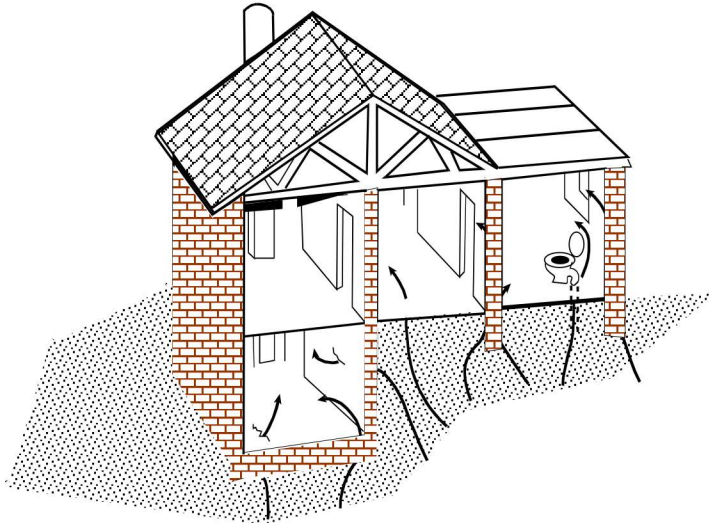


ראדון

מורה נבוכים לאזרח - 2002



מכון ההדרכה על שם י. פייגה

שטח בטיחות קרינה



המרכז למחקר גרעיני, נחל שורק

בק- 04/2002

ראדון - מורה נבוכים לאזרה

שאלות ותשובות בנושא גז הראדון, מקורותיו, דרכי חדירתו לבתי מגורים, סיכונים הבריאותיים, רמות סף לפעולות שיפור ודרכים להפחתת הריכוזים.

מאת

טוביה שלזינגר D.Sc
מנחם מרגליות Ph.D, יאיר שמאי Ph.D
וגוסטבו חקין M.Sc

מהדורה שמינית מעודכנת

אדר תשס"ב

מרץ 2002

1. מבוא

הסיכון הבריאותי הכרוך בחשיפת בני אדם לגז ראדון ובנותיו בבתי מגורים זוכה בשנים האחרונות לתשומת לב גוברת והולכת בקהיליה המדעית והדיו מגיעים לאחרונה גם לתקשורת ההמונית. יש היום הסכמה די רחבה להשערה כי יש קשר בין ריכוזים גבוהים במיוחד של ראדון בבתי מגורים מסוימים לבין תוספת תחלואה בסרטן הריאות בקרב בני אדם הנחשפים לריכוזי ראדון גבוהים במשך תקופות ארוכות בחייהם. לאזרח המודאג, שאינו מצוי במונחים המדעיים, קשה לעקוב אחרי הפרסומים המקצועיים בנושא הראדון, והוא מתעניין בעיקר בשאלה עד כמה הסכנה היא אכן ממשית, מה מהותה? האם הוא ובני ביתו חשופים לה? ואם כן באיזו מידה? האם עליו לדאוג לביצוע מדידות בביתו לקביעת ריכוזי הגז הזה, ואם כן כיצד ניתן לבצע זאת באמצעים פשוטים, במהירות ובמחיר מינימלי?

על שאלות אלה מנסים מחברי חוברת זו לענות בשפה פשוטה ובקצרה ככל האפשר. המידע המוצג בחוברת זו מבוסס על ספרות מדעית וטכנית ענפה בנושא הראדון, (1-14), ועל המלצותיה של וועדת מומחים בינמשרדית בישראל בנושא הראדון שהגישה המלצותיה בשנת 1992 (ראה אסמכתא (1), ועל הנחיות הוועדה המקצועית תורתית לבטיחות קרינה הפועלת מטעם משרדי הממשלה (משרד הבריאות, משרד העבודה והרווחה, המשרד לאיכות הסביבה והוועדה לאנרגיה אטומית). רשימה חלקית של המקורות מובאת בסוף החוברת. פרטים על מחברי החוברת וכישוריהם יוכל הקורא למצוא בנספח א' לחוברת זו.

2. הראדון וסכנותיו

א. מהו הראדון?

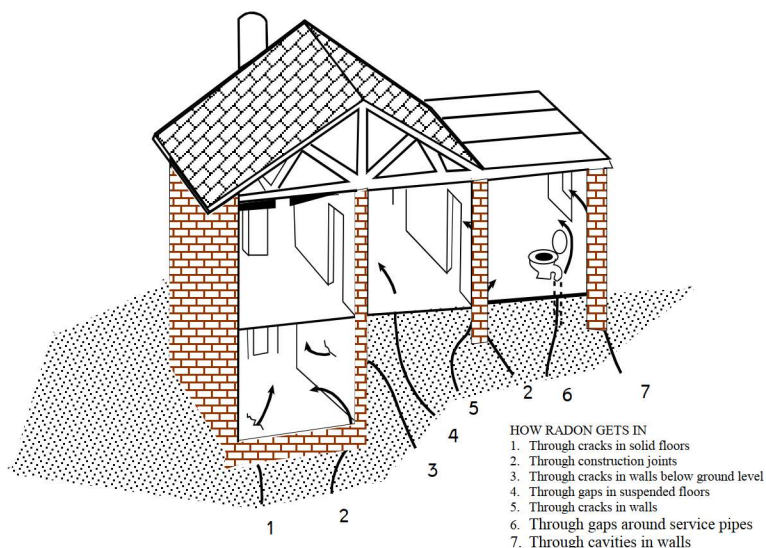
ראדון-222, ובקיצור ראדון, הוא גז רדיואקטיבי טבעי הנוצר בקרקע כמוצר התפרקות של היסוד ראדיום-226 המצוי בכמות זו או אחרת כמעט בכל סוגי הקרקע וחומרי הבניין. מחצית חייו של הראדון היא כ- 3.8 ימים. מבחינה כימית הראדון הוא גז אציל חסר צבע, ריח או טעם. כיוון שהראדיום עצמו הוא תוצר התפרקות של היסוד אורניום-238 הרי הקרקע עשירה יותר בראדון בכל מקום בו ריכוזי האורניום גבוהים יחסית כגון בסלעי גרניט ובאזורים עם מרבצי פוספטים.

ב. כיצד מגיע הראדון לאוויר הננשם?

הראדון, כאמור, נוצר בקרקע, אך בהיותו גז אציל הוא אינו מגיב עם החומרים שבסביבתו והוא נודד בקלות יחסית מהמקום בו הוא נוצר. מהקרקע הוא מגיע לאוויר שמעליה וחודר גם לתוך בתי מגורים. בגלל מחצית חייו הארוכה, יחסית, הוא מספיק להגיע לאוויר החופשי מעומק של 1-2 מטרים בקרקע, בתהליכי חלחול רגילים. אולם אם בקרקע יש חללים וסדקים עלול הראדון להגיע לאוויר החופשי גם מעומק עשרות ומאות מטרים.

ג. כיצד הראדון חודר לבית?

דרך פתחים וסדקים ברצפת הבית, דרך צינורות המים וצנרת אחרת ואף על ידי חלחול דרך רצפת הבטון (גם כשאין בה סדקים), כמודגם בציור 1. הראדון חודר לבית כמובן גם דרך החלונות והדלתות אולם בדרך כלל ריכוזו באוויר שמחוץ לבית קטן מריכוזו בתוך הבית ולכן פתחים אלה יגרמו דווקא להקטנת הריכוזים בתוך הבית.



ציור 1. דרכי החדירה של ראדון לבית

מתוך החוברת: The Householders' Guide to Radon

בהוצאת המשרד לענייני הסביבה בארה"ב 1988.

ד. מהן יחידות המדידה להערכה כמותית של ריכוזי הראדון באוויר?

ריכוז הראדון מבוטא ביחידות Bq/m^3 (בקרל למטר מעוקב). ה- Bq , על שם הכימאי Henri Becquerel (1846-1908), היא יחידה המבטאת את קצב ההתפרקות הרדיואקטיבית בחומר. Bq אחד היא התפרקות רדיואקטיבית אחת בשניה. אחרים (כיום בעיקר האמריקאים) מבטאים את הריכוז ביחידות pCi/l (פיקוקירי לליטר). הקשר הכמותי בין שתי יחידות מדידה אלה הוא:

$$1 pCi/l = 37 Bq/m^3$$

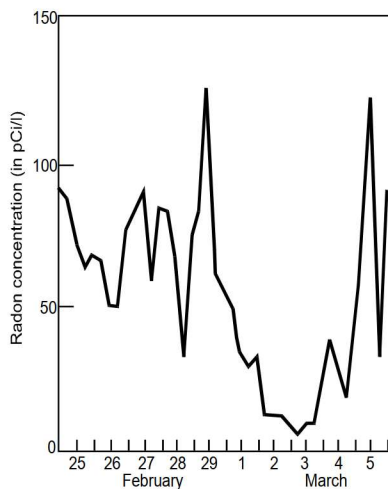
$$1 Bq/m^3 = 0.027 pCi/l$$

ה. מהו הריכוז הממוצע באוויר החופשי ובבתי מגורים?

בארה"ב ובאירופה נערכו וממשיכים להעריך סקרים רחבי היקף של ריכוזי הראדון. הריכוזים הממוצעים המדווחים מסקרים אלה נעים בין $20-50 Bq/m^3$ בבתי מגורים ו- $3-10 Bq/m^3$ באוויר החופשי. לאחרונה נערך סקר על ידי המשרד לאיכות הסביבה לקביעת ריכוזי ראדון בבתי מגורים צמודי קרקע באיזורים שונים בישראל. המדידות מצביעות על ערכים ממוצעים די דומים לאלה שבעולם המערבי, אולם כמו בכל העולם גם בישראל יש כנראה אחוז מסוים של בתים בהם הריכוז גבוה בהרבה מן הממוצע.

ו. האם הריכוז בבית קבוע?

לא. הריכוזים שונים ביום ובלילה ומעונה לעונה. כמו כן הריכוז בבית תלוי במידה רבה בתנאי האוויר והפרשי הטמפרטורה והלחץ בין הבית והחוץ. הריכוז השנתי הממוצע יכול להיות עד פי עשר גדול יותר או פי עשר קטן יותר מהריכוז הנמדד ברגע מסוים, ועד פי חמש גדול יותר או קטן יותר מהריכוז הממוצע הנמדד לאורך מספר ימים. השינויים המהירים והמפליגים בריכוז הרגעי של הראדון מודגמים בציור 2 המציג את ערכי ריכוז הראדון שנמדדו בחדר מגורים בבית (בארה"ב) במשך 10 ימים.



ציור 2. ריכוזי ראדון בתוך בית מגורים

המדידות בוצעו במשך 6 שעות כל יום במשך 10 ימים.
מתוך הספר Radon and its Decay Products, P. Hopke editor
בהוצאת American Chemical Society 1987

ז. מדוע הריכוז יתר גבוה בתוך הבית מאשר באוויר החופשי בחוץ?

מחוץ לבניינים הראדון העולה מן הקרקע נמהל באוויר, עולה למעלה ואף נסחף הלאה עם הרוח. בתוך בית, לעומת זאת, הראדון מצטבר ואם האוורור אינו יעיל הריכוז עולה בהדרגה עד שהוא מגיע לרמה יציבה מסוימת. לפתיחת דלת או חלון השפעה גדולה על הריכוזים הנמדדים. פתיחה כזו גורמת בדרך כלל לירידה מהירה בריכוזים.

ח. מדוע הראדון מסוכן לבריאות?

הבעיה הבריאותית אינה, למעשה, הראדון אלא בנותיו קצרות החיים. בהגיע ראדון לאוויר הוא עובר, באופן הדרגתי (כאמור מחצית חיו כ- 3.8 יום), תהליך התפרקות שבו נוצרת שרשרת של בנות קצרות חיים, שתכונותיהן מוצגות בטבלה 1. בנות הראדון נוצרות כאטומים של חומרים מוצקים הנספחים ברובם לחלקיקי האבק שבאוויר המגיעים לריאותינו כשאנו נושמים את האוויר המכיל אותם. חלקיקי האבק טעוני האטומים הרדיואקטיביים נעצרים ברקמות הריאה. בהיות בנות הראדון קצרות חיים הן דועכות בריאות במהירות ופולטות, בין השאר, את חלקיקי האלפא שפגיעתם בתאי הרקמה עלולה לגרום לשיבושים בצופן הגנטי של תאים אלה. שיבושים אלה עלולים להפוך תאים אלה לתאים ממאירים (אמנם רק לעתים נדירות ולאחר שנים רבות).

טבלה 1: סדרת בנות הראדון הרלוונטית לחשיפת מערכת הנשימה.

איזוטופ	סוג הקרינה	מחצית חיים
Rn-222	אלפא	3.8 ימים
Po-218	אלפא	3.05 דקות
Pb-214	ביתא, גמא	26.8 דקות
Bi-214	ביתא, גמא	19.7 דקות
Po-214	אלפא	164 μ sec

ט. מבחינה כמותית מה תרומת הראדון לתחלואה בסרטן הריאות?

לפי המלצות הוועדה הבינלאומית להגנה רדיולוגית ICRP משנת 1993 (2) הבסיס להערכה כמותית של הסיכונים הקרצנוגניים של חשיפה לראדון ובנות ראדון הוא דו"ח של האקדמיה למדעים של ארה"ב שפורסם בשנת 1988 והקרוי דו"ח BEIR IV (3). לפי דו"ח זה, המבוסס על מחקרים אפידמיולוגיים בקרב כורי אורניום שהיו חשופים לראדון ובנות ראדון בריכוזים גבוהים, תוספת התמותה מסרטן ריאות לתושבי ארה"ב עקב החשיפה לראדון בבתי מגורים נאמדת בכ- 70 מקרים למליון תושבים לשנה. מספר זה מהווה למעלה מ- 10% משיעור התמותה מסרטן ריאות בארה"ב. הדו"ח מתבסס על ההנחה כי הריכוז הממוצע של ראדון בבתי מגורים בארה"ב הוא כ- 40 בקרל למטר מעוקב וכן על המודל הקרוי "המודל היחסי המתוקן". לפי מודל זה תוספת התחלואה בסרטן ריאות באוכלוסייה החשופה, לראדון ובנות ראדון במבנים יחסית לריכוזי הגז ובנותיו, למשך השנה במבנה, לגילו של האדם בזמן החשיפה, לזמן שעבר מאז החשיפה ולשכיחות "הטבעית" (ללא השפעת הקרינה) של התחלואה בסרטן ריאות בקבוצות הגיל ביחס אליה מחשבים את הסיכון. סביר להניח על כן שאם בני אדם יגורו בבתיים בהם הריכוז יהיה גבוה במידה רבה מהריכוז הממוצע המקובל, הרי העלייה בשכיחות סרטן הריאות תהיה ניכרת מאוד.

מסקנות וועדת BEIR IV הינן כאמור מקור עיקרי גם להמלצות הוועדה הבינלאומית להגנה רדיולוגית ICRP בנושא סיכוני הראדון, המלצות שפורסמו לאחרונה בשנת 1994 (2).

וועדת BEIR עצמה פרסמה בשנת 1999 דו"ח מעודכן (BEIR VI) (4), המתייחס לסיכוני הראדון. דו"ח זה משתמש במודלים משופרים ביחס להשפעת הגיל בזמן החשיפה והזמן שעבר מאז החשיפה. הערכת הסיכון לפי דו"ח BEIR

VI גבוהה קצת יותר מזו שנקבעה בדו"ח BEIR IV, אולם ה-ICRP וגופים בינלאומיים אחרים לא שינו בינתיים את המלצותיהם.

י.מה ידוע על ריכוזי ראדון בבתי מגורים בישראל?

חברות מסחריות אחדות הפועלות בישראל ביצעו בשנים האחרונות קרוב ל-100,000 מדידות לקביעת ריכוזי ראדון בבתי מגורים. רוב המדידות בוצעו לתקופות זמן קצרות, 3-7 ימים. במדידות אלה התברר כי ריכוזי הראדון בבתי מגורים (בתנאי המדידה) נעים בדרך כלל בין כמה עשרות לכמה מאות בקרל למטר מעוקב. במבנים ספציפיים התגלו ריכוזים גבוהים ואף גבוהים מאוד של עד אלפי בקרל למטר מעוקב. בגלל האופי הוולונטרי של מדידות אלה הן לא מהוות מדגם מיצג וקשה להסיק מתוצאותיהן על המצב הכללי בישראל. בסוף שנת 1995 התגלו ריכוזי ראדון חריגים במיוחד (עד כ-10,000 בקרל ויותר למ"ק) בבית ספר בירושלים. בשנת 1998, ביצע המשרד לאיכות הסביבה סקר מקיף לקביעת ריכוזי ראדון במבני מגורים צמודי קרקע בישראל. הריכוז הממוצע שהתקבל בסקר זה הוא 46 בקרל/מ"ק. נעיר כאן, שסקר ארצי עשוי להצביע על היקף הבעיה ועל הריכוזים הממוצעים, אולם בסקר כזה לא מתגלים בהכרח המקרים בעלי הריכוז הגבוה. מקרים אלה ניתן לאתר רק ע"י מדידה במבנה עצמו.

יא. מה תרומת הראדון לתחלואה בסרטן הריאות בישראל?

בהנחה שריכוזי הראדון בבתי מגורים בישראל דומים לאלה שבארה"ב, ובהנחה שתוספת התחלואה בסרטן ריאות הנגרמת על ידי הראדון יחסית לקצב התחלואה ה"ספונטני" במחלה זו (בארה"ב קצב זה גבוה הרבה מזה שבישראל), אפשר לייחס כ-100-80 (מתוך כ-1000-800 מקרים חדשים של סרטן ריאות בשנה בישראל) לחשיפה לראדון.

יב. מהו ריכוז מסוכן?

כל ריכוז עלול לגרום לנזק (לפחות עפ"י ההסכמה הקיימת בקהיליה המדעית). מבחינה מעשית לא ניתן, כמובן, להוריד את ריכוזי הראדון בבית לערך שמתחת לריכוזו באוויר החופשי בחוץ. גם להגיע לריכוזים נמוכים כאלה קשה. רשויות הבריאות במדינות שונות והגופים המדעיים הבינלאומיים העוסקים בהערכת סיכוני הראדון קבעו "רמות סף לפעולות שיפור", כלומר ריכוזים שנתיים ממוצעים שמעליהם ממליצות הרשויות לנקוט בצעדים להפחתת הריכוזים. כשמדובר במבני ציבור, נקיטת צעדים אלה אף נאכפת על ידי הרשויות. רמות סף אלה אינן אחידות לכל המדינות. בארה"ב ממליצה הרשות להגנת הסביבה EPA על רמת סף של 150 Bq/m^3 (4 פיקוקירי לליטר). בישראל קבע המשרד לאיכות הסביבה, לפי המלצת קבוצת מומחים בינמשרדית ולפי המלצת הוועדה המייעצת לבטיחות קרינה, ריכוז ראדון של 200 Bq/m^3 (ריכוז שנתי ממוצע) כרמת סף לביצוע פעולות שיפור (5). (המלצות אלה תואמות את הנחיות הוועדה הבינלאומית להגנה רדיולוגית - ICRP שהמליצה בשנת 1994 לקבוע רמת סף של $200-600 \text{ Bq/m}^3$ כרמת סף לפעולות שיפור בבתי מגורים ו- $500-1500 \text{ Bq/m}^3$ כרמת סף לפעולות שיפור במקומות עבודה (2)). גם התקן הבינלאומי להגנה מקרינה קבע את הטווח $200-600 \text{ Bq/m}^3$ כטווח בו יש לקבוע את רמת הסף לפעילות שיפור בבתי מגורים (6).

יג. מה מנת הקרינה לה נחשפים תושבי מבנה בו יש ריכוזי ראדון רגילים או חריגים?

בנספח ב' להלן הצגנו טבלה המפרטת את מנה הקרינה האפקטיבית (המוסכמת) לה נחשפים בני אדם השוהים במבנים עם ריכוזי ראדון בטווח $40-1500 \text{ Bq/m}^3$.

יד. האם ריכוזי הסף לבנייני ציבור (בתי ספר, מוסדות השכלה, מרפאות וכו') ולבניינים המשמשים לעבודה (משרד, מפעל וכו') שונים מערכי הסף הנ"ל שנקבעו לבתי מגורים?

ההמלצות של הרשויות בארה"ב ומדינות אחרות מתייחסות במפורש לבתי מגורים (dwellings), כיוון ששם מבלה האוכלוסייה את רוב זמנה (כ- 125 שעות מתוך כ- 170 שעות בשבוע). לעומת זאת המלצות ארגון הבריאות העולמי WHO מתייחסות לריכוזי אוויר בתוך בתים באופן כללי (indoor air). בארה"ב קבעו, למשל, כי ריכוזי הסף לפעולות שיפור בבתי ספר יהיו זהים לאלה שנקבעו לבתי מגורים. הוועדה המיעצת לבטיחות קרינה בישראל המליצה לקבוע ריכוז של 500 Bq/m^3 כרמת סף לפעולות במבנים המשמשים לעבודה. יחד עם זה היא המליצה כי רמת הסף לפעולות שיפור בבתי ספר ובנייני ציבור תהיה זהה לזו שנקבעה לבתי מגורים (ראה נספח ג' בחוברת זו). גישה מחמירה זו נובעת מהעובדה שהאוכלוסייה השוהה במבני ציבור כמו בתי ספר, מורכבת מילדים ובני נוער הרגישים יותר להשפעות החשיפה לקרינה מיננת.

טו. מדידות שנערכו לאחרונה בממ"דים (מרחבים מוגנים בדירות) הצביעו על ריכוזים גבוהים במיוחד בחדרים אלה, מסדר גודל של 1000-2000 בקרל/מ"ק. האם הממצאים האלה אופייניים לסוג זה של חדרים, ואם כן מה הסיבה?

התוצאות הגבוהות שנמדדו בממ"דים נובעות מכך שמדידות אלה נערכו כאשר הממ"דים נאטמו למשך תקופת המדידה. תנאי מדידה אלה גורמים לריכוזי רדון גבוהים, כמוסבר להלן, אולם תנאים אלה אינם משקפים את חשיפת דיירי החדר, כיוון שלא ניתן לחיות בתנאים אלה.

נעיר כאן, שמקורו של הרדון במבנה מגורים הוא בקרקע ובחומרי המבנה. בחדרים רגילים, המוקפים בקירות בהם כמות הבטון קטנה יחסית, עיקר הרדון מקורו בקרקע. בממ"ד הבנוי כולו מבטון, המקור לרדון הוא בעיקר בבטון. זאת הסיבה שריכוזים חריגים התגלו בממ"דים גם בדירות בקומות גבוהות, בעוד שבחדרים רגילים נמצאו ריכוזים חריגים כמעט רק בחלקי המבנה הצמודים לקרקע.

הממ"ד נבנה בצורתו האטומה בשל מטרות ביטחוניות. קצב תחלופת האוויר בממ"ד במצב סגור לחלוטין הוא אפסי. לכן, כל אטום של רדון הנפלט מהבטון לחלל הממ"ד נשאר בו עד לדעיכתו הרדיואקטיבית, כלומר מספר ימים. על כן לאחר אטימת ממ"ד הולך הריכוז ועולה, עד לערכים גבוהים, הנקבעים רק ע"י הרכב ומבנה הבטון וממדי החדר. פתיחה של סדק צר בדלת או בחלון של חדר כזה מבטלת את האיטום המוחלט. כתוצאה מפתיחה כזו האוויר מתחלף במהירות והריכוז בחדר משתווה לריכוז ביתר חלקי הדירה. בממ"ד סגור האדם אינו יכול לשהות לאורך זמן בשל חוסר חמצן שיגרום לתחושת קושי בנשימה. כלומר, המצב הסגור בו נמדד ריכוז גבוה בממ"ד אינו מאפיין מצב אמיתי בו שוהה אדם בחדר ועל כן אין לו משמעות בריאותית.

השיטה המקובלת לקביעת ריכוז רדון בחדר, מההיבט הבריאותי, היא מדידת הריכוז הממוצע על פני תקופה של מספר חודשים. מדידה כזו מבוצעת בתנאי מחייה רגילים, ומתאימה גם למדידה בממ"דים. מאידך, מדידה קצרת טווח במשך מספר ימים עד שבוע, נועדה לקבל אינדיקציה על קיום או אי-קיום ריכוז חריג, ולכן היא מבוצעת בתנאים מחמירים, בחדר מגורים סגור. אולם, חדר סגור רגיל אינו חדר אטום. סגירתו של חדר משפיעה רק במידה קטנה על אוורורו, ובכך מחמירה את הממצאים, אך לא במידה גדולה. מאידך, הסגירה של ממ"ד גורמת לאטימה כמעט מוחלטת, ועל כן ריכוז הרדון עלול לעלות לערכים גבוהים מאוד, שאין בינם לבין הריכוז הנישם בתנאים רגילים כל קשר. נציין כאן כי כאשר מבצעים מדידה בחדר סגור רגיל, האוויר מתחלף בו בין 0.2 ל-1 פעמים בכל שעה. לא כך הדבר ב"חדר האטום", בו האוויר מתחלף באופן איטי ביותר, החלפה אחת ל-200 שעות או אף יותר. על כן אין המדידה הקצרה מתאימה כלל להערכת הסיכון הבריאותי מרדון בממ"ד. ואכן המשרד לאיכות הסביבה אינו מאשר ביצוע מדידות קצרות טווח בממ"דים, למעט ממ"דים צמודי קרקע (15).

טז. מהי השפעת האוורור על ריכוז הראדון בתוך הבית?

כיוון שריכוזי הראדון באוויר החופשי נמוכים בד"כ בהרבה מריכוזי הגז בתוך הבית אוורור טוב גורם להפחתת הריכוז. אם קצב האוורור גבוה מאד (עשרה חילופי אויר בשעה ויותר) ערכי הריכוז בחדר יהיו קרובים לזה שבאוויר החופשי מחוץ למבנה.

המחלקה לבטיחות קרינה במרכז למחקר גרעיני נחל שורק (כיום שטח בטיחות קרינה) בצעה לפני מספר שנים (בשיתוף פעולה עם משרד האנרגיה ועם המכון לחקר בריאות הסביבה) סקר קטן היקף בעיר ערד לבחינת השפעת איטום מבנים על ריכוזי הראדון בבית. בסקר זה נמצא שהריכוז אכן עולה עם הקטנת קצב האוורור, ובתנאי אוורור גרועים נמצאו ריכוזים גבוהים למדי.

3. שיטות מדידה ופעולות שיפור

א. אם הריכוז בבית עולה על הערך שנקבע כריכוז מסוכן (ראה שאלה יב' לעיל) מה ניתן לעשות ובאיזו דחיפות יש לעשות זאת?

האמצעי הפשוט ביותר להפחתת ריכוזי הראדון בבית הוא, על פי רוב, אוורור טוב. אמצעי אחר הוא מניעת כניסת הראדון מהקרקע לבית. זאת ניתן לעשות על ידי שיפור אטימות הרצפה (סתירת סדקים ברצפה, פרישת יריעות פלסטיק שאינן עבירות לגז הראדון מתחת לרצפת הבית (לפני הבנייה), סתימת חללים סביב צינורות וכו') כמפורט בנספח ד' לחוברת זו. דרגת הדחיפות המומלצת לנקיטת הצעדים תלויה בריכוז הנמדד. ההמלצות הקיימות בנושא זה מפורטות בנספח ג' לחוברת זו.

ב. כיצד מודדים את ריכוז גז הראדון בבית?

קיימות שיטות רבות למדידת ריכוז הראדון. נזכיר כאן ארבע שיטות עיקריות שהציוד והידע לביצוען קיימים, מסחרית, בישראל וכל אזרח יכול להזמין. שיטות אלה הן גם אמינות וגם אינן יקרות מאוד. מן הראוי לציין שבגלל התנודות בריכוזי הראדון הרי הערכה אמינה לסיכון האמיתי בבית יכולה להתקבל רק כאשר מבצעים מדידות הנמשכות לאורך זמן (מספר חודשים) המייצגות את הריכוז הממוצע לו חשוף האדם. מדידות הראדון במבנים בישראל מבוצעות לפי תקן ישראלי מס' 4175 חלק 1 "שיטות פסיביות למדידת ריכוז גז ראדון: מבנים" משנת 1999 (7).

1. ספקטרומטרית אלפא:

שיטה זו מאפשרת למדוד את הריכוז הרגעי של בנות הראדון בזמן אמיתי (real time). בשיטה זו שואבים אויר באופן רציף דרך סנן. הסנן סופח אליו את חלקיקי האבק נושאי בנות הראדון. מול הסנן מוצב גלאי סיליקון, לגילוי חלקיקי האלפא, המחובר לממייך רב ערוצי ומערכת מחשב. המחשב מפיק מידי כמה דקות תדפיס של תוצאות המדידה של ריכוזי בנות הראדון. סף הגילוי בשיטה זו הוא ריכוז ראדון של כ-5 בקרל/מ"ק.

בשיטה אחרת, הנשמכת אף היא על מדידת האנרגיה הנמסרת על ידי חלקיקי האלפא, מודדים את ריכוז גז הראדון עצמו (ולא את ריכוז בנות הראדון). בשיטה זו עוצרים ראשית את בנות הראדון שבאוויר על-ידי סנן. האויר שסונן יחד עם גז הראדון מוזרם לתוך תא יוניזציה. חלקיקי האלפא מהתפרקות הראדון ומבנות הראדון הנוצרים תוך כדי שהיית האויר בתא גורמים ליינון בתוך התא. מידת היינון יחסית לריכוז הראדון. בשיטה זו ניתן למדוד את ריכוז הראדון באופן רציף כפונקציה של הזמן. סף הגילוי בשיטה זו הוא ריכוז ראדון של כ-2 בקרל/מ"ק.

חסרון של שיטות אלה במחיר הגבוה של המכשיר ובעובדה שבפועל הריכוזים נמדדים למשך מספר שעות בלבד. יתרון הוא בתגובה המיידית שניתן להסתייע בה לחקירת מנגוני חדירה ואוורור.

2. מארזי פחם פעיל (charcoal canister):

בשיטה זו מתבצעת ספיחת גז הראדון לגרגרי פחם פעיל הארוזים בקופסה קטנה. לפחם פעיל התכונה לספוח אליו גזים. המארז מוצב במקום המדידה והפחם הפעיל נחשף לאוויר למשך 3-7 ימים. בין שאר הגזים שבאוויר מספח אליו הפחם הפעיל שבמארז גם את הראדון. בסיום החשיפה נחתם מארז הפחם ומובא למעבדת מניה. בעזרת מכשור ספקטרוטרית גמא ממוחשב נקבעת כמות הראדון שנספחה לפחם. חישוב הריכוז הממוצע של הראדון באוויר מכמות הראדון שנספחה לגרגרי הפחם ומשך הדגימה מתבסס על קבוע כיוול הנקבע על ידי חשיפתם של מארזי פחם דומים למשך זמן מסוים לראדון בריכוז ידוע ב"תא ראדון". בחישוב הריכוזים הנמדדים יש לקחת בחשבון גם את השפעת הלחות היחסית באוויר על יכולת הספיחה של גרגרי הפחם וכן את דעיכת הרדיואקטיביות הספוחה לפחם.

סף הגילוי לקביעת ריכוזי הראדון בשיטת מארזי פחם (במשקל של כ- 30 גרם) הוא כ- 3 Bq/m^3 , אם משך הדגימה הוא 5 ימים. בדרך כלל הרגישות נמוכה יותר וסף הגילוי של השיטה בהפעלה מסחרית הוא מסדר גודל של 10 Bq/m^3 .

היתרון שבשיטה זו הוא קבלת תוצאה מהירה יחסית באמצעי פשוט וזול יחסית. חסרונה, כאמור, ברגישות השיטה ללחות האוויר ובעובדה שתוצאות המדידה מצביעות על ריכוזי הראדון לתקופה מוגבלת והממוצע השנתי יכול להיות שונה במידה ניכרת מהערך הנמדד.

כמו כן כדי ליצור תנאים אחידים נוהגים לבצע מדידות לטווח קצר כאשר פתחי האוורור בחדרים בהם מבוצעת הבדיקה סגורים למשך תקופת המדידה. תנאים אלה מובילים לגילוי ריכוז גבוה בחדר באופן מלאכותי כפי שהוסבר כבר לעיל.

הערה: חלק ממארזי הפחם הקיימים בשוק מכילים חסימה לאדי מים, ובכך מתגברים על התלות בלחות. אולם חסימה זו מעכבת גם כניסת ראדון ועל כן גלאים אלה חייבים לפעול בשטח למשך כ- 7 ימים שאם לא כן הראדון אינו מצליח להיכנס למארז באפקטיביות.

3. אלקטרוט:

בשיטה זו חושפים לאוויר לוחית פלסטית הטעונה חשמל סטטי הגורם לפוטנציאל חשמלי של 600-700 וולט על פני הלוחית. חשיפת הלוחית לאוויר המכיל ראדון גורמת לכך שהיונים הנוצרים באוויר כתוצאה ממעבר חלקיקי האלפא הנפלטים מהראדון, פוגעים בלוחית ומנטרלים חלק מהמטען החשמלי. שהיית הלוחית יממה אחת באווירה המכילה ראדון בריכוז של 40 Bq/m^3 מנחיתה את הפוטנציאל בכ- 2-3 וולט. מדידת הפוטנציאל החשמלי של הלוחית לפני החשיפה ולאחריה מאפשרת קביעת הריכוז המצטבר לו הייתה הלוחית חשופה וכך גם את הריכוז הממוצע בתקופה זו (מידיעת משך זמן החשיפה). הלוחית נתונה בתוך מארז קשיח הבנוי כך שהלוחית לא תחשף לאוויר עד לרגע התחלת המדידה. באופן מעשי משך הזמן המינימלי למדידה בשיטה זו הוא 3-5 ימים. סף הגילוי בשיטה זו הוא ריכוז של כ- 5 Bq/m^3 . יתרונות השיטה בפשטותה ובאפשרות לשימוש חוזר בלוחיות (עד כ- 10 פעמים בתנאי ריכוז אופייניים).

4. שיטת גלאי עקבות גרעיניים (SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector).

שיטה זו מבוססת על חשיפתן של לוחיות פלסטיות (העשויות, למשל, מפולימר הידוע בשם - Poly Allyl Diglycol Carbonate והמכונה CR-39) לאוויר. פגיעותיהם של חלקיקי האלפא של הראדון ובנותיו בלוחיות אלו הורסות את המבנה הפולימרי באזור הפגיעה. הרס זה מתבטא בירידה בעמידותם של אזורים אלה באיכול (כימי או אלקטרו כימי). לאחר חשיפת הלוחיות לזמן מוגדר לאוויר המכיל ראדון משרים את הלוחיות בתמיסה מאכלת, עם או בלי הפעלת מתח חשמלי גבוה על הלוחיות. תהליך זה מביא להופעה של גומות איכול קטנות (בגודל אופייני של עשרות מיקרון) בפני הלוחית.

צפיפותן של נקודות נזק אלו קשורה לינארית לחשיפה המצטברת של הלוחית לראדון ובנותיו. רגישותה של שיטה זו נקבעת ע"י חשיפתן של לוחיות ה- SSNTD לאוויר בעל ריכוז ראדון ידוע.

סף הגילוי בשיטה זו הוא ריכוז ממוצע של כ- $3-4 \text{ Bq/m}^3$, אם החשיפה נמשכת כ- 100 ימים. בשיטה זו ניתן למדוד באופן רציף לתקופות ארוכות של מספר חודשים ואפילו במשך שנה שלמה. תוצאת המדידה מצביעה על הריכוז האינטגרלי, ועל הריכוז הממוצע לאורך כל תקופת המדידה. יתרונה העיקרי של השיטה היא בעובדה שהיא מאפשרת קביעת הריכוז הממוצע לתקופות ארוכות ותוצאת המדידה אינה רגישה לשינויים רגועים ותקופתיים של ריכוזי הראדון. מתוצאות המדידה בשיטה זו למשך כ- 6 חודשים (הכוללים עונת חורף ועונת קיץ) ניתן, על כן, להסיק ישירות על הסיכון האמיתי של הראדון במבנה.

ג. באיזו שיטה כדאי למדוד?

שיטת המדידה המומלצת היא הבדיקה ארוכת הטווח, היות והיא מייצגת טוב יותר את הריכוז הממוצע לו נחשפים דיירי המבנה. אולם, אם יש מקום להניח שבמבנה המיועד לבדיקה יש ריכוזים חריגים של ראדון (למשל אם התגלו ריכוזים כאלה בעבר, בבתיים שכנים, או בחדרים תת-קרקעיים באותו מבנה) כדאי לבצע ראשית מדידה קצרת טווח באמצעות אלקטרט או מארזי פחם. אחר כך, בהתאם לתוצאה, יש להחליט על המשך המדידות. בכל מקרה אחר רצוי לבצע מדידות ארוכות טווח הנמשכות מספר חודשים כפי שהוסבר לעיל. בשל צורות המדידה השונות, והמסקנות השונות שניתן לקבל מממצאי כל שיטה, מומלץ לבצע את הבדיקות ע"י גורם המסוגל לשרת את לקוחותיו במגוון הבדיקות הנוכרות, קצרות וארוכות טווח, בהתאם לצורך.

ד. מהם ערכי הריכוז (במדידה קצרה או ארוכה) המצביעים על הצורך להמשיך במדידות, והאם זה תלוי בשיטת המדידה?

בהתחשב בשירותי מדידת ראדון המוצעים כיום בישראל ובדרישות ת"י 4175, האפשרויות העיקריות העומדות לרשות המעוניין לבצע מדידות לקביעת ריכוז הראדון במבני מגורים הן:

1. לבצע מדידה באלקטרט, משך מדידה 2-5 ימים.
2. לבצע מדידה במארז פחם, משך מדידה 3-7 ימים.
3. לבצע מדידה בגלאי עקבות גרעיניים. משך מדידה מספר חודשים.
4. לבצע מדידה רציפה בגלאי ספקטרומטר אלפא לניטור מקומות חדירה.

כל אחת מהשיטות מאפשרת קביעת ריכוז מעל מספר Bq/m^3 .

לצורך הערכה אמינה של הסיכון הבריאותי יש להעדיף, כאמור, מדידה ארוכת טווח לתקופה מינימלית של 3 חודשים. רצוי כי המדידה תימשך 4-8 חודשים מהם לפחות 2 חודשים בתקופת החורף ו- 2 חודשים בתקופת הקיץ. כאשר יש בסיס לחשש שריכוזי הראדון במבנה ספציפי הם מעל לערכים הקבילים (או אם הצרכן הפרטי רוצה בכך, גם לאחר שהובהרה לו המשמעות המוגבלת של מדידות קצרות טווח) ניתן לבצע מדידות סריקה (screening)

קצרות טווח למשך 3-7 ימים, ולפי תוצאותיהן לקבע אם רצוי לבצע בדיקות ארוכות טווח, או שאין צורך בכך. בהנחה שערך הסף לביצוע פעולות שיפור הוא ממוצע שנתי של 200 Bq/m^3 ובהתחשב בשינויים העונתיים בריכוז ובעובדה שהריכוז הקובע מבחינת בריאות האדם הוא הריכוז השנתי הממוצע, מוצעת טבלת ההחלטות הבאה (טבלה- 2) ביחס להמשך המדידות, לפי הנחיות המשרד לאיכות הסביבה.

ביחס ללוח זמנים לביצוע פעולות השיפור, ראה נספח ג'.

טבלה 2 - שיטת הבדיקה ורמת פעולת השיפור המומלצים כאשר מתגלים ריכוזי ראדון חריגים במבנה מגורים

שיטת הבדיקה	ריכוז נמדד (Bq/m ³)	הפעולה המומלצת
מדידה קצרה	קטן מ- 50	מצב תקין, אין צורך בכל פעולה
מדידה קצרה	50 - 100	מומלץ לחזור על הבדיקה בשיטה קצרה. אם ממוצע שתי הבדיקות קטן מ- 70 המצב תקין.
מדידה קצרה	100 - 700	ביצוע בדיקה ארוכת טווח.
מדידה קצרה	700 או יותר	מומלץ לבצע פעולות שיפור תוך הזמן המוקצב (ראה נספח ג')
מדידה ארוכה	עד 200	אין צורך בבדיקות נוספות ואין צורך בנקיטת פעולות שיפור.
מדידה ארוכה	200 או יותר	פעולות שיפור להקטנת הריכוז (ראה נספח ג')

ה. האם רצוי לבדוק בכל בית?

כן, אם הבית הוא צמוד לקרקע. רק מדידה בתוך המבנה יכולה להצביע בוודאות על הריכוז. בכל מקרה רצוי לבצע מדידה בקומת הקרקע בבית מגורים אם הרצפה אינה על עמודים. במקלטים ובמבנים תת קרקעיים אחרים רצוי מאוד לבצע מדידה לקביעת ריכוזי הראדון אם מבנה זה משמש למגורים, כמקום עבודה או לפעילות לימודית או בידורית. במיוחד חשוב הדבר אם הפעילות במבנה היא של תינוקות או ילדים (מעון, גן ילדים, בית ספר, מועדון, סניף של תנועות נוער וכו'). בבדיקות שערכנו במספר מבנים התגלו הבדלים גדולים בין חדר לחדר באותו מבנה. מומלץ, על כן, לבצע מדידה בכל החדרים במבנה בו תחלופת האוויר בין החדרים מוגבלת, או שיש הבדלים בריצוף באיטום וכו'.

ו. האם ניתן לקבל פרטים נוספים בנושאים הנידונים בחוברת זו?

לקבלת פרטים נוספים אפשר לפנות לשטח בטיחות קרינה, ממ"ג שורק, יבנה 81800.

טלפון: 08-9434364, פקס: 08-9434696

דאר אלקטרוני: gustavo@soreq.gov.il

אסמכתאות

ומקורות למידע נוסף

1. (א) ראדון 222 - הנחיות לגבי הצורך בפעולות שיפור במבני מגורים ולגבי ביצוע מדידות ריכוז במבנים - המלצות וועדת מומחים בינמשרדית, הוא"א 17-1992-6.
- (ב) ט. שלזינגר, מ. מרגליות, י. שמאי - ראדון - 222 רמות סף לפעולות שיפור במבני מגורים ונוהל ביצוע מדידות ריכוז - הצעה להנחיות (guidelines) ישראליות - ממ"ג, נובמבר 1990.
2. Protection Against Radon-222 at home and at work - ICRP Pub. 65, 1993.
3. The Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha Emitters (BEIR IV), National Academy Press 1988.
4. Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI), National Academy Press 1999.
5. ט. שלזינגר ומ. מרגליות - הגנה מפני ראדון - 222 במבנה מגורים ובמקומות עבודה - סיכום המלצות ICRP משנת 1994.
6. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115-I, IAEA 1994.
7. תקן ישראלי מס' 4175 חלק 1 "שיטות פסיביות למדידת ריכוז גז ראדון: מבנים", מכון התקנים הישראלי, 1999.
8. B.L. Cohen. Radon: Characteristics, Natural occurrence, Technological Enhancement, and Health Effects. Progress in Nuclear Energy 4, 1-24, 1979.
9. Exposure From The Uranium Series With Emphasis on Radon and its Daughters. NCRP Rep. No. 77, 1984.
10. Evaluation of Occupational and Environmental Exposure to Radon and Radon Daughters in the United States. NCRP rep. No. 78, 1984.
11. Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters. ICRP Pub. 50, 1987.
12. Measurement of Radon and Radon Daughters In Air. NCRP Rep. No. 97, 1988.
13. Indoor Radon and Its Hazards - David Bodansky et al ed, University of Washington Press, 1989.
14. The 1990 Citizen's Guide to Radon, EPA 1990.
15. מדיניות המשרד לאיכות הסביבה והנחיות לטיפול בממצאי בדיקות ראדון, יולי 2000.

נספח א' - מי הם מחברי חוברת זו?

פרופסור טוביה שלזינגר כיהן עד לשנת 2000 כראש התחום להגנה מקרינה, שטח בטיחות קרינה במרכז למחקר גרעיני נחל שורק, פרופסור חבר (מן החוץ) בבית הספר לרפואה באוניברסיטת תל-אביב. הוא מומחה בדוזימטריה (מדידה וחישוב של מנות קרינה) ובהערכת סיכוני קרינה מייננת בכלל וסיכוני ראדון בפרט. היה אחראי למדידות הראדון הראשונות שבוצעו בישראל ובין יוזמי סקרי הראדון הנערכים כיום בארץ. פרופ' שלזינגר כיהן מס' פעמים כנשיא האגודה הישראלית להגנה מקרינה והיה סגן נשיא הארגון הבינלאומי להגנה מקרינה IRPA בשנים 1977-1980.

ד"ר יאיר שמאי מכהן ראש שטח בטיחות קרינה במרכז למחקר גרעיני נחל שורק ומומחה לגילוי ומדידת קרינה גרעינית ודוזימטריה. הוא ניהל במשך שנים רבות את שירות הדוזימטריה הארצי שבמסגרתו הוקמה המעבדה לפיתוח הגלאים המשמשים למדידת ראדון, וכן מעבדת המנייה הממוחשבת שבה ההתקנים האוטומטיים המשמשים למניית מארזי הפחם. נמנה על חברי מועצת האגודה הישראלית להגנה מקרינה, ובין יוזמי סקרי הראדון הנערכים בארץ.

ד"ר מנחם מרגליות הוא בעל תואר שלישי בפיסיקה רפואית. מכהן כראש תחום מדידות קרינה בשטח בטיחות קרינה במרכז למחקר גרעיני, נחל שורק. את עבודת הדוקטור שלו עשה בנושא ריכוזי ראדון בבתי מגורים בישראל, והיה אחראי לחלק ניכר ממדידות הראדון שבוצעו בישראל עד כה. במסגרת עבודת הדוקטור פיתח מכשיר מקורי (סורק לייזר) לפענוח גלאי עקבות גרעיניים.

גוסטבו חקין הוא בעל תואר שני בהנדסה רפואית. מכהן כראש מדור מדידות גרעיניות בשטח בטיחות קרינה במרכז למחקר גרעיני, נחל שורק. בעבר היה מרכז נושא מדידות הראדון בישראל מטעם המשרד לאיכות הסביבה. במסגרת עבודתו בממ"ג ביצע ומבצע מחקרים במדידת ראדון בממ"דים ופליטתם מחומרי בנייה. המעבדה למדידות ראדון, כולל מעבדת הכיול המתאימה, מנוהלת כיום על ידו.

נספח ב' - מנת הקרינה המוסכמת* הנגרמת על ידי חשיפה לראדון ובנות ראדון לפי ICRP 65 (1993) (2)

א. שהיה של שעה אחת בריכוז ראדון 222 של 1 Bq/m^3 (בהנחת גורם שיווי משקל של 0.4) גורמת למנת קרינה מוסכמת* של $2.5 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}$ בתנאים האופייניים לבתי מגורים ולמנת קרינה מוסכמת של $3.1 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}$ בתנאים האופייניים לעבודה (ערכים מעוגלים).

ב. המנה המוסכמת הנגרמת לבני אדם משהיה בריכוזים שונים בבתי מגורים ובמקומות עבודה במשך שנה מוצגת בטבלה - 1.

טבלה - 1 מנת קרינה אפקטיבית מצטברת מוסכמת* לשנה (mSv) משהיה בריכוזי ראדון שונים בתנאים שלעיל

1500	1000	500	400	300	200	80	40	ריכוז ראדון Bq/m^3
26.3	17.5	8.8	7.0	5.2	3.5	1.4	0.7	מנה אפקטיבית מצטברת בשנה בבית מגורים (7000 שעות שהיה)
9.4	6.3	3.1	2.5	1.9	1.25	0.5	0.25	מנה אפקטיבית מצטברת בשנה במקום עבודה (2000 שעות שהיה)

* מנת קרינה מוסכמת – מנת קרינה אפקטיבית (הנגרמת על ידי חשיפה לגז ראדון ובנותיו) המחושבת על בסיס הערכת מספר מקרי סרטן הריאות הצפויים באוכלוסיה החשופה לריכוז ספציפי (2).

נספח ג' - רמות סף לפעולות שיפור

בשנת 1998 המליצה הוועדה המקצועית תורתית לבטיחות קרינה בישראל (הפועלת ליד גוף המטה הבין משרדי לבטיחות קרינה), על השימוש בנוסחה הבאה לקביעת הזמן המרבי t (חודשים) להתחלת פעולות שיפור במבנה מגורים.

$$t \leq 3500/\alpha$$

ובמקומות עבודה:

$$t \approx 10000/\alpha$$

כאשר α ריכוז הראדון במבנה ביחידות Bq/m^3 . המלצה זו יושמה כהנחיה ע"י המשרד לאיכות הסביבה (15). להלן טבלה הקובעת רמות סף (Remedy Action Levels) ולוחות זמנים לפעולות שיפור להורדת ריכוזי ראדון 222 במבני מגורים, מבני ציבור, ומבנים המשמשים לעבודה בישראל. לוחות הזמנים למבני מגורים חושבו על בסיס הנוסחה שלעיל עבור ריכוזים שמעל $200 Bq/m^3$.

דרגת הדחיפות	סוג המבנה	טווח ריכוזים **(Bq/m^3)
	מבנים המשמשים לעבודה בלבד	מבני מגורים ומבני ציבור
רמת סף שמתחתיה אין הכרח בביצוע פעולות שיפור	500	200
התחלת ביצוע פעולות שיפור תוך 10 חודשים.	1000	400
התחלת ביצוע פעולות שיפור תוך 3-4 חודשים.	2500	1000
פעולות שיפור תוך חודש.	9000	3500
פינוי מיידי (תוך 3 ימים).	190000	מעל 75000

** ריכוז ממוצע הנמדד לאורך זמן של מספר חודשים.

יש לציין כי הרשות להגנה מקרינה בבריטניה (NRPB) קבעה אמת מידה כללית של ריכוז מצטבר של $1500 Bq \times year$ כבסיס ללוח זמנים לפעולות שיפור. לפי הנחיה זו אם נמצא ריכוז של $6000 Bq/m^3$ יש לבצע את פעולות השיפור תוך כ- 3 חודשים ואם הריכוז שהתקבל הגיע ל- $15000 Bq/m^3$, למשל, יש לדאוג לשיפור תוך 1/10 של שנה כלומר תוך כ- 5 שבועות.

שימוש באמת המידה שנקבעה בישראל כאמור לעיל היה מצביע על הצורך לבצע פעולות השיפור תוך כשבועיים, אם הריכוז שהתגלה היה מגיע ל- $6000 Bq/m^3$, לעומת 3 חודשים לפי ההנחיות הבריטיות.

נספח ד' - שיטות בניה למניעת ריכוזי ראדון גבוהים במבנים באזורים עתירי ראדון בקרקע ופעולות שיפור פשוטות להורדת ריכוזי ראדון במבנים

1. שיטות בניה

- א. הרחקת המבנה מהקרקע על ידי בניה על עמודים, או על בסיס מוגבה כלשהו, המאפשר תנועה חופשית של אוויר מתחת לרצפת הבית.
- ב. בניית רצפת בטון מספיק עבה המקשה על חדירה של ראדון. רצפת בטון בעובי של 15-20 cm מנחיתה את קצב כניסת הראדון פי 3 בערך, וזה גורם להפחתה ניכרת בריכוז הראדון בבית בתנאי אוורור רגילים. רצפה כזו מביאה תועלת, מבחינת אטימת הבית לכניסת ראדון, רק בתנאי שנקטים אמצעים למניעת היווצרות סדקים ברצפת הבטון. במקרה שנוצרו סדקים יש שיטות מומלצות לסתימתם.
- ג. סתימת פתחים סביב צינורות מים, צינורות ביוב, צינורות להובלת כבלי חשמל, טלפון וכו', תוך שימוש בחומרים על בסיס סיליקון או אפוקסי מתאימים.
- ד. סתימת פרוצות לאורך קווי החיבור בין הרצפה היצוקה והקירות, תוך שימוש בחומרים המוזכרים לעיל.
- ה. מקלטים הם מלכודות לראדון. אם בונים מקלט תחת הבית יש לדאוג מראש לאוורור המקלט באופן רציף ותמידי באמצעים טבעיים (יצירת "רוח פרצים" על ידי קונפיגורציה מתאימה של פתחי אוורור) או על ידי אוורור מאולץ. יש לדאוג לכך שאוורור מאולץ כזה לא יגרום ליצירת לחץ אוויר נמוך במקלט ביחס ללחץ האוויר בחוץ. זאת ניתן לעשות על ידי החדרה מאולצת של אוויר לתוך המקלט באמצעות מכשיר האוורור ולא יניקת אוויר החוצה.
- ו. יש להמנע מבניית בור ספיגה (לקליטת לחות) בתוך הבית מתחת לרצפתו. אם יש צורך בבור כזה יש לדאוג ליניקת אוויר ממנו באופן רציף אל מחוץ לבית.
- ז. אם רצפת הבטון אינה עבה דיה או אינה אטומה מספיק, או כאשר בונים ריצוף ישירות על הקרקע, ללא שכבת בטון, מומלץ לפרוש יריעת פוליאתילן בעובי 6 mil (שש אלפיות האינטש) לפחות בין הקרקע והתשתית לריצוף, או לחילופין לפרוש יריעות אשר עברו בדיקות אטימות לראדון ונמצאו מתאימות.
- ח. אם לא ניתן לעשות כל הנ"ל, ויש חשש לריכוזי ראדון גבוהים במבנה, יש לעשות הכנה לשאיבת ראדון מתחת לבית למקרה שיתגלו בבית ריכוזים גבוהים.
- ט. אחת השיטות המקובלות למקרים חריגים היא יצירת שכבת קרקע מאווררת מתחת לבניין (לפני הבנייה), למשל על-ידי חצץ, ובמקרה הצורך יניקה של האוויר מתוך השכבה המאווררת.

2. אמצעי שיפור פשוטים להפחתת ריכוזי ראדון במבנה בו התגלו ריכוזים חריגים

א. אוורור טבעי

החלפת האוויר במבנה מספר פעמים בשעה מפחיתה בדרך כלל את ריכוזי הראדון במבנה עד פי 10 ביחס לריכוזים הנוצרים כאשר המבנה אינו מאוורר כראוי. לפיכך יש להבטיח שפתחי האוורור יהיו פתוחים במשך רוב שעות היום. אם חדר היה סגור במשך שעות רבות יש לדאוג לאוורור במשך מספר דקות לפני התחלת השימוש בו. פתיחת חלונות ודלתות מבטיחה גם השוואת לחץ האוויר בתוך המבנה לזה שבחוץ ומניעת יצירת תת לחץ (ראה הסעיף הבא).

ב. אוורור מאולץ

אם אין למבנה חלונות יש להתקין אמצעי לאוורור מאולץ (כגון וונטה). יש להבטיח שתנועת האוויר תהיה מן החוץ כלפי פנים ולא להיפך. יניקת אוויר החוצה יוצרת במבנה תת לחץ הגורם לזרימה מוגברת של גזים (כולל ראדון) מן הקרקע לתוך המבנה. כדי להשיג הפחתה של פי 10 בריכוזי הראדון יש להשתמש במכשיר שקצב זרימת האוויר דרכו מגיע ל- 0.3-0.5 מטר מעוקב לדקה.

נזכיר שהבעיה בחורף עולה על זו שבקיץ, ראשית בגלל אטימת המבנה להגנה מפני הקור, ושנית בשל החמום הגורם באופן טבעי לתת לחץ בסמוך לרצפה דבר הנגרם על ידי תנועת האויר המחומם. חמום החדר על-ידי הכנסת אויר חם עשוי להפחית תופעה זו.

ג. סתימת סדקים ופתחים

סדקים ופתחים שיש להם קשר ישיר לקרקע החשופה הם מקור לזרימת ראדון לתוך המבנה. סתימת סדקים אלה תקטין את ריכוזי הראדון במבנה במידה נכרת. פעולה זו יש לעשות על ידי מומחים לדבר. בבית צמוד לקרקע הראדון עשוי לחזור גם דרך סדקים בין האריחים (בלטות) ברצפה, אם אריחים אלה הונחו ישירות על הקרקע או על משטח חולי. במקרה זה ניתן לכסות את הרצפה ביריעות PVC תוך הקפדה על אטימת הקצוות. יש להקפיד על תחזוקת הצפוי כי מכל נקודת התקלפות יחזור הראדון. במקרים רבים הראדון חודר למבנה דרך פתחים שבין הצנרת (מים, ביוב, חשמל) והקיר או הרצפה דרכה צנרת זו חודרת למבנה. סתימת פתחים אלה תגרום לירידה ניכרת בריכוזי הראדון במבנה.

פרטים טכניים על שיטות בניה למניעת חדירת ראדון למבנים חדשים ועל אמצעים להפחתת ראדון במבנים קיימים מוצגים בפרסומים טכניים שונים. להלן מקורות אחדים.

1. Radon Reduction in New Construction, An Interim Guide - EPA-87-009, EPA, July 1987.
2. Control of Radon in Houses, NCRP Rep, No, 103, NCRP 1989.
3. Radon Reduction Methods a Homeowners Guide (second edition) - EPA 1987.

המרכז למחקר גרעיני שורק, עושה מאמצים לספק מידע שלם, מדויק ושמושי, לפי מיטב הידע המדעי והטכנולוגי למועד פרסום מסמך זה. אולם המרכז ועובדיו שנטלו חלק בהכנת מסמך זה, וכל אדם אחר הפועל בשם, אינם אחראים לשימושיות מליאה של המידע, שיטה או תהליך המתוארים במסמך, או לנזקים שיגרמו מהשימוש בהם.

מידע זה המובא לעיל מוגן באמצעות חוקי זכויות יוצרים של מדינת ישראל, אמנות בינלאומיות לעניין זכויות קניין רוחני וכל דין רלוונטי אחר, וכל זכויות היוצרים בו שמורים למרכז למחקר גרעיני – נחל שורק (להלן "שורק").

כל העתקה, שכפול, העברה או שינוי אשר ייעשו בהתייחס למידע המפורט לעיל, שלא בהתאם להרשאה מראש ובכתב מאת שורק, בין באופן חלקי ובין באופן מלא, בין בתמורה ובין שלא בתמורה, מפירים זכויות.