhjetë) jepen kur ato ndryshojnë shumë nga vlerat afërsuese bazuar në attenuimin e madh. Në këto raste, TVL dhe HVL e parë duhet të përdoren në llogaritje kur nevojiten më pak se 2 TVL ose më pak se 7 HVL mbrojtje materiale.

<sup>b</sup> Vlen për dy TVL e parë dhe pastaj rritet në 16 mm.

**TABELA 23.** TRASHËSITË E VLERËS SË MESME (HVL) DHE VLERËS SË DHJETË (TVL) PËR SHPËRNDARJEN 90° NGA RREZET GAMMA [47]

| Nuclide     |          | HVL | TVL <sub>1</sub> | TVL <sub>2</sub> | TVL <sub>3</sub> |
|-------------|----------|-----|------------------|------------------|------------------|
| Cobalt-60   | Lead     | 1.3 | 6.5              | 11.1             | —                |
|             | Concrete | 44  | 142              | 141              | 122              |
| Caesium-137 | Lead     | 0.6 | 3.2              | 5.5              | 7.0              |
|             | Concrete | 37  | 84               | 122              | 123              |

## 9. SHEMBUJ TË PUNUAR PËR PROCEDURA SPECIALE

### 9.1. Procedura speciale të radioterapisë

Metodat e llogaritjes të përshkruara në Seksionin 5 janë më të përshtatshme për vlerësimin e barrierave të dhomave të trajtimit për procedurat konvencionale të radioterapisë. Me disa modifikime të vogla, ato janë të zbatueshme edhe për procedura speciale të radioterapisë si rrezatimi total i trupit (TBI) dhe terapia me rrezatim të modulueshëm në intensitet (IMRT), si dhe për sigurimin e cilësisë (QA) dhe aktivitete të tjera gjatë ndezjes së rezeve.

#### 9.1.1. Rrezatimi total i trupit (TBI)

Ngarkesa e punës (workload) ( $\text{Gy} \cdot \text{javë}^{-1}$  në 1 m) për TBI është zakonisht shumë më e lartë sesa trajtimet konvencionale për të njëjtën dozë pacienti, për shkak të përdorimit të distancave të zgjatura të trajtimit. Ngarkesa për rrezatimin e rrjedhjes (leakage radiation) është gjithashtu më e lartë për të njëjtën arsye, dhe ndryshon nga ngarkesa për rrezatimin e shpërhapur nga pacienti dhe ai i murit. Trashësia e barrierës primare zakonisht duhet të rritet në mënyrë të përshtatshme në varësi të ngarkesës dhe faktorëve të përdorimit. Nëse procedura kufizohet në një kënd të vetëm të gantrit dhe një barrierë primare, kostoja për shtimin e trashësisë së mbrojtjes mund të mbahet minimale.

Ngarkesa e punës për TBI,  $W$ , është doza në 1 m, dhe për këtë arsye është produkt i dozës totale javore të pacientit  $PD_{\text{TBI}}$  dhe katrorit të distancës së trajtimit  $d_{\text{TBI}}$ , siç tregohet në ekuacionin:

$$W_{\text{TBI}} = PD_{\text{TBI}} \times d_{\text{TBI}}^2$$

ku  $d_{\text{TBI}}$  është distanca e trajtimit për TBI në metra. (Ekuacioni 39)

Për shkak se pacienti zakonisht pozicionohet afër njëres prej barrierave primare gjatë procedurës TBI, në vend që të jetë në izocentër, duhet marrë parasysh ndikimi i shpërndarjes së rrezatimit nga pacienti në hyrjen e dhomës. Kjo është veçanërisht e rëndësishme nëse ekziston një korridor (maze) në vend të një dere të drejtpërdrejtë të mbrojtur. Në disa organizime dhomash, burimi i rrezatimit të shpërhapur (pacienti TBI) do të jetë shumë më afër hyrjes së dhomës sesa izocentri, dhe për pasojë, norma e dozës në hyrje do të jetë më e lartë.

#### 9.1.2. Terapia me rrezatim të modulueshëm në intensitet (IMRT)

Procedurat IMRT përdorin tufa të vogla me formë lapsi, të prodhuara nga kollimatorë me shume shtresa (multi-leaf collimators) ose kapakë mekanikë. Për shkak të madhësisë së vogël të fushave dhe numrit të madh të këtyre “beamlets” të përdorur, njësi matëse e akseleratorit (MU) e kërkuar është shumë më e lartë sesa për trajtimin konvencional për të njëjtën dozë pacienti. Raporti i MU për IMRT ndaj MU për trajtimin konvencional që jep të njëjtën dozë të përshkruar quhet faktor IMRT,

Faktori IMRT mund të përcaktohet me metodën e mëposhtme: Merret një kampion rastesh IMRT dhe llogaritet mesatarja e MU totale të nevojshme për të dhënë një njësi doze të përshkruar. Sasia  $M_{IMRT}$  llogaritet fillimisht me ekuacionin:

$$M_{IMRT} = \frac{\text{Average total MU}}{\text{Dose(Gy)}}$$

Më pas llogaritni ose matni MU-të (njësitë monitoruese) që nevojiten për të dhënë të njëjtën njësi doze në një fantomë në thellësinë  $d_{max}$  me distancë burim-skin (SSD) 100 cm, duke përdorur madhësinë e fushës  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ , për të marrë vlerën  $M_{conv}$ .

Faktori IMRT  $C_I$  është thjesht raporti i  $M_{IMRT}$  ndaj  $M_{conv}$  :

$$C_I = M_{IMRT} / M_{conv}$$

Faktori  $C_I$  mund të marrë vlera nga 2 deri në 10 ose edhe më shumë. Rritja në MU nuk rrit në mënyrë të ndjeshme ngarkesën për barrierën primare, për shpërndarjen e pacientit apo për shpërndarjen nga muri në komponentët e barrierës sekondare. Kjo ndodh sepse doza e pacientit është e ngjashme për  $I_{MRT}$  krahasuar me radioterapinë konvencionale. Megjithatë, ngarkesa për rrezatimin e rrjedhjes (leakage workload) është ndjeshëm më e lartë me një faktor të barabartë me faktorin  $I_{MRT}$  të  $C_I$ .

### 9.1.3. Sigurimi i cilësisë (QA)

Nëse matjet për sigurimin e cilësisë kryhen rregullisht gjatë orarit normal të punës, dhe ngarkesa nuk është e papërfillshme krahasuar me ngarkesën e trajtimit konvencional, duhet vlerësuar ndikimi në kërkesat për mbrojtjen e barrierave. Matjet e QA përfshijnë testet ditore, mujore dhe vjetore, matjet e komisionimit, verifikimet e dozës në  $I_{MRT}$ , kërkimin dhe aktivitete të tjera gjatë përdorimit të rrezatimit. Nëse verifikimi i dozës për  $I_{MRT}$  përbën një pjesë të rëndësishme të matjeve QA, mund të kërkohet një faktor QA ( $C_{QA}$ ) i ngjashëm me faktorin  $I_{MRT}$  për të marrë parasysh rritjen në MU.

## 9.2. Llogaritjet për mbrojtje

### 9.2.1. Llogaritjet për barrierën primare

Barrierat primare dhe shpërhapja e rrezatimit të rrezeve primare të barrierat sekondare mund të vlerësohen duke përdorur Ekuacionet (5) dhe (10) në Seksionin 5. Për të marrë parasysh ndryshimet në përdorim që u përshkruan më sipër, produktet e ngarkesës (workload) dhe faktorëve të përdorimit në të dy ekuacionet zëvendësohen me shumën e produkteve të ngarkesës dhe faktorëve të përdorimit për secilën teknikë (trajtime konvencionale, TBI, IMRT, QA dhe procedura dhe aktivitete jo konvencionale të tjera):

$$WU]_{\text{pri}} = WU]_{\text{wall scat}} = W_{\text{conv}}U_{\text{conv}} + W_{\text{TBI}}U_{\text{TBI}} \\ + W_{\text{IMRT}}U_{\text{IMRT}} + W_{\text{QA}}U_{\text{QA}} + \dots$$

ku

$WU_{\text{pri}}$  dhe  $WU_{\text{wall scat}}$  janë produktet ngarkesë-përdorim për barrierën primare dhe shpërndarjen nga muri (wall scatter);

$W$  është ngarkesa në Gy/javë në 1 m për llojin e procedurës x;

$U$  është faktori i përdorimit ose fraksioni i kohës që rrezatimi pritët të përplasët në barrierë për llojin e procedurës xxx.

### 9.2.2. Llogaritjet për shpërndarjen nga pacienti

Mbrojtja e nevojshme kundër komponentit të shpërndarjes së pacientit për barrierën sekondare vlerësohet me Ekuacionin (9). Ngarkesa (workload) do të jetë shuma e ngarkesave për të gjitha teknikat që kryhen në izocentër. Faktori i përdorimit merret si njësi (1) për konsideratat e shpërndarjes nga pacienti.

$$W]_{\text{pat scat}_{\text{iso}}} = W_{\text{conv}} + W_{\text{IMRT}} + W_{\text{QA}} + \dots$$

Për TBI që kryhet me distancë të zgjatur burim-skin (SSD), shpërhapja e pacientit vjen nga një vendndodhje e ndryshme nga izocentri. Si rezultat, vlerat  $d_{\text{sca}}$  dhe  $d_{\text{sec}}$  do të jenë të ndryshme. Mbrojtja e nevojshme për komponentin TBI të shpërndarjes së pacientit duhet të përcaktohet veçmas duke përdorur Ekuacionin (9).

Nëse TVL-të e kërkuara për të mbrojtur dy komponentët e shpërndarjes së pacientit (izocentrike dhe TBI) ndryshojnë për më pak se 1 TVL, atëherë përdorni vlerën më të madhe dhe shtoni një HVL shtesë mbrojtjeje. Përndryshe, përdorni vlerën më të madhe.

### 9.2.3. Konsiderata për mbrojtjen nga rrezatimi i rrjedhjes (leakage)

Për konsideratat e rrjedhjes së rrezatimit mund të përdoret Ekuacioni (8). Ngarkesa e punës  $W_L$  jepet nga shprehja e mëposhtme:

$$W_L = W_{\text{conv}} + W_{\text{TBI}} + C_I \times W_{\text{IMRT}} + C_{\text{QA}} \times W_{\text{QA}} + \dots \quad (44)$$

Ku  $W_{\text{TBI}}$  is përcaktuar nga Eq. (39).

### 9.2.4. Llogaritjet për hyrjen e korridorit (maze entrance)

Metoda për vlerësimin e dozës në hyrjen e korridorit përshkruhet në Seksionin 5.4. Ekuacionet (13)–(15) përdoren për të marrë dozën në hyrjen e korridorit që vjen nga shpërhapja e pacientit, shpërhapja nga muri pas zvogëlimit nga pacienti, dhe shpërhapja nga muri pas zvogëlimit nga pacienti dhe muri i korridorit, përkatësisht. Për procedurat speciale, doza e shpërhapur nga pacienti duhet të përcaktohet veçmas për teknikat izocentrike dhe jo-izocentrike (TBI). Në Ekuacionin (13),  $W$  merr vlerën  $W_{\text{pat scat iso}}$  (Ekuacioni (43)) për teknikat izocentrike dhe për TBI vlera  $W$  do të jetë  $PD_{\text{TBI}}$  (Ekuacioni (39)). Doza që vjen nga shpërhapja e pacientit në hyrjen e korridorit jepet nga:

$$D_p = D_{p_{\text{iso}}} + D_{p_{\text{TBI}}}$$

ku  $D_{p_{\text{iso}}}$  dhe  $D_{p_{\text{TBI}}}$  janë dozat e shpërndara nga pacienti për teknikat izocentrike dhe TBI, përkatësisht.

Në ekuacionet (14) dhe (15),  $W_{\text{UH}}$  dhe  $W_{\text{Um}}$  marrin vlerën e  $W_{\text{Upr}}$  në Ekuacionin (42).

Dozat në hyrjen e korridorit që vijnë nga rrezatimi i rrjedhjes së kokës së aparatit të shpërhapur nga muri i fundit i korridorit, dhe rrjedhja e kokës që kalon përmes murit të korridorit, mund të merren nga ekuacionet (16) dhe (17), duke përdorur ngarkesën  $W_L$  të dhënë nga Ekuacioni (44).

Supozimi për rastin special të përshkruar nga Ekuacioni (18) mund të mos jetë i vlefshëm, sepse faktori i përdorimit varet nga procedurat speciale të përshkruara këtu. Lexuesi këshillohet të vlerësojë dozën në hyrjen e korridorit duke përdorur direkt ekuacionet (11) dhe (12).

Për makinat e trajtimit me energji më të ulët se 10 MV, doza në hyrjen e korridorit vjen kryesisht nga shpërhapja dhe fotonet e rrjedhjes me një kontribut shumë të vogël të neutroneve dhe gamma kapëse. Për makinat me energji më të lartë, doza e gamma kapëse në hyrjen e korridorit përcaktohet nga ekuacionet (23)–(25). Doza ekuivalente e neutroneve në hyrjen e korridorit përcaktohet nga ekuacionet (26), (27) ose (29), dhe ekuacioni (30), siç përshkruhet në Seksionin 5.7. Për procedura speciale si TBI, IMRT dhe QA, ngarkesa  $WWW$  në ekuacionet (25) dhe (30) zëvendësohet me ngarkesën e përfaqësuar nga Ekuacioni (44). Megjithatë, doza ekuivalente e neutroneve e marrë me këto ekuacione është për rreze që drejtohen poshtë. Nëse konfigurimi i TBI përdor drejtimin horizontal të rrezeve dhe koka e gantrit është më afër hyrjes së brendshme të korridorit, doza ekuivalente reale e neutroneve është më e lartë. Për arsye konservative rekomandohet që vlera  $DEDEDE$  e marrë me Ekuacionin (30) të shumëzohet me një faktor 1.5 për të dhënë vlerësimin e dozës së neutroneve për konfigurimin horizontal të rrezeve në rastin e TBI.

Aktualisht, shumica e procedurave IMRT kryhen me energji nën 10 MV. Në këto energji, dozat ekuivalente të gamma kapëse dhe neutroneve në dhomë dhe në hyrjen e korridorit janë zakonisht të vogla. Rritja e dozës në hyrjen e korridorit shkaktohet plotësisht nga rritja e rrjedhjes për shkak të rritjes me faktor  $C_I$  të njësive monitoruese (MU). Megjithatë, nëse përdoren energji 10 MV ose më të larta, doza në hyrjen e korridorit do të rritet shpejt me rritjen e energjisë.

## 9.2.5. Normat mesatare të dozës në kohë (TADR)

Seksioni 2.4 përshkruan konceptin e TADR (Time Averaged Dose Rate). Ekuacionet (2)–(4) përdoren për vlerësimin e dizajneve të barrierave dhe përcaktimin e trashësive të tyre.

Për procedura speciale si TBI, IMRT dhe QA, ngarkesa do të marrë vlerën  $W_d$  ose  $W_h$  (ditore, javore ose orare) për procedurën përkatëse. Për të vlerësuar TADR përtej barrierës primare dhe për shpërndarjen nga muri i rrezeve primare në barrierën sekondare, produkti i ngarkesës dhe faktorëve të përdorimit do të jetë ai i  $W_{U_{pri}}$  në Ekuacionin (42), ku ngarkesa është për ditë, javë ose orë, sipas rastit. Po ashtu, për vlerësimin e TADR-së për shkak të shpërndarjes nga pacienti, ngarkesa do të jetë  $W_{patscat_{iso}}$  (Ekuacioni (43)) ose  $W_{TBI}$  (Ekuacioni (39)) për periudhën e përshtatshme kohore. Për rrezatimin e rrjedhjes, ngarkesa jepet nga  $W_L$  (Ekuacioni (44)) përsëri për periudhën e përshtatshme kohore.

### 9.3. SHEMBUJ LLOGARITËS

Të përdoret TADR ( $R_w$ ) për të vlerësuar një barrierë. TADR-ja javore ( $R_w$ ) e përcaktuar në Seksionin 2.4 është e dobishme për vlerësimin e mjaftueshmërisë së projektimit të barrierës. Për shkak se TADR ( $R_w$ ) është doza mesatare e kohës e zvogëluar nga barrierat në javë, del që produkti i TADR ( $R_w$ ) me okupacionin ( $T$ ) është thjesht doza javore e zvogëluar nga barrierat, duke marrë parasysh okupacionin. Për çdo zonë interesi, që të plotësohet kufiri i kërkuar i dozës javore për të qenë nën një vlerë të caktuar  $P$ , është e nevojshme që produkti  $R_w T$  të jetë më i vogël se  $P$ .

## 10. INSPEKTIMI I RREZATIMIT

Pasi të jetë përfunduar ndërtimi i bunker-it të trajtimit ose modifikimi i një bunker-i ekzistues, mund të instalohet aparati i trajtimit. Kur aparati të bëhet funksional, duhet të kryhet një inspektim fillestar i rrezatimit kur rrezja e rrezatimit ekspozohet për herë të parë. Nëse aparati është një akselerator linear, ky inspektim duhet të kryhet me energjinë më të madhe të fotonit që disponohet dhe me normën maksimale të dozës. Kjo siguron identifikimin e rrezeve në një fazë të hershme përpara se inxhinieri i instalimit dhe personeli në zonat përreth të rrezikohen. Nëse nuk identifikohen rrezeve, inxhinieri mund të vazhdojë me komisionimin e aparatit. Pasi të përfundojë testi i pranimit, duhet të kryhet një inspektim i plotë i rrezatimit.

### 10.1. Pajisjet e inspektimit

Për ambiente me rreze gama mund të përdoret një aparat Geiger–Müller (GM) ose një detektor skintilimi. Asnjëri nga këto instrumente nuk është i përshtatshëm për matjen absolute të normave të dozës në akseleratorë linearë, për shkak të kohës së madhe të paaktivitetit (dead time) në aparatet GM që i bën ato të papërshtatshme për fushat pulsuese që prodhohen nga akseleratorët linearë. Detektorët e skintilimit mund të ngopën lehtësisht kur përdoren për të matur rrezatimin pulsuese të akseleratorëve linearë. Të dy llojet nënvlerësojnë normën e dozës së rrezatimit pulsuese, por kanë kohë të shpejtë reagimi, që i bën të përshtatshëm për skanimin e barrierave në pajisjet me izotope dhe akseleratorë linearë për të zbuluar boshllëqe dhe plasaritje.

Për instalimet me akselerator linear, është i nevojshëm një matës i dozës me dhomë jonizimi për matjet absolute të fotoneve. Idealja do të ishte që instrumenti të ketë një modalitet integrimi dhe

një modalitet matjeje të normës së dozës. Modaliteti integrues mundëson matje pa praninë e operatorit gjatë rrezatimit. Instrumentet me dhomë jonizimi kanë kohë të ngadaltë reagimi dhe prandaj është e vështirë t'i përdorësh për kërkimin e defekteve në barrierat e rrezatimit. Instrumenti duhet gjithashtu të jetë i mbrojtur nga interferencat e frekuencave radio që prodhohen nga akseleratorët linearë. Nëse akseleratori linear punon me energji 10 MV ose më shumë, kërkohet edhe një matës portativ i neutroneve.

## **10.2. Matjet e inspektimit**

### **10.2.1. Pajisjet me rreze të jashtme**

Në matjet fillestare duhet të vlerësohet shkalla e mbrojtjes që ofrojnë barrierat. Jashtë secilës barrierë duhet të skanohet me aparatën GM ose skintilimit për të identifikuar ndonjë defekt në mbrojtje. Nëse objekti i trajtimit është akselerator linear, duhet të funksionojë me energjinë më të lartë dhe normën maksimale të dozës gjatë këtyre matjeve. Nëse identifikohen defekte, matje të mëtejshme duhet të bëhen në ato pozicione me llojin përkatës të detektorëve.

Barrierat primare duhet të vlerësohen me rrezatimin drejtuar në secilën barrierë njëherësh. Madhësia maksimale e fushës duhet vendosur në aparatën e trajtimit dhe kollimatorët të rrotullohen 45°, në mënyrë që diagonali i fushës së rrezatimit të jetë në drejtim të gjatë të barrierës. Është veçanërisht e rëndësishme të inspektohet zona ku barrierat primare kalojnë në barrierat sekondare për të konfirmuar mjaftueshmërinë e gjatësisë së barrierës primare. Matje duhet të bëhen edhe në bashkimet midis tavaneve dhe mureve. Nëse objekti është i përmirësuar për të punuar me aparat me energji më të lartë, duhet të kryhen matje në bashkimet e mbrojtjes shtesë ose modifikimeve. Planet e objektit duhet të jenë në dispozicion gjatë inspektimit për të identifikuar këto pozicione. Këto matje kryhen pa asnjë material fantomë në rrezen e rrezatimit.

Për barrierat sekondare në pajisjet me rreze të jashtme, matjet bëhen me material fantomë në rreze për të simuluar pacientin. Materiali vendoset në izocentër, por nëse objekti është dizajnuar për TBI, matje të tjera duhet të bëhen me materialin në pozicionin e kërkuar në dhomë për këtë procedurë. Për secilën barrierë sekondare, matjet bëhen me gantrinë në 0°, 90°, 180° dhe 270°. Bashkimet midis barrierave sekondare dhe primare duhet të matën me kujdes për të verifikuar nëse ka rrjedhje nga shpërhapja me kënd të vogël në skajet e barrierës primare.

Matje (me material fantomë në rreze) duhet të bëhen gjithashtu në derën ose hyrjen e korridorit për katër këndet e gantrit dhe në dalje të kanaleve. Për akseleratorët linearë me energji të lartë, këto vende duhet të inspektohen edhe për neutrone.

Matje duhet të bëhen edhe jashtë objektit për të përcaktuar nivelet e rrezatimit për shkak të reflektimeve nga qielli (skyshine). Nëse ka ndërtesa të larta pranë objektit, matje duhet të kryhen edhe në katet e sipërme të këtyre ndërtesave për vlerësimin e ndonjë rreziku.

Për çdo matje duhet të dokumentohen rezultatet dhe kushtet e matjes duke përfshirë:

- Energjinë operative të aparatit;
- Normën e dozës;

- Madhësinë e fushës;
- Këndin e gantrit;
- Këndin e kollimatorit;
- Sasinë e fantomës (nëse ka);
- Pozicionin e fantomës.

Matjet me madhësinë maksimale të fushës përfaqësojnë kushtet më të rënda. Matje të tjera duhet të bëhen me madhësinë mesatare të fushës që përdoret klinikisht. Nëse aparati ka më shumë se një energji të rrezeve X, matjet duhet përsëritur për energjitë më të ulëta.

Pasi të përfundojnë të gjitha këto matje, mund të vlerësohet efektiviteti i barrierave duke marrë parasysh faktorin e përdorimit të barrierës, okupacionin e zonës jashtë barrierës, ngarkesën e punës së aparatit dhe ciklin e përdorimit të aparatit.

### **10.2.2. Objektet e brakiterapisë**

Parimet e përgjithshme të Seksionit 9.2.1 zbatohen edhe këtu. Në këto ambiente trajtimi, muret, tavani dhe dyshemeja janë barriera primare dhe do të ekspozohen vazhdimisht sa herë që burimet radioaktive janë të ekspozuara brenda dhomës. Efektiviteti i barrierave përcaktohet duke vendosur aplikatorët pranë pozicionit përafërt të pacientit në dhomë. Më pas matjet kryhen kur burimet janë të ekspozuara pa asnjë zbutje nga materiali fantomë. Matje bëhen për numrin maksimal të burimeve të ekspozuara dhe për numrin mesatar të burimeve që përdoren klinikisht njëkohësisht. Kohëzgjatja e trajtimit dhe numri i trajtimeve në javë duhet të merren në konsideratë kur përcaktohet efektiviteti i barrierave të rrezatimit dhe okupacioni i zonave përreth.

## **10.3. RAPORTI I INSPEKTIMIT**

Raporti i inspektimit të rrezatimit duhet të përmbajë këto informacione:

- Llojin e aparatit të rrezatimit, vendndodhjen e tij, datën e inspektimit dhe emrin e personit që kryen inspektimin dhe përgatit raportin;
- Vlerat e ngarkesës (W), faktorëve të përdorimit (U) dhe faktorëve të okupacionit (T) që janë përdorur për të përcaktuar efektivitetin e mbrojtjes;
- Instrumentet e përdorura për matjet: lloji, modeli, numri serial dhe data e kalibrimit;
- Rezultatet e matjeve me parametrat e aparatit, pozicionin e matjes dhe normën e dozës në izocentër;
- Përfundimet: nëse mbrojtja është efektive apo jo;
- Një planimetrikë e objektit me pikat e inspektimit të shënuara. Pamjet në seksion ose vizatimet vertikale mund të jenë të dobishme gjithashtu.

Nëse inspektimi tregon që mbrojtja e barrierave nuk është optimale, ekzistojnë disa opsione:

- Shtimi i mbrojtjes shtesë;
- Kufizimi i orientimit të rrezatimit për të parandaluar që rrezja të godasë zonën me mbrojtje të pamjaftueshme. Kjo mund të jetë një masë e përkohshme deri sa të shtohet mbrojtja shtesë ose e përhershme. Në rastin e përhershëm, duhet vendosur mekanizma

mekanikë ose elektrinë që pengojnë këtë orientim. Kjo kufizim i përdorimit duhet të përfshihet në procedurat operative të objektit;

- Kufizimi i aksesit. Kjo mund të bëhet duke shpallur zonën që kalon kufijtë e dozës si zonë e kontrolluar dhe duke vendosur sinjale dhe barriera fizike për të kufizuar hyrjen. Nëse zona nuk përdoret zakonisht, mund të shpallet si zonë e ndaluar dhe të mbahet e mbyllur. Një alternativë tjetër është kufizimi i aksesit gjatë kushteve të caktuara operative, ku personat që kanë nevojë të hyjnë në zonë duhet të marrin leje pune (permit) nga operatorët e aparatit të trajtimit.