



SMERNICA ZA GRADNJO RADONSKO VARNIH NOVIH STAVB NOVOGRADENJ

V Ljubljani, november 2017

Friderik KNEZ, dr. Katja MALOVRH REBEC, dr. Nataša KNEZ





Vsebina

1	Predgovor	4
2	Uvod	4
3	Problematika radona pri novogradnjah	7
3.1	Kaj je radon	7
3.2	Učinki radona na zdravje	8
4	Značilnosti novogradenj	10
4.1	Veliki (javni) objekti	10
4.2	Večstanovanjski objekti	11
4.3	Enodružinske stavbe	11
4.4	Primerjava parametrov	11
5	Ugotovitve glede tipologije stavb	16
6	Pregledani dokumenti	17
6.1	Dokumenti in viri	17
6.2	Izhodišča dokumentov	18
6.3	WHO	18
7	Podrobnejša analiza tehničnih usmeritev za novogradnje	18
7.1	ZDA	19
7.2	Velika Britanija	21
7.3	Primerjava smernic po tematikah	24
8	Sklep glede izbire oziroma izdelave pristopa	26
9	Tehnična izhodišča za sistem (aktivnega) prezračevanja zemljine	28
9.1	Pretakanje radona pod talno konstrukcijo in zajem radona	30
9.2	Prepustni sloj	30



9.3	Zbiranje radona pod zemljo	31
9.4	Radonski razvod.....	34
9.5	Tesnjenje	36
9.6	Ventilator	38
9.7	Izpust	40
9.8	Označevanje	41
9.9	Predajanje v uporabo in nadzor nad delovanjem sistema	42
9.10	Občasna merjenja koncentracij radona	42
10	Sistem z nadtlakom.....	42
10.1	Nadtlak.....	43
10.2	Smernica za sistem z nadtlakom	43
10.3	Vzdrževanje	44



1 Predgovor

Dokument je nastal na pobudo Uprave RS za varstvo pred sevanji pri Ministrstvu za zdravje RS.

V okviru naslavljanja problematike radona v stavbah v Sloveniji različni akterji delujejo že več desetletij. Pričujoči dokument predstavlja ukrepe, ki jih je smiselno izvesti pred izvajanjem – torej pri projektiranju novogradenj od faze idejnega projekta naprej.

Dokument podaja povzetke potrebnih analiz, prakse, ki so uveljavljene v tujini, ter koncepte in osnovne napotke za izvajanje radonsko varnih stavb.

Specifika vsake stavbe, vključno z zemljiščem, na katerem bo stavba stala, zahteva, da uveljavljene ukrepe radonsko varne gradnje (npr. iz ZDA) prilagodimo slovenskemu načinu gradnje in slovenskim stavbam. Te razlike, čeprav niso zelo velike, poleg formalnih razlogov, narekujejo potrebo po izdelavi lastne, slovenske metodologije.

Pričujoča navodila so prvi dokument o radonsko varnih novogradnjah v Sloveniji. Obsega najpogostejše primere, ne obsega pa vseh variant in vseh možnih situacij. Podaja temeljne usmeritve, ki projektantu stavbe omogočajo pravilno zasnovo radonsko varnih stavb ob uporabi siceršnjega potrebnega inženirskega znanja za projektiranje.

Eden od namenov analize je tudi narediti korak v smeri implementacije konceptov radonsko varne gradnje v slovensko gredbeno zakonodajo.

Predvideno je, da se bo smernica sčasoma dopolnjevala z novimi izsledki.

2 Uvod

- (1). Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji v okviru svojih nalog skrbi tudi za obvladovanje problematike povišane koncentracije radona Rn^{222} v stavbah, tako v obstoječih stavbah kot v novogradnjah.



- (2). Povišane koncentracije radona v stavbah so jasno zaznane kot problem varovanja zdravja. Primarni učinek na zdravje je povečanje tveganja za nastanek pljučnega raka.
- (3). Problem povišane koncentracije radona v prostorih je prisoten po celotni Sloveniji. Nekatera področja zaradi svoje geološke specifikke predstavljajo območja z višjim tveganjem.
- (4). Sistematično merjenje koncentracij radona v prostorih daje vedno bolj zanesljivo sliko dejanskega stanja glede koncentracije radona v bivalnih in delovnih prostorih. Vzporedno se izboljšuje kakovost podatkov o potencialnem tveganju zaradi radona.
- (5). Trenutno veljavna slovenska zakonodaja (2017) za graditev objektov problematike radona ne naslavlja sistematično. Zahteve glede omejevanja koncentracije radona so zapisane v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS, št. 42/02, 105/02 in 110/02 – ZGO-1), ki velja za novogradnje in tudi za rekonstrukcije stavb, če so za to dane tehnične možnosti.
- (6). Pravilnik iz (5). alineje velja za vse stavbe, razen za nestanovanjske kmetijske stavbe, industrijske stavbe in stavbe, ki se uporabljajo manj kot 4 mesece v letu.
- (7). Pravilnik iz (6). alineje v Prilogi 1, Tabela 7 določa kot dopustno letno povprečno koncentracijo radona v zraku 400 Bq/m^3 , ter priporočeno mejno vrednost 200 Bq/m^3 .
- (8). Pravilnik iz (6). alineje ne predvideva posebne tehnične smernice za projektiranje. Krovni zakon Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. 61/17) takšno smernico omogoča.
- (9). Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje (Uradni list RS, št. 18/13, 24/13 in 26/13) določa razmejitve med zahtevnimi in nezahtevnimi objekti. Konkretni kriteriji so podani v Prilogi 1.
- (10). Eden od kriterijev je tudi površina stavbe. Mejna velikost je odvisna od namembnosti stavbe. Za stavbe, ki spadajo v obseg Pravilnika iz alineje (5), je mejna velikost 2000 m^2 , razen za poslovne in upravne stavbe, trgovske stavbe in stavbe za storitveno dejavnost ter postajna poslopja, terminale in stavbe za izvajanje komunikacij, kjer je mejna velikost 4000 m^2 .



- (11). Definicija iz alineje (10) je uporabna tudi za razmejitev stavb v tej analizi.
- (12). Smernica EU št. DIREKTIVA SVETA 2013/59/EURATOM z dne 5. decembra 2013 v 54. členu določa, da morajo države članice določiti nacionalne referenčne nivoje za koncentracije radona na delovnih mestih. Referenčni nivo za letno povprečje koncentracij aktivnosti v zraku ne presega 300 Bq/m^3 , razen če tega ne opravičujejo prevladujoče okoliščine v državi.
- (13). Smernica EURATOM v 103. členu predvideva, da države članice zagotovijo sprejetje ustreznih ukrepov za preprečevanje vnosa radona v nove stavbe. Mednje lahko spadajo posebne zahteve iz nacionalnih gradbenih predpisov.

3 Problematika radona pri novogradnjah

3.1 Kaj je radon

Radon je kemijski element z vrstnim številom 86 in atomskim masnim številom 222, pri čemer je potrebno omeniti, da obstaja 46 različnih izotopov radona. Najbolj dolgoživ izotop radona je Rn^{222} z razpolovno dobo 3,82 dni. Razpolovno dobo ostalih izotopov merimo v minutah in krajših časovnih enotah. Zaradi kratke razpolovne dobe in ker večinoma ti izotopi ne razpadajo z α razpadom, drugih izotopov ne obravnavamo v kontekstu nevarnosti za zdravje.

Radon je element VIII valentne skupine. Spada med žlahtne pline in tvori enoatomne molekule. Je brez barve, vonja in okusa. Zaznamo ga tudi zaradi radioaktivnega razpada.

Radon nastaja v verigi potomcev uranove razpadne verige (niso prikazani vsi izotopi), ki je prikazana na sliki (Slika 1).

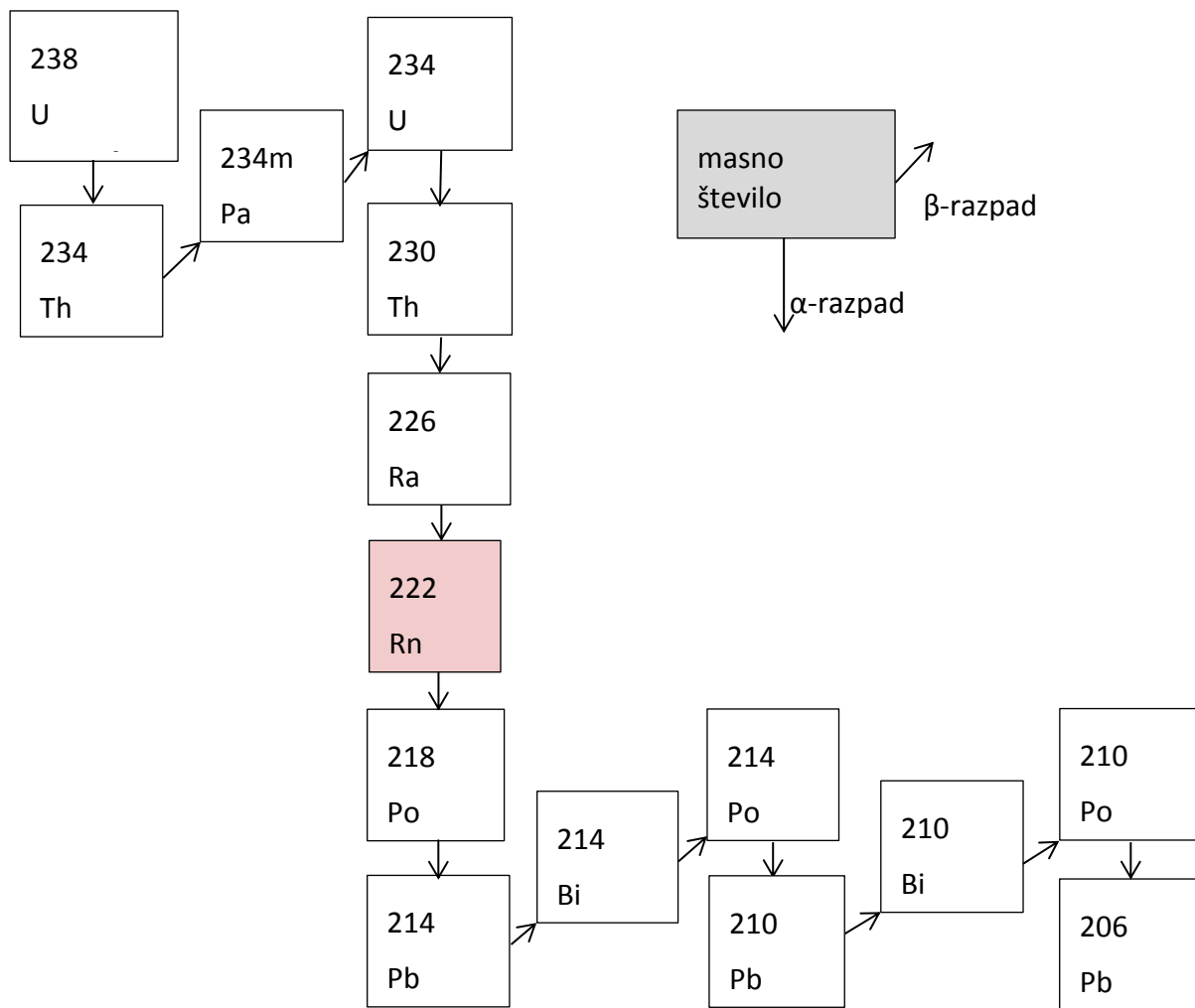
Primarni vir radona v stavbah je zemljina pod ali v neposredni okolici stavbe. Premikanje radona skozi zemljino v stavbo je predvsem konvektivno, posledica tlačnih razlik med plinom v zemljini in tlakom v prostorih, ki ležijo nad zemljino.

Difuzija radona skozi razne materiale je omejena in v veliki večini primerov ne prispeva bistveno h koncentraciji radona v zraku v stavbah. Zato lahko z uporabo primernih plasti med virom radona in zrakom v stavbi tok radona omejimo.

Poleg difuzije lahko radon v stavbo vstopa tudi z vodo, če gre za z radonom bogato vodo. V takih primerih se radon v notranjosti stavbe izloča iz vode.

V Sloveniji imamo opravka samo s prehajanjem radona v stavbo zaradi konvekcije. Difuzija in prenašanje z vodo sta zanemarljiva oziroma jih ne zaznavamo v omembe vrednih tokovih. Pomembno pa se je zavedati, da vsak preboj za radon neprepustnih slojev predstavlja potencialno vstopno točko za radon.

Razpadna veriga urana



Slika 1: uranova razpadna veriga.

3.2 Učinki radona na zdravje

Radon povzroča okrog 20.000 smrti zaradi raka na pljučih v zahodni in srednji Evropi vsako leto, kar je okrog 9% vseh pljučnih rakov in 2% vseh smrti zaradi raka. Povečanje vsebnosti radona za 100 Bq/m^3 poveča verjetnost za pljučnega raka za 16% (med 5% in 31% s 95% zanesljivostjo).



Verjetnost se podvoji pri okrog 600 Bq/m^3 glede na 0 Bq/m^3 ¹. V javnih stavbah, prednostno v izobraževalnih ustanovah namenjenih mlajši populaciji, je zato pomembna kontrola koncentracije radona. Zaščita mladostnikov pred škodljivimi vplivi radona je zelo pomembna. Pri tem je ključno omogočiti odgovornim osebam v javnih izobraževalnih ustanovah, da se pravilno odločijo, ter jih pravilno in pravočasno informirati.

Nacionalna raziskava iz let 2011-12 je pokazala povprečne koncentracije radona 340 Bq/m^3 (v hladnem obdobju) in 158 Bq/m^3 (v toplem obdobju). Povprečne koncentracije radona so najvišje nad karbonatnimi tlemi (404 Bq/m^3). Znano pa je, da kljub visokim koncentracijam radona v tleh, s pravilno gradnjo ali sanacijo lahko dosežemo nizke vrednosti v notranjih prostorih zgradb.

Lega Slovenije, predvsem področja kraških, močno prepustnih karbonatnih tal, narekuje relativno pogosto problematiko visokih koncentracij radona v stavbah. Te se splošna javnost zaveda v manjši meri, je pa zavedanje boljše za javne stavbe, predvsem za vzgojno izobraževalne ustanove, kjer potekajo redni inšpekcijski nadzori. Kljub temu je v Sloveniji prostor za vzpostavitev boljšega in bolj celovitega pristopa za reševanje radona v stavbah. Poleg osveščanja javnosti sodijo sem tudi jasna in dostopna navodila o tem, kdaj so potrebne meritve, katere vrste meritev so potrebne in kakšni so ukrepi za izboljšanje stanja ter seveda obvezna kontrola po vzpostavitvi novega stanja vključno z uradno potrditvijo pristojne inštitucije. Trenutno stanje dopušča mnogo izboljšav predvsem z vidika sistematičnega pristopanja in pomoči uporabnikom, ki se srečujejo z radonsko problematiko, v smislu lažjega dostopa do informacij o problematiki in navodil za sanacijo nastalega stanja.

¹ Schmid K; Kuwert T; Drexler H (marec 2010). **Radon in Indoor Spaces: An Underestimated Risk Factor for Lung Cancer in Environmental Medicine**. *Dtsch Arztebl Int* **107** (11): 181-6. PMC 2853156. PMID 20386676. doi:10.3238/arztebl.2010.0181.

PREGLED PRISTOPOV K PROJEKTIRANJU RADONSKO VARNIH STAVB

4 Značilnosti novogradenj

Pomembno je zavedanje, da z višanjem zakonodajnih zahtev za energijsko učinkovitost stavb, spreminjamo ustaljeni režim obvladovanja koncentracij radona v prostoru. Visoka tesnost ovoja stavbe ter povečevanje deleža stavb z mehanskim prezračevanjem med novogradnjami ima večkratne posledice za koncentracijo radona v stavbah:

- visoka tesnost ovoja stavbe² pomeni, da praktično ni izmenjave zraka med stavbo in zunanostjo na nekontroliran način.
- mehanski sistem v stavbi spremeni tlačne razmere v stavbi. Deluje lahko v nadtlaku (praviloma) ali v podtlaku. Delovanje v nadtlaku široko rečeno zmanjšuje vstop radona v stavbo, vendar se pojavi tveganje glede pravilne nastavitve sistema prezračevanja
- izvedba toplotno izolacijskega ovoja pogosto pomeni dokaj neprepustno opno okrog obodnih zidov stavbe; vendar je ta opna proti zemljini navzdol odprta, kar lahko povzroči nastanek kanalov, po katerih se radon iz zemljine pospešeno pretaka do npr. okenskih odprtín.

4.1 Veliki (javni) objekti

Veliki objekti spadajo v kategorijo zahtevnih stavb. Pogosto gre za večnadstropne stavbe s centralnim mehanskim prezračevanjem. Režim uporabe je lasten tej vrsti stavb: po urniku uporabe, konceptu vzdrževanja, poznavanju stavbe in vplivov na stavbo zaradi majhnih posegov,...

² Tesnost ovoja (n_{50}) merimo s številom izmenjav zraka v prostoru v eni uri v odvisnosti od tlačne razlike. Tipična ciljna vrednost sodobnih stavb (n_{50}) je manj kot enkratna izmenjava zraka pri tlačni razliki 50 Pa ($< 1,0 \text{ h}^{-1}$). Za stavbe, grajene v pasivnem standardu, je ta vrednost $0,6 \text{ h}^{-1}$. Ker je tlačna razlika v običajnih stavbah večino časa manj kot 50 Pa, lahko podamo oceno, da je efektivna izmenjava zraka reda velikosti med $0,3 \text{ h}^{-1}$ in $0,1 \text{ h}^{-1}$.

Posegi sanacije, tudi radonske, so praviloma precej zapleteni tako tehnično kot organizacijsko, zato je še posebej pomembno, da je radonsko varna že novogradnja.

4.2 Večstanovanjski objekti

Večstanovanjski objekti glede velikosti spadajo v skupino zahtevnih stavb. Praviloma gre za večnadstropne stavbe z razpršenim lastništvom. Režim uporabe stavb je stanovanjski režim. Vzdrževanje v teh stavbah je pogosto slabo, deloma ravno zaradi razpršenega lastništva. V primerjavi s poslovnimi stavbami so stanovalci v večstanovanjskih objektih bolj poučeni o lastnostih stavbe. Razpršeno lastništvo otežuje kasnejše posege, zato je ključno, da je že novogradnja izvedena brez napak.

4.3 Enodružinske stavbe

Enodružinske in dvodružinske stavbe praviloma spadajo med enostavne objekte. Lastništvo je navadno jasno in koncentrirano. Če je stavba grajena za znanega kupca, je vpliv slednjega na kakovost izvedbe lahko zelo velik. Režim uporabe teh stavb je podoben režimu uporabe večstanovanjskih stavb. Tudi te stavbe je potrebno graditi radonsko varno, čeprav je pri tem tipu tehnično najlažje izvesti morebitno sanacijo.

4.4 Primerjava parametrov

Na karakteristike novogradenj glede koncentracije radona v prostorih stavb vpliva več posamičnih značilnosti. Posamične značilnosti smo določili med strokovnjaki s področja radona z intervjuji.

Vpliv posamezne značilnosti tipa stavb so podani v tabeli (Tabela 1). Seznam ni nujno popoln, predstavlja pa zadostno osnovo za ugotovitve glede vpliva tipa stavbe na ukrepe za zmanjševanje koncentracije radona v prostorih stavb.

Tabela 1: značilnosti stavbe, ki posredno ali neposredno vplivajo na izvedbo ukrepov radonsko varne gradnje.

Značilnost	Pomen
Površina (običajna vrednost)	Tlorisna površina stavbe se lahko odraža v velikosti pozidane površine. Velika pozidana površina lahko omejuje doseg ukrepov za radonsko varno gradnjo in s tem neposredno vpliva na razporeditev in število sistemov.
Višina	Velika višina stavbe pomeni močnejše temeljenje in dodatne težave pri potencialno potrebni sanaciji. Velika višina pomeni tudi višji vlek in s tem večji pritisk radona v stavbo. Pomeni tudi praviloma močnejši veter, ki tudi vpliva na tlak v stavbi. Velika višina je faktor povečanega tveganja.
Raba stavbe	Režim rabe stavbe lahko zelo vpliva na zmogljivosti stavbe glede radona: urnik uporabe stavbe, režim zračenja, možnost upravljanja s stavbo
Lastništvo	Lastništvo stavbe (novogradnje) lahko pogojuje odnos do ukrepov za radonsko varno gradnjo, čeprav ta, če je pravilno načrtovana, ne predstavlja bistvenih stroškov ali tehnoloških težav pri gradnji.
Ovoj – izvedba	Izvedba ovoja stavbe glede tesnosti ovoja je odvisna od različnih dejavnikov, kot so uporabljeni elementi ovoja stavbe, detajlnost izvedbe in usposobljenost delavcev, stopnja tesnjenja stavbe,...

Značilnost	Pomen
Načrtovanje stavbe	Načrtovanje stavbe je ena ključnih faz pri izvedbi radonsko varne stavbe. Pomembno je, da že v projektni nalogi opozorimo na problematiko radona. Še bolj pa je pomembno, da ima odgovorni projektant potrebno znanje zasnove radonsko varnih stavb.
Prezračevanje stavbe	Koncept prezračevanja stavbe močno vpliva na zasnovo sistema za radonsko varno gradnjo. Prezračevanje je lahko naravno, mehansko, eno ali več consko, centralno ali lokalno, ter krmiljeno na osnovi različnih parametrov kakovosti zraka v prostorih. Mehansko prezračevanje z nadtlakom v nekaterih primerih lahko predstavlja tudi temeljni ukrep zaščite proti radon. Naravno prezračevanje pa je navadno prvi, začasni ukrep, ko gre za sanacijo stavb.
Krmiljenje prezračevalnega sistema	Krmiljenje prezračevanja je faktor, ki ga je treba obvladovati ne glede na to ali je prezračevalni sistem primarni ukrep obvladovanja problema radona ali ne, saj delovanje prezračevanja vpliva na delovanje protiradonskega sistema. Zato je smiselno, da pri naprednih krmilnih sistemih (CNS – centralni nadzorni sistem) prezračevanje upošteva tudi parametre delovanja protiradonskega sistema.
Stopenjski pristop k izvedbi	Pri implementaciji ukrepov za radonsko varno gradnjo lahko ukrepe izvajamo po stopnjah in sicer najprej na pasiven način in kasneje, če je potrebno, na aktiven način. Potrebno pa je upoštevati, da stopenjski pristop iz različnih razlogov (npr, režim rabe stavbe) morda ni izvedljiv v vseh primerih.
Izbira materialov za stavbo	Izbira materialov za gradnjo bistveno vpliva na izvedbo ukrepov za radonsko varno gradnjo.

Značilnost	Pomen
Proces gradnje	Proces gradnje obsega vse faze, vključno s projektiranjem stavbe in vključno s končno predajo stavbe in stavbnih sistemov v uporabo. Proces gradnje je odvisen od kakovosti celotne verige in je ena najpomembnejših točk radonsko varne gradnje.
Nadzor nad gradnjo	Nadzor, predpisan po zakonodaji za graditev, je dokaj ohlapno opredeljen in deloma prepuščen interpretaciji, V praksi se pogosto dogaja, da nadzor ni prisoten na gradbišču ves čas. S stališča radonsko varne gradnje je ključnega pomena, da je v fazah, ko se protiradonski sistem izvaja na nivoju terena, nadzor stalno aktivno prisoten na gradbišču, saj je potrebno veliko detajlnega dela, napake pa je kasneje težko ali nemogoče odpraviti.

Tabela 2: značilnosti posameznih vrst stavb.

Značilnosti	Velike stavbe (javne)	Večstanovanjske stavbe	Enodružinske hiše
Zahtevnost stavbe (praviloma)	Zahtevna	Zahtevna	Enostavna
Površina (običajna vrednost)	> 2000 m ²	> 2000 m ²	< 2000 m ²
Višina	Pogosteje večnadstropne	Praviloma večnadstropne	Praviloma enonadstropne
Raba stavbe	Poslovna	Stanovanjska	Stanovanjska
Lastništvo	Odvisno od primera, praviloma enotno	Razpršeno	Praviloma enotno



Ovoj – izvedba	Pogoste sistemske napake	Pogoste sistemske napake	Več posamičnih napak
Načrtovanje stavbe	Načrtovanje radonske zaščite je odvisno od znanja projektanta		
Prezračevanje stavbe	Praviloma mehansko prezračevanje, različni koncepti, običajno možnost odpiranja oken	Naravno ali decentralizirano prezračevanje, redkeje centralno prezračevanje	Mehansko centralno prezračevanje, kombinirano z naravnim prezračevanjem
Krmiljenje prezračevalnega sistema	Krmiljenje na osnovi kakovosti zraka ali s fiksnimi vrednostmi	Decentralizirano prezračevanje glede na (fiksno) nastavitev, redkeje krmiljeno glede na kakovost zraka	Mehansko centralno prezračevanje, nastavljeno (praviloma ni krmiljeno glede na kakovost zraka)
Stopenjski pristop k izvedbi	Stopenjski pristop k izvedbi sistema je mogoč, praviloma vse stopnje hkrati	Stopenjski pristop je mogoč, vendar odsvetovan zaradi potrebnih soglasij vseh lastnikov za vsako fazo	Manjšanje stroškov pogosto ustvari težnjo po stopenjskem pristopu. Stopenjski pristop je smiseln.
Izbira materialov za stavbo	Materiale predpisuje projektant, ni pričakovati spreminjanja materialov za radonski sistem	Materiale predpisuje projektant, ni pričakovati spreminjanja materialov za radonski sistem	Materiale izbira projektant, vpliv investitorja je zelo močan.
Proces gradnje	Proces gradnje je načeloma kakovosten, ključen je nadzor	Proces gradnje je načeloma kakovosten, ključen je nadzor	Proces gradnje želi biti kakovosten, vendar je pod velikim vplivom investitorja, ki navadno nima potrebnega znanja
Nadzor nad gradnjo	Nadzor obstaja, doslednost je vprašljiva	Nadzor obstaja, doslednost je vprašljiva	Nadzor pogosto ni prisoten



5 Ugotovitve glede tipologije stavb

Glede na tipologijo stavb in primerjavo, ki jo ponuja Tabela 2 lahko ugotovimo, da se glavne razlike pojavljajo na osi odnosa investitorja do gradnje, razlike pa nastajajo predvsem med zahtevnimi in enostavnimi stavbami. To ugotovitev je potrebno upoštevati pri analizi sistemov za radonsko varno stavbo. V določenih delih se zato navodila za sisteme za enostavne (majhne) stavbe lahko razlikujejo od navodil za zahtevne (velike) stavbe.

IDENTIFIKACIJA PRIMERNIH PRISTOPOV GLEDE NA RAZLIČNE TIPE NOVIH STAVB

6 Pregledani dokumenti

6.1 Dokumenti in viri

V okviru naloge smo analizirali spodnje vire, posebej vir (1), (2) in (4), ki govorijo o konkretnih ukrepih glede obvladovanja problematike radona pri novogradnjah.

- (1). Radon Prevention in the Design and Construction of Schools and Other Large Buildings, Third Printing with Addendum, *EPA (US Environmental Protection Agency)*, 1994
- (2). Building Radon Out. A step-by-Step Guide on how to build radon-resistant homes; *EPA (US Environmental Protection Agency)*, 2001
- (3). **Model Standards and Techniques for Control of Radon in New Residential Buildings**; *EPA (US Environmental Protection Agency)*, 1994 www.epa.gov/radon/pubs/newconst.html
- (4). Chris Scivyer: Radon: Guidance on protective measures for new buildings, IHS BRE Press, 2015
- (5). WHO handbook on indoor radon: a public health perspective, *World Health Organization* 2009

6.2 Izhodišča dokumentov

6.2.1 ZDA – smernice EPA

Smernici EPA za izvajanje radonsko varnih novogradenj celovito obravnavata pristop k problematiki tako s tehničnega kot tudi s finančnega vidika. Obe ključni smernici (1) in (2) dajeta dokaj natančna in razumljiva navodila o tem, kako izvesti protiradonski sistem. Smernici sta prosto javno dostopni. Sta del obsežnejše dokumentacije EPA za področje problematike radona. Sistem EPA obsega tudi podrobnejša navodila za izvajalce protiradonskih ukrepov, vzpostavljen pa je tudi sistem licenciranja teh izvajalcev. V tem sistemu obstajajo tudi podrobna navodila za dimenzioniranje sistema, ki pa niso javno dostopna.

Detajlnejša analiza in primerjava je v nadaljevanju.

6.2.2 Velika Britanija – smernice BRE

Smernica IHS BRE podaja osnovna izhodišča glede potrebe po radonsko varni gradnji ter predvideva ukrepanje na podlagi specifične obremenitve zemljišča z radonom. Ukrepe deli na osnovne in na celovite. Slednji predvidevajo uporabo aktivnih sistemov. Podaja tudi vrsto detajlov. Ne obravnava tehnike nižanja koncentracij radona s stavbo v nadtlaku. Smernica IHS BRE je javno dostopna proti plačilu.

6.3 WHO

Smernica WHO se po pristopu razlikuje od smernic EPA in BRE. Vsebinsko ni tako natančna glede izvajanja ukrepov protiradonske zaščite, je pa bolj splošna in zajema širši kontekst. Ne moremo je uporabiti kot osnovo za definicijo ukrepov, je pa dragocen vir informacij za razumevanje problematike.

7 Podrobnejša analiza tehničnih usmeritev za novogradnje

Podrobnejša analiza je usmerjena predvsem na informacije, pomembne za izvedbo sistema protiradonske zaščite. Osnovne skupine informacij, ki jih obravnavamo, so:

- vrsta sistema

- variante izvedbe
- prepustni sloj
- premostitev ovir (temeljev) v spodnjem sloju
- odvajanje radona
- ventilator in mehanski sistem
- funkcija tesnjenja
- ukrepi tesnjenja
- monitoring
- označevanje sistema
- predaja v uporabo

7.1 ZDA

7.1.1 Vrsta sistema (aktivni/pasivni):

Sistemi v smernicah EPA naslavljajo primarno sistem vzpostavljanja podtlaka pod talno konstrukcijo (ASD = active slab depressurization). Smernice govorijo tudi o nadtlaku v stavbi kot možni strategiji ter o tesnjenju konstrukcije.

Za sistem ASD navajajo naslednje ključne korake:

- prepustni sloj pod talno konstrukcijo
- odstranitev ovir za nemoten pretok zraka po prepustnem sloju
- namestitev sesalne zbirne cevi radonskega sistema
- namestitev ventilatorja za aktivno vzdrževanje podtlaka pod talno konstrukcijo
- zatesnitev glavnih vstopnih poti radona v stavbo

7.1.2 Variantne izvedbe:

Variante izvedbe so prilagojene gradnji v ZDA; ključne usmeritve so primerne za prenos tudi v Slovenijo. Variante izvedbe so:

ASD: aktivno vzdrževanje podtlaka pod talno ploščo – osnovna varianta sistema za zaščito pred radonom, ki ima več izvedbenih možnosti, nekatere so lastne načinu gradnje v ZDA.

Nadtlak: stavba v nadtlaku preprečuje vstop radona v stavbo; sistem ima nekaj šibkih mest.

Tesnjenje: odsvetovano kot osnovni ukrep zaščite.

7.1.3 Prepustni sloj:

Predvideti je potrebno prepustni sloj v debelini 10 – 15 cm; podane so specifikacije agregata po ASTM standardih. Namesto agregata je možno uporabiti tudi druge prepustne rešitve (drenažne sloje).

7.1.4 Premostitev ovir

Odstranitev ovir pomeni zagotoviti, da so posamezni segmenti prepustnega sloja med seboj dobro povezani, kar doseženo npr. s preboji skozi temelje. Smernica predvideva nekaj variant, zanimivih za ZDA.

7.1.5 Odvajanje radona

Odvajanje radona po ceveh je ključni del protiradonskega sistema – po njem se z radonom bogat zrak odvaja v zunanost mimo prostorov v stavbi. Radon najprej zbiramo v t.i. radonskih brezni, od tam pa ga po ceveh vodimo v zunanost. Podane so načelne lokacije in število potrebnih radonskih brezen. Smernice predvidevajo tudi alternativno varianto izvedbe z razvodom cevi.

7.1.6 Ventilator in mehanski sistem

Smernice podajajo osnovna navodila o ventilatorskem sistemu (velikost ventilatorja) in priključitvi. Ne podajajo detajlnih navodil za dimenzioniranje.

7.1.7 Funkcija tesnjenja

Tesnjenje obravnavajo kot ukrep, ki praviloma ne more biti samostojen.

7.1.8 Ukrepi tesnjenja

Smernice podajajo opis tehnike tesnjenja: osnovna navodila glede izbire materialov in izvedbe.

7.1.9 Monitoring

Monitoring delovanja sistema je zelo pomemben. Smernice podajajo dokaj podrobna navodila o pregledovanju delovanja sistema.

7.1.10 Označevanje

Obravnavane smernice EPA podajajo osnovna navodila za označevanje sistema pri velikih stavbah in podrobna navodila za manjše stavbe. Konkretna navodila pa podajajo tudi sekundarni dokumenti za EPA certificirane izvajalce protiradonskih sistemov.

7.1.11 Predajanje v uporabo

Obravnavani smernici EPA nimata posebnih navodil za predajo sistema v uporabo.

7.2 Velika Britanija

7.2.1 Vrsta sistema (aktivni/pasivni):

Smernica IHS BRE deli ukrepe na pasivne in aktivne ukrepe s tem, da kot ukrep predvideva tudi samo tesnjenje stavbe. Odločitev o sistemu temelji na specifični informaciji glede radona za zemljišče, na katerem bo stavba.

Med pasivnimi ukrepi obravnava:

- radonsko zaporo na dvignjeni talni konstrukciji (z zračnim prostorom pod konstrukcijo)
- radonsko zaporo na dnu dvignjene talne konstrukcije in prezračevanje zračnega prostora
- radonsko zaporo na talni betonski plošči
- radonsko zaporo na toplotni izolaciji, pod betonsko ploščo, položeno na trdno podlago
- radonsko zaporo na toplotni izolaciji

Obravnava tudi celovito zaščito proti radonu, ko je v protiradonski sistem dodan prezračevalni sistem, tako da govorimo o varianti ASD. Obdelani so vsi primeri z zgornjega seznama.

Konceptualno se pristop v smernici IHS BRE razlikuje od pristopa v smernicah EPA, saj precej več poudarka daje tesnjenju in obravnava prezračevanje zemljine kot dodaten ukrep, če je potrebno. Ta pristop je za slovenske razmere zaradi možnih višjih koncentracij radona v prostorih ter zaradi možnosti slabe izvedbe manj primeren in odsvetovan, kot edini samostojen ukrep.

7.2.2 Bariere za tesnjenje

Variante izvedbe temeljijo na zgoraj opisanih ukrepih. Pri tem smernica podaja opis radonskih ovir oziroma zapor. Podaja osnovni opis bariere (materijal in debelino) ter način polaganja s prekrivanjem. Podaja usmeritve za zaščito radonske zapore med gradnjo. Podaja tudi nekaj detajlov zaščite folije.

7.2.3 Tesnjenje votlin v zidovju in celovitost membrane

Smernica podaja napotke in praktičen primer tesnjenja zidov (npr. iz betonskih votlakov), napotke glede spajanja posameznih kosov radonsko zapornih folij ter napotke za zagotavljanje kontinuitete radonske zapore. Podaja napotke, kako izvesti neprekinjeno horizontalno zaporo na talni plošči.

Smernica podaja tudi detajle o tesnjenju okrog stebrov in prebojev, ter premostitev temeljev.

7.2.4 Lesena tla

Smernica IHS BRE podaja tudi navodila za izvedbo sistema v primeru lesenih tal; tak primer je zanimiv za sanacije, za novogradnje pa je v Sloveniji nepomemben.

7.2.5 Prezračevanje pod tlemi

Naslednji ukrep, ki ga obravnava smernica IHS BRE, je pasivno prezračevanje pod tlemi. Podaja zahteve za velikost stranskih odprtín. Komentar: ukrep se v Sloveniji ni obnesel, zato ga ne upoštevamo pri nadaljnji obdelavi.

7.2.6 Aktivno prezračevanje tal (ASD)

Smernica podaja navodilo za določitev potrebnega števila sesalnih mest / radonskih brezen in sicer navaja efektivno površino 250 m² varovane površine na brezno pri stanovanjskih stavbah in 500 m² ali celo več pri večjih stavbah. Podaja tudi napotke za lokacijo sesalnih mest.

Podan je tudi primer izdelave sesalnega brezna z za to izdelano posodo ali na kak drug način, predvsem ob robu stavbe (zanimivo za sanacije). V smernici so podane skice detajlov izvedbe.

Smernica ne podaja opisa prepustnega sloja; slednje je znatna konceptualna razlika med smernico IHS BRE in smernicami EPA.

7.2.7 Premostitev ovir

Podan je osnovni opis principa povezovanja prostorov pod talno ploščo, ki jih na obodu obkrožajo temelji, ni pa detajlov.

7.2.8 Odvajanje radona

Smernica podaja osnovne napotke za razvod cevi za odvajanje radona; pri tem je dokaj nenatančna, podaja pa nekaj priporočil za lokacijo izpusta.

7.2.9 Ventilator in mehanski sistem

Ventilator je v smernici obdelan zelo grobo in brez detajlov za dimenzioniranje.

7.2.10 Pasivno prezračevanje

Smernica podaja tudi varianto pasivnega prezračevanja, kjer namesto ventilatorja in mehanskega sistema izkoristimo vzgon. Predvideno je, da se pasivni sistem po potrebi nadgradi z mehanskim prezračevanjem.

7.2.11 Monitoring

Monitoring je priporočen, smernica pa navaja, da za to ni zakonske zahteve.

7.2.12 Označevanje

Smernica podaja zahtevo za označitev sesalnih mest, drugih zahtev pa ne.

7.2.13 Predajanje v uporabo

Smernica navaja minimalno vsebino dokumentacije v zvezi z radonom, ki naj bi jo prejel kupec stavbe.

7.3 Primerjava smernic po tematikah

Na osnovi pregleda smernic lahko v grobem opredelimo stopnjo obdelave in natančnost informacije glede posameznih komponent sistema. Pri tem navajamo kratko vsebino in z barvno kodo (Tabela 3) stopnjo obdelave oziroma podrobnosti opisa.

Tabela 3: stopnje podrobnosti opisa.

Stopnja	Značilnost
Opis ni podan	Določena značilnost ni obravnavana ali pa je obravnavana le bežno.
Osnovno	Na tej stopnji je razložen princip in osnovni podatki, niso pa podani materiali ali dimenzije (razen načelno, v razponu).
Podrobno	Na tej stopnji je podano tudi osnovno navodilo za dimenzioniranje ali pa zahteve za posamezne parametre.

Tabela 4: Ocenjena podrobnost opisa.

	EPA – velike stavbe	EPA - družinske hiše	IHS BRE - splošno
vrsta sistema	Aktivni sistem; obravnava izvedbo ASD («active slab depressurization»), nadtlaka v stavbi ter tesnjenje (odsvetovano kot osnovni ukrep)	Pasivni in aktivni, odvisno od obremenjenosti tal z radonom. Odsvetovano samo tesnjenje	Smernica podaja veliko detajlov glede tesnjenja, o aktivnih sistemih pa ni veliko informacij.



	EPA – velike stavbe	EPA - družinske hiše	IHS BRE - splošno
varianste izvedbe	ASD z različnimi načini zbiranja radona	Pasivni sistem vleka izpod plošče ter aktivni sistem ASD. Odsvetovana zgolj priprava na sistem (brez cevi)	Smernica ne razlikuje med sistemi
prepustni sloj	Podane so zahteve za agregat, debelino sloja ter zaščito med betoniranjem	Prepustni sloj in alternative so dobro opisane.	Prepustni sloj je relativno slabo obdelan
premostitev ovir (temeljev) v spodnjem sloju	Podanih je nekaj napotkov, kako zaobiti težavo separacije prepustne plasti s temelji	Opisane so tri opcije rešitve problema premostitve temeljev.	Obdelana na načelni ravni, z zelo osnovnimi napotki za izvedbo.
odvajanje radona	Podana so osnovna navodila za izvedbo cevne razvoda, ki pa niso povsem detajlna.	Podanih je dovolj navodil za izvedbo sistema, čeprav dimenzioniranje ni opisano (podane pa so dimenzije cevi).	Omenjeno, vendar brez potrebnih podatkov za izvedbo
ventilator in mehanski sistem	Podani so osnovni napotki za določitev ventilatorja, vendar ni podano dimenzioniranje, zahteve glede hrupnosti, kondenzacije itd.	Podane so smernice za izbiro in namestitve ventilatorja, ni pa navodil za dimenzioniranje	Omenjen na osnovni ravni. Informacija ne omogoča dimenzioniranja. Opomba: v smernici je aktivni sistem razumljen opsijsko in pogosto nepotreben
funkcija tesnjenja	Jasno je poudarjeno, da tesnjenje ni	Jasno je poudarjeno, da je samo tesnjenje	Zelo detajlno obdelana. Razumljen

	EPA – velike stavbe	EPA - družinske hiše	IHS BRE - splošno
	zadosten samostojen ukrep	odsvetovano.	tudi kot samostojen ukrep (nasprotno z doktrino EPA, glej levo)
ukrepi tesnjena	Podane so osnovne zahteve za material in izvedbo, ni pa (veliko) detajlov.	Podane so zahteve za folije in njihovo vgradnjo, ter tudi osnovna navodila za preboje	Smernica podaja vrsto detajlov, s katerimi si lahko pomagamo
monitoring	Dan je poudarek na monitoring in na redne preglede delovanja sistema	Predvidena so merjenja in sistem za nadzor delovanja sistema.	Dana so priporočila za monitoring s sklicem na spletno stran www.ukradon.org
označevanje protiradonskega sistema	Smernica podaja nekaj zahtev za označevanje sistema, ki pa niso popolne	Eksplcitne zahteve za označitev sistema	Smernica predvideva označevanje radonskih brezen, ne pa tudi drugih elementov
predaja v uporabo	Ni posebnih navodil za dajanje v uporabo (t.i. »commissioning«)	Naveden je seznam informacij, ki naj bi jih dobil kupec stavbe.	Smernica podaja seznam informacij ob predaji stavbe s protiradonskim sistemom.

8 Sklep glede izbire oziroma izdelave pristopa

Noben analiziran dokument ni primeren za prenos v Slovenijo s prevodom, vsi pregledani dokumenti pa so podobni do stopnje, ki omogoča združevanje in prilagoditev ter izdelavo slovenske smernice za radonsko varne novogradnje.

Zaradi razlike v konceptu je za Slovenijo primernejša kot osnova doktrina EPA; doktrina BRE je bolj primerna za področja z nižjo koncentracijo radona v tleh oziroma z manjšim prehajanjem radona v



stavbe. Zato je doktrina BRE le pogojno uporabna na delih Slovenije z manjšo obremenjenostjo z radonom.

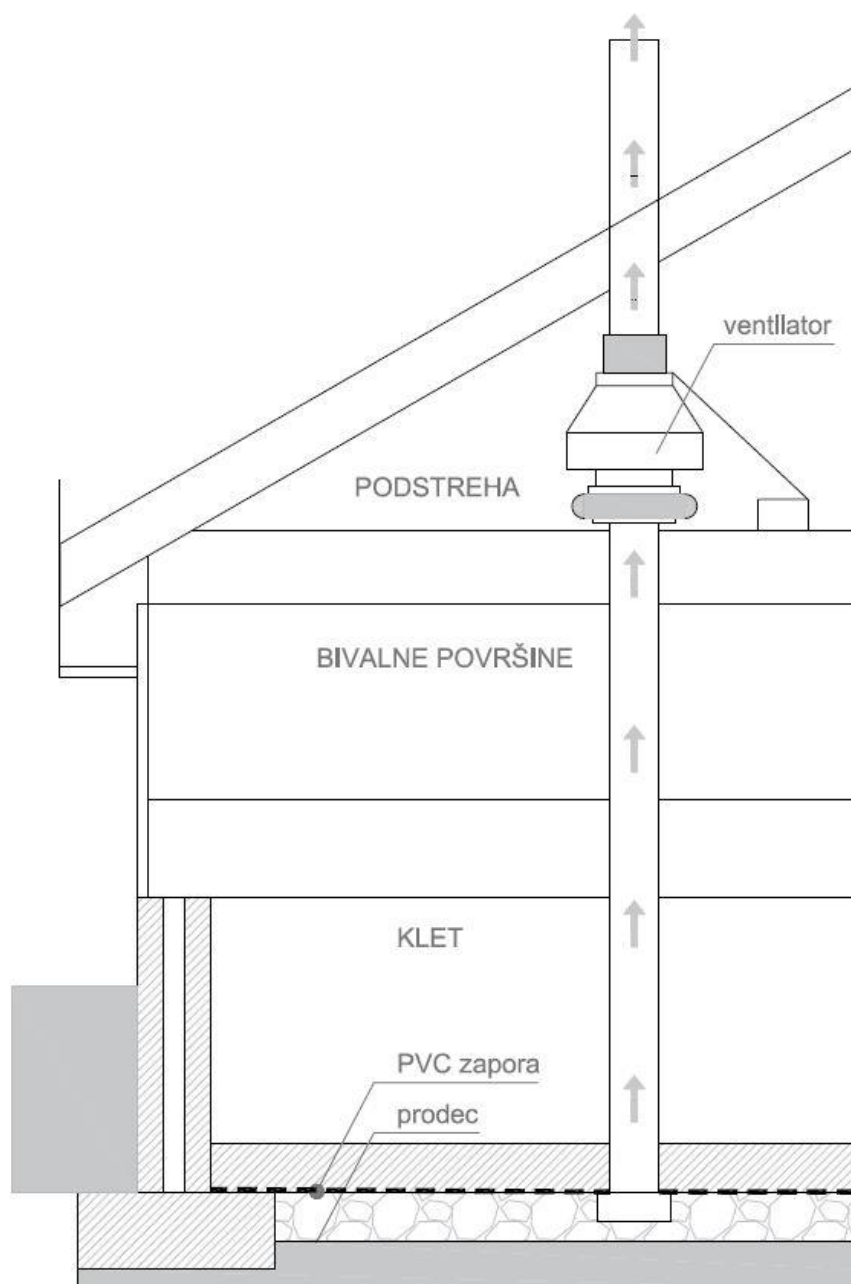


TEHNIČNA IZHODIŠČA ZA IZDELAVO SMERNICE

9 Tehnična izhodišča za sistem (aktivnega) prezračevanja zemljine

Tehnična izhodišča za izdelavo smernice povzemajo dobre strani analiziranih dokumentov. V smernice so vključena tudi spoznanja, ki smo jih pridobili tekom let sanacij stavb pred škodljivimi vplivi radona.

Tehnična izhodišča so strukturirana po posameznih ukrepih oziroma delih protiradonskega sistem.



Slika 2: celovita slika protiradonskega sistema.

Koncept protiradonskega sistema, ki je podan v nadaljevanju, temelji na **zasnovi sistema z aktivnim prezračevanjem zemljine**, pri tem, da se **najprej izvede sistem v pasivni izvedbi** ter se ga po potrebi, glede na meritve koncentracije radona v prostorih, nadgradi na aktivno izvedbo.

Če bodo v prihodnosti na voljo zanesljivi podatki o ekshalaciji (sproščanju iz zemljine) radona, se lahko te podatke uporabi z aodločitev o tam, ali je sistem potrebno tajkoj izvesti v aktivni (polni) izvedbi.

Smernica **ne predvideva tesnenja kot samostojega ukrepa**. Razlog za to je predvsem v tem, da je, sodeč tako po literaturi kot na osnovi izkušenj, kakovostna izvedba tesnenja na detajlih zamudna in

pogosto slabo izvedena. Tesnenje je predvideno kot dodaten ukrep in temelji predvsem na izbiri primernega materiala za hidroizolacijo, ki je v nekaterih primerih lahko tudi radonska zapora.

Smernica tudi **ne predvideva nadtlaka v prostoru** (npr. s pomočjo sistema za prezračevanje), ki bi bil **samostojen zadosten ukrep**, saj za to še ni na voljo dovolj izkušenj v Sloveniji, ki bi omogočale postavitev jasnih zahtev za takšen pristop. To stanje se lahko v prihodnosti spremeni.

9.1 Pretakanje radona pod talno konstrukcijo in zajem radona

Radon nastaja v zemljini in se po zemljini pretaka. Glavni tok radona, ki nas zanima, je prenašanje radona v plinasti fazi kot komponente plinov v zemljini. Mehanizem prenašanja je konvekcija, gonilo prenašanja pa je tlačna razlika med dvema točkama. To velja tako za pretakanje radona po zemljini, kot za izhajanje radona iz zemljine. Praktična posledica tega je:

- (1). tok radona lahko usmerjamo z vzpostavljanjem tlačnih gradientov po zemljini
- (2). podtlak v stavbi, ki nastane zaradi vzgona vsled različne temperature zraka v stavbi in izven nje povzroča tlačno razliko med zemljino in stavbo. Stavba je v podtlaku glede na zemljino, zato radon prehaja iz zemljine v prostore stavbe.
- (3). običajno je koncentracija radona najvišja v nižjih prostorih stavbe. V nekaterih primerih pa temu ni tako, saj radon zaradi vzgonske razlike potuje po stavbi navzgor in se lahko zadržuje tudi v višjih nadstropjih.

Radon na poti ovirajo razne ovire, ki spreminjajo sliko tlačnega polja pod stavbo. Za usmerjanje radona imamo torej dve orodji: vsiljevanje tlačne razlike ter postavljanje ovir za pretok radona.

9.2 Prepustni sloj

Osnova protiradonskih ukrepov v stavbi, ki temeljijo na odstranjevanju radona iz zemljine pod stavbo, je zagotoviti kontrolirano prepustnost slojev. S tem lahko dosežemo, da radon na točki, kjer to želimo, zberemo, ter ga po varni poti vodimo na prosto. Tak sloj mora imeti dovolj nizko upornost za pretakanje radona, na drugi strani pa mora biti na svojih robovih omejen s primerno radonsko oviro, npr. bitumensko hidroizolacijo za aluminijastim vložkom ali PVB folija.

9.2.1 Agregat

Agregat najdemo v talni konstrukciji kot drenažni sloj. Za protiradonske sisteme mora biti plast agregata debela vsaj 10 cm. Če v agregat polagamo cevi za protiradonski razvod, moramo debelino sloja uskladiti s premerom cevi. Debelina sloja agregata mora biti cca. 5 (ali več) centimetrov večja od premera cevi, ki jih nameravamo vgraditi. Običajno je priporočena debelina sloja agregata 15 cm

do 20 cm. Agregat mora biti iz prodca ali lomljenca čistih frakcij 8 – 16 mm in 16 - 32 mm. Manjših zrn agregat naj ne bi imel, da se prepreči zamašitev sistema. Omenjeni frakciji zagotavljata tudi zadostno prepustnost, s tem da v mešanici uporabimo vsaj 50% frakcije 16 mm – 32 mm.

Med sloj agregata in nad njim ležečo talno ploščo namestimo folijo, ki ima dvojen namen. Preprečuje, da bi pri vgradnji betona le ta prodrl v agregat in hkrati predstavlja izolacijo pred konvekcijo radona skozi špranje, preboje itd. Izberemo PE folijo debeline 0,15 mm ali dva sloja PE folije 0,10 mm.

9.2.2 Alternative

Sloj agregata lahko nadomestimo z votlo, prepustno strukturo v tleh. Ta je lahko v obliki kupol, plošč ali kakšni drugi obliki. Pomembno je, da je takšna struktura dovolj prepustna, da se plini iz zemljine prosto premikajo pod zgoraj ležečimi konstrukcijami. Če izberemo takšno rešitev, moramo paziti še na druge morebitne težave, npr. živali, ki bi se v takih votlinah lahko naselile.

9.2.3 Povezovanje posameznih oddelkov

Temelji stavbe segajo do kompaktne podlage. Običajno ne potekajo le po obodu, temveč tudi po notranjem talnem tlorisu stavbe. Velikokrat temelji določeno področje povsem obdajo. Nastane zaprto področje. Ko na tako področje vgradimo agregat, po celotnem obodu oddelka agregata nastane neprepustna ovira. Zato moramo možnost pretakanja radona po plasti agregata načrtno doseči in sicer tako, da v temelje vgradimo prepustna mesta. To lahko naredimo na več načinov:

- a) z vgradnjo PVC cevi v temelj tako, da cev temelj prebada. Vgradimo cev premera med 100 in 150 mm. Dolžina cevi naj bo takšna, da na vsaki strani temelja iz temelja gleda vsaj 30 cm.
- b) tako, da v temelj (navadno pod vrati) vgradimo votle opeke z velikimi luknjami. Opeke postavimo na bok, tako, da so votline opeke pravokotne na temelj in vodoravne. Na ta način vzpostavimo serijo »cevi«, ki prebadajo temelj. Če je temelj širši, kot so opeke visoke, lahko postavimo dve opeki, eno za drugo. Pri tem pazimo, da ju postavimo tako, da druga drugi ne ovirata pretakanja zraka skozi votline. Na opeki položimo PE folijo, da preprečimo zlivanje betona med obe opeki.

9.3 Zbiranje radona pod zemljo

Radon v prepustnem sloju zbiramo v zbirne cevi ali v radonska brezna. Ob pravilni izvedbi sistema ter zagotoviti povezanosti posameznih oddelkov prepustnega sloja eno sesalno brezno pokrije površino pravilne, ne razpotegnjene oblike tlorisa do nekaj 1000 m².

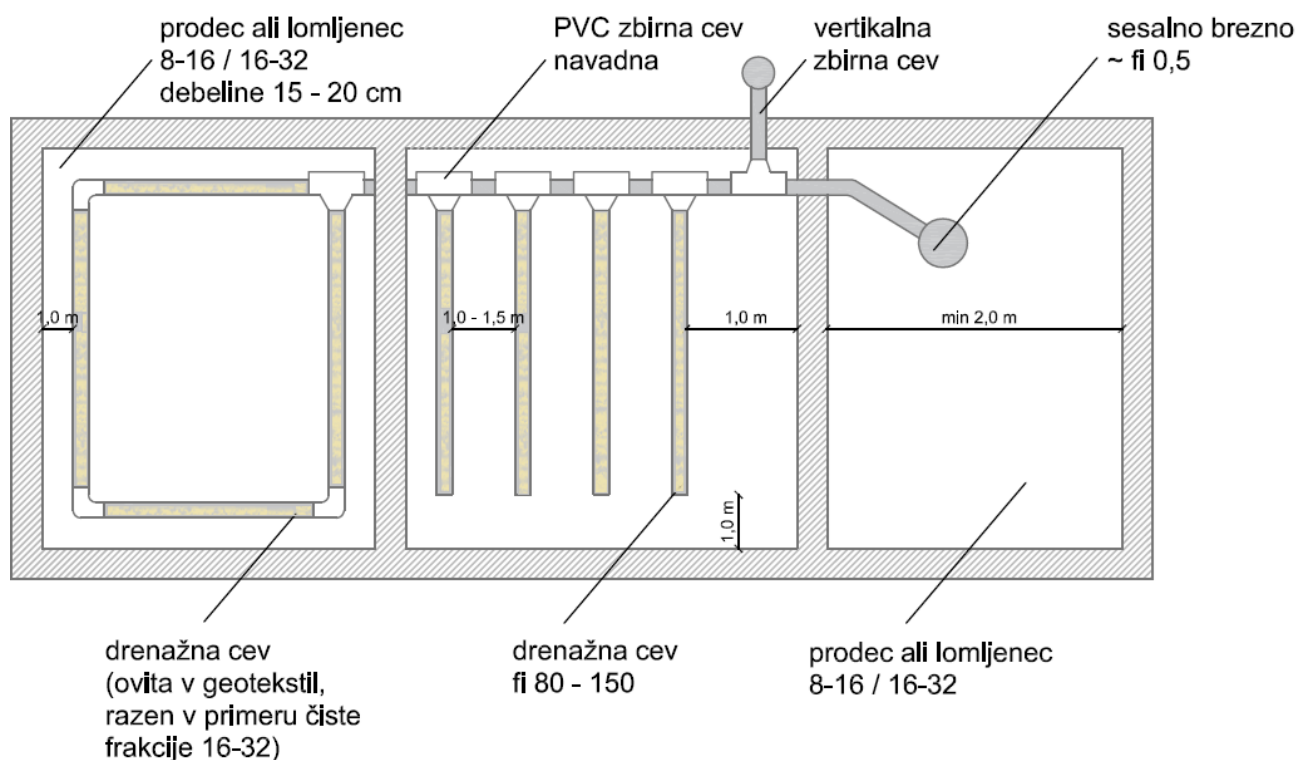
9.3.1 cevi

Eden on načinov zbiranja radona je sesanje v cevi. Pri tem imamo na voljo dve konfiguraciji; zanko in register cevi. Pri obeh konfiguracijah so zbirne cevi položene na podlago, na dno prepustnega sloja.

Praviloma se odločimo za zanko cevi, katere prednost je, da deluje nemoteno tudi, če se iz nekega razloga zbirna cev na nekem mestu zamaši. Pri registru cevi te prednosti ni.

Zbirna cev v obliki zanke je cev za zbiranje radona, ki teče po obodu prostora (oziroma zaključenega oddelka) po notranji strani stavbe. Od zidu naj bo odmaknjena približno 0,5 m – 1,5 m. Cev mora biti naluknjana (razen na spojnih elementih), premera 80 mm – 120 mm. Uporabimo ustrezno drenažno cev. V nekaterih državah uporabljajo tudi cevi nekoliko manjšin premerov. Lahko se uporabi tudi cevi premera več kot 120 mm, vendar je to zaradi dimenzije in zato, ker mora cev v celoti prekrivati agregat, nepraktično.

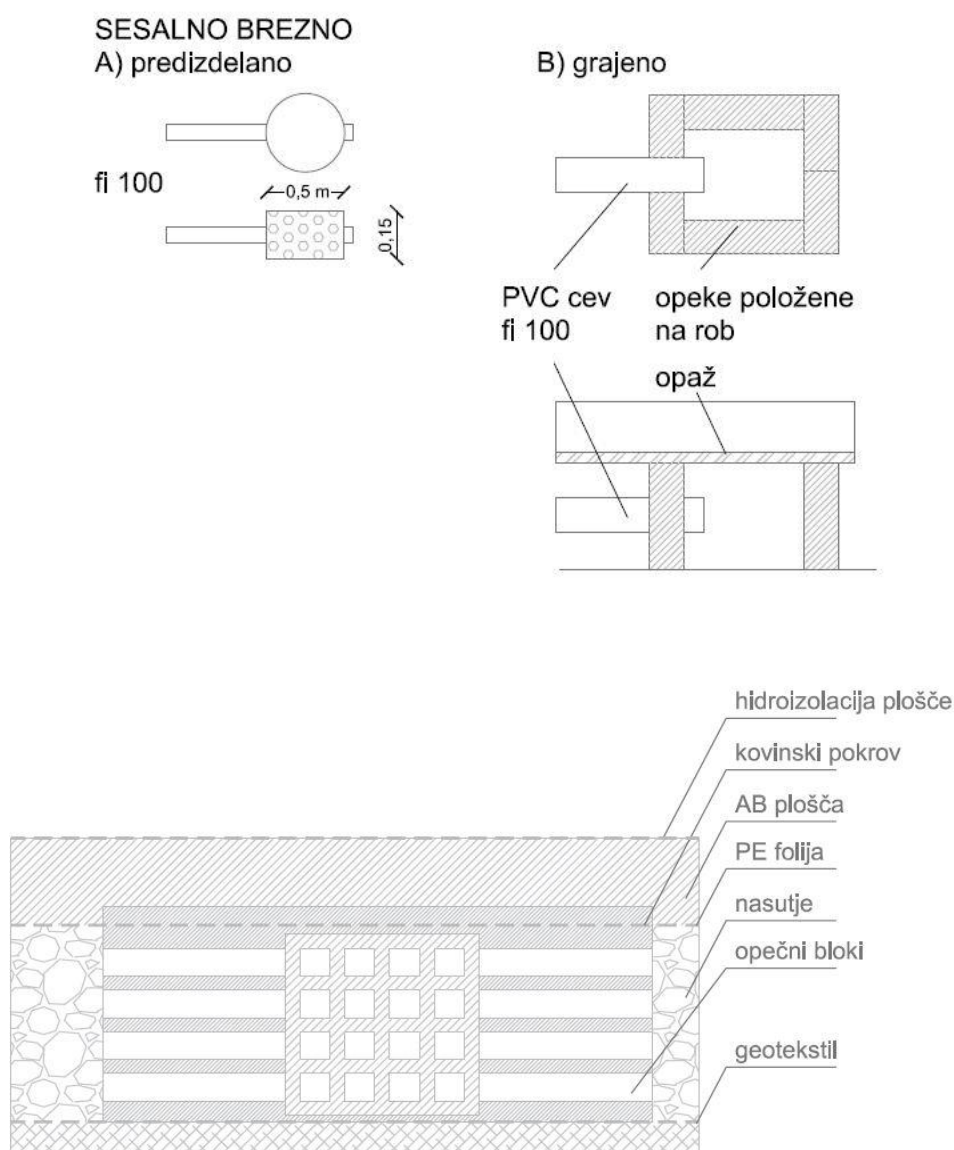
Druga oblika zbirne cevi je register. Pri tem načinu ob eni izmed sten – navadno je to notranja stena – na oddaljenosti 0,5 m – 1,5 m teče zbirni vod, pravokotno nanj pa se priključujejo drenažne zbirne cevi, ki so med sabo oddaljene približno 1,5 m ter 0,5 do 1,5 m od obodnih zidov, ki omejujejo oddelek.



Slika 3: variante zbirnih cevi za zbiranje radona.

9.3.2 brezna

Radon v zemljini zbiramo v t.i. radonskih brezni. Gre za prazne prostore volumna praviloma nekaj 10 litrov (vsaj 10 litrov). Pri tem je pomembno, da so stene brezna prepustne oziroma naluknjane. Skupna površina lukenj bi mora biti reda velikosti 300 cm^2 . Na trgu obstajajo predizdelana brezna, ki jih lahko integriramo v sistem. So različnih dimenzij in iz različnih materialov. Pomembno je, da imajo zadostno trdnost, da so dovolj prepustna in da jih lahko enostavno priključimo na dimenzije cevi, ki jih uporabljamo.



Slika 4: primer radonskega brezna.

9.4 Radonski razvod

Razvod radona je naslednji element protiradonskega sistema. Glavni del sistema je zborni vod (horizontalni), na katerega priključimo posamezne zanke ali brezna, ter vertikalni, dvižni vod.

9.4.1 Vertikalni (dvižni) vod

Vertikalni (dvižni) vod lahko poteka po notranjosti stavbe ali po zunanosti stavbe. Vodenje voda po notranjosti stavbe je v večini pogledov ugodnejše. Edina resnejša slabost je tveganje, če pride do napake (loma) sistema.

V primeru aktivnih sistemov z vgrajenim ventilatorjem se temu izognemo tako, da ventilator namestimo v radonsko varni coni (praviloma podstrešje), ter da po radonsko varni coni potekajo vse cevi, ki so v nadtlaku (za ventilatorjem, gledano v smeri toka zraka po ceveh).

V primeru pasivnih sistemov se tej nevarnosti težje izognemo, saj počena cev v varovani coni pomeni verjetno iztekanje radona iz cevi v varovano cono. Posledica tega je lahko neposredno prenašanje radona iz z radonom bogate zemljine po odvodni cevi do napake na cevi in od tam v varovano cono.

V zvezi z vertikalnim dvižnim vodom je potrebno obdelati še naslednje:

9.4.2 vzgon

Če vertikalni dvižni vod poteka po notranjosti stavbe (znotraj toplotnega ovoja), se po cevi navzgor vzpostavi vlek. Ker morajo biti cevi nameščene čimbolj naravnost navzgor, v ceveh ni velikega upora za pretakanje zraka. Vzgon v nekaterih primerih zadošča kot zadostno gonilo toka radona izpod talne konstrukcije na prosto (nad stavbo). Če želimo izkoristiti ta učinek, je nujno, da sega dvižni vod nad najvišjo koto ogrevanega dela stavbe, praviloma nad višino slemena.

Ker obstaja možnost, da dvižni vod namestimo blizu dimniške tuljave, je izjemno pomembno, da upoštevamo vse predpise in tehnična navodila glede odmikov gorljivih materialov od tuljave.

Ker vertikalnega dvižnega voda praviloma ne izvajamo v požarno odporni izvedbi, namestitev tega voda ne sme biti takšna, da prebada meje požarnih sektorjev.

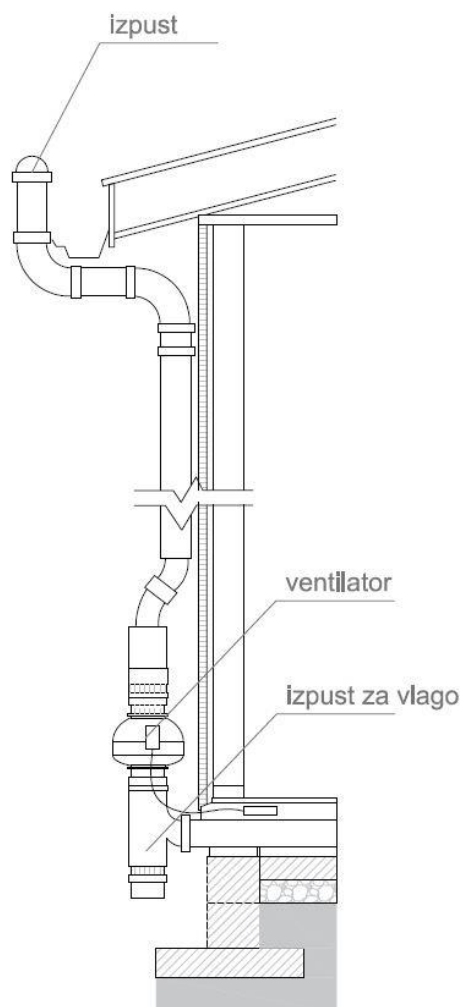
9.4.3 kondenzacija

Če z radonom bogat zrak vodimo po zunanji strani stavbe, bo ta v zimskem času na neizolirani steni cevi (na notranji strani) kondenziral. Sama količina kondenzata načeloma ni problematična, če kondenzat ne zmrzuje na cevi, kar bi lahko privedlo do zmanjšanja premera. Problem kondenzacije

rešimo tako, da cev izoliramo s primerno toplotno izolacijo, primerno za zunanje razmere (npr. iz penjenega elastomera). Debelina toplotne izolacije je odvisna od konkretnega primera. V splošnem lahko uporabimo 3 cm debelo izolacijo.

Kondenz lahko tudi odvajamo iz cevi, namesto da bi se stekal v sesalno brezno oziroma po drenažnih ceveh. Odvajanje lahko izvedemo na več načinov. Najenostavnejši način je ta, da na delu, kjer cev iz vodoravne smeri usmerimo navzgor, namesto kotnega kosa uporabimo T kos, ki ga na spodnji strani podaljšamo s cevjo (cca 20 cm). Kos na spodnji strani zapremo s pokrovom. Uporabimo kar sistemski kos za zapiranje cevi. Pri vzdrževanju kos občasno odpremo, iztočimo kondenzat, ter ga zapremo nazaj.

Pri izvedbi razvoda se moramo tudi izogniti nastanku sifonov v razvodu, saj na teh mestih morebitna kondenzirana voda lahko povsem zapre pretok zraka.



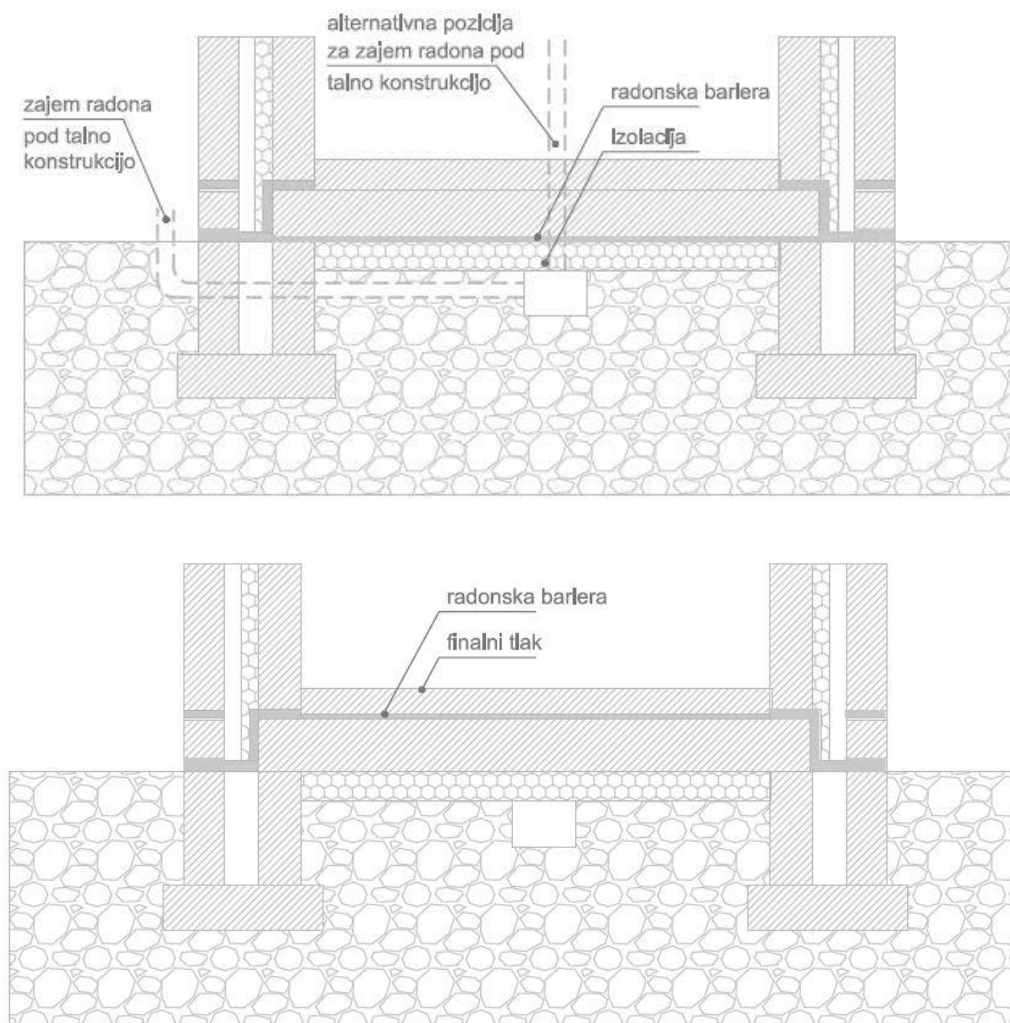
Slika 5: detajl odvajanja kondenza iz cevi

9.5 Tesnjenje

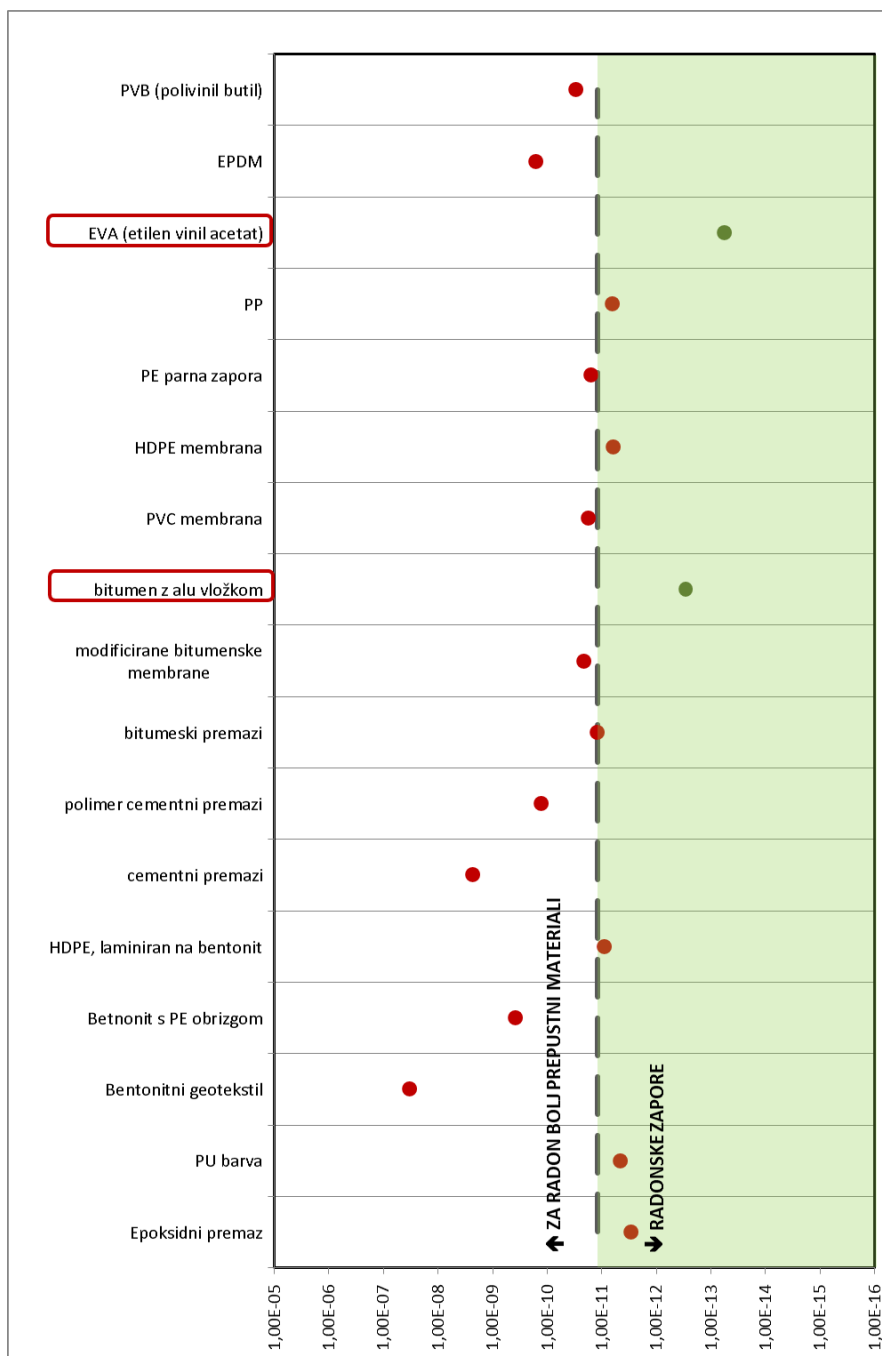
Tesnjenje razumemo **kot dodaten ukrep** k izvedbi protiradonskega sistema. Kljub temu, da ga ponekod uporabljajo kot osnovni ukrep, pa v tej vlogi za slovenske razmere ni primeren.

9.5.1 Tesnjenje oboda talne konstrukcije

Tesnjenje talne konstrukcije v osnovi izvedemo z izvedbo hidroizolacije ali s posebnim slojem. Primerne materiale za to lahko razberemo iz slike (Slika 7), kjer so prikazani difuzijski koeficienti (orientacijske vrednosti) za difuzijo radona skozi različne membrane. Med obravnavnimi membranami na sliki niso vse membrane hidroizolacijske!



Slika 6: shematski prikaz tesnjenja konstrukcije

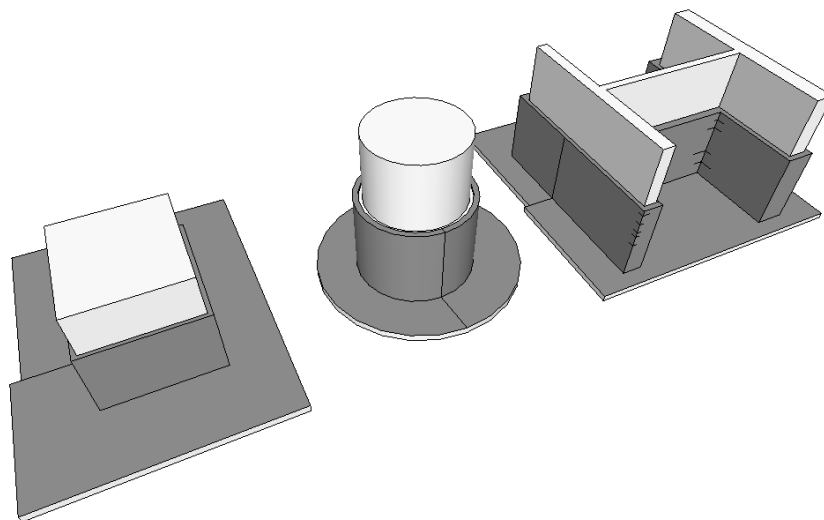


Vir: M. Jiranek, WP 6: Assessment of radon contro technologies, Deliverable 15: Establishment of measurement procedures of radon control technologies, poročilo projekta RADPAR

Slika 7: difuzijska upornost za difuzijo radona za različne materiale za tesnjenje pred radonom.

9.5.2 Tesnjenje zidu in zbirne cevi ter prebojev

Pomembno je, da vse preboje membrane dobro zatesnimo. S tem povečamo učinkovitost sistema za prezračevanje zemljine pod talno konstrukcijo ter hkrati zmanjšujemo toplotne izgube stavbe, saj na ta način manj toplega zraka skozi protiradonski sistem odvedemo na prosto.



Slika 8: detajli tesnjenja.

9.5.3 Tesnjenje cevnega razvoda

Celoten razvod radonskega sistema (spoji cevi med sabo) mora biti izveden tesno. To še posebej velja za sesalni del, saj netesnosti na delu sistema pred ventilatorjem zmanjšujejo podtlak, ki ga ustvarja ventilator in s tem učinkovitost sistema. Tesen mora biti tudi del za ventilatorjem, da se izognemo nenadzorovanemu izpustu radona (npr. v neposredni bližini oken).

9.6 Ventilator

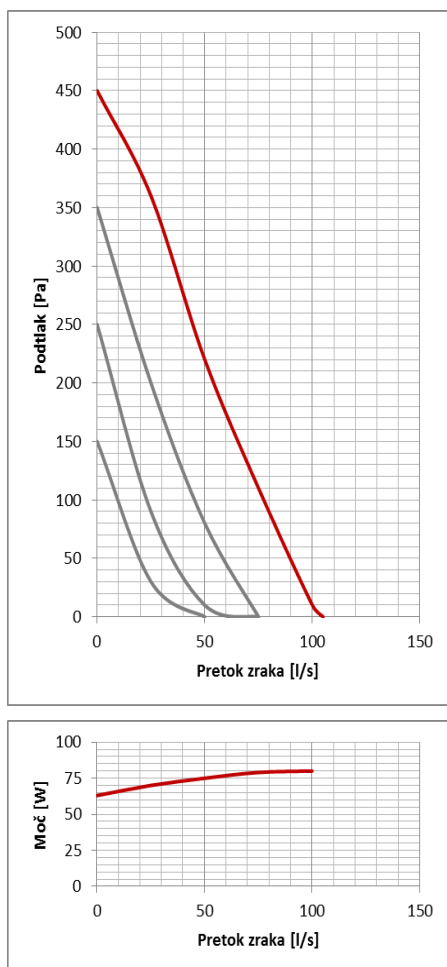
Ventilator je aktivna komponenta protiradonskega sistema. Vgradimo ga v vertikalni dvižni vod. Praviloma uporabimo radialni ventilator, ki ima priključek istega premera, kot je premer cevi vertikalnega dvižnega voda (običajno 125 mm, vendar je to odvisno od primera do primera!)

9.6.1 dimenzioniranje in karakteristike

Osnovne lastnosti ventilatorja so:

- Namenjen za nepretrgano obratovanje
- Namenjen za zunanjo uporabo
- Hitrost delovanja ventilatorja lahko krmilimo
- Deluje na 220V / 50Hz
- Ima nizke emisije hrupa v okolico in predvsem
- Ima ustrezno karakteristiko tlak / pretok

Na voljo je več ventilatorjev, ki po karakteristikah ustrezajo za vgradnjo v protiradonski sistem. Ventilator vgradimo in namestimo skladno z navodili proizvajalca ventilatorja. Premer priključkov ventilatorja mora ustrezati cevem razvoda. Primer karakteristike ventilatorja, ki se je do sedaj izkazal kot ustrezen, so na sliki (Slika 9). Krivulje na sliki: rdeče: karakteristika pri polni moči, sivo: karakteristika pri zmanjšani moči



Slika 9: karakteristike ventilatorja.

Ventilator vgradimo v razvod cevi in oba priključka (dovod in izvod) zatesnimo s trajnoelastično PU tesnilno maso. Električni priključni modul obrnemo tako, da bomo kasneje brez težav ventilator priključili na napajanje.

9.6.2 električna priključitev

Pri načrtovanju sistema predvidimo napajanje ventilatorja. V ta namen na mestu, kjer bo priključen ventilator, če bo to potrebno, pripravimo električni priključek v škatli z ustreznimi varovalkami in stikali po pravilih stroke in z upoštevanjem navodil za vgradnjo ventilatorja.

Če izberemo ventilator s pripadajočim nadzorom obratov, kontrolni priključek vgradimo tako, da je izven dosega nepooblaščenih oseb. Posebej pazimo pri nastavitvi delovanja krmilne enote za regulacijo hitrosti – upoštevamo navodila proizvajalca, sicer lahko ventilator nastavimo napačno in ne bo deloval.

9.6.3 Hrupnost in moč

Nivo hrupa, ki ga oddaja ventilator, je ob pravilnem delovanju sistema nizek. Tipična vrednost na razdalji 3 m je 42 dB.

Ventilator ima načeloma moč nekaj 10 W, zato glede presekov žic zadostujejo običajni trižilni električni vodniki.

9.7 Izpust

Mesto izpusta radona mora biti na vrhu novogradnje, nad najvišjo točko stavbe, če gledamo toplotni ovoj stavbe. Od najbližjih odprtín, kjer bi radon lahko prodiral nazaj v stavbo (kupole, vrata, pasivni zračniki,...) mora biti oddaljeno vsaj 1,5 m ter od mest aktivnega vnosa zraka v stavo (zajem zraka za prezračevanje) vsaj 5,0 m. Izpust na vrhu ustrezno pokrijemo, npr. z dimniško kapo ali navzdol usmerjeno cevjo. Zaščitimo ga tudi pred večjimi živalmi, npr. z zaščitno mrežico, ki ne sme predstavljati ovire za pretakanje zraka iz cevi na prosto (npr, fasadna mrežica 5 mm / 5 mm).

9.8 Označevanje

9.8.1 Označevanje delov sistema

Radonski sistem moramo ustrezno neizbrisno označiti in sicer mora oznaka cevi imeti naslednje elemente:

- Oznako »RADON«
- Smer pretakanja zraka
- Oznako »Dovod«, če gre za cev pred ventilatorjem, oziroma »Odvod«, če gre za cev za ventilatorjem
- Izpust sistema mora biti jasno označen z oznako »RADON – IZPUST«

Oznaka ventilatorja mora imeti najmanj napis

- »RADON«
- Oznako smeri pretakanja zraka (preveriti z dejanskim stanjem)

Krmilnik mora imeti oznake

- »RADON – NE UGAŠAJ!«:
- Jasno oznako minimuma in maksimuma
- Jasno oznako običajne nastavitve

9.8.2 Dokumentacija

Za izdelan sistem je potrebno pripraviti in hraniti dokumentacijo s popisom vseh komponent

- Prepustni sloj
 - skica prereza s posameznimi plastmi in folijami
 - debelina sloja
 - material
 - način in lokacija povezav oddelkov med sabo
- Razvod
 - jasna skica z lego cevi in opisom cevi (premer, tip, material)
 - opis načina spajanja cevi
- Vertikalni dvižni vod
 - opis, dimenzije, material, točno mesto vseh dvižnih cevi
 - dolžine kosov posameznih cevi in način spajanja
- ventilator
 - tehnični list

- zapis o priključitvi
- začetna nastavitev regulacije in delovna točka
- Priporočilo: dokumentaciji je smiselno priložiti tudi fotografije, kjer so razvidni naštetí detajli

9.8.3 PID

Opis iz točke 9.8.2 je treba vsebinsko in grafično prenesti v PID (projekt izvedenih del).

9.9 Predajanje v uporabo in nadzor nad delovanjem sistema

Pri predaji sistema v uporabo je potrebno izvesti šolanje oziroma seznanitev s sistemom in načinom delovanja, ter predati dokumentacijo iz točke 9.8.2.

Med delovanjem spremljamo podtlak. To naredimo s priključkom (tekočinskega) manometra (U-cevka) na za to pripravljen priključek v razvodu radonskega sistema. Merimo na dovodni strani.



Slika 10: priključek za tekočinski manometer.

9.10 Občasna merjenja koncentracij radona

Kljub temu, da moramo v okviru delovanja sistema uvesti redni monitoring delovanja ventilatorja (podtlak), je zelo priporočljivo, če občasno izvajamo tudi kontrolne meritve koncentracije radona. Za to lahko uporabimo elektronske merilnike, ki so indikacijski inštrumenti.

10 Sistem z nadtlakom

Na območjih, obremenjenih z radonom, sistema z nadtlakom ni priporočeno izvajati kot edini ukrep.

Sistem z nadtlakom deluje tako, da po celotni stavbi, neglede na arhitekturno zasnovo v vseh prostorih zagotavljamo rahel nadtlak, neodvisno od zunanjih razmer. Nadtlak v prostorih oziroma tlačna razlika med posameznimi prostori ne sme biti tako velika, da bi ovirala normalno odpiranje vrat.

10.1 Nadtlak

Nadtlak v prostorih dosežemo tako, da v prostor dovedemo več zraka, kot ga iz prostora izsesamo. To mora vlejati za vsak prostor posebej, v vsakem trenutku.

Vzdrževanje nadtlaka v prostoru s prezračevalnim sistemom lahko dosežemo pri enostavnih sistemih za majhne (enodružinske) hiše.

Slabost sistema z nadtlakom pri majhnih stavbah je ta, da sistem notranji, pozimi topel in vlažen stak skozi vse netesnosti v ovoju potiska v kladnejše področje ovoja, kjer vodna para lahko kondenzira in povzroča škodo v konstrukciji.

Pri velikih stavbah pa ima koncept veliko omejitev, ki izvirajo najmanj iz naslednjega:

- vpliv vetra, ki je lahko asimetričen po stavbi,
- vpliv vzgona,
- odpiranje oken,
- nastavitev sistema ne moremo enostavno zaganjati in izklapljati,
- koncept prezračevalnega sistema mora biti zasnovan tako, da je možno sproti prilagajanje pretokov v posameznih vejah sistema,
- uravnavanje pretokov mora biti podprto ustreznim krmilnim sistemom.

10.2 Smernica za sistem z nadtlakom

Ker se sistemi med sabo močno razlikujejo, je mogoče podati le ključne principe za projektiranje prezračevalnega sistema, ki je namenjen tudi preprečevanju vstopa radona v stavbo. Ta priporočila se nanašajo izključno na radon.

- Sistem je treba načrtovati tako, da bodo vsi spodnji prostori v nadtlaku nekaj Pa glede na spodaj ležečo zemljino, pri tem, da upoštevamo tudi vzgonski vlek po stavbi.
- Izgibati se je treba razvodu cevi po zemljini, zaradi nevarnosti poškodb in na ta način vnosa radona v stavbo.
- Potrebno je dobro in trajno zatesniti vse spoje prezračevalnega sistema.
- Vse preboje je potrebno dobro zatesniti.

- Stavba sama mora biti dovolj tesna. Pri tem se upošteva zahtev pravilnikov, ki urejajo učinkovito rabo energije v stavbah.
- Potrebno je upoštevati vse ostale predpise (npr. s področja požarne varnosti).
- Sistem mora, poleg tega, da je stalno v pravilnem tlačnem režimu delovanja, zagotavljati pravilno količino svežega zraka; če je sistem krmiljen glede na koncentracijo CO₂ v prostoru, to še dodatno zplete krmiljenje sistema.

10.3 Vzdrževanje

Vzdrževanje sistema mora biti enako, kot je vzdrževanje po pravilih stroke, z dodatnimi nalogami lastnika stavbe:

- Najmanj enkrat letno je potrebno preveriti vse sisteme in ventilatorja, ali (kljub nadzornemu sistemu) dejansko delujejo, kot je pričakovano.
- Najmanj enkrat letno je potrebno pregledati vse komponente za morebitne poškodbe; manjša puščanja, ki jih brez pregleda težko zaznamo lahko onemogočijo pravilno delovanje sistema.
- Če je sistem z nadtlakom v kombinaciji z aktivnim sistemom prezračevanja zemljine (ASD) - najmanj enkrat letno je potrebno preveriti, ali ni morda v bližini izpusta prišlo do preureditve stavbe, ki bi lahko za posledico imela povratni tok radona v stavbo. To preverimo tako, da se prepričamo, da v bližini izpusta (5,0 m – glej točko 9.7) ni novih inštalacij.
- Najmanj enkrat na 3 leta je potrebno preveriti tlačno delovanje in uravnoteženost sistema prezračevanja.