

Závěrečná zpráva k zakázce HS122404013

Návrh stínících konstrukcí u PET/CT pracoviště v Pavilonu B v Nemocnici Karlovy Vary

Objednatel: **PENTA PROJEKT s.r.o.**
Mrštíkova 12,
586 01 Jihlava
IČ: 479 16 621 , DIČ: CZ47916621

Odpovědný řešitel: **Ing. Lubomír Vítek, Ph.D.**

Pracoviště: **Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav stavebního zkušebnictví**
Veveří 331/95, 602 00 Brno
IČ: 00216305, DIČ: CZ00216305

Zpracováno dne: Brno, 11. 2024

Ing. Lubomír Vítek, Ph.D.

odpovědný řešitel

Doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

vedoucí Ústavu stavebního zkušebnictví

Počet vyhotovení: 3

Vyhotovení číslo:

1. Úvodní část

Na základě objednávky firmy PENTA PROJEKT s.r.o. Jihlava, navrhli pracovníci Střediska radiační defektoskopie FAST VUT v Brně stínící konstrukce u PET/CT pracoviště v Pavilonu B v Nemocnici Karlovy Vary (obr.1).

2. Účel a rozsah zprávy

Zpráva bude sloužit jako podklad pro vypracování prováděcího projektu vyšetřovny pozitronové emisní tomografie PET/CT se zaměřením na ^{18}F a ^{68}Ga na pracovišti Nukleární medicíny.

Zpráva obsahuje nové předpoklady výpočtu v souvislosti s nabytím účinnosti „atomového zákona“ a následných vyhlášek, výpočet násobnosti zeslabení pro jednotlivé směry a dimenzování tloušťek stínících konstrukcí.

3. Podklady pro výpočet stínění

3.1 Technické parametry zářičů

Pro výpočet stínících konstrukcí se předpokládá využití PET kamery s integrovaným CT typu Siemens Biograph Vision 600, GE Omni Legend a uživatelem stanovených provozních podmínek.

Dispoziční řešení rtg pracoviště i pomocných místností bylo převzato z výkresů objednavatele.

3.2 Limity a směrné hodnoty ozáření

Legislativní podklady - Atomový zákon (zák.263/2016 Sb.) a navazující vyhlášky

Atomový zákon a navazující vyhláška 422/2016 vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje specifikují podmínky ochrany před účinky ionizujícího záření.

Jako základ zákonných opatření jsou v § 63 AZ definovány **limity ozáření**, jejichž překročení není z hlediska radiační ochrany přípustné. Tyto limity se vztahují na ozáření ze všech činností vedoucích k ozáření. Nezapočítává se však do nich ozáření z přírodních zdrojů (cca 3-5 mSv/rok), pokud nejsou záměrně využívány, dále lékařské ozáření a další ozáření specifikovaná zákonem a vyhláškou (při výuce, při haváriích aj.).

Tyto limity jsou uvažovány jiné pro obyvatelstvo a jiné pro radiační pracovníky:

➤ **Obecné limity pro obyvatele – (K § 63 odst. 6 AZ, §3 vyhl RO)**

Obecnými limity pro obyvatele z ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností zajeden kalendářní rok jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv a
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 50 mSv bez ohledu na velikost ozářené plochy

- **Limity pro radiační pracovníky** – musí být použity pro omezení profesního ozáření a jsou:

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 20 mSv za kalendářní rok nebo hodnota schválena SUJB, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 500 mSv za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy a
- d) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za jeden kalendářní rok

- **Limity pro učně a studenty** –pro žáka a studenta ve věku od 16 do 18 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou za jeden kalendářní rok

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 6 mSv,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 150 mSv bez ohledu na ozářenou plochu a pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 150 mSv.

Limity pro žáka a studenta mladšího než 16 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou shodné s obecnými limity pro obyvatele.

Limity pro žáka a studenta staršího než 18 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou shodné s limity pro radiačního pracovníka

Hodnoty limitů však nelze brát za základ při výpočtech stínění, neboť se jedná o součet všech možných kombinací ozáření, který nesmí být překročen. Atomový zákon zavádí nový pojem Autorizovaný limit, což je kvantitativní ukazatel, který je výsledkem optimalizace radiační ochrany pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření a je zpravidla nižší než dávková optimalizační mez. Autorizované limity stanoví Úřad v povolení k činnostem v rámci expozičních situací. Nepřekročení autorizovaných limitů prokazuje nepřekročení limitů ozáření. Z důvodů časové kontinuity radiační ochrany na pracovišti navrhuje tyto autorizované limity používané dřívější legislativou:

- Dávková optimalizační mez pro obyvatele - **50 μSv**.
- Dávková optimalizační mez u radiačních pracovníků - **1 mSv**
- optimalizovaná hodnota pro roční kolektivní efektivní dávku (součet efektivních dávek u všech jednotlivců v určité skupině) - **1 Sv**

3.3 Materiál stínění

Pro stínící konstrukce pracoviště s ionizujícím zářením je počítáno se stínícím materiálem :

- obyčejný beton o objemové hmotnosti v suchém zatvrdlém stavu 2350 kg/m³
- Pb plechy

3.4 Literatura

- Sada výkresů - půdorysů a řezů
- Zákon č. 18/97 Sb, zák.č.13/2002 Sb. O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření
- Vyhláška č. 307/2002 Sb. O radiační ochraně
- Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities NCRP No.147(2004)
- E DIN 6812 Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV (Oktober 2011)
- DIN 6844 Nuklearmedizinische Betriebe (September 1989)

3.5 Určení násobnosti zeslabení K

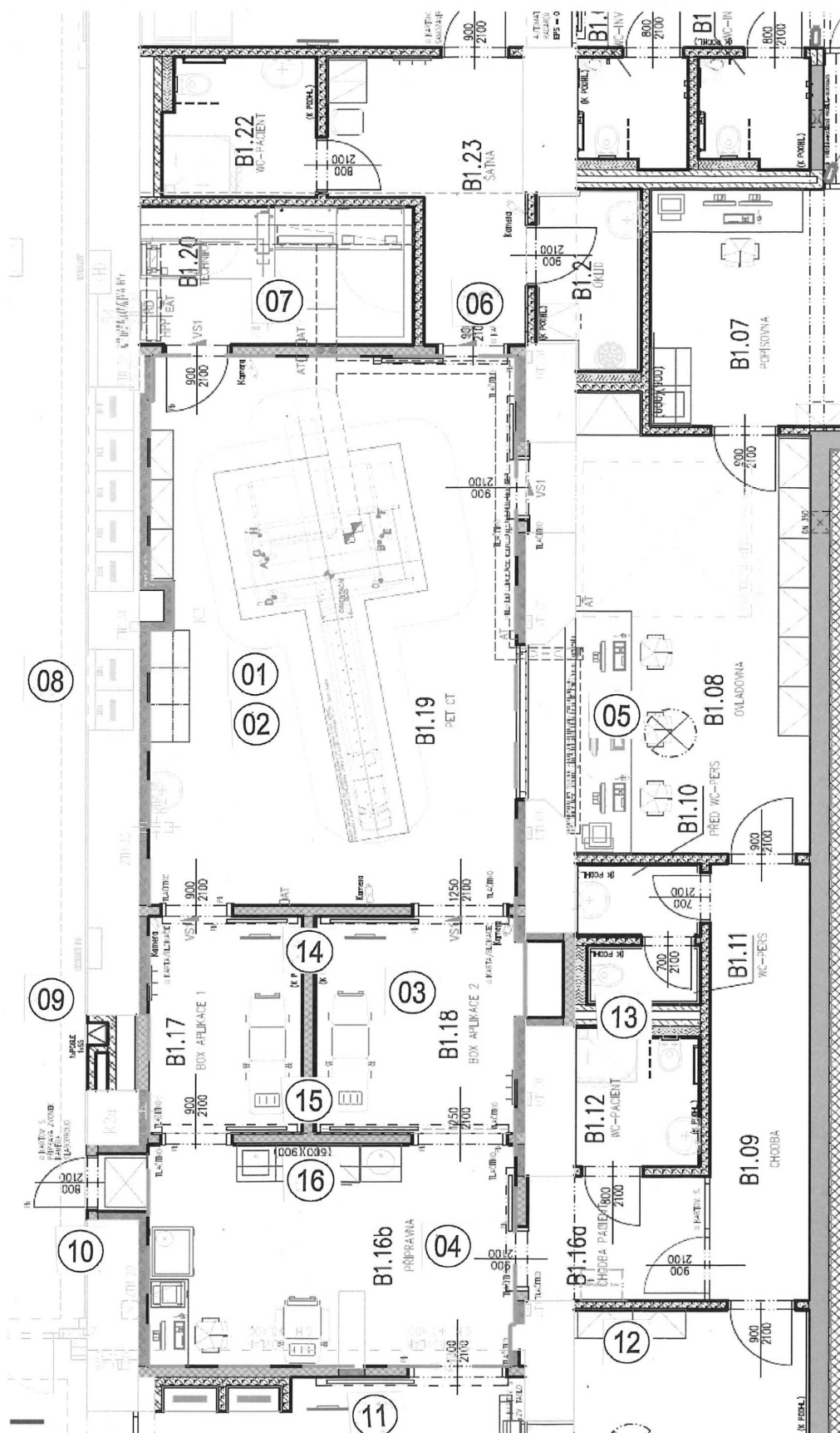
Násobnost zeslabení záření K vyjadřuje kolikrát je nutno primární svazek nebo rozptýlené záření zeslabit, aby bylo dosaženo dávkových optimalizačních mezí pro obyvatele a pro radiační pracovníky se zářením.

Při výpočtu tloušťek ochranných stínících konstrukcí pracoviště byly použity matematické vztahy z viz. literatura.

4. Návrh stínění

Návrh skladby stínících konstrukcí pracovišť s ionizujícím zářením je uveden v tabulce 1. Hodnoty faktoru pobytu T byly voleny tak, jak je běžně uvažuje literatura a jak se dá usuzovat, že bude probíhat provoz pracoviště.

Ing. Vítek Lubomír, Ph.D.
odpovědný řešitel



Obr. 1 Rozmístění dozimetrických bodů

tab. 1 Výpočet násobnosti zeslabení stínících vrstev

PET/CT vyšetřovna

- energie anihilačního záření = 511 keV
- aplikovaná aktivita ^{18}F = max. 0,35 GBq, počet aplikovaných pacientů max. 10/směnu
- max.naměřený dávkový příkon v 1 m u aplikovaného pacienta 35 $\mu\text{Sv/hod}$ ihned po aplikaci [(0,10 $\mu\text{Sv/hod}$)/MBq]
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „0“ - 35 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „30min“ - 29 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „40min“ - 27 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „60min“ - 24 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „80min“ - 21 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „100min“ - 19 $\mu\text{Sv/h}$
- dávkový příkon v 1 m u aplikov. pacienta v čase „120min“ - 16 $\mu\text{Sv/h}$
- H_t = 0,001 mSv/týden (ostatní osoby)
- $H_t^{(1)}$ = 0,02 mSv/týden (radiační pracovníci)

Navržené stínící konstrukce pro PET při aplikaci ^{18}F jsou z hlediska radiační bezpečnosti dostatečné i pro aplikaci ^{68}Ga a CT.

Doz. bod	Vzdál [m]	Ze slab ení K	Ekv. Pb [mm]	Navržená konstrukce [mm]	Poznámka
01	-	-	-		podlaha – rostlý terén
02	3,5	65	26	-340 beton -stávající beton 75+70 +bet. deska 65 +8,0Pb	strop nad vyšetřovnou - počet apl.pac.10/směnu - vyšetření po 60min. po aplikaci pacienta - vlastní vyšetření 40min./pac. - pobyt osob nad stropem : 8 hod/směnu
03	3,5	163	33	-380 beton -stávající beton 75+70 +bet. deska 65 +12,0Pb	strop nad aplikačními boxy - počet apl.pac.10/směnu, ihned po aplikaci, a 60min. - počet apl.pac.10/směnu, 100 min. po aplikaci, a 5min. - pobyt osob nad stropem : 8 hod/směnu
04	3,5	24	20	-260 beton -stávající beton 75+70 +bet. deska 65 +4,0Pb	strop nad přípravnou radiofarmak - počet apl.pac.10/směnu, ihned po aplikaci, a 10min. - pobyt osob nad stropem : 8 hod/směnu

05 ¹⁾	4,0	2,5	8	- min. 200CP - pozor. okno 8,0 mm Pb - dveře 8,0 mm Pb	ovladovna - počet apl.pac.10/směnu - vyšetření po 60min. po aplikaci pacienta - vlastní vyšetření 40min./pac. - pobyt prac. v ovladovně: 1 směna
06	5,0	1,2	4	- 100 beton - dveře 4,0 mm Pb	chodba, šatna před vyšetřovnou - počet apl.pac.10/směnu - vyšetření po 60min. po aplikaci pacienta - vlastní vyšetření 40min./pac. - pobyt osob: 0,3 hod/směnu
07	6,0	1,1	3	- 100 beton - dveře 3,0 mm Pb	tech.místnost chodba, šatna před vyšetřovnou - počet apl.pac.10/směnu - vyšetření po 60min. po aplikaci pacienta - vlastní vyšetření 40min./pac. - pobyt osob: 0,3 hod/směnu
08	4,0	1,8	6	- 125 beton - min. 200CP	chodba před vyšetřovnou - počet apl.pac.10/směnu - vyšetření po 60min. po aplikaci pacienta - vlastní vyšetření 40min./pac. - pobyt osob: 0,5 hod/směnu
09	4,0	4	10	- 150 beton - min. 250CP	chodba před aplikací - počet apl.pac.5/směnu, ihned po aplikaci, a 60min. - počet apl.pac.5/směnu, 100 min. po aplikaci, a 5min. - pobyt osob. na chodbě: 0,5 hod/směnu
10	3,0	2,0	6	- 125 beton - min. 200CP - dveře 6,0 mm Pb	chodba před přípravnou - počet apl.pac.10/směnu, ihned po aplikaci, a 10min. - pobyt osob. na chodbě: 0,5 hod/směnu
11	3,0	2,0	6	- 125 beton - min. 200CP - dveře 6,0 mm Pb	čekárna před přípravnou - počet apl.pac.10/směnu, ihned po aplikaci, a 10min. - pobyt osob.v čekárně: 0,5 hod/směnu
12	7,0	2,1	6	- 125 beton - min. 200CP - dveře 6,0 mm Pb	kartotéka před přípravnou - počet apl.pac.10/směnu, ihned po aplikaci, a 10min. - pobyt osob.v kartotéce : 2 hod/směnu
13	4,5	1,2	4	- 100 beton - min. 200CP	WC před aplikačním boxem - počet apl.pac.5/směnu, ihned po aplikaci, a 60min. - počet apl.pac.5/směnu, 100 min. po aplikaci, a 5min. - pobyt osob.na WC: 10 min.
14	6,5	3,4	10	- 150 beton - dveře 10,0 mm Pb	vyšetřovna před aktivními čekárnami - 1 apl.pac.v apl. boxu ihned po aplikaci a 60 min. - max.dávkový příkon ve vyšetřovně PET/CT 0,20μSv/hod

15 ¹⁾	1,5	3,0	8	- 150 beton	aplikační boxy mezi sebou - 1 apl. pac v aplik.boxu ihned po aplikaci, a 60 min.
16 ¹⁾	3,0	3,5	10	- 150 beton - dveře 10,0 mmPb	přípravna před aplikačním boxem - počet apl.pac.5/směnu, ihned po aplikaci, a 60min. - počet apl.pac.5/směnu, 100 min. po aplikaci, a 5min. - pobyt prac.v přípravě : 4 hod/směnu

- Ht = 0,001 mSv/týden (ostatní osoby)
- Ht¹⁾ = 0,02 mSv/týden (radiační pracovníci)

Ht - týdenní efektivní dávka [mSv/týden]

Vzdálenost - vzdálenost doz. bod – zdroj ion. záření [m]

Ekv. Pb – charakteristika stínící vrstvy uvedená ekvivalentní tloušťkou olova [mm Pb]

K - Násobnost zeslabení záření K vyjadřuje kolikrát je nutno primární svazek nebo rozptýlené záření zeslabit, aby byla dosažena dávková optimalizační mez pro radiační pracovníky nebo ostatní osoby.

Konstrukce stínících betonových stěn:

- Obyčejný beton o objemové hmotnosti v suchém zatvrdlém stavu 2350kg/m³