

Małgorzata CHOMICZEWSKA

I Liceum Ogólnokształcące w Bolesławcu

***Radioaktywność materiałów budowlanych
i potencjalne konsekwencje zdrowotne***

Streszczenie. Praca porusza problematykę radioaktywności materiałów budowlanych, podaje wartości stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych. Opisuje warunki ograniczenia stężeń izotopów i wyniki badań materiałów budowlanych w Polsce oraz aspekty zdrowotne tego typu promieniowania.

1. Wstęp

Wszystkie składniki mineralne budujące skorupę ziemską zawierają naturalne pierwiastki promieniotwórcze, m. in. potas (K-40), pierwiastki szeregu uranowo-radowego oraz szeregu torowego. Ich stężenia zmieniają się w zależności od rodzaju i pochodzenia minerałów. Pierwiastki te znajdują się również w materiałach budowlanych, zarówno pochodzenia mineralnego, jak i wytwarzanych z odpadów przemysłowych. Niekiedy, w efekcie procesów technologicznych, może wzrosnąć w odpadach przemysłowych ich stężenie, jak np. w popiołach i żużlach. A przecież od zawartości pierwiastków promieniotwórczych w ścianach budynków zależy stopień narażenia ludności na promieniowanie jonizujące.

Dlatego też, aby ograniczyć niekontrolowany wzrost radioaktywności surowców i materiałów stosowanych w budownictwie, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

wspólnie z Instytutem Techniki Budowlanej opracowało w 1980 r. Instrukcję ITB nr 234 "Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych".

Na podstawie Decyzji nr 16 ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z 6 maja 1980 r. zakłady podległe resortowi budownictwa mają obowiązek badania stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w surowcach pochodzenia mineralnego, używanych do produkcji materiałów stosowanych w obiektach przeznaczonych na stały pobyt ludzi (budynki mieszkalne i użyteczności publicznej).

2. Tło promieniowania jonizującego w budynkach

Narażenie człowieka na promieniowanie jonizujące w pomieszczeniach mieszkalnych wynika z

- narażenia całego ciała na promieniowanie gamma,
- narażenia układu oddechowego na promieniowanie alfa produktów rozpadu radonu i toronu zawartych w powietrzu pomieszczeń.

Badania wykazały, że narażenie na promieniowanie gamma stanowi ok. 30%, zaś narażenie na promieniowanie alfa ok. 70% całkowitego narażenia człowieka w pomieszczeniach. Składowa dawki mocy promieniowania gamma w budynku pochodząca od izotopów naturalnych w materiałach ścian zależy głównie od wartości stężeń tych izotopów, konstrukcji i rozmiaru pomieszczeń, grubości ścian, gęstości użytych materiałów oraz powierzchni otworów okiennych i drzwi.

Źródłem narażenia układu oddechowego na promieniowanie alfa produktów rozpadu radonu Rn-222 i toronu Rn-220 w powietrzu pomieszczeń są rad-226 i tor-228 zawarte w materiałach ścian. Ponadto radon przenika do pomieszczeń z podłoża, na którym zbudowano budynek, a szczególnie do pomieszczeń w piwnicy oraz położonych na niższych kondygnacjach. Szybkość emanacji radonu (lub toronu) zależy od stężenia radu (toru) w materiale, gęstości materiału i jego porowatości, stałej rozpadu radonu (toronu), stałej dyfuzji i związanej z nią długości drogi dyfuzji oraz objętości pomieszczenia, do której zachodzi dyfuzja.

3. Wartości stężeń pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budownictwie na świecie

Wartości stężeń pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w materiałach pochodzenia mineralnego zmieniają się w zależności od rodzaju i pochodzenia minerału. Najczęściej zawierają się w przedziale od wartości śladowych do kilku tysięcy Bq kg⁻¹ dla potasu K-40 oraz od wartości śladowych do kilkuset Bq kg⁻¹ dla pierwiastków rodziny uranowo-radowej i rodziny torowej. Wartości stężeń tych izotopów w odpadach przemysłowych są większe niż w surowcach pochodzenia mineralnego, ze względu na efekty wzbogacenia występujące w procesach produkcyjnych.

Porównanie poziomu zanieczyszczeń radioaktywnych w materiałach budowlanych i ocenę wynikającego stąd narażenia ludności w środowisku mieszkalnym można przeprowadzić znając średnie stężenia uranu (radu), toru i potasu w skorupie ziemskiej oraz typowe zakresy zmienności tych stężeń w różnych regionach i materiałach.

Średnie światowe (tzw. "klarkowe") wartości stężeń potasu K-40, uranu U-238 i toru Th-232 w glebie oraz moc dawki pochłoniętej w powietrzu na wysokości 1m nad powierzchnią ziem, odpowiadającą tym stężeniom, podano w tabeli 1.

Tabela 1

Średnie wartości stężeń potasu-40, uranu-238 i toru-232 w glebie oraz moc dawki pochłoniętej w powietrzu na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi

Radionuklid	Moc dawki na jednostkę stężenia 1-10 Gy h ⁻¹ /Bq kg ⁻¹	Średnie stężenie w glebie *) Bq kg ⁻¹	Moc dawki pochłoniętej w powietrzu 10-8 Gy h ⁻¹
K-40	0,43	370 (100 - 700)	1,6 (0,4 - 3,0)
U-238	4,27	26 (10 - 50)	1,1 (0,4 - 2,1)
Th-232	6,62	26 (7 - 50)	1,7 (0,5 - 3,3)

*) zakres typowych wartości podano w nawiasach.

Typowe wartości stężeń potasu, uranu i toru w niektórych skałach podano w tabeli 2. Wśród skał magmowych stosunkowo wysokimi stężeniami radionuklidów naturalnych wyróżniają się granity. Najwyższe stężenia tych radionuklidów wśród skał osadowych

wykazują iłolupki. Najszersze zastosowanie jako surowce w budownictwie znajdują skały wapienne, piaskowce i iłolupki.

Tabela 2

Typowe wartości stężeń potasu, uranu i toru w niektórych skałach (Bq kg⁻¹)

Rodzaj skał	K-40	U-238	Th-232
Magmowe głębinowe: kwaśne (np. granit)	1000	60	80
Magmowe głębinowe pośrednie (dioryty)	700	23	33
Magmowe wylewne: pośrednie bazalty	240	12	11
Magmowe zasadowe	150	0,4	24
Osadowe węglanowe (wapień)	90	28	8
Osadowe: piaskowce	370	19	11
Osadowe: iłolupki	700	44	44

Tabela 3

Stężenia radionuklidów naturalnych w fosforanach

Pochodzenie	Stężenie w Bq x kg ⁻¹			
	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Chiny *)	150	150	25	-
Wyspy Bożego Narodzenia	330	300	7	-
Izrael	1500 - 1700	-	-	-
Jordania	1300 - 1850	-	-	-
Maroko (1)	1700	1700	30	-
Maroko (2)	1500	1500	30	200
Maroko (3)	1700	1570	20	10
Nauru	810	850	7	-
Senegal **)	1300	1400	67	-
Togo	1300	1200	110	≤ 100
Tunezja	590	520	92	-
Kola, aparyty (1)	90	40	91	170
Kola, aparyty (2)	70	70	92	-
Kola, aparyty (3)	44	30	78	44
Kola, fosforyty	-	390	25	230
USA: Centralna Floryda (1)	1500	1600	16	-
Centralna Floryda (2) żwir rzeczny	1700	2100	-	-
Pin. Floryda, żwir rzeczny	800	1000	-	-
Floryda, żwir ziemny i miękkie skały fosforanowe	1900	2000	59	-

cd. tabeli 3

Floryda	1300	1270	30	48
Arkanzas	370	410	52	-
Idaho	1850	1800	30	-
Montana	1400	1500	25	-
Płn. Karolina	960	670	40	-
Oklahoma	300	370	30	-
Płd. Karolina	4800	4800	78	-
Tennessee	150	150	20	-
Utah	1600	1850	30	-
Wyoming	2300	2300	10	-

*) Próbkki z Chin, Indii i Płd.-Wsch. Azji.

**) Próbkki z Senegalu i innych krajów afrykańskich.

Tabela 4

Średnie stężenia ^{226}Ra i ^{232}Th lub ^{228}Th w niektórych materiałach budowlanych stosowanych w różnych krajach

Kraj	Materiał	Średnie stężenie w $\text{Bq} \times \text{kg}^{-1}$	
		^{226}Ra	^{232}Th lub ^{228}Th
RFN	piasek budowlany i żwir	< 15	< 19
	granit	100	81
	cegła (komponenty tradycyjne)	59	67
	bloki betonowe z pumeksem	74	81
	bloki betonowe z żuzłem	152	100
	cement portlandzki	< 26	< 19
	gips naturalny	< 19	< 11
	fosfogips	555	< 19
	cegła czerwona	281	233
	popiół lotny	211	130
Węgry	beton	13	11
	cegła	56	48
Włochy	tuf litoidalny (Monte Cimino)	129	122
	nenfro (odmiana tufu, Toskania)	241	218
Polska	popiół lotny	63 - 610	33 - 320
	żuzel	19 - 460	22 - 590
	gips	26 - 740	11 - 44
	cegła czerwona	19 - 22	22 - 44
	cegła silikonowa	7,4 - 15	< 4 - 7,4
	cement	7,4 - 26	11 - 67
	gleba	3,7 - 19	4 - 15

cd tabeli 4

Wielka Brytania	granity	89	81
	piasek i żwir	4	7
	cement	22	18
	cegła gliniana	52	44
	biała cegła (krzemień i niegaszone wapno)	4	5
	naturalny gips	22	7
	lekkie prefabrykaty	59	26
	fosfogsipsy ze złóż osadowych	629	18
USA *)	fosforany, Floryda	740	-
	gips ze skał fosforanowych, Floryda	1221	10
	odpady rudy uranowej	4625	-

*) Nietypowe wartości.

Tabela 5

Stężenie radionuklidów naturalnych w surowcach i materiałach budowlanych pochodzenia naturalnego i przemysłowego

Rodzaj materiału budowlanego	Kraj	Średnie stężenie [Bq x kg ⁻¹]		
		⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
Pochodzenie naturalne:				
granit	RFN	1200	100	80
cegły granitowe	Wielka Brytania	1000	90	85
granit	ZSRR	1500	110	170
tuf litoidalny	Włochy	1500	130	120
pumeks	RFN	1100	130	130
beton zawierający i łupki ałunowe	Szwecja	850	1500	70
Pochodzenie przemysłowe:				
fosfogsipsy z fosforytów	RFN	110	600	5
fosfogsipsy	Wielka Brytania	70	800	20
fosfogsipsy	USA	-	1500	7
żuzel silikatowo - wapniowy	Kanada	-	2150	-
żuzel silikatowo - wapniowy	USA	-	1300 - 1500	-
cegła czerwona	RFN	330	280	-
popiół lotny	RFN	700	210	230
popiół lotny (1)	Wielka Brytania	550	7	130
popiół lotny (2)	Wielka Brytania	550	140	40
popiół lotny (3)	Wielka Brytania	220	50	30
żuzel wielkopieczowy	ZSRR	240	70	20
cement z popiołem i żuzlem	Finlandia	190	100	70

Tabela 6

Zestawienie wartości współczynników emanacji radonu i toronu otrzymanych przez różnych autorów dla różnych materiałów budowlanych

E_{Rn}^{in} [Bq kg ⁻¹ s ⁻¹] x10 ⁶	E_{Rn}^{S} [Bq m ⁻² s ⁻¹] x10 ⁴	E_{Tn}^{S} [Bq m ⁻² s ⁻¹]	Autor, kraj
-	30 - 86	-	Stranden Norwegia
-	0,5 - 51	0,01 - 0,6	Folkerts RFN
2,2 - 4,6	-	-	Ulbaek Dania
0,2 - 120	0,06 - 4,3	-	Porffijn Belgia
0,4 - 6,5	0,3 - 1,8	0,023 - 10,4	Zak Polska

4. Warunki ograniczenia stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych przeznaczonych dla budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej

W instrukcji nr 234 ITB przyjęto dwa warunki pozwalające ocenić przydatność surowców i materiałów stosowanych w budynkach przeznaczonych na stały pobyt ludzi:

$$f_1 < 1; \quad f_2 = Sr < 185 \text{ Bq kg}^{-1} \quad (\text{BR-80}).$$

Współczynnik f_1 stanowi warunek ograniczenia narażenia całego ciała od promieniowania gamma. Wynika on z ograniczenia aktywności sumarycznej naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Warunek ten ma następującą postać matematyczną:

$$f_1 = 0,00027Sk + 0,0027Sr + 0,0043St < 1$$

Warunek $f < 1$ wynika z porównania dawki promieniowania gamma otrzymywanej przez mieszkańca budynku rzeczywistego i tzw. "klarkowego". Budynek "klarkowy" to obiekt zbudowany z materiału zawierającego klarkowe, czyli średnie dla skorupy ziemskiej, stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, które wynoszą:

$$S_k \text{ klark} = 370 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ (10 pCi g}^{-1}\text{)},$$

$$S_r \text{ klark} = 26 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ (0,7 pCi g}^{-1}\text{)},$$

$$S_t \text{ klark} = 26 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ (0,7 pCi g}^{-1}\text{)}.$$

Roczna dawka promieniowania gamma pochłonięta przez człowieka w budynku "klarkowym" wynosi 0,32 mSv.

Mając na uwadze dążenie do utrzymania dawek otrzymywanych w budynkach mieszkalnych na poziomie mieszczącym się w zakresie wartości dawek od naturalnego tła promieniowania gamma w Polsce i na świecie, a także względy ekonomiczne przemawiające za wycofaniem z użycia jak najmniejszej ilości materiałów budowlanych - ustalono wartość dodatkowej dawki otrzymywanej rocznie w budynku rzeczywistym ponad wartość dawki w budynku "klarkowym" na 0,8 mSv. Oznacza to, że w hipotetycznym przypadku, gdyby cały budynek zbudowano z materiału o maksymalnych dopuszczalnych stężeniach potasu, radu i toru (tzn. $f_1 = 1$), dawka sumaryczna pochłonięta w ciele ludzkim wynosiłaby:

$$0,8 + 0,32 = 1,112 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}.$$

Współczynnik f_2 stanowiący warunek ograniczenia stężenia radu-226 w materiale budowlanym, ze względu na emanację radonu-222 ze ścian budynku, ma następującą postać:

$$f_2 = S_r < 185 \text{ Bq kg}^{-1},$$

gdzie: S_r - stężenie radu Ra-226 wyrażone w Bq kg^{-1} .

Warunek ten wynika z ograniczenia ekspozycji wewnętrznej na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu wdychane z powietrzem do układu oddechowego człowieka. Spełnienie tego warunku daje pewność, że efektywny równoważnik dawki od promieniowania alfa wynikający z przebywania wewnątrz budynku, nie przekroczy $1,41 \text{ mSv rok}^{-1}$.

Tabela 7

Warunki na ograniczenie stężeń radionuklidów naturalnych proponowane w różnych krajach

Rok	Kraj	Warunek na ograniczenie stężeń radionuklidów naturalnych (wyrażonych w Bq kg^{-1})
1971	ZSRR	$0,00022 S_k + 0,0027 S_g + 0,0038 S_r < 1$
1974	RFN	$0,00022 S_k + 0,0027 S_g + 0,0038 S_r < 1$
1976	Norwegia	$0,00022 S_k + 0,0027 S_g + 0,0038 S_r < 1$
1980	Szwecja	$0,00010 S_k + 0,0010 S_g + 0,0014 S_r < 1$
1980	Polska	$0,00027 S_k + 0,0027 S_g + 0,0043 S_r < 1$ oraz $S_g < 185 \text{ Bq kg}^{-1}$

5. Wyniki badań materiałów budowlanych w Polsce

Wyniki badań atestacyjnych surowców i materiałów budowlanych

W Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej od 1980 r. zbierane są wyniki badań atestacyjnych wykonywanych przez laboratoria resortu budownictwa. Zgodnie z Instrukcją ITB nr 234 laboratoria te są zobowiązane do przesyłania do CLOR kwartalnych sprawozdań z wykonanych badań kontrolnych surowców i materiałów budowlanych. Wyniki badań są wykorzystywane do oceny zanieczyszczeń promieniotwórczych w poszczególnych rodzajach surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce.

Wśród surowców pochodzenia przemysłowego szczególnie niekorzystnie wyróżniają się żuźle pomiedziowe i niektóre gatunki fosfogipsów. Dlatego te surowce zostały w zasadzie wyeliminowane z zastosowań związanych z budownictwem mieszkaniowym.

Popioły lotne, żuźle i żuźle wielkopieczowe mają niekiedy wartości współczynników kwalifikacyjnych przekraczające dopuszczalne limity. Objęte są więc systematyczną kontrolą poziomu radioaktywności. Badane półfabrykaty produkowane z dodatkiem popiołów i żużli, takie jak cementy i betony komórkowe, nie wykazały przekroczeń wartości współczynników kwalifikacyjnych.

Celem porównania materiałów budowlanych wykonanych z surowców tradycyjnych oraz materiałów z dodatkiem odpadów przemysłowych, a także dla zilustrowania rozkładu wartości współczynników f_1 i f_2 , w tabeli 8 zestawiono wartości współczynników f_1 i f_2 próbek surowców mineralnych, popiołów, żużli i wyrobów gotowych wg badań laboratoriów resortu budownictwa wykonanych w latach 1980 - 1986.

Z tabeli 9 wynika, że:

- dla próbek pokrytych tynkiem MALIX nie zaobserwowano większego wpływu rodzaju wykończenia zewnętrznego na wartości współczynników emanacji radonu (zarówno współczynnika masowego, jak i powierzchniowego). Dla powierzchniowego współczynnika emanacji toronu wpływ rodzaju wykończenia zewnętrznego jest wyraźnie obserwowany. Warstwa farby olejnej zmniejsza E_{Tn}^S dwudziestokrotnie.

Tabela 8

Zestawienie wartości współczynników kwalifikacyjnych próbek surowców mineralnych, popiołów, żużli i wyrobów gotowych przemysłu budowlanego

Rodzaj próbek	Liczba próbek	Wartości f_1 i f_2 , zakres zmienności		Liczba próbek o przekr. wartości graniczne w %	
		f_1	f_2	$f_1 < 1$	$f_2 < 185$
Surowce mineralne	184	0,01-0,76 (0,1 i 0,55)*	1-78	0	0
Popioły badane do 1983 r.	154	0,30-1,20 (0,87)	50-220 (130)	33	10
Żużle badane do 1983 r.	69	0,30-1,30 (0,60)	30-350 (100)	10	13
Popioły i żużle badane od 1983 r.	197	0,26-1,44 (0,60)	26-329 (100)	8	5
Cegła i pustaki ceramiczne bez domieszek	180	0,08-0,70 (0,50)	5-100 (42)	0	0
Wyroby gotowe ceramiczne produkowane od 1983 r. do 1987 r.	180	0,13-0,77 (0,55)	6-90 (50)	0	0
Betony lekkie produkowane od 1983 r. do 1987 r.	109	0,43-0,84 (0,63)	28-146 (86)	0	0

*) Wartość 0,1 dla skał wapiennych i piasków,
Wartość 0,55 dla glin ilów i łupków.

Tabela 9

Średnie wartości współczynników emancji

Rodzaj pokrycia powierzchni	Otynkowanie wyprawą cementowo-wapienną									Tynk Malix		
	beton żuźlowy			cegła czerwona p.			gazobeton			beton zwykły		
	E^m Rn	E^s Rn	E^s Tn	E^m Rn	E^s Tn	E^m Rn	E^m Rn	E^s Rn	E^s Tn	E^m Rn	E^s Rn	E^s Tn
Bez malowania	1,8 7,46	1,21	3,3	1,02	0,86	2,07	2,09	1,33	3,44	1,33	1,34	
Farba klejowa	0,9 7,2	0,68	2,0	1,25	1,06	2,5	1,49	1,98	1,56	1,37	1,38	
Farba emulsyjna	1,0 2,51	0,69	0,4	0,8	0,68	0,25	1,2	0,77	0,47	1,48	1,5	
Farba olejna emolak	0,5 0,33	0,34	0,0	0,8	0,7	0,05	1,0	0,67	0,01	1,1	1,12	
Farba olejna 2 warstwy	0,4 0,04	0,30	0,0	-	-	-	-	-	-	1,04	1,06	
Tapeta papierowa	- 4,71	-	-	-	-	-	2,39	1,52	3,4	1,21	1,23	
Próbka bez tynku i bez pokrycia powierzchni	-	-	-	-	-	-	2,98	1,18	9,79	-	-	

- dla pozostałych próbek, pokrytych wyprawą cementowo-wapienną obserwuje się widoczny wpływ rodzaju wykończenia zewnętrznego na wartości współczynników emanacji zarówno radonu jak i toronu. Najmniejszy wpływ na wartości współczynników ma tapeta papierowa i farba klejowa, a największy podwójna warstwa farby olejnej. Farba klejowa zmniejsza wartości współczynników emanacji radonu o ok. 20%, farba emulsyjna o ok. 35%, farba olejna o ok. 50%, zaś podwójna warstwa farby olejnej o ok. 75%. W przypadku toronu farba klejowa zmniejsza współczynnik emanacji o ok. 25%, farba emulsyjna siedmiokrotnie, farba olejna sześćdziesięciokrotnie, a podwójna warstwa farby olejnej 150-krotnie.

Wartości współczynników emanacji radonu uzyskane w wyniku przeprowadzonych u nas badań mieszczą się w granicach wartości otrzymywanych w innych ośrodkach na świecie (Tabela 6).

6. Podsumowanie

Wyniki badań prowadzonych przez CLOR oraz w reSORCIE budownictwa wykazały, że najmniejsze stężenia izotopów promieniotwórczych występują w skałach wapiennych i piaskowcach, a największe zaś w odpadach przemysłowych (popioły lotne, żużle, fosfogipsy). Żużle pomiedziowe i fosfogipsy - charakteryzujące się największymi wartościami stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych - zostały wyeliminowane z grupy surowców stosowanych w budownictwie mieszkaniowym. Eliminowane są również z tej grupy partie popiołów i żużli elektrownianych, w których systematycznie są przekraczane wartości współczynników f_1 i f_2 .

Przeprowadzone przez CLOR badania mocy dawki promieniowania gamma oraz stężeń radonu w trzech typach budynków - murowanych, betonowych i drewnianych - wykazały, że (JA - 85):

- różnice średnich wartości rocznych mocy dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma w poszczególnych typach budownictwa są niewielkie:

mur $0,85 \text{ pA kg}^{-1}$ ($11,8 \text{ mR h}^{-1}$),

beton $0,74 \text{ pA kg}^{-1}$ ($10,3 \text{ mR h}^{-1}$),

drewno $0,70 \text{ pA kg}^{-1}$ ($11,8 \text{ mR h}^{-1}$);

- średnie wartości roczne mocy dawek wyznaczonych w poszczególnych lokalach mieszkalnych różnią się między sobą i wynoszą odpowiednio:
 - dla muru od 0,49 do 1,63 pA kg⁻¹ (6,8 do 22,7 mR h⁻¹),
 - dla betonu od 0,47 do 1,113 pA kg⁻¹ (6,6 do 15,7 mR h⁻¹),
 - dla drewna od 0,53 do 1,01 pA kg⁻¹ (7,4 do 14,1 mR h⁻¹);

- różnice średnich wartości rocznych stężeń radonu-222 w powietrzu dla poszczególnych typów budownictwa są znaczne:
 - mur 50,7 Bq m⁻³ (1,54 pCi l⁻¹),
 - beton 27,4 Bq m⁻³ (8,74 pCi l⁻¹),
 - drewno Bq m⁻³ (1,54 pCi l⁻¹);

- średnie wartości roczne stężeń wyznaczonych w poszczególnych mieszkaniach zmieniają się w bardzo szerokich granicach i wynoszą odpowiednio:
 - dla muru od 4,3 do 568 Bq m⁻³ (0,12 do 15,4 pCi l⁻¹),
 - dla betonu od 4,0 do 119,4 Bq m⁻³ (0,11 do 3,23 pCi l⁻¹),
 - dla drewna od 11 do 244 Bq m⁻³ (0,30 do 6,59 pCi l⁻¹);

- rozpatrując wyniki badań uzyskane w wybranych województwach można zauważyć, że średnie wartości roczne stężeń radonu-222 w woj. jeleniogórskim są ponad 50% większe niż wartości w całej Polsce i wynoszą odpowiednio:
 - dla muru 81,3 Bq m⁻³ (2,20 pCi l⁻¹),
 - dla betonu 51,2 Bq m⁻³ (1,38 pCi l⁻¹),
 - dla drewna 100,9 Bq m⁻³ (2,73 pCi l⁻¹);

- największe wartości stężeń radonu zmierzono w budynkach drewnianych, które w większości są budynkami parterowymi, osadzonymi na lekkich fundamentach - co świadczy o dużym wpływie właściwości podłoża, na którym zbudowano budynek, na wartości stężenia radonu w pomieszczeniach.

Z przeprowadzonych badań wynika, że narażenie ludność na promieniowanie jonizujące w obecnie wznoszonych budynkach nie jest większe niż w budynkach z tradycyjnej cegły.

7. Zdrowie człowieka a promieniowanie

Naturalne promieniowanie jonizujące pochodzi:

- a) z przestrzeni kosmicznej,
- b) radionuklidów znajdujących się w skorupie ziemskiej i powietrzu (U-238, Th-232, produkty ich rozpadu, K-40 i inne).

Sztuczne promieniowanie jonizujące pochodzi głównie z niektórych urządzeń medycznych, przemysłowych, elektrowni jądrowych i konwencjonalnych oraz ze źródeł stosowanych w badaniach naukowych.

Promieniowanie jonizujące wywiera szkodliwy wpływ na procesy zachodzące w komórkach, poprzez radiolizę wody (wytwarzanie rodników i nadtlenków), niszczenie enzymów, zmiany w cząsteczkach DNA, błonach komórkowych. Wczesne skutki silnego napromieniowania obserwuje się w tkance krwiotwórczej, w przewodzie pokarmowym, w układzie sercowo-naczyniowym, mózgu i skórze. Do późnych następstw napromieniowania zalicza się nowotwory, białaczki, skrócenie życia, przyspieszone starzenie się oraz zmiany genetyczne.

Na podstawie prognoz demograficznych, uwzględniając udział materiałów budowlanych w budownictwie mieszkaniowym, do roku 2010 przewiduje się ponad 31 tysięcy dodatkowych zgonów na nowotwory złośliwe, czyli jeden dodatkowy zgon dziennie, w tym blisko 26 300 na raka płuc. W stosunku do lat 1950 - 1960 w pierwszym dziesięcioleciu przyszłego wieku należy oczekiwać ponad dwukrotnego zwiększenia zapadalności na inne nowotwory złośliwe, indukowane promieniowaniem gamma oraz blisko pięciokrotnego wzrostu przypadków raka płuc, wywołanych promieniowaniem alfa produktów rozpadu radonu, obecnych we wdychanym powietrzu.

Problem materiałów budowlanych, w ogóle zagrożenia płynące z konstrukcji budynków, w których przebywamy przeciętnie 80% swojego czasu, jest bardzo poważny, szczególnie gdy porównamy emisję promieniowania, która przeciętnie jest 3 razy większa niż promieniowanie

na wolnej przestrzeni. Należy uczynić wszystko, aby zgodnie z naukową wiedzą podejmować szybkie działania mające na celu złagodzenia potencjalnych zagrożeń dla zdrowia z tytułu stosowanych rozwiązań budowlanych.

Literatura

1. Piłat M., "FIZYKA kl. IV", Warszawa 1990 WSiP.
2. Pustowałow G. E., "Fizyka atomowa i jądrowa", PWN, Warszawa 1977.
3. Z czasopism : "Wiedza i życie", "Eko - Raj".
4. Ulotki CLOR.