C

RADON – STAVEBNÍ SOUVISLOSTI

Výpočty opatření podle ČSN 73 0601

Dimenzování protiradonových opatření ze Sešitů I, P, M

Martin Jiránek
Milena Honzíková

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

SÚJB
Státní úřad pro jadernou bezpečnost

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
PRO SÚJB ZPRACOVALA FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT

Radon – Stavební souvislosti
Sešit C

Výpočty opatření podle ČSN 73 0601

Dimenzování protiradonových opatření
ze Sešitů I, P, M

Martin Jiránek
Milena Honzíková

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
PRO SÚJB ZPRACOVALA FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT
2020

RADON – STAVEBNÍ SOUVISLOSTI

Publikace zahrnuje výsledky výzkumu zaměřeného na vývoj protiradonových opatření a hodnocení jejich efektivity, který pro Státní úřad pro jadernou bezpečnost realizovala Fakulta stavební ČVUT v Praze.

Publikace **Radon – stavební souvislosti** sestává z 9 kapitol uspořádaných do samostatných sešitů:

V	Jednoduché větrací systémy
C	**Výpočty opatření podle ČSN 73 0601**
G	Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření
O	Výběr protiradonových opatření
I	Protiradonové izolace
P	Odvětrání podloží
M	Ventilační vrstvy
SRNA	Prvky protiradonových systémů
D	Součinitelé difuze radonu

Recenze: Ing. Vlastimil Švarc

© Martin Jiránek, Milena Honzíková
ISBN 978-80-01-06598-3 (tisk)
ISBN 978-80-01-06599-0 (on-line)

OBSAH

	Úvod	5
1	Veličiny, značky a jednotky	7
2	Návrh samotné protiradonové izolace	8
2.1	Princip výpočtu	8
2.2	Příklad 1 – Výpočet protiradonové izolace v nepodsklepené novostavbě	9
2.3	Příklad 2 – Výpočet protiradonové izolace v novostavbě s pobytovými místnostmi v podzemním podlaží	10
3	Návrh protiradonové izolace v kombinaci s odvětráním podloží	11
3.1	Princip výpočtu	11
3.2	Příklad 3 – Výpočet protiradonové izolace v nepodsklepené novostavbě v kombinaci s odvětráním podloží	11
3.3	Příklad 4 – Výpočet protiradonové izolace ve stávající stavbě v kombinaci s odvětráním podloží	12
4	Návrh protiradonové izolace v kombinaci s ventilační vrstvou	14
4.1	Princip výpočtu	14
4.2	Příklad 5 – Výpočet protiradonové izolace nad přirozeně větranou ventilační vrstvou v nepodsklepené novostavbě	14
4.3	Příklad 6 – Výpočet protiradonové izolace nad nuceně větranou ventilační vrstvou v nepodsklepené novostavbě	16
4.4	Příklad 7 – Výpočet odvětrání ventilační vrstvy ve stávající stavbě	16
4.5	Příklad 8 – Výpočet protiradonové izolace nad ventilační vrstvou ve stávající stavbě	19
5	Domy s izolačním podlažím	19
5.1	Princip výpočtu	19
5.2	Příklad 9 – Výpočet intenzity větrání izolačního podlaží projektované stavby	20
5.3	Příklad 10 – Výpočet intenzity větrání izolačního podlaží stávající stavby	21
6	Domy s kontaktním podlažím bez obytných místností	21
6.1	Princip výpočtu	21
6.2	Příklad 11 – Výpočet intenzity větrání kontaktního podlaží projektované stavby	22
	Literatura	23

ÚVOD

Sešit C publikace Radon – stavební souvislosti II přibližuje všechny výpočetní postupy obsažené v ČSN 73 0601 (2019). Největší prostor je věnován návrhu protiradonové izolace a to jak samotné, tak v kombinaci s větracími systémy podloží nebo s ventilačními vrstvami v kontaktních konstrukcích. Opomenuty nebyly ani výpočetní postupy používané u budov s izolačním podlažím nebo s kantaktním podlažím bez pobytových prostor. Sešit C obsahuje rovněž řadu příkladů na výpočet minimální intenzity větrání ventilačních vrstev a izolačních podlaží.

Každému opatření je věnována samostatná kapitola, v jejímž úvodu jsou rekapitulovány příslušné výpočetní postupy, za nimiž následují vlastní příklady. Výpočty jsou procvičovány na konkrétních objektech představených vhodnými půdorysy a popřípadě i řezy. U nových staveb je dalším výchozím podkladem radonový index pozemku a u staveb stávajících výsledky měření koncentrace radonu uvnitř objektu. V každém příkladu je postup výpočtu průběžně komentován, je popsáno využití výchozích podkladů a dosazení jednotlivých veličin do vzorců. Upozornění na možné varianty výpočtu, odchylky od předvedeného řešení a popřípadě na další důležité skutečnosti je provedeno poznámkami na konci každého příkladu.

Sešit C najde uplatnění zejména mezi projektanty a dodavateli protiradonových opatření k získání potřebné praxe v oblasti dimenzování podle ČSN 73 0601 (2019). Všechny výpočty jsou proto provedeny ručně s pomocí běžných kalkulaček, i když je na trhu k dispozici příslušné programové vybavení. Ruční výpočet umožňuje totiž pochopit podstatu a zákulisí výpočtů, což přispívá k minimalizaci chyb.

1 VELIČINY, ZNAČKY A JEDNOTKY

V tomto sešitu se vyskytují veličiny a značky zejména podle ČSN 73 0601 (2019) [1].
Přehled všech použitých veličin včetně jednotek je uveden v **Tab. 1.1c**.

Tab. 1.1c. Přehled použitých veličin a jednotek

Značka	Jednotka	Význam
C_s	[Bq/m³]	Návrhová hodnota koncentrace radonu v půdním vzduchu, tj. předpokládaná koncentrace radonu na úrovni základové spáry. Určuje projektant protiradonového opatření v závislosti na poloze základové spáry, velikosti zastavěné plochy, vertikálním profilu propustnosti podloží a třetím kvartilu koncentrace radonu v půdním vzduchu stanoveném při radonovém průzkumu pozemku.
C_{vv}	[Bq/m³]	Koncentrace radonu ve ventilační vrstvě
C_{ip}	[Bq/m³]	Koncentrace radonu v izolačním podlaží
C_{kp}	[Bq/m³]	Koncentrace radonu v kontaktním podlaží
C_i	[Bq/m³]	Koncentrace radonu v pobytovém prostoru nebo jeho části, např. místnosti
C_{nh}	[Bq/m³]	Návrhová hodnota koncentrace radonu v pobytovém prostoru. Tuto hodnotu stanoví projektant po dohodě s investorem tak, aby byla menší než referenční úroveň 300 Bq/m³ a aby představovala určitý kompromis mezi náklady na opatření a přínosem opatření v podobě ušetřené kolektivní efektivní dávky. S přihlédnutím k situaci v ČR lze doporučit volbu návrhové hodnoty koncentrace radonu C_{nh} v intervalu 100–200 Bq/m³ s tím, že nižší hodnota je vhodná pro novostavby a vyšší hodnota pro stávající stavby.
C_{dif}	[Bq/m³]	Část C_{nh} způsobená difuzním přísunem radonu. Standardně se uvažuje $C_{dif} = 0{,}1 \cdot C_{nh}$
n	[h⁻¹]	Intenzita větrání pobytového prostoru
n_m	[h⁻¹]	Intenzita větrání v době měření koncentrace radonu
n_{nh}	[h⁻¹]	Návrhová hodnota intenzity větrání pobytového prostoru. U přirozeně větraných staveb se $n_{nh} = 0{,}2\ h^{-1}$. U staveb s nuceným větráním pobytového prostoru se tato hodnota určí podle provozního režimu nuceného větrání jako průměrná intenzita větrání v době užívání pobytového prostoru.
n_{vv}	[h⁻¹]	Intenzita větrání ventilační vrstvy
n_{ip}	[h⁻¹]	Intenzita větrání izolačního podlaží
n_{kp}	[h⁻¹]	Intenzita větrání kontaktního podlaží
h_{vv}	[m]	Světlá výška ventilační vrstvy
h_{ip}	[m]	Světlá výška izolačního podlaží
A_p	[m²]	Půdorysná plocha kontaktního podlaží v kontaktu s podložím
A_s	[m²]	Část plochy suterénních stěn, která je v kontaktu s podložím
A_{vv}	[m²]	Plocha ventilační vrstvy
A_{kp}	[m²]	Plocha kontaktní konstrukce v kontaktním podlaží (součet plochy podlahy a stěny v kontaktu s podložím)
E	[Bq/m²h]	Rychlost plošné emise radonu z povrchu izolace
E_{mez}	[Bq/m²h]	Mezní (maximální) rychlost plošné emise radonu
J_i	[Bq/h]	Rychlost přísunu radonu do pobytového prostoru nebo jeho části, např. místnosti
J_{vv}	[Bq/h]	Rychlost přísunu radonu do ventilační vrstvy
V_k	[m³]	Objem vzduchu v pobytovém prostoru nebo jeho části, např. místnosti
V_{vv}	[m³]	Objem vzduchu ve ventilační vrstvě. Při použití profilovaných (nopových) desek či fólií se odečítají objemy prolisů (nopů) zasahujících do ventilační vrstvy.
V_{ip}	[m³]	Objem vzduchu v izolačním podlaží
V_{kp}	[m³]	Objem vzduchu v kontaktním podlaží

▶ Tab. 1.1c. (pokračování)

Q_e	[m³/h]	Objemové množství větracího vzduchu
D	[m²/h]	Součinitel difuze radonu v izolaci
l	[m]	Difuzní délka radonu v izolaci
d	[m]	Tloušťka izolace
R_{Rn}	[s/m]	Radonový odpor izolace
$R_{Rn,min}$	[s/m]	Minimální radonový odpor
T_{Rn}	[m/h]	Součinitel prostupu radonu zeminy na styku se stavbou
λ	[h⁻¹]	Přeměnová konstanta radonu [0,00756 h⁻¹]
Δp_{vv}	[Pa]	Podtlak ve ventilační vrstvě v místě vstupních cest radonu z podloží
Δp_i	[Pa]	Podtlak v pobytovém prostoru v době měření rychlosti přísunu radonu J_i
α_1	[–]	Součinitel bezpečnosti, jehož hodnoty se stanoví podle **Tab. 1.2c**

Tab. 1.2c. Součinitel bezpečnosti α_1

Návrhová plynopropustnost zeminy	**Samotná protiradonová izolace**	**Protiradonová izolace v kombinaci s větracím systémem podloží nebo s ventilační vrstvou při způsobu větrání**	
		aktivním	**pasivním**
nízká	2,1	1,0	1,5
střední	3,0	1,0	2,0
vysoká	7,0	1,0	4,0

2 NÁVRH SAMOTNÉ PROTIRADONOVÉ IZOLACE

2.1 Princip výpočtu

Parametrem, který rozhoduje o použitelnosti hydroizolačního výrobku na protiradonovou izolaci, je radonový odpor R_{Rn} stanovený podle vztahu (1). Hodnoty radonového odporu by měli výrobci izolací postupně uvádět u každého výrobku v příslušném technickém listu.

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \cdot l} \text{ [s/m]} \qquad (1)$$

kde d je tloušťka izolačního výrobku [m], l je difuzní délka radonu ve výrobku [m] a λ je přeměnová konstanta radonu [$2{,}1.10^{-6}$ s⁻¹]. Difuzní délka je dána vztahem:

$$l = (D / \lambda)^{1/2} \text{ [m]} \qquad (2)$$

kde D je součinitel difuze radonu v izolačním výrobku [m²/s].

Protiradonová izolace se navrhuje tak, aby její radonový odpor R_{Rn} byl větší než nebo roven minimálnímu radonovému odporu $R_{Rn,min}$, který se vypočítá v závislosti na parametrech domu a návrhové hodnotě koncentrace radonu v půdním vzduchu podle vztahu:

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \cdot \alpha_1 \cdot C_s}{E_{mez}} \text{ [s/m]} \qquad (3)$$

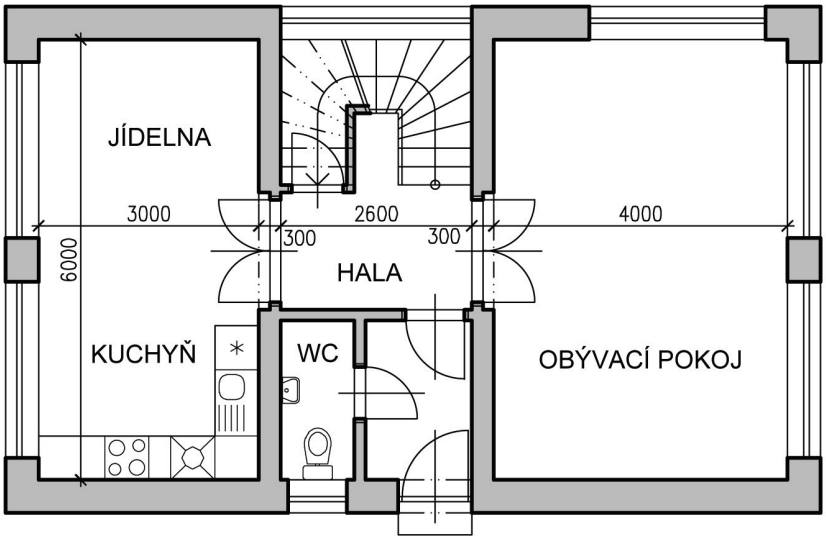
kde C_s je návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu [Bq/m³], α_1 je bezpečnostní bezrozměrný součinitel podle **Tab. 1.2c** [–] a E_{mez} je maximálně přípustná rychlost plošné emise radonu do objektu [Bq/(m²h)]. Hodnotu minimálního radonového odporu lze u nepodsklepených staveb stanovit i odečtením z tabulky v ČSN 73 0601 – viz **Tab. 3d** v **Sešitu D**. Musí ale platit, že návrhová hodnota koncentrace radonu v půdním vzduchu C_s nepřesahuje 200 kBq/m³ pro nízkoplynopropustné podloží, 140 kBq/m³ pro středněplynopropustné podloží a 60 kBq/m³ pro vysokoplynopropustné podloží.

Pro výpočet maximální rychlosti plošné emise radonu do interiéru E_{mez} platí vztah:

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \cdot V_k \cdot n_{nh}}{(A_p + A_s)} \text{ [Bq/(m}^2\cdot\text{h)]} \qquad (4)$$

kde V_k je objem výpočtové místnosti v kontaktním podlaží [m³], n_{nh} je návrhová hodnota intenzity větrání [h⁻¹], A_p je půdorysná plocha výpočtové místnosti v kontaktu s podložím [m²], A_s je plocha suterénních stěn výpočtové místnosti v kontaktu s podložím [m²] a C_{dif} je 10 % návrhové hodnoty koncentrace radonu ve stavbě C_{nh} [Bq/m³].

Tip. Výpočet stačí provést pro takové místnosti v kontaktním podlaží, v kterých má E_{mez} nejnižší hodnotu. Obvykle to jsou místnosti, kde je buď nejmenší poměr $V_k/(A_p + A_s)$ nebo nejmenší intenzita větrání n_{nh}.



Obr. 2.1c. Půdorys přízemí RD k výpočtu protiradonové izolace (výpočtová místnost je obývací pokoj)

Podrobnosti výpočtu lze nalézt v ČSN 73 0601. Přehled součinitelů difuze radonu v izolačních materiálech je k dispozici v **Sešitu D** [5].

Tip. Vzhledem k neustálému technologickému vývoji izolačních materiálů je třeba hodnoty součinitele difuze radonu v **Sešitu D** považovat pouze za informativní. Aktuální hodnotu poskytne výrobce či dovozce konkrétního materiálu nebo ji lze nalézt v technickém listu výrobku. Upozorňujeme, že do výše uvedených vztahů se musí součinitel difuze radonu dosazovat v m^2/h a difuzní délka v metrech. V **Sešitu D** mají tyto veličiny jednotky m^2/s a mm.

Samotnou protiradonovou izolaci lze bez dalších doplňkových opatření použít na ochranu nových staveb s pobytovým prostorem v kontaktních podlažích větraným s intenzitou větrání nepřevyšující 0,6 h^{-1}.

Je-li ale pod stavbou vytvořena vrstva o vysoké propustnosti o tloušťce větší než 50 mm, nebo je-li součástí kontaktní konstrukce podlahové vytápění, nebo je-li radonový index stavby vysoký, musí být navíc protiradonová izolace provedena v kombinaci buď s odvětráním podloží pod objektem (**Sešit P**) nebo s ventilační vrstvou v kontaktních konstrukcích (**Sešit M**).

2.2 Příklad 1 – Výpočet protiradonové izolace v nepodsklepené novostavbě

Uvažujme novostavbu nepodsklepeného rodinného domku s půdorysem přízemí podle **Obr. 2.1c**. Všechny místnosti mají stejnou světlou výšku, a to 2,6 m. Větrání domu je přirozené prostřednictvím okenních větracích štěrbin osazených po jedné do každé obytné místnosti. Součástí podlah na terénu není podlahové vytápění.

Radonový index stavebního pozemku je střední. Propustnost podloží byla stanovena jako střední, třetí kvartil koncentrace radonu v podloží je 55 kBq/m^3.

Stavba je větrána přirozeně, a proto je návrhová hodnota intenzity větrání n_{nh} = 0,2 h^{-1}. Podle ČSN 73 0601 se tedy jedná o stavbu s pobytovým prostorem v kontaktním podlaží větraným s intenzitou větrání nepřevyšující 0,6 h^{-1}. Pro nepodsklepený dům se zastavěnou plochou 76,6 m^2, což je méně než 200 m^2, je podle **Tab. 1o** v **Sešitu O** návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu C_s rovna hodnotě třetího kvartilu stanovené při radonovém průzkumu pozemku, tj. C_s = 55 kBq/m^3. Použije-li se na dorovnání terénu mezi základovými pasy hutněná zemina z výkopku, bude návrhová plynopropustnost zeminy střední, tedy shodná s plynopropustností stanovenou při radonovém průzkumu pozemku. Podle **Tab. 2o** v **Sešitu O** je radonový index stavby střední. Na ochranu stavby proti radonu z podloží lze tedy použít samotnou protiradonovou izolaci.

Nejprve musíme určit návrhovou hodnotu koncentrace radonu v interiéru stavby. Protože se jedná o novostavbu, je rozumné uvažovat C_{nh} = 100 Bq/m^3.

Dalším krokem je stanovení minimálního radonového odporu $R_{Rn,min}$. Lze tak učinit přesným výpočtem podle vztahu (3), nebo odečtem z **Tab. 3d** v **Sešitu D**, podle které je $R_{Rn,min}$ = 150 Ms/m. Přesný výpočet závisí na maximální rychlosti plošné emise radonu do interiéru E_{mez}, kterou obecně stačí vypočítat pro takovou pobytovou místnost, kde lze očekávat nejnižší hodnotu E_{mez}. V případě tohoto domu, kde všechny pobytové místnosti mají stejnou světlou výšku a jsou větrány se stejnou intenzitou, vyjde E_{mez} stejně pro všechny místnosti. Zvolíme-li za výpočtovou místnost například obývací pokoj, z půdorysu přízemí určíme jeho půdorysnou plochu (A_p = 24,0 m^2) a objem

vzduchu v pokoji (V_k = 62,4 m³). E_{mez} vypočítáme dosazením do vztahu (4).

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \,.\, V_k \,.\, n_{nh}}{(A_p + A_s)} = \frac{10 \,.\, 62{,}4 \,.\, 0{,}2}{24} = 5{,}2 \text{ Bq/(m}^2\text{.h)}$$

Nyní můžeme přistoupit k výpočtu $R_{Rn,min}$:

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \,.\, \alpha_1 \,.\, C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \,.\, 3{,}0 \,.\, 55\,000}{5{,}2} = 114{,}2 \text{ Ms/m}$$

Výsledkem přesného výpočtu je nižší hodnota $R_{Rn,min}$, než jakou udává tabulka. Je to z toho důvodu, že tabulkové hodnoty byly stanoveny pro maximální návrhovou koncentraci radonu v půdním vzduchu, která odpovídá příslušné kategorii radonového indexu stavby (při středním indexu tabulka počítá s C_s = 70 kBq/m³).

V závislosti na hydrofyzikálním, korozním a mechanickém namáhání a na požadované trvanlivosti a spolehlivosti a s přihlédnutím k technologickým možnostem dodavatele stavby vybereme druh protiradonové izolace. Vybírat můžeme jen z takových izolací, jejichž radonový odpor je větší než 114,2 Ms/m. Zkusme PVC-P fólii Alkorplan 35034 o tloušťce 2,0 mm, jejíž součinitel difuze radonu $D = 18{,}0.10^{-12}$ m²/s a difuzní délka radonu $l = 2{,}93.10^{-3}$ m (**Sešit D**). Radonový odpor této izolace vypočítáme ze vztahu (1).

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \,.\, l} = \frac{\sinh(2{,}0/2{,}93)}{2{,}1.10^{-6} \,.\, 2{,}93.10^{-3}} = 119{,}8 \text{ Ms/m}$$

Vzhledem k tomu, že radonový odpor izolace Alkorplan 35034 o tloušťce 2,0 mm je větší než 114,2 Ms/m, lze ji použít k ochraně uvedeného domu proti radonu z podloží.

Poznámky

1. Kdyby se použil na dorovnání terénu mezi základovými pasy pod podkladním betonem násyp štěrku o vysoké propustnosti, nebo kdyby podlahy na terénu obsahovaly podlahové vytápění, musela by být protiradonová izolace provedena v kombinaci s odvětráním podloží (**Sešit P**) nebo s ventilační vrstvou v podlahové konstrukci (**Sešit M**).

2. Kdyby se investor spokojil s návrhovou koncentrací radonu ve stavbě C_{nh} = 200 Bq/m³, vyšlo by E_{mez} = 10,4 Bq/(m²h), $R_{Rn,min}$ = 57,1 Ms/m a na protiradonovou izolaci by postačila fólie Alkorplan 35034 o tloušťce 1,5 mm s radonovým odporem 86,9 Ms/m.

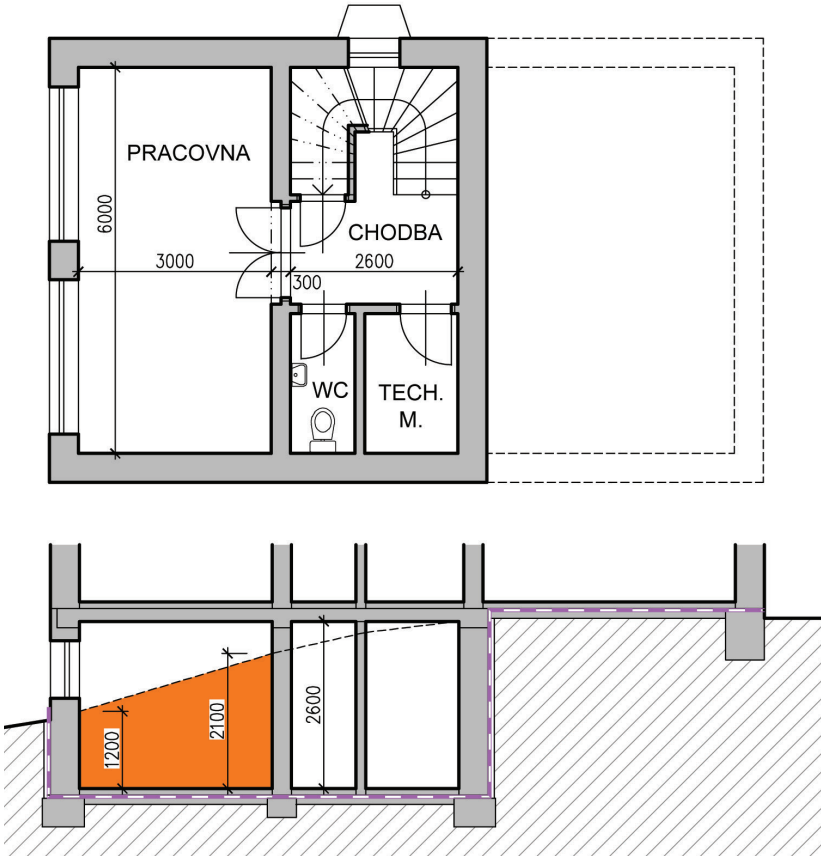
2.3 Příklad 2 – Výpočet protiradonové izolace v novostavbě s pobytovými místnostmi v podzemním podlaží

Představme si, že pod částí rodinného domku z **Obr. 2.1c** je umístěno podzemní podlaží s pobytovým prostorem – pracovnou (**Obr. 2.2c**). Dům je osazen ve svahu tak, že okolní terén klesá po obou kratších stranách pracovny z výšky 2,1 m nad podlahou do úrovně 1,2 m nad podlahou. Všechny místnosti podzemního podlaží mají stejnou světlou výšku, a to 2,6 m. Podzemní prostory jsou větrány podtlakovým způsobem s nuceným odvodem vzduchu z prostoru WC a s přívodem vzduchu jednou okenní větrací štěrbinou v pracovně. Vzduch se z WC odvádí prostřednictvím EC ventilátoru přes odsávací ventil reagující na přítomnost osob v pracovně. Výkon systému v době pobytu osob je 15 m³/h venkovního vzduchu. Součástí podlah na terénu není podlahové vytápění.

Z radonového průzkumu stavební parcely je zřejmé, že dům bude stavěn na pozemku s nízkým radonovým indexem (propustnost podloží střední, třetí kvartil koncentrace radonu v podloží 17 kBq/m³.

Volba výpočtové místnosti v tomto případě nečiní potíže, je jí jediná pobytová místnost v podzemním podlaží, tj. pracovna (u pobytových místností v nepodsklepené části 1.NP vyjde E_{mez} vždy vyšší). Z půdorysu a řezu podzemí určíme půdorysnou plochu pracovny (A_p = 18 m²), objem

Obr. 2.2c. Půdorys a řez podzemním podlažím



vzduchu v pracovně (V_k = 46,8 m³) a plochu suterénních stěn v kontaktu s podložím (tato plocha je na **Obr. 2.2c** vyznačena hnědým stínováním)

$$A_s = 6 \,.\, 1{,}2 + 2 \,.\, \frac{1{,}2 + 2{,}1}{2} \,.\, 3 = 17{,}1 \text{ m}^2.$$

Tip. Má-li objekt pobytové prostory v kontaktu s podložím současně v podzemních a nadzemních podlažích, volíme výpočtovou místnost vždy v podzemních podlažích. Výjimkou by byla situace, kdy je v podzemních podlažích vyšší výměna vzduchu (například prostřednictvím nucené ventilace) než v nadzemních podlažích.

Z parametrů větracího systému určíme návrhovou intenzitu větrání pracovny

$$n_{nh} = \frac{Q_e}{V_k} = \frac{15}{46{,}8} = 0{,}32 \text{ h}^{-1}.$$

Nyní můžeme přistoupit k výpočtu E_{mez}. Uživatel nechce v pracovně připustit vyšší koncentraci radonu než 150 Bq/m³. Za hodnotu C_{dif} dosadíme tedy 10 % z C_{nh}, tj. 0,1 . 150 = 15 Bq/m³.

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \,.\, V_k \,.\, n_{nh}}{A_p + A_s} = \frac{15 \,.\, 46{,}8 \,.\, 0{,}32}{18 + 17{,}1} = 6{,}4 \text{ Bq/(m}^2\text{h)}$$

Při stanovení návrhové hodnoty koncentrace radonu v půdním vzduchu C_s vycházíme z následujících skutečností. Stavba má jedno podzemní podlaží, zastavěná plocha je menší než 200 m² a z archivních geologických podkladů vyplývá, že plynopropustnost půdních vrstev je v hloubce 0,9 až 2,5 m vyšší než u vrstev povrchových. Tato skutečnost byla následně potvrzena při výkopových pracích. Návrhovou plynopropustností na úrovni základové spáry je z těchto důvodů plynopropustnost vysoká. Podle **Tab. 1o** v Sešitu O se návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu C_s určí jako 1,5 násobek třetího kvartilu stanoveného při radonovém průzkumu pozemku, tj. C_s = 1,5 . 17 = 25,5 kBq/m³. Výsledný radonový index stavby je střední (**Tab. 2o** v Sešitu O). Na ochranu proti radonu lze použít samotnou protiradonovou izolaci.

Vzhledem k tomu, že stavba obsahuje podzemní podlaží, nelze minimální radonový odpor určit podle tabulky. Přípustný je pouze přesný výpočet podle vztahu (3), do kterého za C_s dosadíme 25,5 kBq/m³ a α_1 položíme rovno 7,0 (vysoká plynopropustnost podloží).

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \,.\, \alpha_1 \,.\, C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \,.\, 7{,}0 \,.\, 25\,500}{6{,}4} = 100{,}4 \text{ Ms/m}$$

Na protiradonovou izolaci mohou být použity pouze výrobky, jejichž radonový odpor je větší než 100,4 Ms/m.

Předpokládejme, že veškeré kontaktní konstrukce podsklepené i nepodsklepené části domu budou izolovány asfaltovým modifikovaným pásem Elastodek 40 medium mineral, jehož součinitel difuze radonu D = 12,0.10⁻¹² m²/s a difuzní délka radonu l = 2,39.10⁻³ m (Sešit D). Radonový odpor tohoto pásu je:

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \,.\, l} = \frac{\sinh(4{,}0/2{,}39)}{2{,}1.10^{-6} \,.\, 2{,}39.10^{-3}} = 512{,}5 \text{ Ms/m}$$

Radonový odpor asfaltového pásu Elastodek 40 medium mineral je větší než minimální radonový odpor 100,4 Ms/m, a proto lze tuto izolaci použít na ochranu daného domu proti radonu z podloží.

Poznámky

1. Kdyby návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu byla větší než 30 kBq/m³, byl by radonový index stavby vysoký a protiradonová izolace by se musela doplnit o odvětrání podloží (Sešit P) nebo o ventilační vrstvu v podlahové konstrukci (Sešit M).

2. Pro podlahové vytápění nebo plynopropustný podsyp pod podkladním betonem platí stejné poznámky jako u Příkladu 2.1.

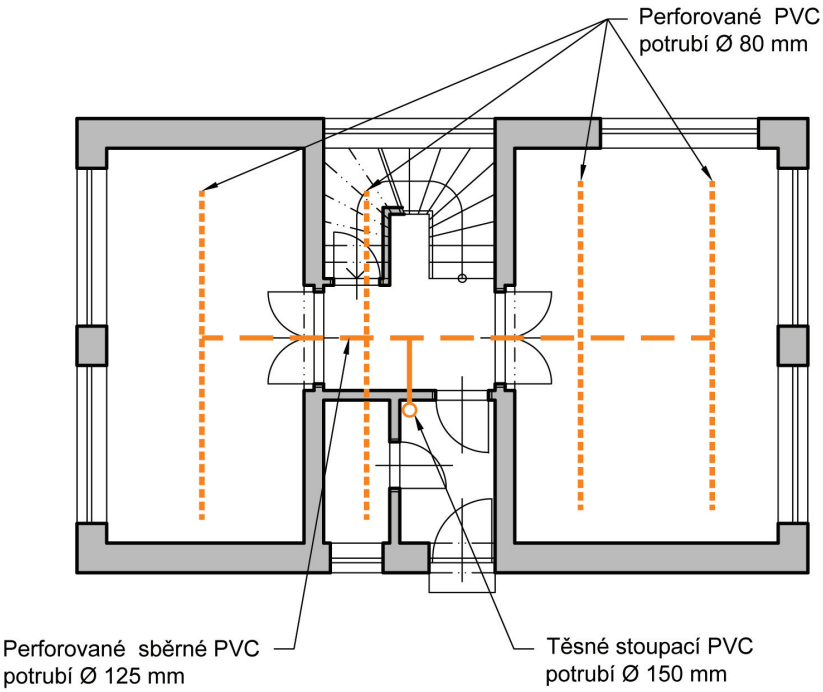
3 NÁVRH PROTIRADONOVÉ IZOLACE V KOMBINACI S ODVĚTRÁNÍM PODLOŽÍ

3.1 Princip výpočtu

Navrhuje-li se protiradonová izolace v kombinaci s odvětráním podloží, ve výpočtu se tato skutečnost zohlední hodnotou bezpečnostního součinitele α_1, který se volí v závislosti na způsobu odvětrání podle **Tab. 1.2c**. Jinak zůstává výpočet podle vztahů (1) až (4) uvedených v odstavci 2.1 stejný.

3.2 Příklad 3 – Výpočet protiradonové izolace v nepodsklepené novostavbě v kombinaci s odvětráním podloží

Uvažujme novostavbu nepodsklepeného rodinného domku s půdorysem přízemí opět podle **Obr. 2.1c**. Parametry domu ponechme také stejné jako v Příkladu 1, ale změňme propustnost podloží na vysokou. Radonový index stavby bude v tomto případě vysoký (C_s = 55 kBq/m³ a propustnost vysoká), což je podle ČSN 73 0601 důvod k tomu, aby bylo provedeno kombinované opatření. Je tedy zřejmé, že i pouhá změna propustnosti podloží může mít podstatný vliv na návrh opatření.



Obr. 3.1c. Možná geometrie větracího systému podloží pro objekt z Příkladu 3

Z Příkladu 1 převezme n_{nh} = 0,2 h^{-1} a E_{mez} = 5,2 Bq/(m^{2}h).

U nových staveb se podloží větrá primárně přirozeným způsobem, a proto při výpočtu minimálního radonového odporu dosadíme do vztahu (3) bezpečnostní součinitel α_1 = 4.

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600\,.\,\alpha_1\,.\,C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600\,.\,4{,}0\,.\,55\,000}{5{,}2} = 152{,}3 \text{ Ms/m}$$

Minimální radonový odpor vyšel tentokrát výrazně větší, než je radonový odpor izolace Alkorplan 35034 o tloušťce 2 mm (R_{Rn} = 119,8 Ms/m), kterou jsme použili v Příkladu 1. Na ochranu stavby proti radonu z podloží budeme muset použít jinou protiradonovou izolaci o radonovém odporu větším než 152,3 Ms/m. Zvolme PVC-P fólii Fatrafol 803 o tloušťce 2,0 mm, která má součinitel difuze radonu D = 1,2.10^{-11} m^2/s a difuzní délku radonu l = 2,39 mm. Její radonový odpor je 186,9 Ms/m.

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda\,.\,l} = \frac{\sinh(2{,}0/2{,}39)}{2{,}1.10^{-6}\,.\,2{,}39.10^{-3}} = 186{,}9 \text{ Ms/m}$$

Jedna z možných geometrických variant větracího systému je uvedena na **Obr. 3.1c**. Základem je perforované flexibilní PVC potrubí o průměru 80 mm, které je prostřednictvím sběrného perforovaného potrubí o průměru 125 mm připojeno k těsnému stoupacímu PVC potrubí o průměru 150 mm. To je umístěno v rohu chodby, kterou prochází až nad střechu objektu, kde je zakončeno větrací hlavicí.

Poznámka

Kdybychom hned od počátku uvažovali s aktivním odvětráním podloží, lišil by se výpočet pouze v tom, že součinitel α_1 by se rovnal 1. Protiradonová izolace by musela splňovat minimální radonový odpor 38,1 Ms/m. Fólii Fatrafol 803 by bylo možné použít ve výrobní tloušťce 1,0 mm, protože radonový odpor tohoto výrobku je 85,8 Ms/m.

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600\,.\,\alpha_1\,.\,C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600\,.\,1{,}0\,.\,55\,000}{5{,}2} = 38{,}1 \text{ Ms/m}$$

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda\,.\,l} = \frac{\sinh(1{,}0/2{,}39)}{2{,}1.10^{-6}\,.\,2{,}39.10^{-3}} = 85{,}8 \text{ Ms/m}$$

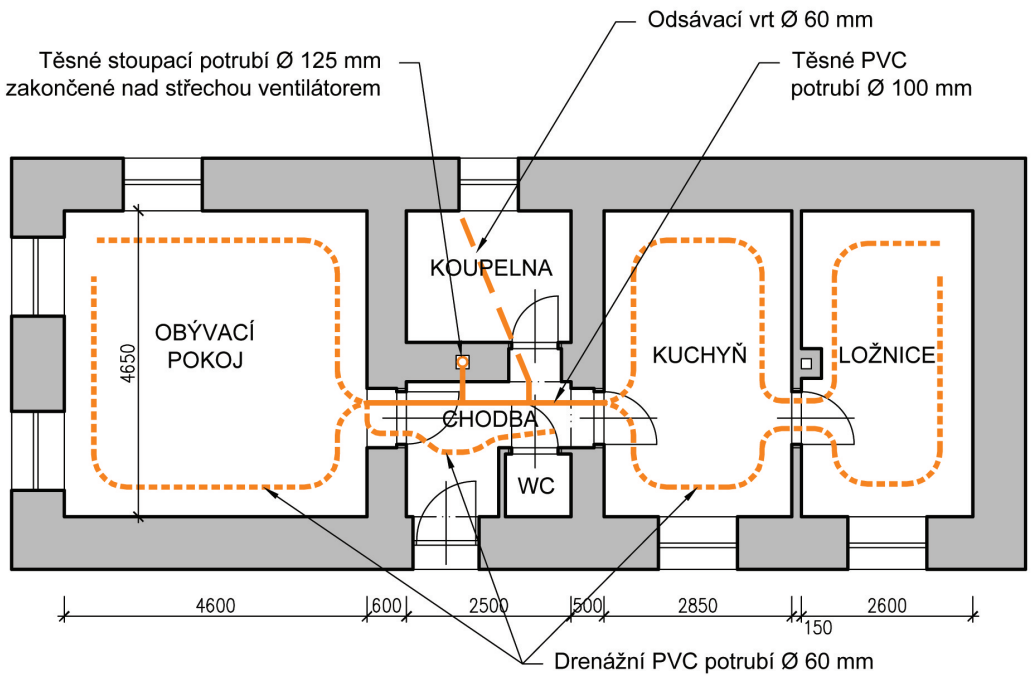
Jednotlivé prvky aktivního větracího systému by měly menší průměr – odsávací perforované potrubí 60 mm, sběrné potrubí 100 mm a stoupací potrubí 125 mm. Možné jsou dvě varianty osazení ventilátoru – radiální potrubní ventilátor v půdním prostoru (**R1**) nebo radiální střešní ventilátor na konci stoupacího potrubí nad střechou (**S2**).

Tip. Větrací systém podloží můžeme i v jeho přirozené variantě navrhnout s menšími průměry potrubí odpovídajícími nucenému způsobu odvětrání. Při nedostatečné účinnosti osadíme na stoupací potrubí ventilátor.

3.3 Příklad 4 – Výpočet protiradonové izolace ve stávající stavbě v kombinaci s odvětráním podloží

Zvolme pro účely tohoto příkladu stávající přízemní nepodsklepený rodinný dům o stáří více než 100 let, jehož půdorys 1.NP je patrný z **Obr. 3.2c**. V obytných místnostech jsou staré prkenné podlahy na škvárovém podsypu, pouze v koupelně a vstupní chodbě jsou novější betonové podlahy s hydroizolací. Nosné stěny domu jsou převážně kamenné, jen některé části jsou ze smíšeného zdiva. Všechny místnosti mají světlou výšku 2,5 m. Větrání domu obstarávají stávající dřevěná dvojitá okna, která nebudou měněna. Součástí podlah na terénu není podlahové vytápění a ani se v budoucnu neplánuje.

Před rekonstrukcí domu bylo v 1.NP provedeno týdenní měření koncentrace radonu s následujícími výsledky: obytné místnosti 1 200–1 400 Bq/m^3, koupelna 1 650 Bq/m^3 a chodba 900 Bq/m^3. Nejvyšší hodnota v koupelně svědčí o netěsnostech kolem instalačních prostupů a na styku podlahy se stěnami, naopak nejnižší koncentrace v chodbě odpovídá nejvyšší intenzitě větrání netěsnými vstupními dveřmi. Příkon prostorového dávkového ekvivalentu nikde nepřesahuje hodnotu 0,2 µGy/h, což znamená, že radon nepochází ze stavebního materiálu, ale jednoznačně z podloží.



Obr. 3.2c. Půdorys přízemí RD k výpočtu protiradonové izolace se zakresleným větracím systémem podloží

Tip. Plánuje-li se rekonstrukce kontaktních konstrukcí (například podlah), je třeba vždy ještě před zahájením stavebních prací nechat změřit nejen koncentraci radonu v domě, ale i v podloží pod domem, aby se ochrana proti radonu provedla současně s rekonstrukcí.

Protiradonová opatření vycházejí ze stávajícího technického stavu domu. Jejich princip spočívá v odstranění prkenných podlah a podlahy v chodbě a v instalaci větracího systému podloží pod celým půdorysem domu. Součástí nových podlah bude protiradonová izolace, protože ji ale nelze vložit pod stávající stěny a ani nelze zajistit trvalou těsnost jejího napojení na stěny, bude provedena v kombinaci s odvětráním podloží. Drenážní potrubí se umístí po obvodě místností (**Obr. 3.2c**), aby se zabránilo transportu radonu spárou na styku nových podlah se stěnami. Pronikání radonu do domu podlahou v koupelně se odstraní odsávacím vrtem vedeným pod podlahu koupelny z výkopu v chodbě. Půdní vzduch z větracího systému podloží bude odváděn nuceně pomocí ventilátoru NPV 190/125 osazeného na konec stoupacího PVC potrubí vloženého do stávajícího nepoužívaného komínu (např. podle detailu **S1** v **Sešitu SRNA**).

Pro návrh protiradonové izolace je nezbytné znát koncentraci radonu v podloží, a proto bylo toto měření objednáno. Koncentrace byly měřeny v hloubce 80 cm v bezprostřední blízkosti domu a pod místnostmi s prkennými podlahami (tyče byly do zeminy zaráženy po navrtání otvorů do stávajících prken). Výsledkem měření je třetí kvartil koncentrace radonu v půdním vzduchu 78 kBq/m³.

Podloží bylo charakterizováno střední plynopropustností. Při výpočtu protiradonové izolace budeme ale uvažovat vysokou propustnost podloží, protože pod nové podlahy bude umístěna štěrková vrstva s potrubím odvětrávajícím podloží. Vzhledem k tomu, že zastavěná plocha domu je menší než 200 m², bude se návrhová hodnota koncentrace radonu v půdním vzduchu rovnat třetímu kvartilu, tj. C_s = 78 kBq/m³.

Majitel požaduje, aby koncentrace radonu v dokončeném domě nepřesáhla 150 Bq/m³. Tento požadavek je vzhledem ke způsobu ozdravení domu reálný, a proto C_{dif} položíme rovno 15 Bq/m³. Dům je větrán přirozeně, a proto se návrhová intenzita větrání n_{nh} = 0,2 h⁻¹. Výpočet E_{mez} tak nezávisí na volbě výpočtové místnosti. Do vztahu (4) proto můžeme za A_p dosadit jedničku a za V_k světlou výšku místnosti:

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \,.\, V_k \,.\, n_{nh}}{A_p + A_s} = \frac{15 \,.\, 2{,}5 \,.\, 0{,}2}{1 + 0} = 7{,}5 \text{ Bq/(m}^2\text{h)}.$$

Minimální radonový odpor nelze určit podle tabulky, protože návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu je větší než 60 kBq/m³, což je hranice, po kterou lze u vysoce propustných zemin tabulku použít. $R_{Rn,min}$ vypočítáme proto ze vztahu (3), do kterého za C_s dosadíme 78 kBq/m³ a α_1 položíme rovno 1,0 (podloží je větráno nuceně).

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \,.\, \alpha_1 \,.\, C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \,.\, 1{,}0 \,.\, 78\,000}{7{,}5} = 37{,}4 \text{ Ms/m}$$

Na protiradonovou izolaci bychom mohli použít například LDPE fólii Penefol 750 o tloušťce 0,8 mm, jejíž součinitel difuze radonu $D = 17.10^{-11}$ m²/s, difuzní délka radonu $l = 2{,}85.10^{-3}$ m a radonový odpor $R_{Rn} = 47{,}5$ Ms/m.

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \,.\, l} = \frac{\sinh(0{,}8/2{,}85)}{2{,}1.10^{-6} \,.\, 2{,}85.10^{-3}} = 47{,}5 \text{ Ms/m}$$

Z důvodu větší mechanické odolnosti proti poškození doporučuji použít fólii Penefol 750 v tloušťce alespoň 1,0 mm.

Poznámka

Projekt opatření musí kromě výpočtu protiradonové izolace vyřešit i způsob jejího těsného napojení na stávající stěny. Možnosti řešení uvádí detaily **I3.1**, **I3.2** a **I3.3** v **Sešitu I**.

4 NÁVRH PROTIRADONOVÉ IZOLACE V KOMBINACI S VENTILAČNÍ VRSTVOU

4.1 Princip výpočtu

Ventilační vrstva v nové stavbě

V nové stavbě se ventilační vrstva provádí vždy v kombinaci s protiradonovou izolací, která může být pod nebo nad ventilační vrstvou. Protiradonová izolace se navrhne podle vztahů (1) až (4). Do vztahu (3) se dosazují snížené hodnoty součinitele α_1 podle **Tab. 1.2c** v závislosti na tom, zda je ventilační vrstva větrána nuceně nebo přirozeně. Za C_s se dosazuje návrhová hodnota koncentrace radonu v půdním vzduchu.

Vzniká-li ve stávající stavbě s pobytovým prostorem v kontaktním podlaží zcela nová podlahová konstrukce s ventilační vrstvou, musí být její součástí protiradonová izolace nebo hydroizolace (o druhu izolace rozhoduje návrhová intenzita větrání). Návrh protiradonové izolace se v tomto případě provede obdobně jako u nových staveb.

Ventilační vrstva ve stávající stavbě oddělená od interiéru protiradonovou izolací

Nejprve se vypočte koncentrace radonu ve ventilační vrstvě C_{vv} a na tuto koncentraci se navrhne protiradonová izolace [1, 3]. Při návrhu izolace se postupuje již podle známých rovnic (1) až (4), do kterých se za C_s dosazuje C_{vv} a za součinitel α_1 hodnota z **Tab. 1.2c** v závislosti na tom, zda je ventilační vrstva větrána aktivně nebo pasivně.

Koncentrace radonu ve ventilační vrstvě stávající stavby je dána rovnicí (5)

$$C_{vv} = \frac{J_{vv}}{n_{vv} \,.\, V_{vv}} \quad [\text{Bq/m}^3] \qquad (5)$$

kde J_{vv} je rychlost přísunu radonu do ventilační vrstvy stanovená na základě měření koncentrace radonu v interiéru stavby podle vztahu (6)

$$J_{vv} = J_i \,.\, \frac{\Delta\rho_{vv}}{\Delta\rho_i} = C_i \,.\, n_{mi} \,.\, V_k \,.\, \frac{\Delta\rho_{vv}}{\Delta\rho_i} \quad [\text{Bq/h}] \qquad (6)$$

Intenzita větrání ventilační vrstvy n_{vv} v rovnici (5) se stanoví jako podíl objemového průtoku vzduchu Q_e přiváděného do ventilační vrstvy z exteriéru nebo interiéru a objemu vzduchu ve ventilační vrstvě V_{vv} podle (7):

$$n_{vv} = \frac{Q_e}{V_{vv}} \quad [\text{h}^{-1}] \qquad (7)$$

Ventilační vrstva ve stávající stavbě neoddělená od interiéru protiradonovou izolací

Nenachází-li se mezi ventilační vrstvou a interiérem protiradonová izolace, navrhne se taková intenzita větrání ventilační vrstvy, která zajistí, že v ní nedojde k překročení návrhové hodnoty koncentrace radonu v interiéru stavby C_{nh} [1, 3]. Při výpočtu intenzity větrání n_{vv} se v tomto případě postupuje podle vztahu (8)

$$n_{vv} \geq \frac{J_{vv}}{C_{nh} \,.\, V_{vv}} \quad [\text{h}^{-1}] \qquad (8)$$

do kterého se za J_{vv} dosazuje rychlost přísunu radonu do ventilační vrstvy stanovená podle rovnice (6).

4.2 Příklad 5 – Výpočet protiradonové izolace nad přirozeně větranou ventilační vrstvou v nepodsklepené novostavbě

Ventilační vrstva bude vytvořena v novostavbě nepodsklepeného rodinného domu s půdorysem 1.NP podle **Obr. 4.1c**. Světlá výška místností je 2,6 m. Dům je větrán přirozeně pomocí větracích štěrbin v okenních rámech. Majitel si přeje, aby koncentrace radonu v domě nepřesáhla 100 Bq/m³. Radonový index stavebního pozemku je vysoký (vysoká propustnost podloží, třetí kvartil koncentrace radonu v podloží 178 kBq/m³). Návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu se shoduje s třetím kvartilem, neboť zastavěná plocha domu je menší než 200 m². Radonový index stavby je rovněž vysoký, a proto na ochranu proti radonu nelze použít samotnou protiradonovou izolaci.

Výpočet E_{mez} není závislý na volbě výpočtové místnosti (dům je nepodsklepený, všechny místnosti mají stejnou

světlou výšku a stejnou návrhovou intenzitu větrání n_{nh} = 02 h^{-1}). Do vztahu (4) tak můžeme za A_p dosadit jedničku a za V_k světlou výšku místností.

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \,.\, V_k \,.\, n_{nh}}{A_p + A_s} = \frac{10 \,.\, 2{,}6 \,.\, 0{,}2}{1 + 0} = 5{,}2 \text{ Bq/m}^2\text{h}.$$

Zvolme na ochranu proti radonu kombinaci protiradonové izolace s ventilační vrstvou vytvořenou z plastových tvarovaných desek Desan 60, které se umístí mezi základové pasy na podkladní beton (přiměřeně podle detailu **M1.1 – Sešit M**). Desky se následně zalijí betonem, na který se položí protiradonová izolace. Desky Desan 60 vytvářejí ventilační vrstvu o světlé výšce h_{vv} 45 mm a s objemem vzduchu mezi nopy 0,047 m^3/m^2.

Ventilační vrstva prochází pod příčkami, je rozdělena pouze nosnými stěnami, pod kterými je proudění vzduchu zajištěnou větracími průduchy. Odvod vzduchu se uskutečňuje stoupacím potrubím o průměru 125 mm, které ústí do exteriéru nad střechou ve výšce 7 m nad rovinou ventilační vrstvy. Venkovní vzduch je do vrstvy přiváděn 4 otvory v rozích objektu o celkové ploše odpovídající průřezové ploše stoupačky. Jedná se tedy o princip šachtového větrání, u něhož je množství větracího vzduchu závislé na teplotním rozdílu mezi vnitřním a vnějším vzduchem a na rychlosti větru.

Minimální radonový odpor nelze určit podle tabulky, protože návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu je větší než 60 kBq/m^3, což je hranice, po kterou lze u vysoce propustných zemin tabulku použít. $R_{Rn,min}$ vypočítáme proto ze vztahu (3), do kterého za C_s dosadíme 178 kBq/m^3 a α_1 položíme rovno 4,0 (ventilační vrstva je větrána přirozeně).

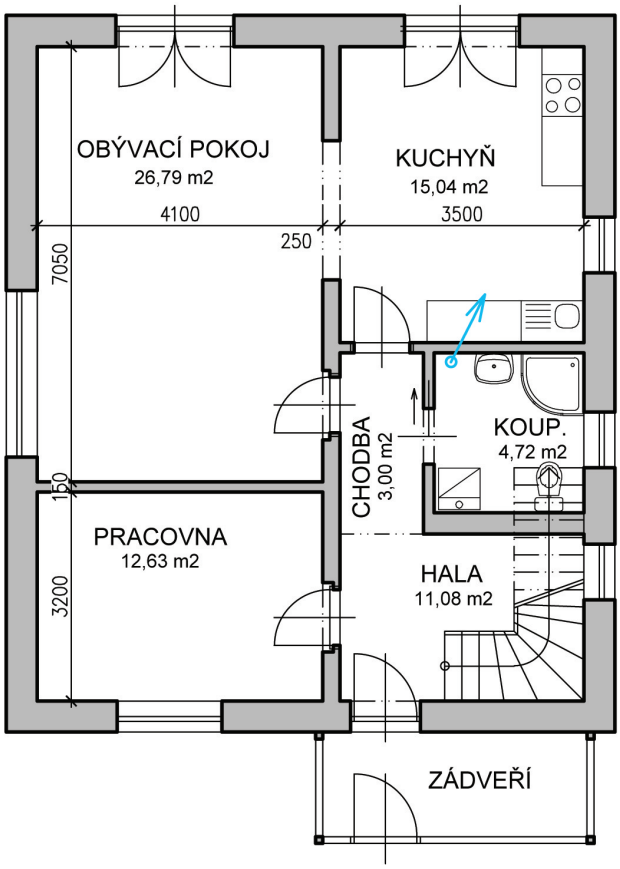
$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \,.\, \alpha_1 \,.\, C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \,.\, 4 \,.\, 178\,000}{5{,}2} = 492{,}9 \text{ Ms/m}$$

Vysoká koncentrace radonu v půdním vzduchu způsobila, že i při použití ventilační vrstvy, je minimální radonový odpor poměrně vysoký. I pro tyto situace je ale na trhu dostatek izolačních materiálů. Na protiradonovou izolaci můžeme například navrhnout PE fólii GP Titan (Juta a.s.), která má součinitel difuze radonu $D = 1{,}0.10^{-12}$ m^2/s, difuzní délku radonu $l = 0{,}69.10^{-3}$ m a při tloušťce 0,5 mm radonový odpor R_{Rn} = 545,0 Ms/m.

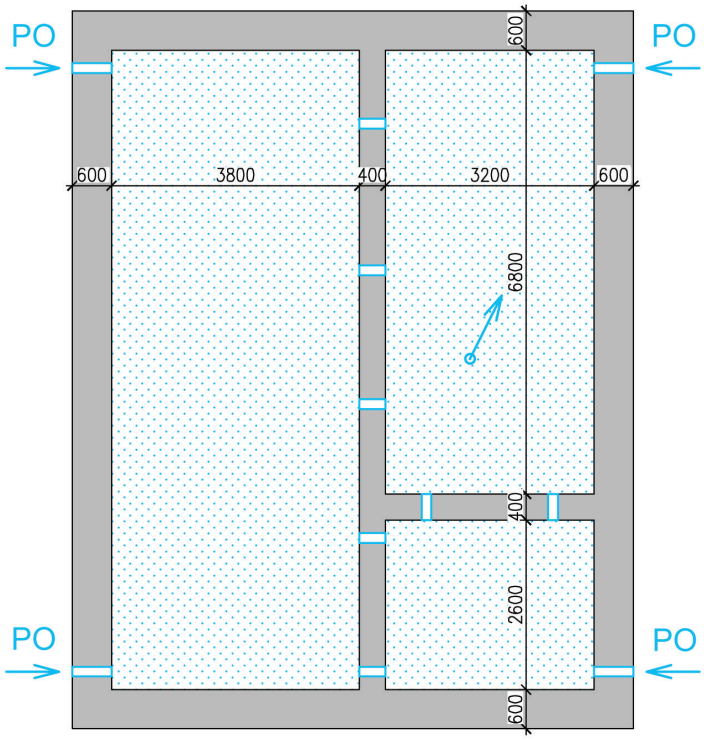
$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \,.\, l} = \frac{\sinh(0{,}5/0{,}69)}{2{,}1.10^{-6} \,.\, 0{,}69.10^{-3}} = 545{,}0 \text{ Ms/m}$$

Poznámky

1. U tenkých fóliových izolací je bezpodmínečně nutné zajistit jejich celistvost důslednou ochranou položené



Obr. 4.1c. Půdorys 1.NP



Obr. 4.2c. Ventilační vrstva mezi základovými pasy domu a způsob jejího větrání (PO – přívodní otvor)

izolace a kontrolou těsnosti spojů a prostupů. Jakákoliv netěsnost může vést k průniku radonu do interiéru.

2. Při nedostatečné účinnosti způsobené necelistvostí protiradonové izolace nebo málo funkčním odvětráním ventilační vrstvy se pasivní způsob odvětrání přemění na aktivní. Otvory přivádějící vzduch do ventilační vrstvy musí být v tomto případě zaslepeny.

3. ČSN 73 0601 (2019) v článku 6.4.5 požaduje, aby ventilační vrstvy, jejichž výška je mezi 20 mm a 50 mm a plocha větší než 30 m² byly větrány nuceně. To je případ i této ventilační vrstvy. Nicméně s přihlédnutím k jednoduchosti přeměny na aktivní větrání a dále ke skutečnosti, že se jedná o novou stavbu, je možné při návrhu vrstvy akceptovat pasivní způsob větrání. Musí však být učiněna taková opatření (například připraven přívod elektřiny k místu osazení ventilátoru), která v případě potřeby umožní rychlou a snadnou aktivaci systému.

4.3 Příklad 6 – Výpočet protiradonové izolace nad nuceně větranou ventilační vrstvou v nepodsklepené novostavbě

Uvažujme stejný rodinný dům jako v Příkladu 5, jehož 1.NP je na **Obr. 4.1c**. Parametry domu i podloží ponecháme stejné, takže z Příkladu 5 převezmeme E_{mez} = 5,2 Bq/m²h a C_s = 178 kBq/m³.

Na ochranu domu proti radonu použijeme kombinaci protiradonové izolace s ventilační vrstvou, kterou ale v tomto případě umístíme mezi nosné stěny domu nad protiradonovou izolaci (přiměřeně podle detailu **M2.1 – Sešit M**). Ventilační vrstva bude opět vytvořena z plastových tvarovaných desek Desan 60, které na půdoryse domu vytvoří vrstvu o celkovém vzduchovém objemu (pro výpočet půdorysné plochy ventilační vrstvy byly použity vzdálenosti mezi nosnými stěnami domu podle **Obr. 4.1c**)

V_{vv} = (4,1 . 10,4 + 2,9 . 3,5 + 7,3 . 3,5) . 0,047 =
= 78,34 . 0,047 = 3,68 m³.

Ventilační vrstvu budeme tentokrát větrat nuceně s odvodem vzduchu stoupacím potrubím nad střechu a přívodem vzduchu z interiéru prostřednictvím čtyřech průduchů s osazenou zpětnou klapkou. Vzhledem k malému objemu vzduchu ve ventilační vrstvě postačí k větrání ventilátor o malém výkonu osazený na stoupací potrubí (viz detaily **R1**, **R2**, **S1** a **S2** v **Sešitu SRNA**).

Minimální radonový odpor $R_{Rn,min}$ vypočítáme ze vztahu (3), do kterého za C_s dosadíme 178 kBq/m³ a α_1 položíme rovno 1,0 (ventilační vrstva je větrána nuceně).

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \,.\, \alpha_1 \,.\, C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \,.\, 1 \,.\, 178\,000}{5{,}2} = 123{,}2 \text{ Ms/m}$$

Nucené větrání ventilační vrstvy se projevilo 4krát nižším minimálním radonovým odporem. K dispozici je tedy větší množství izolačních materiálů než v Příkladu 5. Vhodné ale budou jen ty, které nebudou poškozeny tlakem nopů desek Desan, například polymerní fólie, tuhé stěrky a nátěry. Použijme fólii Junifol PELLD, která má součinitel difuze radonu $D = 8{,}0.10^{-12}$ m²/s, difuzní délku radonu $l = 1{,}95.10^{-3}$ m a při tloušťce 1,0 mm radonový odpor R_{Rn} = 130,8 Ms/m.

$$R_{Rn} = \frac{\sinh d/l}{\lambda \,.\, l} = \frac{\sinh(1{,}0/1{,}95)}{2{,}1.10^{-6} \,.\, 1{,}95.10^{-3}} = 130{,}8 \text{ Ms/m}$$

Tip. Ventilační vrstva nad protiradonovou izolací tvoří poslední pojistku před proniknutím radonu do interiéru. Nelze se zde tedy spoléhat na její pasivní odvětrání. Vždy je třeba počítat s odvětráním aktivním.

4.4 Příklad 7 – Výpočet odvětrání ventilační vrstvy ve stávající stavbě

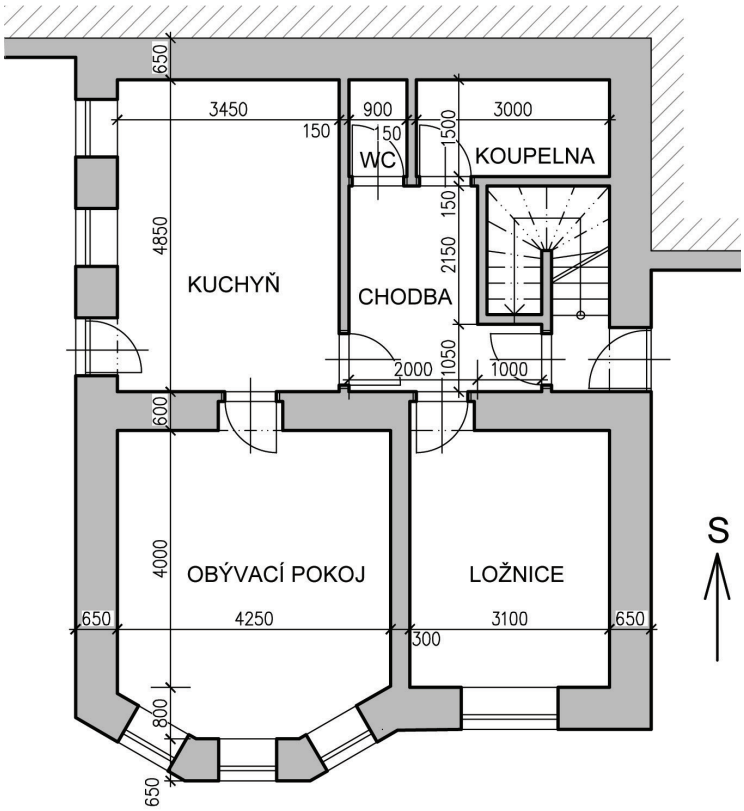
Úkolem je snížit koncentraci radonu ve stávající rodinné vile o třech nadzemních podlažích osazené ve svahu tak, že na severní a částečně i východní straně přiléhá zemina k domu na celou výšku 1.NP. Ve všech místnostech 1.NP, jehož půdorys je patrný z **Obr. 4.3c**, jsou funkční betonové podlahy, o jejichž hydroizolaci není nic známo. Součástí podlah na terénu není podlahové vytápění a ani se v budoucnu neplánuje. Nosné stěny domu jsou ze smíšeného zdiva; na stěnách přiléhajících k zemině je patrná zvýšená vlhkost až do výšky cca 1 m, což svědčí o tom, že stávající hydroizolace již není funkční. Všechny místnosti 1.NP mají světlou výšku 2,75 m. Větrání domu obstarávají nová dřevěná okna s izolačním dvojsklem a hygroregulovatelnými větracími štěrbinami, která v obytných místnostech zajišťují následující intenzity větrání: kuchyň 0,3 h⁻¹, obývací pokoj 0,25 h⁻¹ a ložnice 0,25 h⁻¹. Koupelna a WC jsou větrány odtahovým ventilátorem spínaným v závislosti na rozsvícení/zhasnutí světel v těchto místnostech.

Týdenní měření koncentrace radonu v 1.NP přineslo následující výsledky: kuchyň 1 950 Bq/m³, koupelna 2 130 Bq/m³, obývací pokoj 1 180 Bq/m³ a ložnice 860 Bq/m³. Příkon prostorového dávkového ekvivalentu nikde nepřesahuje hodnotu 0,2 µGy/h, což znamená, že radon nepochází ze stavebního materiálu, ale jednoznačně z podloží. Vzhledem k tomu, že měření koncentrace radonu neproběhlo ve všech místnostech, budeme při dalších výpočtech předpokládat, že koncentrace radonu na WC je shodná s koncentrací v koupelně a v chodbě odpovídá průměrné koncentraci z místností do chodby ústících, tj. (2 130 + 2 130 + 1 950 + 860)/4 = 1 768 Bq/m³.

Technický stav domu (funkční betonové podlahy, dostatečná světlá výška místností 2,75 m i vnitřních dveří 2,1 m) umožňuje zvolit protiradonové opatření na principu ventilačních vrstev aplikovaných přímo na vnitřní povrch konstrukcí, které jsou ve styku se zeminou. Vodorovná ventilační vrstva bude ve všech místnostech bytu vytvořena z HDPE desek Lithoplast Instal 40/1,5 (světlá výška vzduchové mezery cca 40 mm a objem vzduchu mezi nopy 0,0304 m^3/m^2). Po odstranění nášlapných vrstev se tyto desky položí na stávající betonové podlahy a následně se zalijí betonem, na který se umístí další podlahové vrstvy. Vodorovná ventilační vrstva neprobíhá pod stávajícími stěnami. K propojení mezi jednotlivými místnostmi dochází pouze pode dveřmi, kde jsou desky Lithoplast Instal kladeny bez přerušení. Z rozměrů místností na **Obr. 4.3c**, které odpovídají rozměrům ventilační vrstvy, vypočítáme objem vzduchu v celé vodorovné ventilační vrstvě (**Tab. 4.1c**).

Plocha vodorovné ventilační vrstvy (větší než 30 m^2) i její výška v rozmezí 20 mm až 50 mm vyžaduje podle čl. 6.4.5 ČSN 73 0601 (2019) nucené odvětrání. Vzduch je proto odváděn ventilátorem osazeným na stoupací potrubí č. 1 o průměru 125 mm, které je umístěno v rohu chodby a prochází celým domem až nad střechu. Lepšího rozšíření podtlaku ve ventilační vrstvě v obývacím pokoji je dosaženo větracím průduchem o rozměrech 150 × 40 mm vytvořeným u stoupacího potrubí pod nosnou stěnou v úrovni ventilační vrstvy (**Obr. 4.4c**).

Svislá ventilační vrstva kolem stěn přiléhajících k zemině v kuchyni, koupelně a WC bude vytvořena z HDPE nopové fólie Lithoplast 20/1,0 (světlá výška vzduchové mezery cca 20 mm a objem vzduchu mezi nopy 0,0145 m^3/m^2). Tato vrstva končí na betonu nad vodorovnými deskami Lithoplast Instal, tzn. že není propojena s vodorovnou ventilační vrstvou. Svislá vrstva nebude ani souvislá – je přerušena příčkami mezi místnostmi. Fólie bude aplikována na stěny po celé světlé výšce (při výpočtu plochy svislé ventilační vrstvy byla od světlé výšky odečtena tloušťka vodorovné vzduchové mezery a nabetonávky nad ní, tj. celkem 80 mm). Z rozměrů místností na **Obr. 4.3c** vypočítáme objem vzduchu v celé svislé ventilační vrstvě (**Tab. 4.2c**).



Obr. 4.3c. Půdorys 1.NP

Svislá ventilační vrstva bude rovněž větrána nuceně tak, že každá její část bude napojena na stoupací potrubí č. 2 s ventilátorem (**Obr. 4.4c**), které ústí nad střechou domu. Tato stoupačka je vedena podél stávajícího potrubí, které slouží k odvětrání hygienického zázemí.

Abychom mohli stanovit intenzitu větrání obou ventilačních vrstev, musíme nejprve vypočítat rychlost přísunu radonu do ventilačních vrstev v jednotlivých místnostech podle vztahu (6). Předpokládejme, že v době měření koncentrace radonu byl v domě podtlak Δ_{pi} = −2 Pa a že ventilační systémy vytvářejí ve ventilačních vrstvách jednotlivých místností podtlaky podle **Tab. 4.3c**. Výsledky výpočtu jsou uvedeny rovněž v **Tab. 4.3c**.

Tab. 4.1c. Plocha a objem vodorovné ventilační vrstvy v jednotlivých místnostech

Místnost	Rozměry (m)	Plocha A_{vv} (m^2)	Objem V_{vv} (m^3)
Kuchyň	4,85 × 3,45	16,7	0,51
Obývací pokoj	4,0 × 4,25 + 0,8 × 1,2 + 0,8 × 1,4	19,1	0,58
Ložnice	4,0 × 3,1	12,4	0,38
Chodba	3,2 × 2,0 + 1,05 × 1,0	7,5	0,23
Koupelna	1,5 × 3,0	4,5	0,14
WC	1,5 × 0,9	1,4	0,04
Celkem		**61,6**	**1,88**

Tab. 4.2c. Plocha a objem svislé ventilační vrstvy v jednotlivých místnostech

Místnost	Rozměry (m)	Plocha A_{vv} (m²)	Objem V_{vv} (m³)
Kuchyň	3,45 × 2,67	9,2	0,13
WC	0,9 × 2,67	2,4	0,03
Koupelna	4,5 × 2,67	12,0	0,17
Celkem		**23,6**	**0,33**

Tab. 4.3c. Rychlost přísunu radonu do ventilačních vrstev v jednotlivých místnostech

Místnost	V_k (m³)	n_{mi} (h⁻¹)	C_i (Bq/m³)	Δp_{vv} (Pa)	$\Delta p_{vv}/\Delta p_i$ (–)	J_{vv} (Bq/h)
Kuchyň	45,9	0,3	1 950	−3	1,5	40 277
Obývací p.	52,5	0,25	1 180	−2,5	1,25	19 359
Ložnice	34,1	0,25	860	−3	1,5	10 997
Chodba	20,6	0,3	1 768	−3,5	1,75	19 121
Koupelna	12,4	0,5	2 130	−3	1,5	19 809
WC	3,9	0,5	2 130	−3	1,5	6 230

Protože jsou vodorovná a svislá ventilační vrstva vzájemně odděleny, musíme v místnostech, kde jsou současně obě tyto vrstvy, rozhodnout, jaká část z přísunu radonu do dané místnosti se uskutečňuje podlahou a jaká část stěnou. Podlahy bývají z tohoto pohledu významnější přísunovou cestou, a proto zvolme poměr 70 % podlahou a 30 % stěnou. Za tohoto předpokladu bude celková rychlost přísunu radonu do vodorovné ventilační vrstvy

$$J_{vv}^{vod} = 0{,}7 \,.\, 40\,277 + 19\,359 + 10\,997 + 19\,121 + 0{,}7 \,.\, 19\,809 + 0{,}7 \,.\, 6\,230 = 95\,898 \text{ Bq/h}$$

a do svislé ventilační vrstvy

$$J_{vv}^{svis} = 0{,}3 \,.\, 40\,277 + 0{,}3 \,.\, 19\,809 + 0{,}3 \,.\, 6\,230 = 19\,895 \text{ Bq/h}$$

Předpokládejme nejprve, že ventilační vrstvy nejsou odděleny od interiéru protiradonovou izolací. V tomto případě je potřeba stanovit minimální intenzitu větrání ventilačních vrstev podle vztahu (8) tak, aby v nich nebyla překročena návrhová hodnota koncentrace radonu v interiéru. Přáním majitele je, aby koncentrace radonu v ozdraveném domě nepřesáhla 250 Bq/m³, takže C_{nh} = 250 Bq/m³. Minimální intenzita větrání vodorovné ventilační vrstvy bude

$$n_{vv}^{vod} \geq \frac{J_{vv}^{vod}}{C_{nh} \,.\, V_{vv}^{vod}} = \frac{95\,898}{250 \,.\, 1{,}88} = 204 \text{ h}^{-1}$$

a svislé ventilační vrstvy

$$n_{vv}^{svis} \geq \frac{J_{vv}^{svis}}{C_{nh} \,.\, V_{vv}^{svis}} = \frac{19\,895}{250 \,.\, 0{,}33} = 241 \text{ h}^{-1}$$

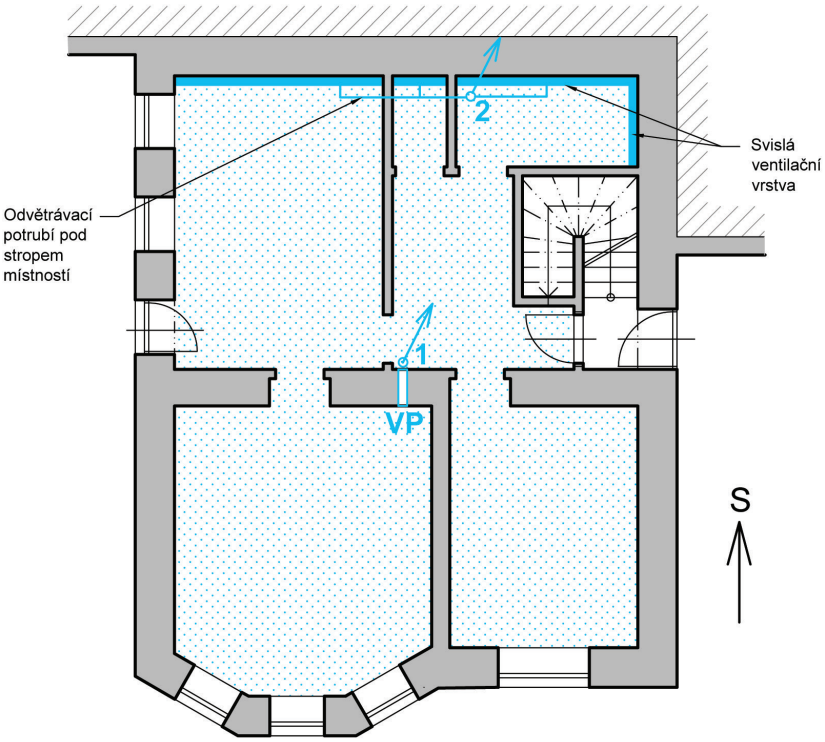
Vodorovnou ventilační vrstvu bude tedy třeba větrat minimálním množstvím vzduchu

$$Q_e^{vod} = n_{vv}^{vod} \,.\, V_{vv}^{vod} = 204 \,.\, 1{,}88 = 384 \text{ m}^3/\text{h}$$

a svislou ventilační vrstvu objemovým množstvím vzduchu

$$Q_e^{svis} = n_{vv}^{svis} \,.\, V_{vv}^{svis} = 241 \,.\, 0{,}33 = 80 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Obr. 4.4c. Ventilační vrstvy a způsob jejích větrání (VP – větrací průduch)



Na tyto průtoky větracího vzduchu se navrhnou ventilátory. Vzhledem k podtlaku, který budou ve ventilačních vrstvách vytvářet, budou moct být ve skutečnosti provozovány s nižším výkonem. Podtlak bude totiž bránit tomu, aby radon z ventilačních vrstev pronikal do místností. Takže i případná vyšší koncentrace radonu ve ventilační vrstvě by neměla mít vliv na koncentraci radonu v interiéru.

Poznámky

1. Příklad ukazuje, že i při poměrně vysokých koncentracích radonu v interiéru není nutné používat ventilátory o značných výkonech, neboť objemová množství větracího vzduchu jsou malá.

2. Svislou ventilační vrstvu by místo stoupacího potrubí vedeného interiérem bylo možné odvětrávat svislým potrubím vedeným v obvodové stěně domu, které by vyúsťovalo do exteriéru v dostatečné výšce nad terénem (přiměřeně podle detailu **M5.4**). Použil by se nástěnný ventilátor osazený na ústí potrubí (např. podle **N1**). Horizontální potrubí propojující jednotlivé části ventilační vrstvy by se umístilo do drážky při vnitřním povrchu stěny.

3. Propojení svislé a vodorovné ventilační vrstvy je vhodné u půdorysně menších objektů s jednodušším geometrickým tvarem vrstev (bez jejich dělení vnitřními stěnami), kdy je možné dosáhnout z jednoho odsávacího místa dostatečného podtlaku ve všech částech ventilační vrstvy.

4. Svislou ventilační vrstvu by nebylo nutné vytvářet, kdyby se podařilo suterénní stěnu izolovat z exteriéru.

Tip. Tvoří-li ve stávajících stavbách ventilační vrstva jedinou zábranu proti pronikání radonu do interiéru, vždy navrhujeme její nucené odvětrání.

4.5 Příklad 8 – Výpočet protiradonové izolace nad ventilační vrstvou ve stávající stavbě

Uvažujme stejný dům i stejný rozsah nuceně větraných ventilačních vrstev jako v Příkladu 7. Tentokrát však předpokládejme, že ventilační vrstvy jsou od interiéru odděleny protiradonovou izolací. V tomto případě musíme nejprve vypočítat koncentraci radonu ve ventilační vrstvě C_{vv}, na kterou následně navrhneme protiradonovou izolaci. Výpočet provedeme podle vztahu (5), do kterého dosadíme objemy ventilačních vrstev a rychlosti přísunu radonu do ventilačních vrstev, které jsme již dříve stanovili v Příkladu 7. K větrání ventilačních vrstev použijeme ventilátory s podstatně menším výkonem, což se projeví i nižší intenzitou větrání ventilačních vrstev (uvažujme = n_{vv}^{vod} 5,0 h^{-1} a n_{vv}^{svis} = 2,0 h^{-1}). Koncentrace radonu ve vodorovné ventilační vrstvě potom bude

$$C_{vv}^{vod} = \frac{J_{vv}^{vod}}{n_{nh}^{vod} \cdot V_{vv}^{vod}} = \frac{95\,898}{5 \cdot 1{,}88} = 10\,202 \text{ Bq/m}^3$$

a ve svislé ventilační vrstvě

$$C_{vv}^{svis} = \frac{J_{vv}^{svis}}{n_{nh}^{svis} \cdot V_{vv}^{svis}} = \frac{19\,895}{2 \cdot 0{,}33} = 30\,144 \text{ Bq/m}^3$$

Z praktických důvodů použijeme stejnou protiradonovou izolaci jak na podlahy, tak na suterénní stěny. Proto za C_s dosadíme vyšší z hodnot C_{vv}^{vod} a C_{vv}^{svis}, tedy $C_s = C_{vv}^{svis}$. Abychom byli schopni vypočítat minimální radonový odpor, musíme ještě stanovit E_{mez}. Za výpočtovou místnost zvolíme kuchyň, protože tam jsou dvě kontaktní konstrukce – podlaha a stěna. Předpokládejme, že tentokrát majitel požaduje, aby koncentrace radonu v domě nebyla větší než 150 Bq/m^3, tedy C_{nh} = 150 Bq/m^3. Pro přirozené větrání interiéru dostaneme následující hodnoty:

$$E_{mez} = \frac{C_{dif} \cdot V_k \cdot n_{nh}}{A_p + A_s} = \frac{15 \cdot 45{,}9 \cdot 0{,}2}{16{,}7 + 9{,}2} = 5{,}3 \text{ Bq/(m}^2\text{h)}$$

a

$$R_{Rn,min} = \frac{3\,600 \cdot \alpha_1 \cdot C_s}{E_{mez}} = \frac{3\,600 \cdot 1 \cdot 30\,144}{5{,}3} = 20{,}5 \text{ Ms/m}$$

Na protiradonovou izolaci budou tedy vhodné materiály s radonovým odporem větším než 20,5 Ms/m, například některá z polymercementových stěrek aplikovaná v příslušné tloušťce.

5 DOMY S IZOLAČNÍM PODLAŽÍM

5.1 Princip výpočtu

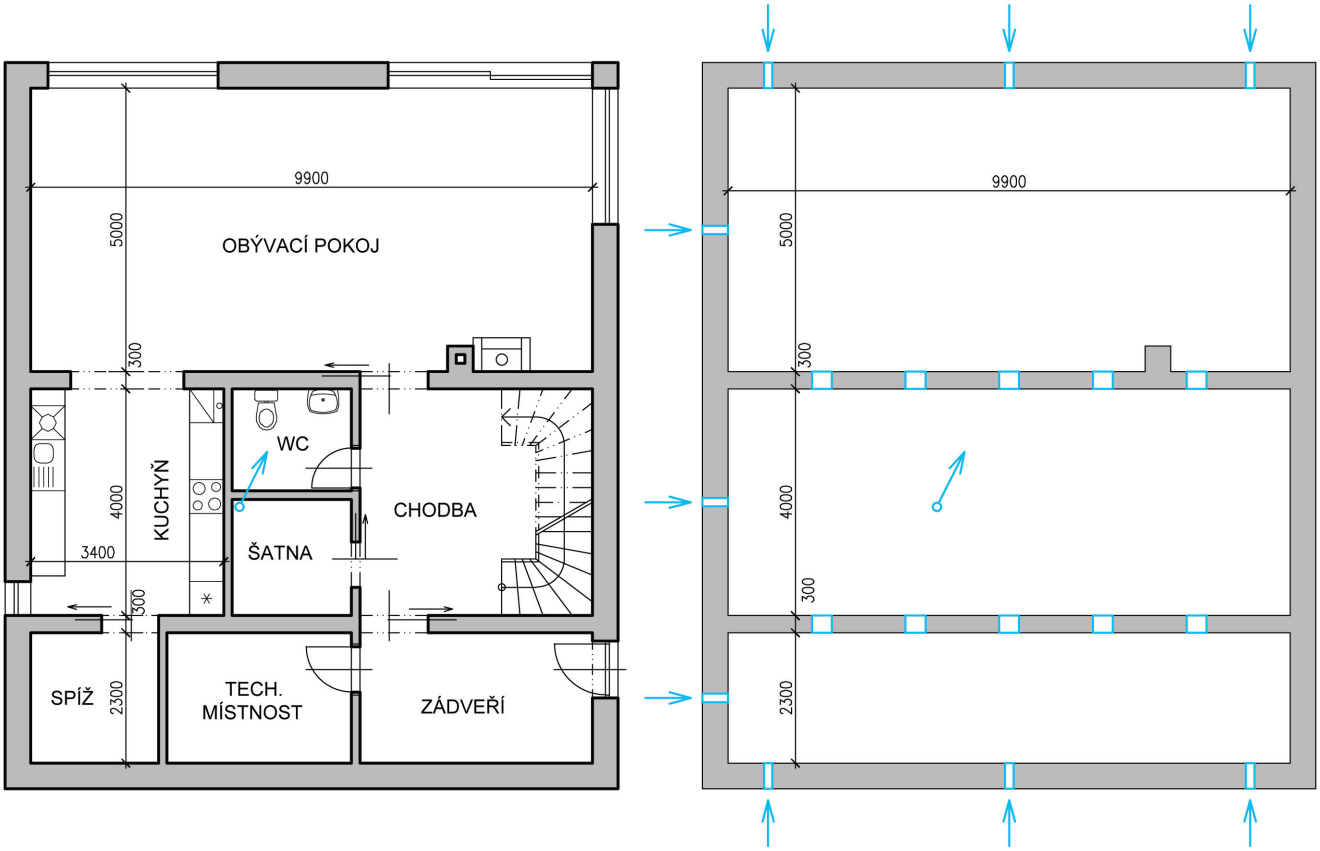
Smyslem návrhu je stanovit takovou intenzitu větrání izolačního podlaží, při které bude koncentrace radonu v izolačním podlaží nižší, než je trojnásobek návrhové hodnoty koncentrace radonu v pobytovém prostoru stavby C_{nh}.

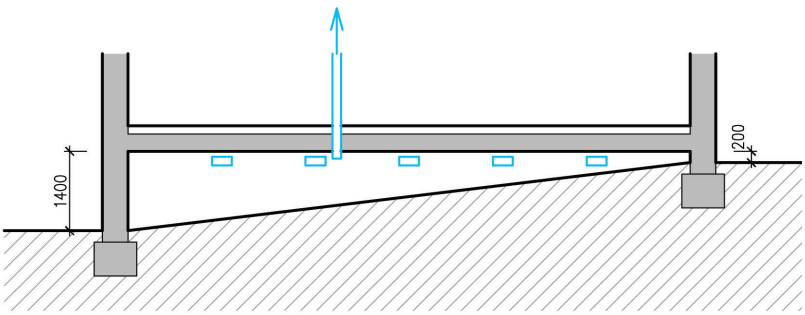
U stávajících izolačních podlaží, v nichž je možné koncentraci radonu změřit, se minimální intenzita větrání stanoví podle vztahu (9). Není-li možné provést měření koncentrace radonu (například u nově projektovaných staveb), stanoví se minimální intenzita větrání izolačního podlaží podle vztahu (10).

$$n_{ip} \geq \frac{C_{ip} \cdot n_{mi}}{3C_{nh}} \text{ [Bq/m}^3\text{]} \qquad (9)$$

$$n_{ip} \geq \frac{T_{Rn} \cdot C_s}{3C_{nh} \cdot h_{ip}} \text{ [Bq/m}^3\text{]} \qquad (10)$$

Není-li možné zajistit v izolačním podlaží intenzitu větrání vypočtenou podle výše uvedených vztahů, sníží se přísun





Obr. 5.1c. Půdorys 1.NP

Obr. 5.2c. Půdorys a řez izolačním podlažím s přirozeným odvětráním

radonu z podloží do izolačního podlaží utěsněním povrchu zeminy v izolačním podlaží, nebo se stropní konstrukce nad izolačním podlažím provede v 2. kategorii těsnosti, tj. s hydroizolací.

5.2 Příklad 9 – Výpočet intenzity větrání izolačního podlaží projektované stavby

Předpokládejme, že novostavba rodinného domu s půdorysem 1.NP podle **Obr. 5.1c** je umístěna na izolačním podlaží podle **Obr. 5.2c**. Izolační podlaží vyrovnává přirozený sklon terénu, a proto se jeho světlá výška mění od 0,2 m po 1,4 m. Průměrná výška izolačního podlaží h_{ip} = 0,8 m. Koncentrace radonu ve stavbě by podle přání investora neměla překročit 100 Bq/m^3, tedy C_{nh} = 100 Bq/m^3.

Radonový index stavebního pozemku je vysoký (vysoká propustnost podloží, třetí kvartil koncentrace radonu v podloží 192 kBq/m^3). Zastavěná plocha domu je menší než 200 m^2, a proto je návrhová koncentrace radonu v půdním vzduchu C_s rovna hodnotě třetího kvartilu stanovené při radonovém průzkumu pozemku, tj. C_s = 192 kBq/m^3.

Minimální potřebnou intenzitu větrání izolačního podlaží stanovíme podle vztahu (10).

$$n_{ip} \geq \frac{T_{Rn} \cdot C_s}{3C_{nh} \cdot h_{ip}} = \frac{0{,}002 \cdot 192\,000}{3 \cdot 100 \cdot 0{,}8} = 1{,}6\ \mathrm{h}^{-1}$$

Intenzitě větrání 1,6 h^{-1} odpovídá objemový tok větracího vzduchu

$$Q_e = n_{ip} \,.\, V_{ip} = 1{,}6 \,.\, 89{,}5 = 143{,}2 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Přívod vzduchu do izolačního podlaží bude zajišťovat celkem 9 větracích otvorů rozmístěných rovnoměrně ve třech obvodových stěnách podle **Obr. 5.2c** a odvod vzduchu jedno stoupací potrubí o průměru 150 mm. Pro zajištění spolehlivého větrání v průběhu celého roku lze na stoupací potrubí osadit ventilátor.

Poznámka

Kdyby z výše uvedeného výpočtu vyplynula nutnost větrat izolační podlaží o takové intenzitě větrání, která by byla neekonomická, nebo by bylo problematické ji zajistit, snížil by se přísun radonu do izolačního podlaží utěsněním povrchu zeminy, nebo by se do stropu nad izolačním podlažím vložil souvislý hydroizolační povlak.

5.3 Příklad 10 – Výpočet intenzity větrání izolačního podlaží stávající stavby

Použijme stejný objekt jako v Příkladu 9 (**Obr. 5.1c**) s přirozeně větraným izolačním podlažím podle **Obr. 5.2c**, ale s menším počtem větracích otvorů v obvodových stěnách.V obytných místnostech domu koncentrace radonu vysoko přesahují referenční úroveň 300 Bq/m³. Radon do obytné části domu proniká přes izolační podlaží, ve kterém byla současně změřena intenzita větrání n_{mi} = 0,7 h^{-1} a koncentrace radonu C_{ip} = 3 120 Bq/m³. Majitel požaduje snížení koncentrace radonu na 150 Bq/m³.

Minimální potřebnou intenzitu větrání izolačního podlaží stanovíme podle vztahu (9).

$$n_{ip} \geq \frac{C_{ip} \,.\, n_{mi}}{3C_{nh}} = \frac{3\,120 \,.\, 0{,}7}{3 \,.\, 150} = 4{,}9 \text{ h}^{-1}.$$

Stávající větrací systém izolačního podlaží by měl být upraven tak, aby docházelo k jeho provětrávání objemovým tokem větracího vzduchu

$$Q_e = n_{ip} \,.\, V_{ip} = 4{,}9 \,.\, 89{,}5 = 438{,}6 \text{ m}^3/\text{h}.$$

V tomto případě bude výhodné zvýšit intenzitu větrání jen částečně a jako doplňkové opatření provést utěsnění povrchu zeminy, což by mělo snížit koncentraci radonu v izolačním podlaží.

Poznámky

1. Je-li nad izolačním podlaží stropní konstrukce na bázi dřeva, závisí použití a poloha hydroizolačního povlaku v této stropní konstrukci na tepelně technickém posouzení.

2. Utěsnění povrchu zeminy snižuje zároveň relativní vlhkost vzduchu v izolačním podlaží.

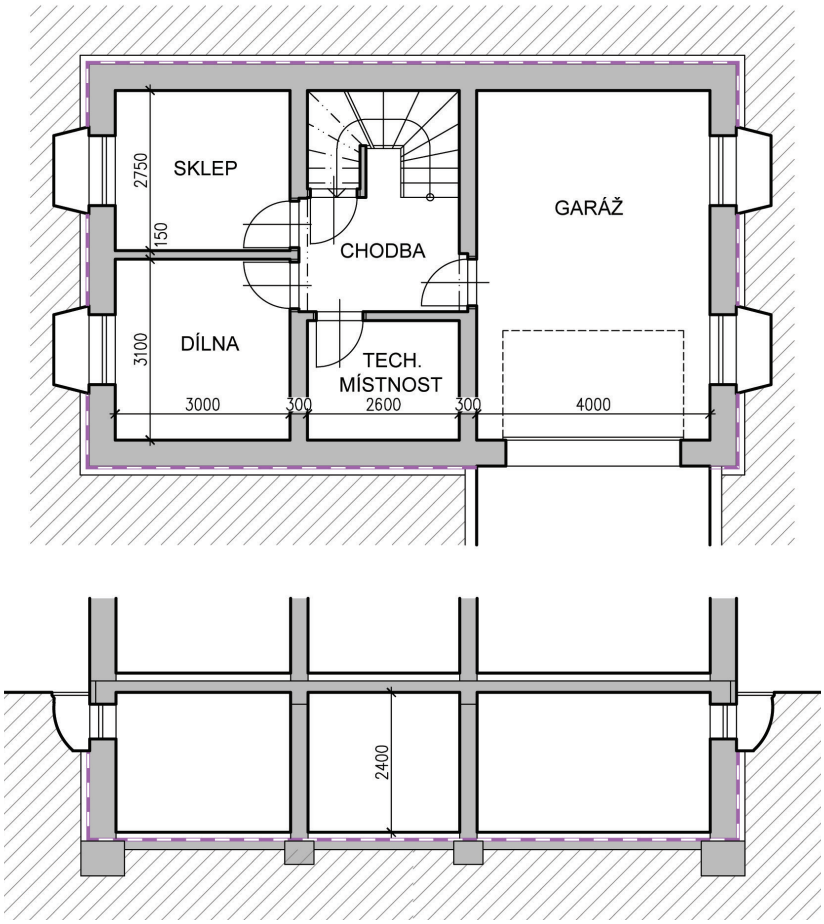
3. Alternativou k aktivnímu odvětrání izolačního podlaží je aktivní odvětrání podloží pod utěsněným povrchem zeminy. Výhodou je menší průtok větracího vzduchu izolačním podlažím a tím i menší ochlazování stropu nad ním.

6 DOMY S KONTAKTNÍM PODLAŽÍM BEZ OBYTNÝCH MÍSTNOSTÍ

6.1 Princip výpočtu

Smyslem návrhu je stanovit takovou intenzitu větrání kontaktního podlaží, při které bude koncentrace radonu v kontaktním podlaží nižší, než je dvojnásobek návrhové hodnoty koncentrace radonu v pobytovém prostoru stavby C_{nh}.

Obr. 6.1c. Půdorys a řez podzemním podlažím



U stávajících staveb, v jejichž kontaktním podlaží je možné koncentraci radonu změřit, se minimální intenzita větrání stanoví podle vztahu (11). Není-li možné provést měření koncentrace radonu (například u nově projektovaných staveb), stanoví se minimální intenzita větrání kontaktního podlaží podle vztahu (12).

$$n_{kp} \geq \frac{C_{kp} \cdot n_{mi}}{2C_{nh}} \ [\mathrm{h}^{-1}] \qquad (11)$$

$$n_{kp} \geq \frac{T_{Rn} \cdot C_s \cdot A_{kp}}{2C_{nh} \cdot V_{kp}} \ [\mathrm{h}^{-1}] \qquad (12)$$

Není-li možné zajistit v izolačním podlaží intenzitu větrání vypočtenou podle výše uvedených vztahů, sníží se přísun radonu z podloží do kontaktního podlaží zvýšením těsnosti kontaktních konstrukcí, instalací větracího systému podloží, nebo provedením stropní konstrukce nad kontaktním podlažím v 2. kategorii těsnosti.

6.2 Příklad 11 – Výpočet intenzity větrání kontaktního podlaží projektované stavby

Představme si, že rodinný domek z Příkladu 1 (**Obr. 2.1c**) je podsklepen a dispozice podzemního podlaží je patrná z **Obr. 6.1c**. Ve sklepě se nenachází obytné místnosti, a proto je zde menší světlá výška 2,4 m. Okolní terén přiléhá k domu na celou výšku podzemního podlaží. Jako hydroizolace byl použit asfaltový modifikovaný pás Skloelast extra. Sklep je větrán přirozeně okny ústícími do větracích šachet.

Z radonového průzkumu stavební parcely je zřejmé, že dům bude stavěn na pozemku s vysokým radonovým indexem (propustnost podloží střední a třetí kvartil koncentrace radonu v podloží 91 kBq/m^3). Pro dům s jedním podzemním podlažím, zastavěnou plochou do 200 m^2 a s klesající plynopropustností podložních vrstev určíme návrhovou koncentraci radonu v půdním vzduchu jako 1,25 násobek třetího kvartilu, tedy C_s = 1,25 . 91 = 114 kBq/m^3.

Koncentrace radonu v obytných místnostech domu by na přání majitele neměla překročit návrhovou hodnotu C_{nh} =100 Bq/m^3.

Výpočet minimální potřebné intenzity větrání kontaktního podlaží provedeme pro sklep, pro nějž platí, že A_{kp} = 2,75 . 3,0 + (2,75 + 3,0) . 2,4 – 1,3 . 0,7 = 21,14 m^2 (byla odečtena plocha suterénní stěny, k níž přiléhá světlík) a V_{kp} = 2,75 . 3,0 . 2,4 = 19,8 m^3. Po dosazení do vztahu (12) vyjde potřebná intenzita větrání izolačního podlaží 1,2 h^{-1}.

$$n_{kp} \geq \frac{T_{Rn} \cdot C_s \cdot A_{kp}}{2C_{nh} \cdot V_{kp}} = \frac{0{,}002 \cdot 114\,000 \cdot 21{,}14}{2 \cdot 100 \cdot 19{,}8} = 1{,}2 \ \mathrm{h}^{-1}$$

Kdyby nebylo výhodné větrat kontaktní podlaží výše uvedenou intenzitou větrání, provedl by se ve stropní konstrukci nad kontaktním podlažím souvislý hydroizolační povlak.

LITERATURA

[1] ČSN 73 0601 (2019) Ochrana staveb proti radonu z podloží, ČAS, 2019

[2] Jílek K., Froňka A.: Metodika stanovení výměny vzduchu ve vnitřním ovzduší budov s využitím pasivních integrálních měřidel indikačních plynů. Metodika certifikovaná SÚJB. Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. Praha, 2016

[3] Jiránek M.: Ochrana staveb proti radonu podle revidované ČSN 73 0601. Materiály pro stavbu 25/2019, 58-60. ISSN 1213-0311

[4] Jiránek M.: Změny v navrhování protiradonových opatření podle revidované ČSN 73 0601. TZB-info: portál pro technická zařízení budov. 2019, ISSN 1801-4399

[5] Jiránek M., Honzíková M.: Radon – stavební souvislosti ČVUT v Praze, 2020

[6] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

[7] WHO handbook on indoor radon, a public health perspective, WHO 2009

[8] Draft safety guide DS421 Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. IAEA 2012

[9] Euratom directive proposal laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. The Council of The European Union, 2012

[10] Software Radon 2019. Svoboda software, Kladno 2019

prof. Ing. Martin Jiránek, CSc., Ing. Milena Honzíková

RADON – STAVEBNÍ SOUVISLOSTI

Sešit C – Výpočty opatření podle ČSN 73 0601
Dimenzování protiradonových opatření ze sešitů I, P, M

Pro Státní úřad pro jadernou bezpečnost vypracovala Fakulta stavební ČVUT v Praze,
Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6
Vydalo České vysoké učení technické v Praze
Grafická úprava Michaela Kubátová Petrová
3. přepracované vydání, 23/231 stran sešitu/publikace.