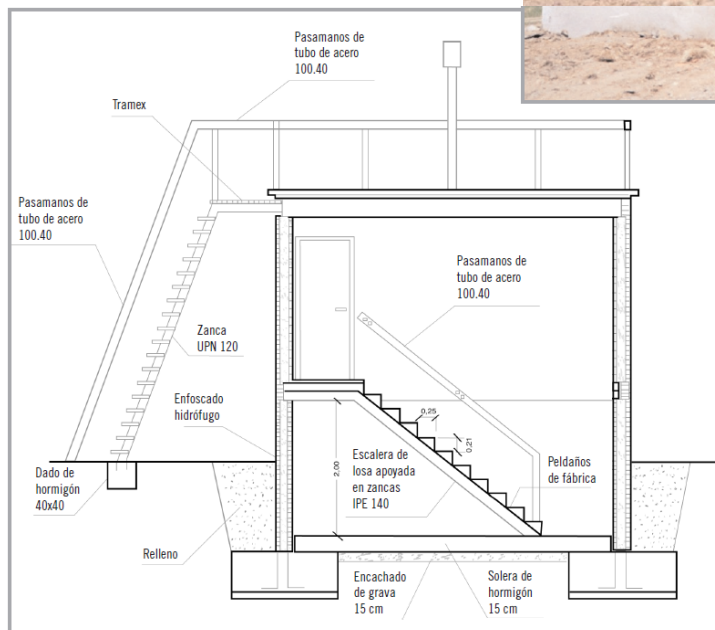
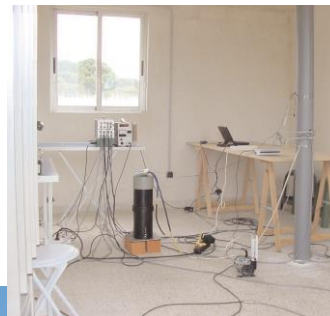


# Ochrana proti pronikání radonu do stavebních objektů

## CSN



1



Sbírka  
technických zpráv  
24.2010

## Legenda

Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Tramex	Tramex
Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Zanca UPN 120	Pata UPN 120
Enfoscado hidrófugo	Izolační omítka proti vlhku
Dado de hormigón 40x40	Betonová deska 40x40
Escalera de losa apoyada en zancas IPE 140	Deskové schodiště opřené v místě paty IPE 140
Peldaños de fábrica	Zděné schodišťové stupně
Relleno	Výplň
Encachado de grava 15 cm	Štěrková vyzdívka 15 cm
Solera de hormigón 15 cm	Betonová podložná deska 15 cm
Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Tramex	Tramex
Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Pasamanos de tubo de acero 100.40	Zábradlí z trubkové oceli 100.40
Zanca UPN 120	Pata UPN 120
Enfoscado hidrófugo	Izolační omítka proti vlhku
Dado de hormigón 40x40	Betonová deska 40x40
Escalera de losa apoyada en zancas IPE 140	Deskové schodiště opřené v místě paty IPE 140
Peldaños de fábrica	Zděné schodišťové stupně
Relleno	Výplň
Encachado de grava 15 cm	Štěrková vyzdívka 15 cm
Solera de hormigón 15 cm	Betonová podložná deska 15 cm

# Ochrana proti pronikání radonu do stavebních objektů

Autoři: Borja Frutos Vázquez  
Manuel Olaya Adán  
(Instituto de Ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja, IETcc-CSIC)

Sbírka  
technických zpráv  
24.2010

3

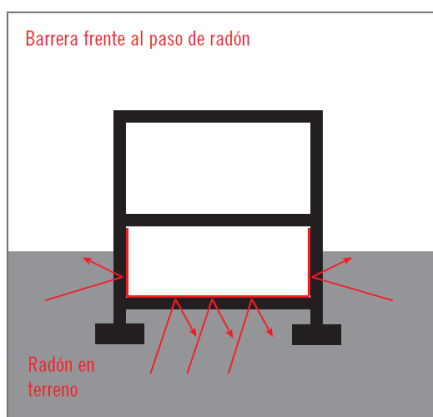


### 3.10 Protiradonová bariéra

Protiradonová bariéra se považuje za pasivní opatření tam, kde není využíváno žádného mechanismu vyžadujícího energii. Toto řešení tedy představuje „bariéru“, „brzdící“ pronikání (průchod) radonu do budovy. Byla použita membrána, jež byla v kapalném stavu nanášena na veškeré povrchy zdí včetně základové desky, jež přišly do styku (nebo byly ve styku) s terénem. V případě modulu, který simuloval budovu již postavenou, se prováděl nástřik membrány z vnitřních stran (ploch) základové desky i zdí popř. stěn.

Pro membránu bylo použito dvousložkového polyuretanu (polyol + isokyanát), o hustotě produktu  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . Ke smíšení obou složek docházelo v trysce stříkacího zařízení, kde směs při styku se vzduchem během několika málo sekund katalyzovala a nabyla tak pevné konzistence. Konečným výsledkem byla elastomerová souvislá membrána, vyznačující se jistou flexibilitou, odolná proti propíchnutí i proti tahům.

Obr. 3.26 - Funkční schéma ozdravného opatření pomocí antiradonové bariéry



Antiradonová bariéra  
Radon v půdě

Síla (tloušťka) membrány se pohybovala od 3 do 5 mm – v závislosti na místě aplikace.

Poněvadž šlo o nástřikový systém, byla membrána prosta spojů a vytvářela tak jednotlý celek – bariéru, kryjící veškerý povrch základové desky a podzemních (suterénních) zdí.

Laboratoř Katedry lékařské fyziky lékařské fakulty Univerzity v Kantábrii analyzovala použitý materiál z hlediska propustnosti radonu: testovala různé tloušťky membrán s použitím metody dvou komor, přičemž byly obě komory od sebe odděleny testovanými materiály.

Výsledky pomocí membrán Urespray F-75 o různých tloušťkách jsou následující:

Tabulka 3.11. - Koeficient propustnosti membrán Urespray F-75 o různých tloušťkách nanesené vrstvy.

Výrobek	Tloušťka (m)	Propustnost ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
F-75 1,5 mm	0,0015	$5,53 \cdot 10^{-12}$
F-75 2,0 mm	0,002	$6,50 \cdot 10^{-9}$
F-75 2,3 mm	0,0023	$4,22 \cdot 10^{-9}$
F-75 3,5 mm	0,0035	$1,96 \cdot 10^{-9}$

Modul byl nástřikán vrstvou o prům. tloušťce 3 mm, takže propustnost činí cca  $1,96 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Následující foto ukazuje proces nástřikování materiálu na povrch zdí a základové desky.

Obr. 3.27. - Průběh procesu nanášení elastomerového materiálu stříkáním



Výsledky provedených testů účinnosti jsou uvedeny v tab. 3.12

Ve srovnání s výsledky měření účinnosti, publikovanými na dané téma v dostupné literatuře, naše výsledky vykazovaly dosti vysokou účinnost bariér, zejména v úrovni prvního podlaží.

V tomto smyslu lze říci, že polyuretanová membrána o hustotě  $1.000 \text{ kg/m}^3$ , nanášená celoplošně v souvislé vrstvě, vykazovala stejné úrovně účinnosti jako metody přirozené extrakce pomocí podkladní šachty v suterénním podlaží, a lepší účinnost v prvním podlaží. Jinými slovy, pokud jde o snížení obsahu radonu ve vnitřním ovzduší objektů, ze všech testovaných pasivních ozdravných opatření, vč. přirozené extrakce pomocí šachet (centrálních a bočních), bylo touto membránou dosaženo nejlepších výsledků.

Tabulka 3.12 – Výsledky měření účinnosti antiradonové bariéry

Korekční faktor měření	Průměrná koncentrace ( $\text{Bq/m}^3$ )		Prům. koncentrace po zásahu ( $\text{Bq/m}^3$ )		Snížení ( $\text{Bq/m}^3$ )		Snížení (%)	
	Suterén	podlaží 1	Suterén	podlaží 1	Suterén	podlaží 1	Suterén	podlaží 1
Antiradon. bariéra 10 – Polyuretanová membrána v suterénu	39.385	6.855	1.466	434	37.939	6.421	96	94

Vysoká efektivita této membrány (tj. vyšší účinnost ve srovnání s jinými systémy antiradonových bariér, vyráběnými a prodávanými v jiných zemích, kde jsou membrány nanášeny v pruzích), může být způsobena díky nepřítomnosti spojů a švů (stop po svařování) a lepšímu utěsnění v tzv. konfliktních bodech (styčná místa lícování, obkladů, pilířů, dále dilatační spáry, štěrbiny v základové desce apod.), tedy díky „celoplošnosti“ nanášené membrány, poněvadž zde hraje roli rovněž součinitel propustnosti: naměřené hodnoty této membrány ukazují, že její permeabilita je vyšší oproti většině membrán, vyráběných pro daný účel v zahraničí.

A dále: při opětovném srovnání výsledků jiných pasivních ozdravných opatření (přirozené extrakce) se potvrdilo, že vysoká

účinnost této membrány není závislá na působení větru. Můžeme tedy s jistotou říci, že je ve vysokém stupni nezávislá na atmosférických podmínkách.

Vývoj a stanovení korekčního faktoru měření přináší zároveň i efektivní celoplošné působení membrány, tedy na veškeré povrchy, jež chceme v interiéru budovy chránit. V tomto smyslu je tedy toto opatření proveditelné u stávajících staveb za podmínky, že bude membrána opatřena krytem nebo obložením tak, aby nemohla být poškozena každodenním nebo obvyklým užíváním předmětné místnosti nebo prostoru, což je velmi důležité pro zachování účinnosti membrány.

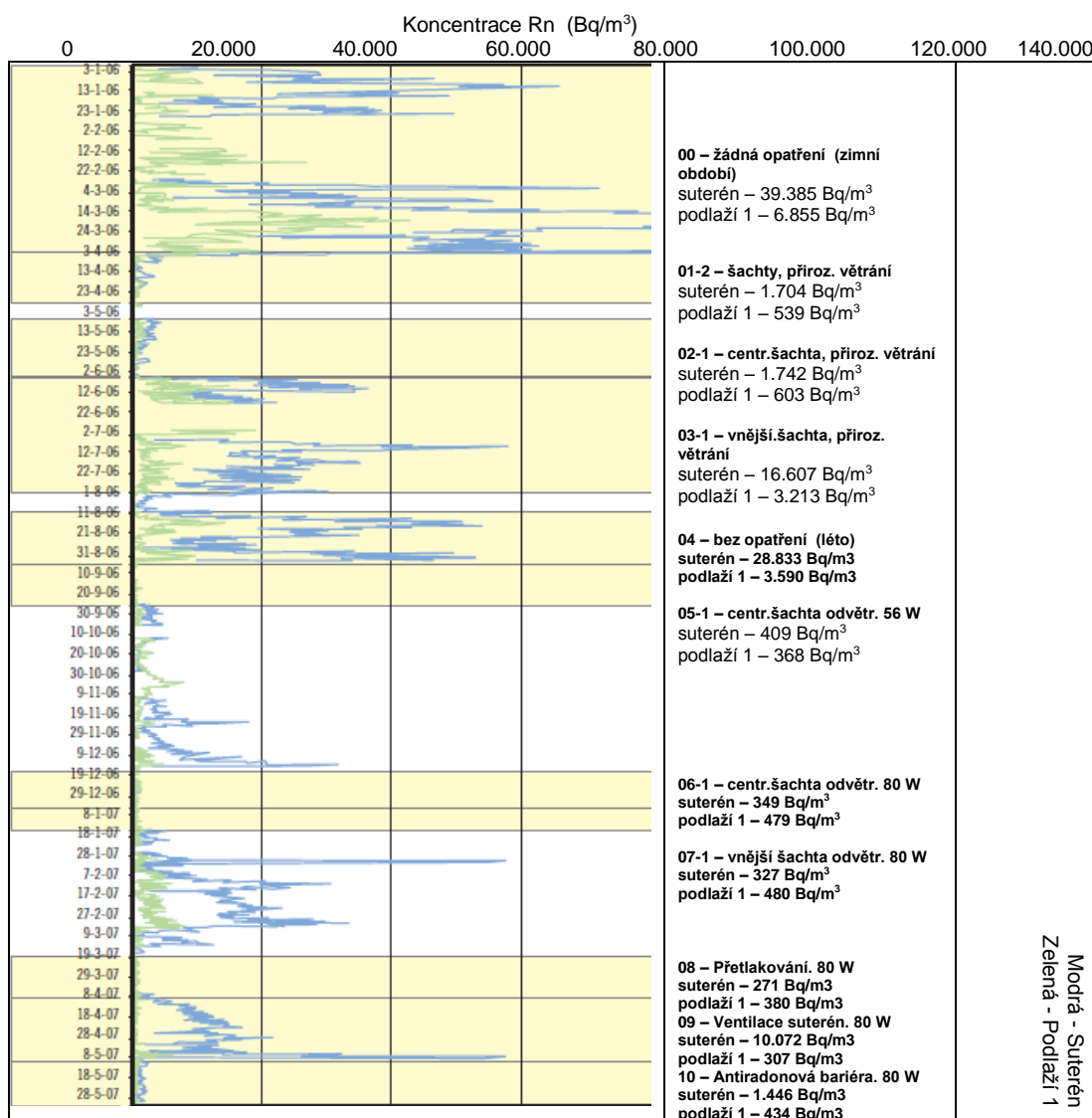
Jestliže jde o zavedení tohoto ozdravného opatření u objektů ve výstavbě, je možno je realizovat během stavby zvenčí, čili z vnější

strany závěrných zdí suterénu. V takových případech je nutno chránit membránu vrstvami, odolnými vůči propíchnutí i proti prorůstání kořenů (protikořenový systém). Pokud jde o aplikaci na povrch terénu před položením základové desky, je třeba nejdříve analyzovat přilnavost k půdě. Může se rovněž ukázat potřeba betonové záливky jako podkladu pod membránu a nanesení izolačních vrstev, chránících membránu proti poškození.

#### 4. Účinnost – analýza účinností a závěry

Následující graf je přehledem celého sledovaného období, v němž byly registrovány jednotlivé fáze korekčních součinitelů měření a kde jsou rovněž uvedeny výsledné průměry koncentrací radonu v jednotlivých podlažích. Neoznačené časové mezery (intervaly) znamenají období s údaji neplatnými (nesměrodatnými) pro výpočet, neboť musí být považovány za nespolehlivé vzhledem k poruchám elektrogenerátoru.

Obr. 3.28 – Křivky koncentrací radonu v jednotlivých fázích zkoušek korekčních faktorů



Modrá - Suterén  
Zelená - Podlaží 1

V tab. 3.13 uvádíme hodnoty snížení koncentrace radonu, dosažené různými ochrannými opatřeními. Výsledné hodnoty

jsou vyjádřeny jak v Bq/m<sup>3</sup>, tak i v procentech snížení - pro srovnání s počátečními koncentracemi

Tab. 3.13 – Tabulka účinností - hodnoty snížení koncentrace radonu, dosažené různými ochrannými opatřeními.

Ochranné opatření	Průměrná počát. koncentrace (Bq/m <sup>3</sup> )		Prům. koncentrace po zásahu (Bq/m <sup>3</sup> )		Snížení (Bq/m <sup>3</sup> )		Snížení (%)	
	Suterén	1. podlaží	Suterén	1. podlaží	Suterén	1. podlaží	Suterén	1. podlaží
<b>Přirozená extrakce</b>								
01 Přir. extrakce dvěma šachtami (centrální a vnější)	39.385	6.855	1.704	539	37.681	6.316	<b>96</b>	<b>92</b>
02 Přir. větrání jednou šachtou (centrální)	39.385	6.855	1.742	603	37.643	6.252	<b>96</b>	<b>91</b>
03 Přir. větrání jednou šachtou (vnější)	39.385	6.855	16.607	3.213	22.778	3.642	<b>58</b>	<b>53</b>
<b>Řízené větrání</b>								
05 Říz. větrání jednou šachtou (centrální) (56 W)	39.385	6.855	409	368	38.976	6.487	<b>99</b>	<b>95</b>
06 Říz. větrání jednou šachtou (centrální) (80 W)	39.385	6.855	349	479	39.036	6.376	<b>99</b>	<b>93</b>
07 Říz. větrání jednou šachtou (vnější) (80 W)	39.385	6.855	327	480	39.058	6.375	<b>99</b>	<b>93</b>
<b>Přetlakové větrání</b>								
08 Př. větrání jednou šachtou (centrální) (80 W)	39.385	6.855	271	380	39.114	6.467	<b>99</b>	<b>94</b>
<b>Nucená ventilace - sanitární</b>								
09 Nucená ventilace v suterénu (80 W)	39.385	6.855	10.072	307	29.313	6.548	<b>74</b>	<b>98</b>
<b>Antiradonová bariéra</b>								
10 Antiradonová polyuretanová bariéra (hustota 1.000 kg/m <sup>3</sup> )	39.385	6.855	1.446	434	39.939	6.421	<b>96</b>	<b>94</b>

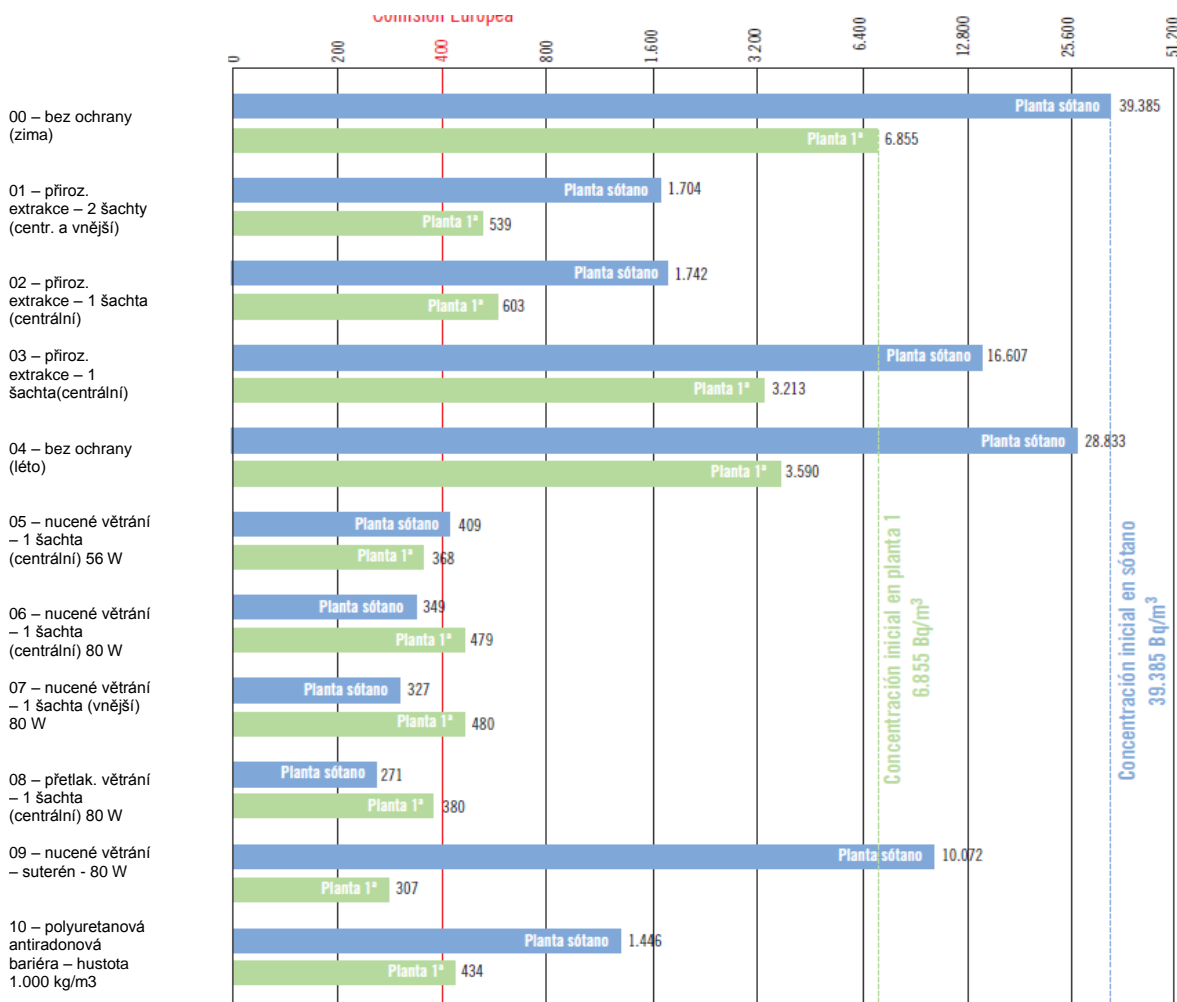
Výsledky ukázaly, že s výjimkou opatření č. 3 (přirozená extrakce vnější šachtou) bylo ve všech ostatních případech dosaženo účinnosti vyšší než 90 %. Ačkoliv nebylo možno prokázat či potvrdit, že existuje lineární závislost při aplikaci uvedených procent na jiné koncentrace, tj. liší se od uváděných v souvislosti s tímto projektem, lze oprávněně očekávat, že za běžných podmínek a v obvyklých situacích, kdy se nevyskytuje tak zvýšená koncentrace radonu, jako tomu bylo v případě půdy a zeminy uranového dolu, bylo by možno dosáhnout snížení hodnot radonu pod úroveň 400 nebo 200 Bq/m<sup>3</sup> pomocí

většiny testovaných řešení.

Níže uvedený sloupcový graf ukazuje výsledné průměry koncentrací, zjišťované po zásazích, tedy po provedení každého jednotlivého ozdravného opatření. Červená čára označuje úroveň koncentrace, jež je indikační hodnotou, kdy už se doporučuje zavádět ozdravná opatření v případech již existujících obytných objektů – tak, jak to stanoví Evropská komise (400 Bq/m<sup>3</sup>) (Doporučení EK ze dne 21.2.1990 – 90/143 Euratom).

Obr. 3.29 – Sloupcový graf s logaritmickou stupnicí, vyjadřující výsledné koncentrace, dosažené v každém z použitých ozdravných řešení

Ozdravná opatření      Úroveň působení      Koncentrace objemové aktivity radonu v Bq/m<sup>3</sup>  
 dla Evropské komise



Modrá

- Suterén
- Počáteční koncentrace v suterénu 39.385 Bq/m<sup>3</sup>

Zelená

- 1. podlaží
- Počáteční koncentrace v 1. podlaží 6.855 Bq/m<sup>3</sup>



Modrá a zelená barva označují počáteční koncentrace v suterénu a v 1. podlaží.

Opatření, jež vykazují nejvyšší účinnost, jsou ta, při nichž bylo použito mechanických odsavačů pro nucený (řízený) tah větracích otvorů z jímek, a to jak u centrálních šachet, tak i šachet, umístěných venku mimo objekt. Do rámce této kategorie řešení s nejvyšší účinností patří také přetlakové větrání pomocí šachet a nucené větrání pomocí komory sanitárního zařízení (v našem případě umístěné v suterénu).

V těchto souvislostech však také musíme zdůraznit, že – abychom dosáhly předpokládaného výkonu používáním předemtných řešení ozdravných opatření – je nutno, aby byl odsavač udržován v nepřetržitém provozu. Jsou-li odsavače vypnuty či vyřazeny z provozu, koncentrace se budou zvyšovat, aniž by mohly být detekovány, až do okamžiku provedení nových ozdravných opatření. Proto se doporučuje instalovat tzv. poplachový systém, který nás upozorní na závady a poruchy mechanické i elektrické. Nutný je také plán údržby, jehož plnění zaručí správnou funkci.

Pokud jde o systémy přirozeného větrání: jak v případě pasivních opatření, tak i v případě antiradonové bariéry se potvrdilo, že šachta (jímka), umístěná jako „centrální“ z pohledu podlaží, vykazuje vyšší jímací schopnost oproti jímce, umístěné vně objektu. Vysvětlení této skutečnosti je zřejmé: obvodové základové zdivo působí jako překážka při odvětrávání pomocí vnější šachet, což vede k horšímu pokrytí ploch, tvořících podlaží, na němž je stavební objekt usazen.

Dalším poznatkem bylo zjištění, že rychlost větru má pozitivní vliv na snížení objemové aktivity radonu při použití tohoto typu řešení s přirozeným větráním. V případě ozdravného patření, který jsme uvedli jako příklad č. 2, tj. přirozené větrání pomocí centrální šachty, činila koncentrace radonu za celé sledované období  $1.742 \text{ Bq/m}^3$  v suterénním podlaží a  $603 \text{ Bq/m}^3$  v prvním podlaží, zatímco ve dnech, kdy byla naměřená rychlost větru činila 6 až 8 km/h, klesly koncentrace v obou podlažích pod hodnotu  $300 \text{ Bq/m}^3$ .

Jak jsme již uvedli dříve, tento jev ukazuje přímou souvislost se zvýšenou sací schopností vzniklé v šachtě na základě Venturiho efektu, vyprovokovaného rychlostí větrů ve výtláčné hubici potrubí.

Zabudování extraktorů do potrubí šachet (opatření 6 a 7) přispělo rovněž ke zvýšení odsávací schopnosti a stalo se oprávněným předpokladem pro zvýšení účinnosti. V těchto případech bylo u obou šachet dosaženo velmi podobných výsledků účinnosti: 99 % u suterénního podlaží a 93 % u 1. podlaží.

- Předpokládané zlepšení použitím extraktoru u centrální šachty:
  - (3 %) v suterénu (96 – 99%)
  - (2 %) v 1. podlaží (91 – 93 %)
- Předpokládané zlepšení použitím extraktoru u šachty umístěné vně:
  - (41 %) v suterénu (58 – 99%)
  - (40 %) v 1. podlaží (53 – 93 %)

Je tedy zřejmé, že v případě centrální šachty činilo zlepšení po umístění extraktoru pouze 2 – 3 %, zatímco v případě vnější šachty činilo zlepšení po instalaci odsavače 40 – 41 %.

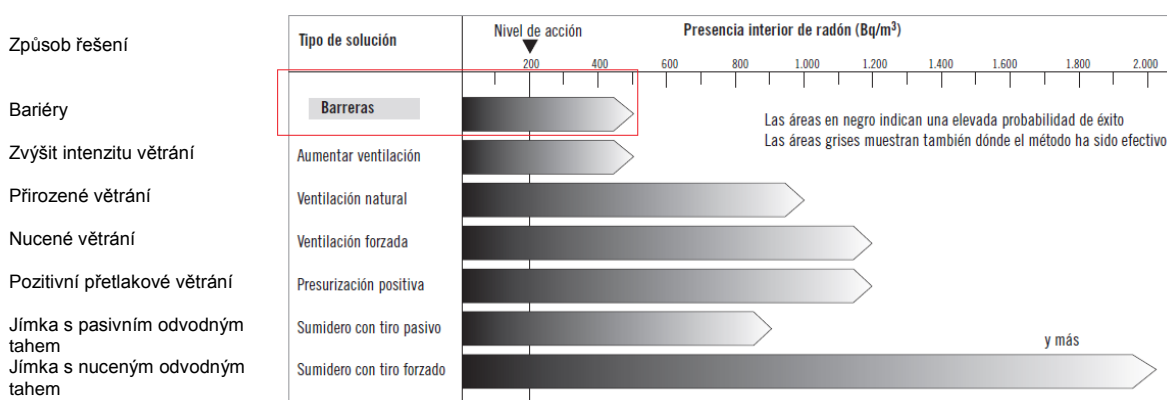
Pokud jde o opatření pomocí antiradonové bariéry: bylo dosaženo zvýšené účinnosti u 1. podlaží, a to v takové míře, jež přesahovala naše původní očekávání. Zkušenosti s těmito typy řešení, publikované v zahraničí, považují jejich autoři za opatření pasivní a jejich účinnost za střední až nízkou; doporučují proto použití této metody pouze pro podmínky, kdy jde o nízké koncentrace radonu (cca  $500 \text{ Bq/m}^3$ ). Příkladem je tabulka BRE (Building Research Establishment), uvedená níže.

Ale v našem případě, kdy jde o počáteční koncentraci řádově  $7.000 \text{ Bq/m}^3$ , se dosažené snížení blížilo výsledným hodnotám nuceného větrání, což staví tuto metodu spíše do kategorie opatření s účinností střední až vysokou.

Obr. 3.30 Efektivita ozdravných opatření. Výsledky publikované BRE ((Building Research Establishment, SK)

Rozdíl v názoru na použití této antiradonové bariéry může tkvět ve způsobu její aplikace, tzn., že metoda použití byla patrně determinujícím faktorem našeho dobrého výsledku, srovnaného se zahraničními zkušenostmi s tímto ozdravným opatřením. Poznatky, získané v námi studované zahraniční dokumentaci ukazují, že tyto bariéry se prodávají v rolích a že při jejich pokládce in situ se okraje jednotlivých pásů v místech styku překrývají (aby se dosáhlo celoplošného pokrytí požadované zóny).

Kromě toho se v zahraničí prodávají speciální díly a součástky pro provedení konečné úpravy a pro ošetření tzv. konfliktních bodů, jež by mohly být příčinou vzniku trhlin a štěrbin v izolační vrstvě. V případě předmětného testovaného systému izolace stříkané v tekutém stavu byla eliminována veškerá tato riziková místa překrytí a, navíc, spojení ojedinělých míst bylo vyřešeno díky parametrům a vlastnostem mechanické odolnosti a odolnosti vůči elongaci, což umožnilo použití této izolace i v místech spojů a lícování.



Úroveň působení

Přítomnost radonu ve vnitřním ovzduší objektu (Bq/m<sup>3</sup>)

černá barva ve sloupcích indikuje zvýšenou pravděpodobnost úspěchu

šedá barva ve sloupcích ukazuje, kde byla použita metoda rovněž efektivní

a více