



NAVODILA V PRIMERU ZAZNANIH POVEČANIH KONCENTRACIJ RADONA V STAVBAH JAVNIH VZGOJNO IZOBRAŽEVALNIH ZAVODOV (VIZ)

V Ljubljani, april/september 2017

Friderik KNEZ, dr.Katja MALOVRH REBEC, Barbara TREPPO MEKIŠ, dr.Nataša KNEZ

Vsebina

1	Uvod	4
1.1	Cilji in namen naloge	4
2	Problem radona	6
2.1	Kaj je radon	6
2.2	Učinki radona na zdravje	7
3	Navodila v primeru povečanih koncentracij radona v stavbah v vzgojno izobraževalnih zavodih	8
3.1	Takojšnji ukrepi	8
3.2	Potek odločanja o ravnanju v primeru previsoke koncentracije radona	9
3.3	Kdaj lahko rečemo, da je za namene radonske sanacije stavba enostavna?	11
3.4	Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da obstajajo zanesljivi načrti za stavbo?	12
3.5	Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da je koncentracija radona v stavbi dovolj nizka - manj kot 1000 Bq/m ³ ?	13
3.6	Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da obstajajo ustrezni dostopi?	14
3.7	Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da je tehnično osebje primerno za izvedbo?	14
3.8	Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da so na voljo potrebna orodja?	15
4	Specifike stavb (pred)šolskih VIZ	15
5	Dodatna navodila ob hkratnih sanacijah	16
5.1	Vpliv protipotresne sanacije	17
5.2	Vpliv energetske sanacije	17
6	Izvedba sistemov sanacije	18
6.1	Vzpostavitev podtlaka pod talno ploščo (ASD – »Active Sub-slab depressurization«)	18
6.2	Vzpostavitev podtlaka pod membrano	32
6.3	Vzpostavitev nadtlaka v prostoru	32
6.4	Tesnjenje kot samostojen ukrep	33
7	Stalni nadzor nad delovanjem	35
7.1	Spremljanje podtlaka	35
7.2	Občasna merjenja koncentracij radona	36
8	Primer poteka sanacije v slikah	37

SEZNAM SLIK

Slika 1: uranova razpadna veriga.	6
Slika 2: shema zračenja.	9
Slika 3: shema transporta radona med zidom in toplotno izolacijo podstavka zidu.	17
Slika 4: shema prezračevanja zemljine.	18
Slika 5: Tipični rezultati določanja Sistema ASD.	19
Slika 6: pogost primer načrtov.	20
Slika 7: pretakanje radona pod talno konstrukcijo in poti vstopa.	22
Slika 8: primer rezultata merjenja učinka delovanja ventilatorja na podtlak pod talno konstrukcijo.	23
Slika 9: shema zajema radona v sesalnem breznu.	24
Slika 10: izvedba brezna z vstopom od zgoraj.	25
Slika 11: izvedba brezna z vstavljen opeko.	25
Slika 12: preboj v kineto.	27
Slika 13: prezračevanje kinete, prezračevanje zemljine in prezračevanje kinete in zemljine hkrati.	28
Slika 14: karakteristike ventilatorja.	30
Slika 15: zapornost materialov za radon in difuzijski koeficient za radon (m^2/s).	34
Slika 16: priključek za tekočinski manometer.	36
Slika 17: vrtanje s kronske vrtalnimi stroji.	37
Slika 18: izkop kaverne s posebno lopato.	37
Slika 19: cev za zajem Rn222 med krojenjem.	38
Slika 20: navrtanje konca zbiralne cevi.	38
Slika 21: vstavljanje cevi skozi zid in tesnilni obroč na cevi.	38
Slika 22: uporabljena trajno elastična tesnilna masa.	39
Slika 23: tesnjenje cevi in zidu.	39
Slika 24: montaža razvoda na zid.	40
Slika 25: montiran vertikalni vod z zaključkom.	40
Slika 26: montaža in tesnjenje ventilatorja.	40
Slika 27: primer meritve za potrditev uspešnosti sanacije.	41

1 Uvod

Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport RS je prepoznalo problem povišanih koncentracij radona Rn^{222} v prostorih vzgojno izobraževalnih zavodov kot akuten problem, ki ga je potrebno čimhitreje in čimbolj učinkovito rešiti. Na podlagi obvestil in odločb Urada za varstvo pred sevanji, Ministrstva za zdravstvo, je bil zato s sklepom Vlade RS, št. 41013-30/2015/4 z dne 08. 09. 2015, uvrščen v načrt razvojnih programov državnega proračuna projekt 3330-15-7701 »Sanacija zaradi naravnih virov sevanja«. Projekt poteka na podlagi sklepa ministrice, št. 186-1/2015/1 z dne 22.07.2015, o potrditvi "Programa za refundacijo stroškov izvedenih sanacij zaradi prisotnosti naravnih virov sevanja v občinskih stavbah, kjer se izvaja javna služba na področju vzgoje in izobraževanja.«

Pri tem upoštevamo obseg zaznanih problemov z radonom ter ugotovitev, da energetske sanacije objektov pogosto poslabšajo stanje glede radona zaradi dodatnega tesnenja ovoja stavbe in zaradi zmanjšanja naravnega prezračevanja prostorov.

1.1 Cilji in namen naloge

I. del

Navodila so namenjena različnim uporabnikom. Uporabnike usmerjajo, kako ravnati v primeru suma oziroma ugotovitve povišane koncentracije radona v stavbi. Namenjena so predvsem odgovornim osebam v javnih vzgojno izobraževalnih inštitucijah, ustanoviteljem (občine, država), vendar tudi vsem uporabnikom, zaposlenim v VIZ, vsem udeleženi v vzgojno izobraževalnih programih in njihovim staršem. Poseben poudarek navodil je za primere, ko je za objekt poleg radona potrebna tudi energijska, statična, protipotresna ali arhitekturna sanacija/prenova ali kombinacija le-teh. Predstavljeni so konkretni in jasni koraki, ki jim lahko uporabnik sledi na poti do prehoda na nižje koncentracije radona v stavbi. S pomočjo teh navodil bomo korak bliže k urejanju področja varovanja pred zvišanimi koncentracijami radona na bolj sistematičen način.

II. del

Poleg gradnje komunikacije in informiranja ciljnih publik, je cilj projektne naloge tudi predstavitev vsebin na ustreznih dogodkih, ki jih organizira pristojno ministrstvo. Zavod za gradbeništvo Slovenije je v sodelovanju z ministrstvom pripravil dve predstavitvi (delavnici) z različnimi izvajalci, strokovnjaki za protiradonsko zaščito tako z vidika tehničnih ukrepov kot z vidika varovanja zdravja, za predstavnike VIZ in ustanovitelje VIZ. Prva delavnica je bila izvedena 22.11.2016, druga v razširjeni obliki pa 23.05.2017. Delavnici sta bili pripravljene v sodelovanju predstavnikov Uprave za varstvo pred sevanji (URSVS) z Ministrstva za zdravje, Inštituta Jožef Štefan (IJS), Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ), Zavoda za varstvo pri delu (ZVD) in Centra za upravljanje z dediščino živega srebra, Idrija (CUDHg). Svoje izkušnje in spoznanja v okviru izvedenih sanacij so prispevali tudi predstavniki treh šol (OŠ Toneta Šraja Aljoše Nova vas, OŠ Toneta Tomšiča Knežak in OŠ dr. Franceta Prešerna Ribnica iz treh občin, kjer so v letu 2016 izvedli radonske sanacije.

Namen naloge v ožjem smislu je podati podlage za pripravo podrobnejših gradiv, namenjenih usposabljanju zaposlenih v VIZ (vodilnih, pedagoškega in tehničnega osebja).

Širši namen naloge pa je opozoriti na nujnost priprave celostne strategije za prenovo javnega stavbnega fonda, ki bo zajemala poleg že sprejete strategije za energetske sanacije (gl. »Dolgoročno strategijo za spodbujanje naložb energetske prenove stavb«, Ministrstva za infrastrukturo, http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/dseps/dseps_final_okt2015.pdf) tudi statično, protipotresno, arhitekturno in morebitno potrebno radonsko sanacijo na področjih, obremenjenih s povišanimi koncentracijami. Gre za zagotavljanje kakovostnega zdravega bivanja prebivalcem, ki je obenem temeljni cilj nedavno sprejete »Arhitekturne politike Slovenije: Arhitektura za ljudi«, Ministrstva za kulturo (gl. sklep Vlade RS št. 35000-16/2017/5 z dne 31.08.2017).

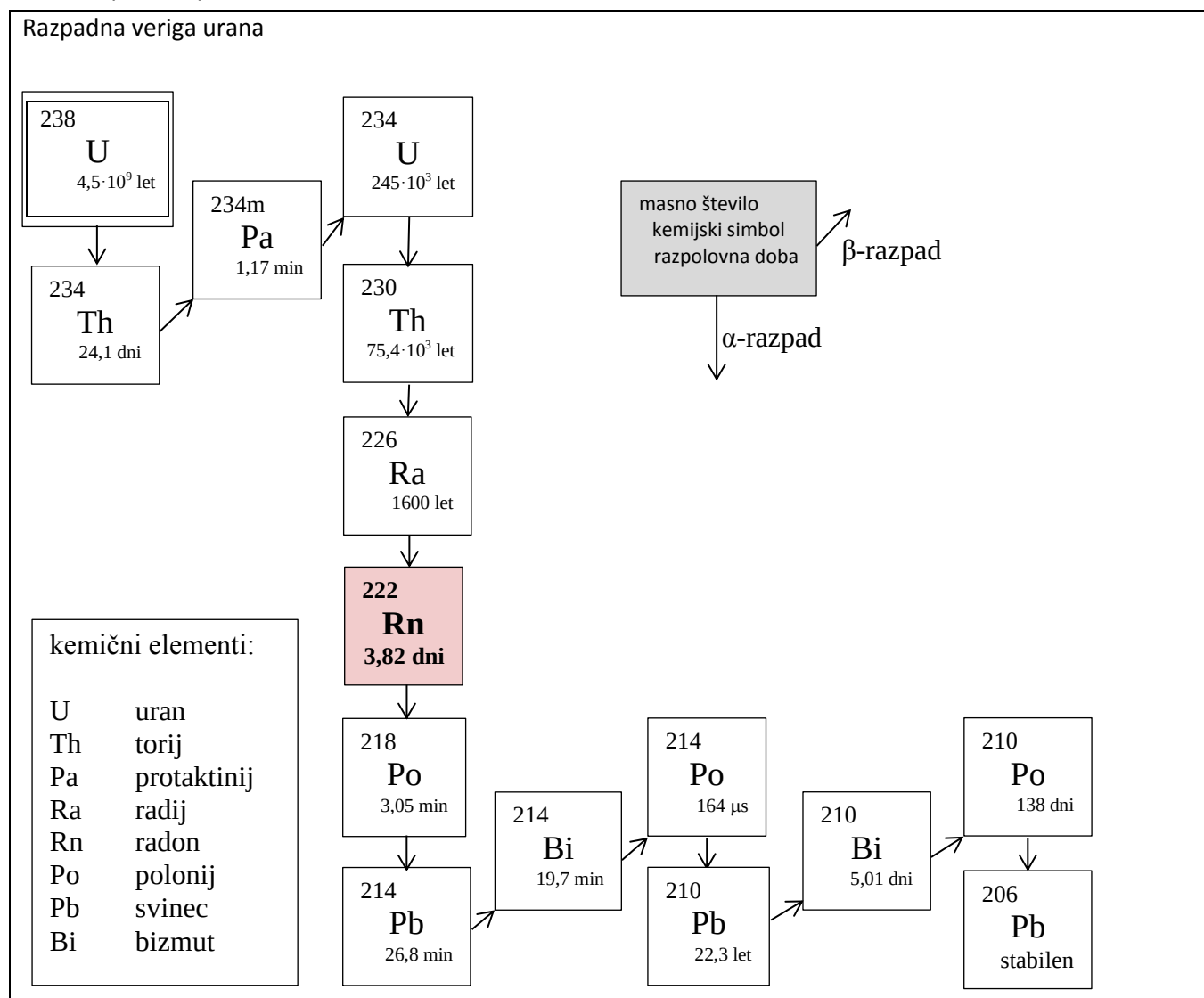
2 Problem radona

2.1 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 predvsem zaradi radioaktivnega razpada.

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



Slika 1: uranova razpadna veriga.

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.

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.

2.2 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 (iz predstavitve g. Šuteja v okviru projekta SCOPES, 2011). 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. Zakonsko predpisana dopustna koncentracija radona v notranjih prostorih je 400 Bq/m^3 , priporočena pa 200 Bq/m^3 , določena v *Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb – Priloga 1, tabela 7* (Ur.l.RS št. 42/02). V zadnjih letih opazamo ponoven porast koncentracij, kar lahko deloma pripišemo tudi večji tesnosti stavb po energetskih prenovah.

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 koncizna 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.

3 Navodila v primeru povečanih koncentracij radona v stavbah v vzgojno izobraževalnih zavodih

3.1 Takojšnji ukrepi

Prezračevanje prostorov je s stališča nižanja koncentracij radona v zraku enostaven in učinkovit ukrep. Vendar pa zaradi:

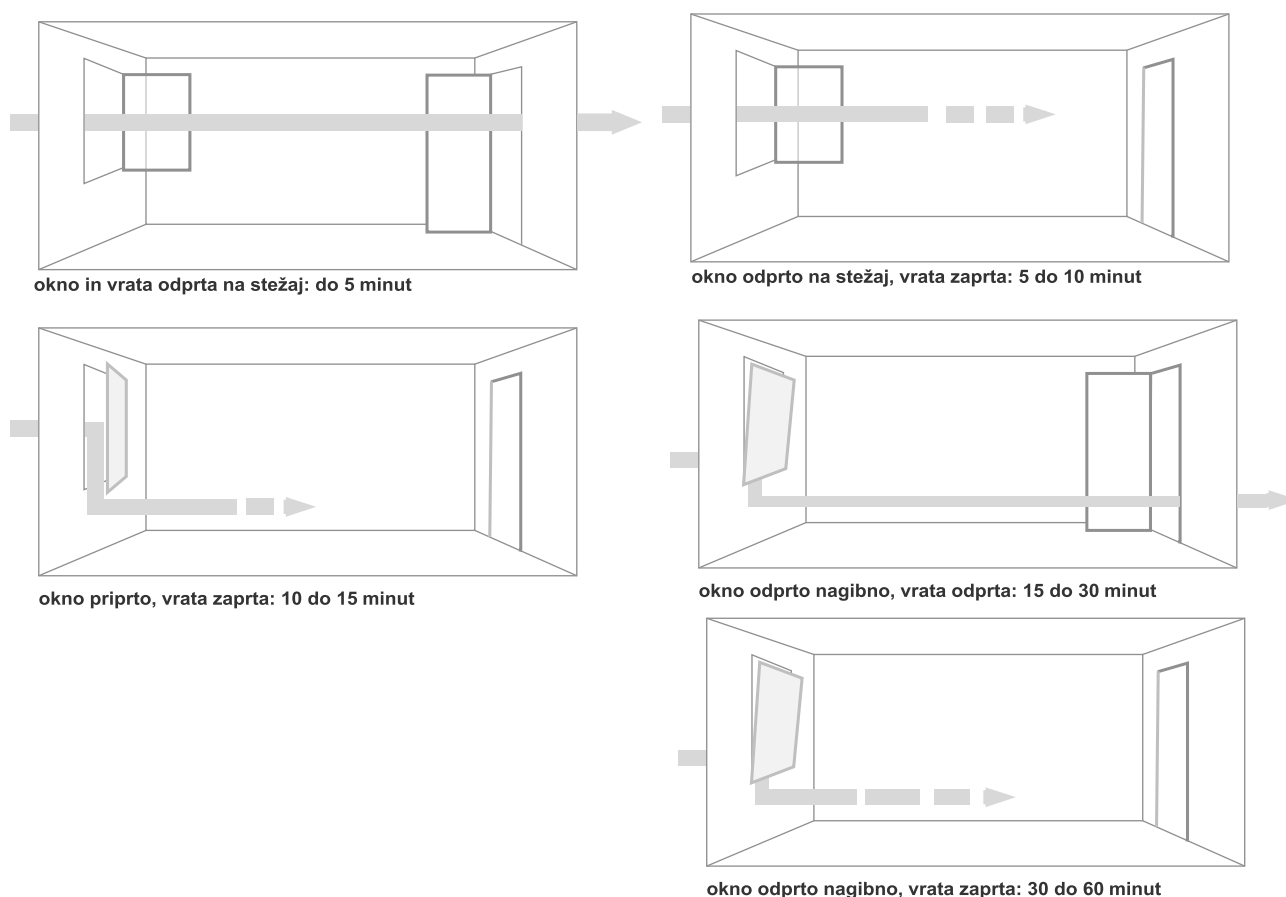
- povečanja toplotnih izgub,
- induciranja prepiha,
- zmanjšanja izolacije pred zunanjim hrupom,
- varnostnega tveganja in
- tveganja za poškodbe objekta v primeru, da okna ostanejo odprta.

Ukrep naravnega prezračevanja stavbe z odpiranjem oken ne more biti del dolgoročne rešitve stanja glede koncentracije radona v prostoru.

Neglede na ugotovljeno, pa je na tem mestu smiselno poudariti potrebo po zagotavljanju svežega zraka v učilnicah in prostorih vzgojno izobraževalnih objektov, tudi za primere, ko povišane koncentracije radona (še) niso potrjene z meritvami. Pri tem je možno zadostno zračenje zagotoviti tudi z naravnim prezračevanjem (brez mehanskih naprav). Obstajajo tudi hibridni sistemi – higrično krmiljenje zračenja, kjer na osnovi parametrov kakovosti zraka odpiramo / zapiramo poti naravnega prezračevanja, kot so okna, zračniki in podobno. Še posebej pri obstoječih, starejših stavbah je namestitev mehanskega prezračevalnega sistema težavna, zato je tam naravno zračenje nujno.

Samo zračenje naj poteka na način, da se vzpostavi zračni tok po celotnem prostoru – t.i. križno zračenje z odpiranjem oken na različnih stenah. Vendar imajo VIZ mnogokrat takšno arhitekturno zasnovo, da se okna nahajajo le na eni strani objekta. V takih primerih je potrebno, če se z odpiranjem oken na eni strani ne vzpostavi prezračevanje po globini prostora, prečno (križno) zračenje doseči npr. s hkratnim odpiranjem vrat.

Intenzivnost izmenjave zraka pri takšnem zračenju je reda velikosti $10h^{-1}$, torej za zamenjavo zraka v prostoru zadošča 5 minut zračenja vsako šolsko uro. Če ne zračimo vsako šolsko uro med odmori, težko zagotovimo potrebno količino svežega zraka. Način zračenja prilagodimo možnostim, glede na zasnovo prostorov (lega oken in vrat).

Slika 2: shema zračenja¹.

3.2 Potek odločanja o ravnanju v primeru previsoke koncentracije radona

Pripravili smo orodje za odločanje, ko iščemo optimalno pot v smislu pričakovanega učinka, cene in kompleksnosti načrtovanja izvedbe protiradonske sanacije v stavbah vzgojno-izobraževalnih zavodov. Orodje je preprosto za uporabo, saj odgovorimo na šest vprašanj in na podlagi tega lahko ugotovimo, ali gre za preprosto ali kompleksno sanacijo. Preproste sanacije se lahko lotimo v lastni režiji. Za preprosto sanacijo si moramo pritrdilno odgovoriti na vprašanja zastavljena na Diagramu 1 (glej naslednjo stran). Več o vprašanjih se nahajav točkah 3.3 do 3.8.

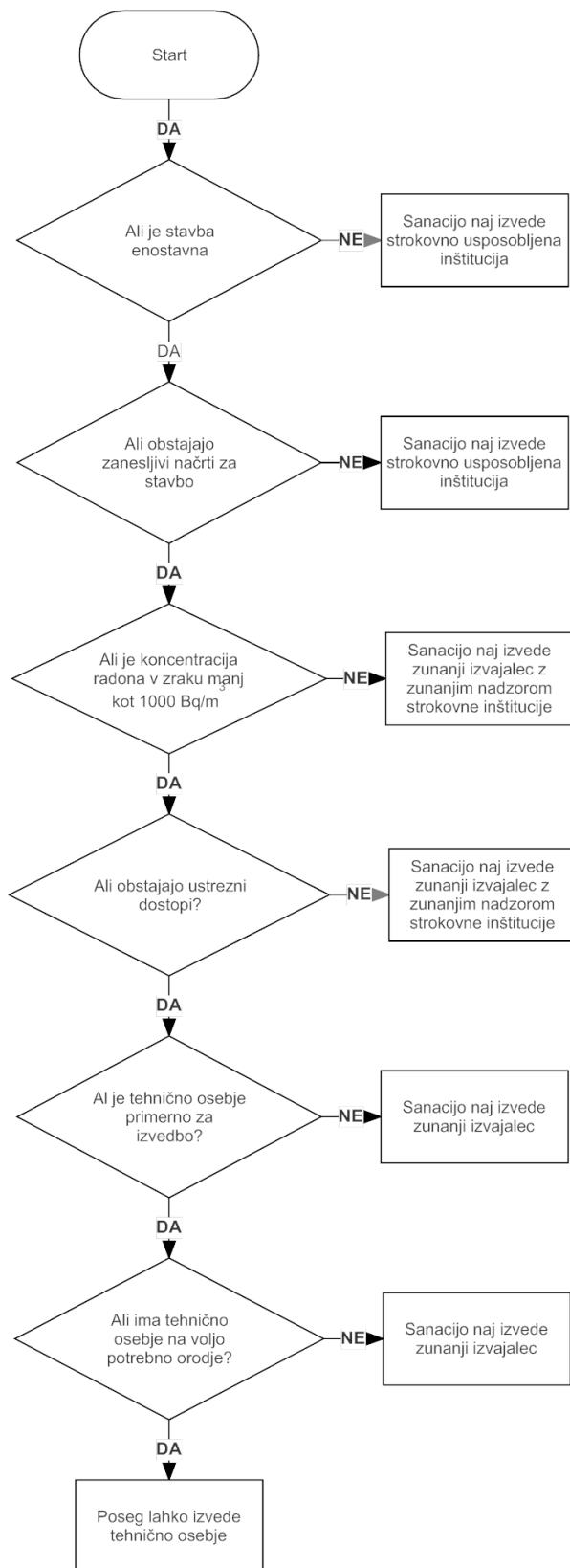
Zelo pomembna je naslednja odločitev oziroma omejitev: pričujoča smernica podaja osnovne elemente doktrine reševanja problematike radona v stavbah na splošno, ki jih lahko neposredno uporabimo tudi pri VIZ. Ukrepi doktrine so, če so izvedeni pravilno, zelo uspešni (znižanje koncentracij tudi za več kot 90%), kljub temu pa uspešnost ni 100%. Zato izvajanje ukrepov - z nekoliko previdnosti - priporočamo za enostavne primere, kjer je koncentracija radona povišana, ni pa kritična ($< 1000 \text{ Bq/m}^3$).

Pomembno je tudi, da je sanacija prostorov včasih večfazna. Zato moramo upoštevati tudi možnost, da bodo rezultati sicer dobri, vendar ne bodo takoj dosegli pričakovanj. V takih primerih moramo sanacijo nadaljevati z zunanjim vodstvom, saj je očitno, da je prišlo do napačne presoje enega izmed

¹ Povzeto po: www.arhem.si; Matjaž Malovrh, Miha Praznik, *Gradbeni inštitut ZRMK*. Sekundarni vir: Richtig heizen, Verein für Konsumenteninformation, 1998; Friederich Reinmuth: *Energieeinsparung in der Gebäudetechnik*, Vogel Fachbuch, 1994; 3. Pistohl: *Handbuch der Gebäudetechnik*, Werner-Verlag

elementov v verigi odločanja. Kljub temu pa delo in komponente sistema niso odvečne in se načeloma lahko uporabijo pri korigiranem / dopolnjenem sistemu.

Diagram 1: iskanje optimalne poti pri načrtovanju protiradonske sanacije



3.3 Kdaj lahko rečemo, da je za namene radonske sanacije stavba enostavna?

Enostavnost stavbe je merilo, ki ga je zelo težko definirati neposredno, z numeričnimi parametri. Za enostavno stavbo velja, da gre za enotno stavbno maso, ki je grajena v enem ali dveh ločenih kosih. Prav tako je enostavna stavba s stališča sanacije radona relativno nizka, saj se pri visokih stavbah lahko pojavi neželen dimniški efekt, ki znatno pospešuje vdor radona v stavbo.

Zahteva glede terena je posebej relevantna na kraškem svetu. Nekatere stavbe namreč stojijo nad razpokami, vrtačami ipd., kar pomeni potencialno zelo veliko obremenitev na eni strani in prepustnost tal na drugi strani.

Da stavbo opredelimo kot enostavno glede sanacije za radon, mora biti tudi takšna, da so znani uporabljeni materiali in sestava nosilnih konstrukcij.

Medetaže same po sebi ne predstavljajo problema, pod pogojem, da je spodnji nivo stavbe enovit. Če stavba sledi naklonu terena, je ne štejemo za enostavno. Tudi če je stavba delno podkletena, delno pa ne, je še vedno lahko enostavna stavba.

Stavba je enostavna, če zanjo velja:

- da stoji na nezahtevnem terenu,
- da po prerezu etaže niso prelomljene, razgibane, da ni medetaž,
- da je tlorisno kompaktno zasnovana, da prostori niso preveč razvejani,
- da ni medetaž oziroma predelov, kjer lahko prihaja do vleka brez nadzora,
- da je jasna nosilnost posameznih delov stavbe, predvsem temeljev v smislu odpornosti na prevrtanje.

Primeri neenostavnih stavb so primeri, kjer velja nekaj ali večina od naštetega:

- stavba je členjena,
- stavba je grajena v veliko časovnih obdobjih v teku nekaj desetletij,
- na hodnikih najdemo veliko prehodov med različnimi višinami za pol nadstropja,
- v tleh najdemo večje konstrukcijske razpoke, kar kaže na to, da se stavba neenakomerno poseda,
- sistem ogrevanja in inštalacij je izveden zelo prepleteno, brez pravega reda,
- stavba je visoka: 4 ali več etaž, vključno s kletjo.

3.4 Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da obstajajo zanesljivi načrti za stavbo?

Običajna težava pri zagotavljanju načrtov je, da ti niso dostopni, ali so nepopolni ali ne odražajo realnega stanja.

Za sanacijo so potrebni načrti arhitekture in sicer tlorisi spodnjih etaž in prerezi ter tlorisi temeljev. Občasno so potrebni še tlorisi vseh nadstropij (za identifikacijo dimnikov in zračnikov).

V načrtih morajo biti jasno označene konstrukcije, bodisi na samem načrtu s sestavo, ali pa na posebnem popisu sestav. Iz načrtov in splošnega vedenja o stavbi je potrebno razpoznati ključne materiale in nasutje. Iz načrtov navadno ni razvidno, je pa pomembno:

- Ali je nasutje pod talnimi konstrukcijami vrisano oziroma ali obstaja?
- Ali je nasutje iz prodca ali lomljenca, ali morda iz žgalnih ostankov: žgalni ostanki so lahko primarni vir radona in jih je bolje odstraniti, kot prezračevati.
- Kakšna je debelina nasutja: minimum 20 cm.
- Kje potekajo temelji in kako globoki so, ali so vsi temelji enako globoki?

Načrti stavbe morajo izpolnjevati sledeče pogoje:

- potrebujemo tako tlorise kot prereze in načrt situacije,
- načrti morajo odražati trenutno stanje, to pomeni, da morajo vsebovati morebitne predelave, prenove, sanacije.

3.5 Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da je koncentracija radona v stavbi dovolj nizka - manj kot 1000 Bq/m³?

Visoke, povišane in nizke vrednosti koncentracije radona:

- nizke koncentracije do 300 Bq/m³,
- povišane od 300-1000 Bq/m³ in
- visoke nad 1000 Bq/m³.

Meritve radona morajo biti izvedene korektno, možna je uporaba pasivnih ali aktivnih metod. Pri tem je potrebno upoštevati letni čas in meritve izvesti na več mestih po objektu. Pasivni metodi sta detektor jedrskih sledi in pa detektor z aktivnim ogljem, s katerima dobimo kumulativne (nekaj mesečne ali dnevne – odvisno od metode) vrednosti koncentracije radona. Upoštevati je potrebno merilno negotovost metod. Z aktivno metodo določamo trenutne vrednosti, torej je primerna za analizo spreminjanja koncentracije radona v določenem časovnem obdobju (od nekaj ur do nekaj dni).

Kaj predstavlja visoke, povišane in nizke vrednosti radona, smo definirali s pomočjo Uprave Republike Slovenije za varstvo pred sevanji:

- nizke koncentracije do 300 Bq/m³,
- povišane od 300-1000 Bq/m³ in
- visoke nad 1000 Bq/m³.

Mejna vrednost koncentracij radona v delovnih prostorih je trenutno še 400 Bq/m³, vendar se vrednost niža. Nove zahteve Direktive 2013/58/EURATOM za delovne prostore mejno vrednost načeloma postavljajo na 300 Bq/m³. Direktiva tudi navaja, da dolgotrajna izpostava koncentracijam nad 100 Bq/m³ pomeni statistično signifikantno povečano tveganje za razvoj pljučnega raka.

Koncentracije, izmerjene v najbolj kritičnih slovenskih šolah v preteklosti, ki so že bile sanirane, so nemalokrat dosegle nekaj 1000 Bq/m³.

3.6 Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da obstajajo ustrezni dostopi?

Ustrezni dostopi pomenijo:

- da prostori niso bistveno vkopani (manj kot 0,5 m),
- enostavno kopanje ob zunanjih zidovih stavbe z lahko odstranljivim vrhnjim slojem,

Dostopnost prostorov se nanaša predvsem na predele stavbe, ki bi bili zazidani ali drugače nedostopni, lahko pa bi igrali ključno vlogo pri analizah stanja in kasneje pri izvajanju sanacije.

3.7 Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da je tehnično osebje primerno za izvedbo?

Tehnično osebje, ki bi izvajalo ukrepe sanacije, mora imeti primerno tehnično znanje in izkušnje. Sanacija običajno obsega gradbene posege, zato je potrebno znanje gradbene stroke, predvsem kar se tiče znanja o konstrukcijah. Po drugi strani pa je potrebno imeti primerno znanje o problematiki radona in načinih sanacije, ki so na voljo in so opisani v točki 6. Primeri se pogosto razlikujejo med seboj do te mere, da splošne rešitve ne obstajajo, zato mora tehnično osebje do primerne nivoja obvladovati tematiko.

Osnovne zahteve za usposobljenost tehničnega osebja:

- osnovno znanje gradbene in elektro stroke. Priklop električnih naprav mora izvesti za to pooblaščen oseba,
- sposobnost natančnega dela in obvladovanje potrebnega orodja,
- razumevanje navodil za sanacijo in predvsem razlogov za določeno zahtevo.

3.8 Kdaj lahko za namene radonske sanacije rečemo, da so na voljo potrebna orodja?

Potrebna orodja:

- kronski vrtalni stroj (80 – 125 mm),
- klasična vrtalka s svedri,
- orodja za izkop kaverne (loparka na dolgem ročaju),
- ročno orodje,
- trajnoelastična tesnilna masa (PU),
- podložni trak,
- profilirana tesnila.

Orodja, potrebna za sanacijo, obsegajo orodja za pregled oziroma določanje nivojev radonske obremenjenosti prostorov, pri tem je pogosto potrebna vzpostavitev podtlaka (sondiranje, ventilatorji za vzpostavitev podtlaka, elementi za zatesnitev sistema itd.). To vključuje tudi orodje za same gradbene posege. Pri vpeljevanju elementov za sanacijo stanja so potrebni načrtovani posegi: cevi, ventilatorji, tesnilni elementi itd.

Nekaj orodij je vidnih na sliki v poglavju 7.

4 Specifike stavb (pred)šolskih VIZ

Stavbe namenjene mlajšemu delu populacije nimajo izrazitih specifik v primerjavi s podobnimi stavbami iz istega obdobja. So pa zaradi načina gradnje iz različnih obdobj pogosto grajene nekonsistentno in odstopajo od načrtov. Morda so prav VIZ tudi bolj podvrženi predelavam in dozidavam zaradi spreminjajočih se potreb uporabnikov.

Te stavbe (posebej vrtci) so tudi praviloma ogrevane na višjo temperaturo, kar pospešuje vzgonski vlek radona iz tal.

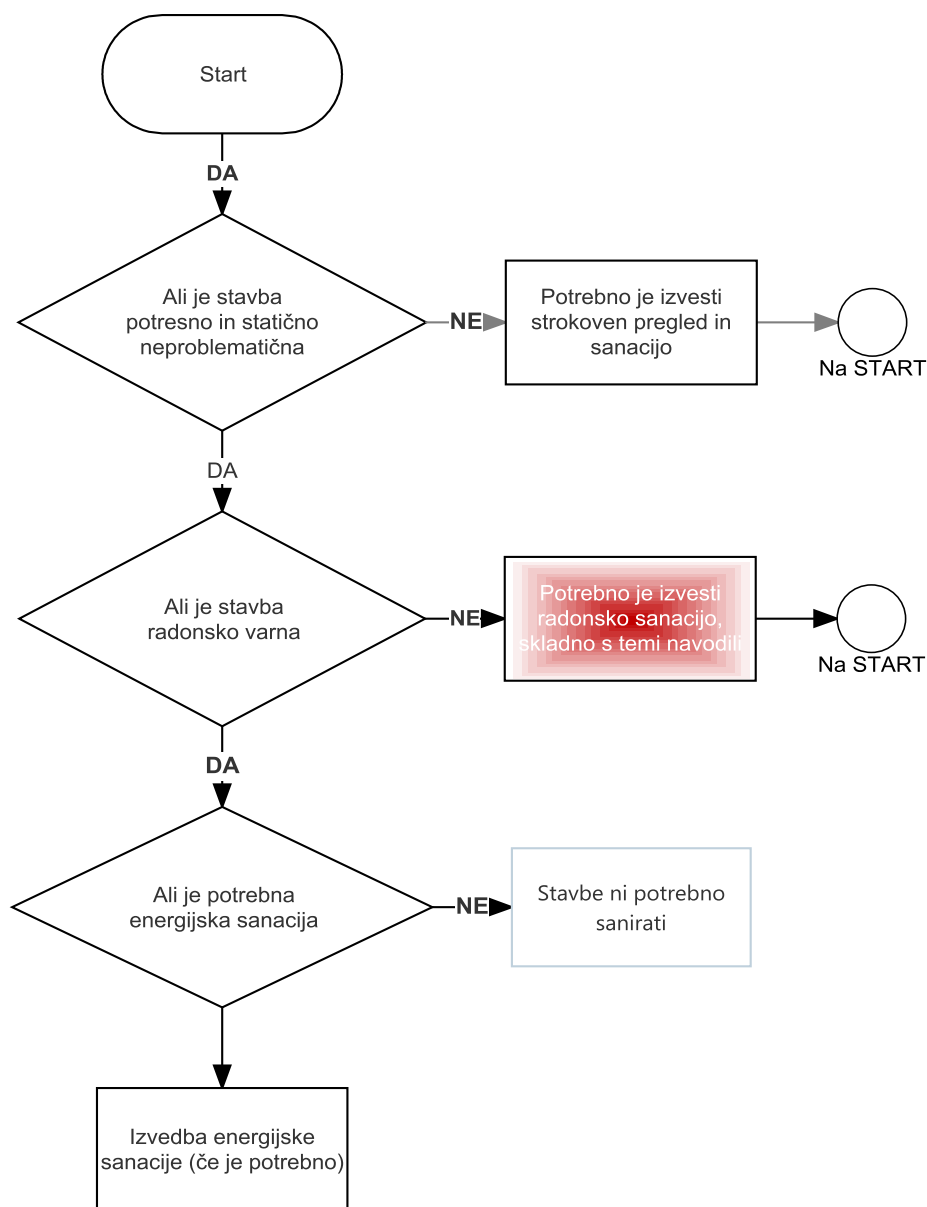
Vzdrževanje teh objektov je različno, mnogokrat ne idealno, občutljivost otrok na obremenitve z radonom pa višja kot pri odraslih.

5 Dodatna navodila ob hkratnih sanacijah

Protiradonska sanacija je lahko smiselno povezana s celotnim pristopom, na primer z energijsko, statično in/ali arhitekturno sanacijo (glej tudi diagram 2 za določanje prioritete). V primerih protipotresne sanacije in energetske sanacije objektov na področjih, ki so obremenjena s povišanimi koncentracijami radona (ali drugih naravnih sevanj) je zelo smiselno ob izvedbi teh sanacij načrtovati tudi (morebitno) radonsko sanacijo. Potrebne spremembe v sanacij (protipotresne in energetske) so v tem primeru majhne, vendar upoštevanje radonske sanacije pri načrtovanju slednje kasneje izvedbeno olajša, kar pomeni tudi zmanjšanje investicijskih stroškov.

Zato je nujno hkratno in usklajeno načrtovanje radonske, statične, protipotresne, energetske, arhitekturne in morebitne druge potrebne sanacije.

Diagram 2: Določanje prioritete pri hkratni potresni, energijski in radonski sanaciji



5.1 Vpliv protipotresne sanacije

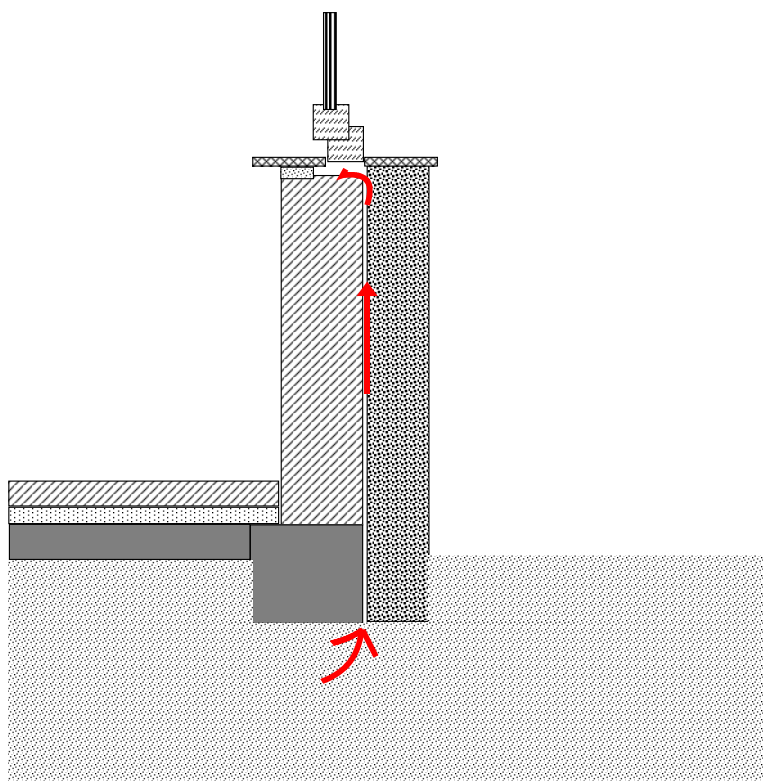
Sanacija stavb v smislu potresne varnosti ali v smislu statike praviloma zahteva relativno velike gradbene posege. Pri tem se spreminja nosilni sistem. Protipotresne sanacije morajo biti prve na vrsti, pred sanacijo proti radonu, sicer tvegamo, da bo sistem po sanaciji slabše delujoč.

Pri izvajanju protipotresne sanacije predvidimo več mest, kjer lahko izvedemo preboj temeljnega dela zidov za dostop pod talno konstrukcijo. Prav tako lahko v tej fati povežemo posamezna področja, ki so sicer po obodu zaprta z globokimi temelji.

5.2 Vpliv energetske sanacije

Energetska sanacija ima praviloma znaten, negativen vpliv na protiradonsko sanacijo. V okviru energijske sanacije namreč pogosto menjamo stavbno pohištvo in tesnimo ovoj stavbe. Kar je s stališča energije dobro, je v tem primeru s stališča radona slabo, saj s tem zmanjšamo pretok zraka oziroma izmenjave. Vpeljati moramo prisilno prezračevanje.

Dodaten problem, ki ga lahko povzroči energijska sanacija, je povezan z nameščanjem toplotne izolacije v stiku s tlemi. Toplotna izolacija na zid praviloma ni nameščena s polnim lemljenjem, zato za izolacijo lahko nastanejo vertikalni kanali, ki so v stiku z zemljino, bogato z radonom. Ker so ti kanali v topli coni ovoja, lahko pride do manjšega vleka zraka, ki pa zadošča za transport radona po reži med zidom in izolacijo navzgor. Kanal se lahko konča v območju okna in tako nastane nova transportna pot za radon, neposredno na šibko mesto ovoja stavbe (Slika 3).

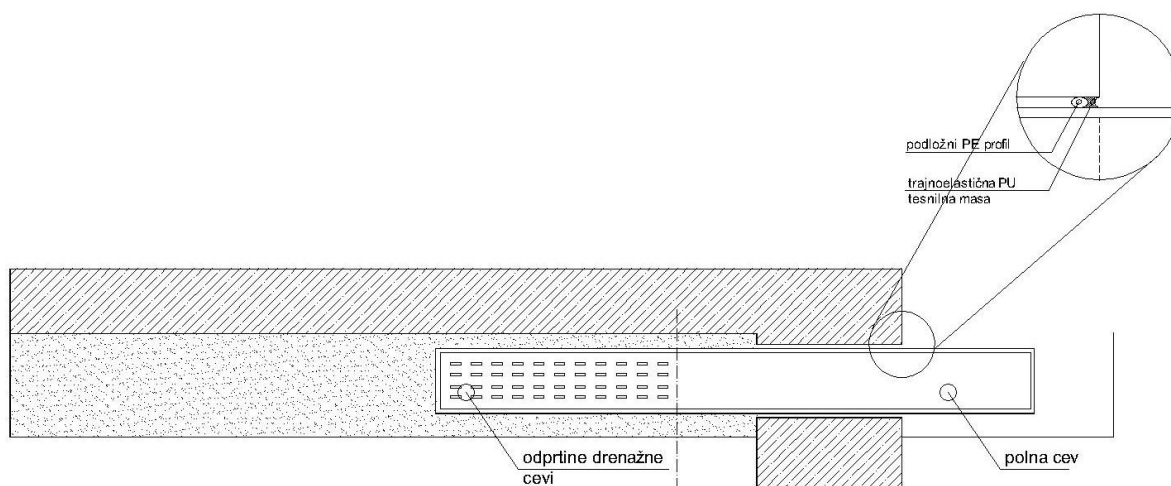


Slika 3: shema transporta radona med zidom in toplotno izolacijo podstavka zidu.

6 Izvedba sistemov sanacije

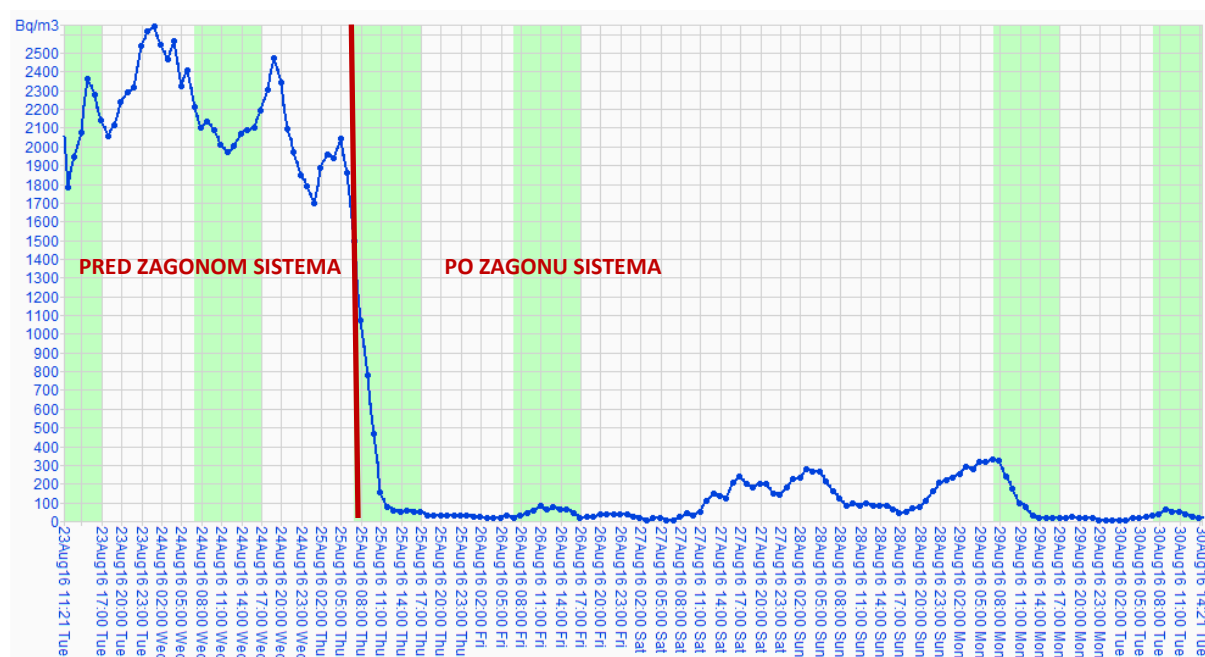
6.1 Vzpostavitev podtlaka pod talno ploščo (ASD – »Active Sub-slab depressurization«)

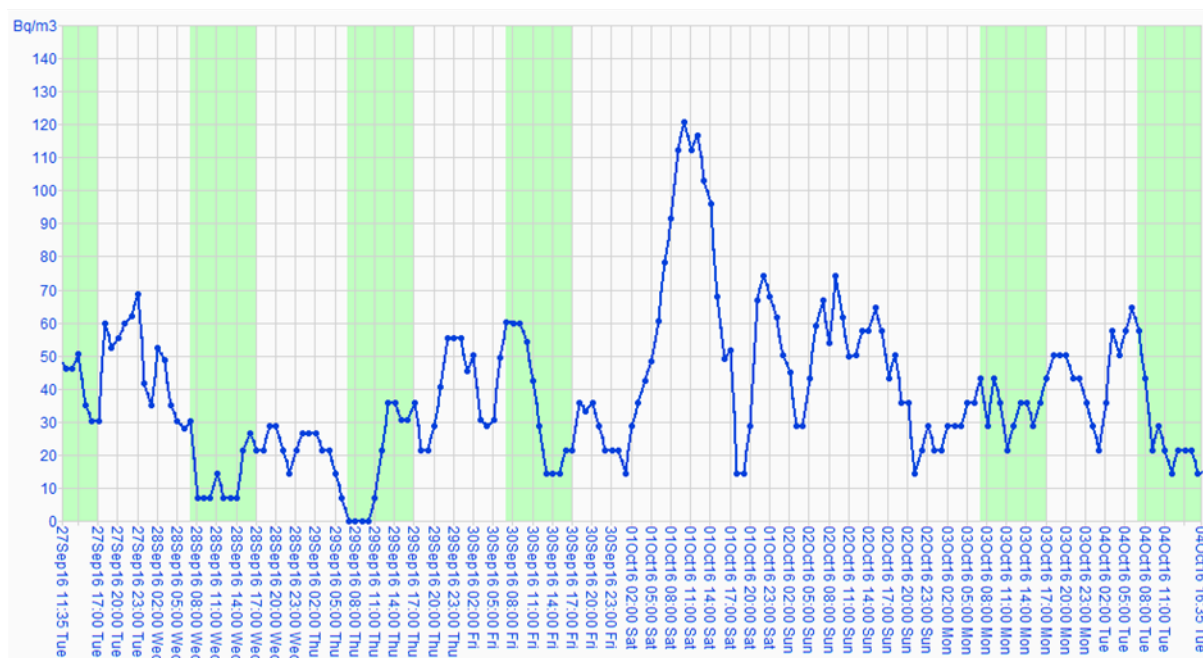
Konceptualno izvedemo prezračevanje zemljine pod talno ploščo tako, da pod ploščo izkopljemo kaverno, ki jo prezračujemo s prisilnim ventilacijskim sistemom. Shema je prikazana na sliki (Slika 4).



Slika 4: shema prezračevanja zemljine.

Tipični rezultati, ki jih dosegamo z ASD so prikazani na sliki (Slika 5). V obeh primerih so bile koncentracije reda velikosti 1000 Bq/m³ in več. Na zgornji sliki je viden učinek zagona sistema





Slika 5: Tipični rezultati določanja Sistema ASD .

6.1.1 Načrtovanje in dostop do mesta odvajanja

6.1.1.1 Preverjanje načrtov

Prvi korak pri načrtovanju konkretnih ukrepov je pregled dostopne tehnične dokumentacije o stanju stavbe. Pri tem si pomagamo s pisnimi in ustnimi viri, glede na razpoložljivost:

- originalni načrti stavbe
- posnetki stanja pri predelavah
- dostopna tehnična dokumentacija in zapisi o izvedbi del
- pregled dejanskega stanja (npr. razvoda kanalizacije in inštalacij, morebitnih zračnikov in dimnikov itd.)
- informacije osebja, ki je bilo prisotno pri različnih delih (npr. preurejanju stavb)
- informacije od oseb, ki so morda bile prisotne v času gradnje
- informacije drugih virov (npr. tipična gradnja v določenem obdobju)

Te informacije zberemo v urejeni obliki in popišemo (naredimo register) informacij, organiziran po posameznih sklopih stavbe:

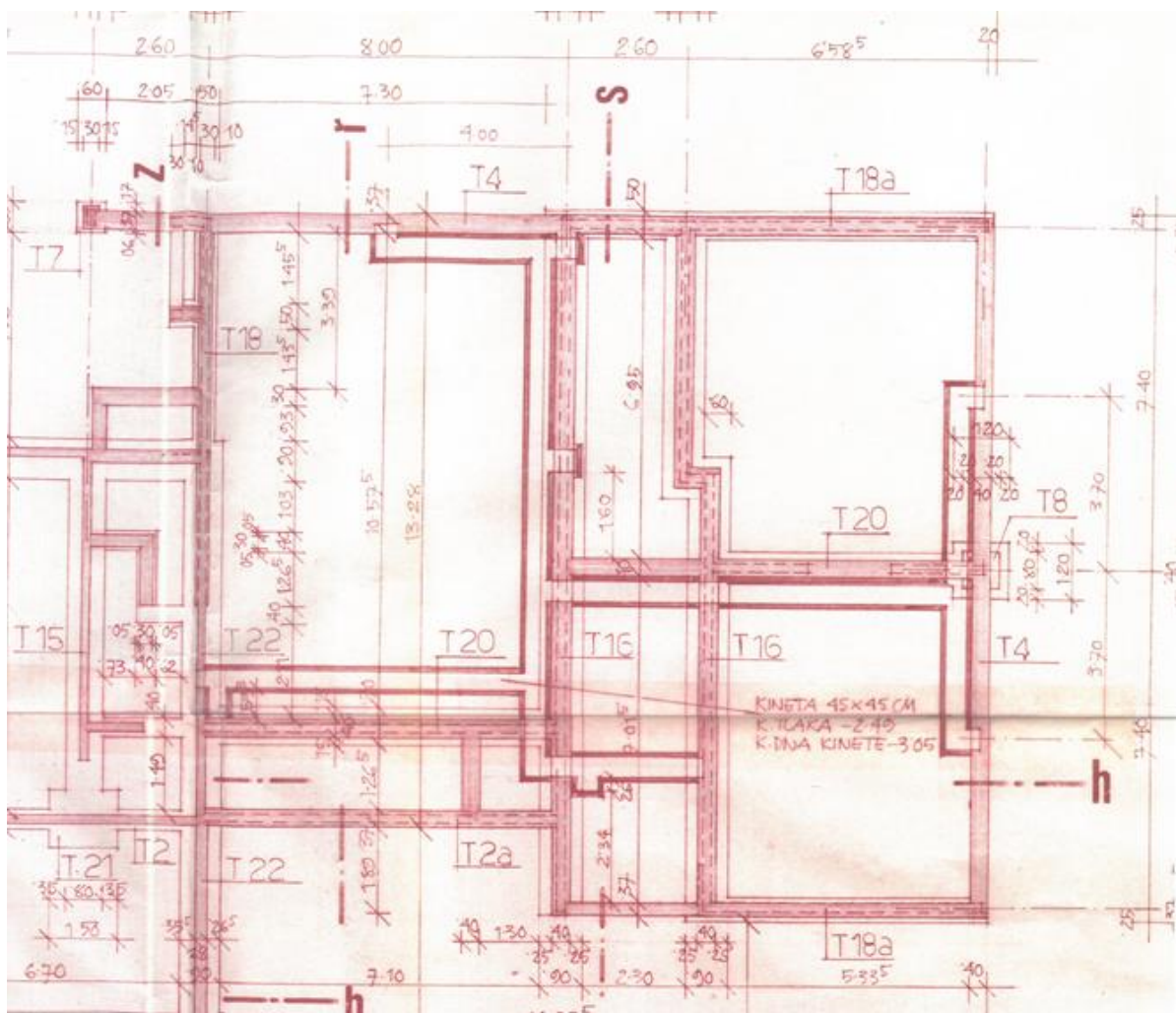
- informacije o terenu
- informacije o temljenju, predvsem kje so temelji nosilnih konstrukcij in ocena o njihovi globini
- informacije o uporabljenih zasipnih in nasutih materialih (posebej če obstaja možnost uporabe žgalnih ostankov)
- informacije o različnih razvodih (kanalizacija skupaj z greznico oziroma priključitvjo na kanalizacijsko omrežje, vodovod, dimniki, prezračevalni jaški, odptine za prezračevanje konstrukcij in stavbe,...)

Pri nekaterih stavbah, odvisno od letnika in vrste gradnje, določenih elementov ni.

6.1.1.2 Ugotovitev dejanske slike stavbe

Na osnovi zbranih informacij narišemo skico (načrt) kletnih in talnih etaž ter na njej označimo globoke temelje. Vrišemo tudi kanalizacijo in morebitne kinete (jaške) za razvod cevovodov. Če v stavbi imamo kineto, je ključno, da ugotovimo, v katere prostore kineta sega, da ocenimo njen volumen (groba ocena) in da preverimo, ali je na vstopu cev odprta ali zaprta. Če je odprta oziroma preboji cevi niso tesni (običajen primer), preverimo, ali vstop cevi v kineto lahko zapremo s primerno zaporno ploščo (npr. mavčno-kartonsko ploščo, XPS ploščo ali podobno). Če se bo kasneje izkazalo, da za zbiranje radona lahko uporabimo kinetni razvod, bo tako zaprtje nujno, sicer prezračevalni sistem ne bo deloval dovolj dobro.

Primer načrta, kamor lahko vrisujemo dejansko stanje, je na sliki (Slika 6). Dejansko stanje je potrebno nujno preveriti, ker so odstopanja pogosta!



Slika 6: pogost primer načrtov.

6.1.1.3 Fizična dostopnost

Pri načrtovanju ukrepov se praviloma odločimo, da speljemo razvod cevi radonskega sistema na prosto po zunanji strani stavbe. Ker zajem izvajamo pod spodnjo koto talne konstrukcije, se

praviloma zgodi, da moramo na zunanji strani izkopati dostop. Pri tem se, če je mogoče, izogibamo težavnih predelov: asfalt, betonske plošče, globok izkop itd. Za izkop moramo predvideti površino vsaj 1,5 m × 1,5 m, odvisno od vrtnalne opreme, ki bo uporabljena.

Za mesto posega izberemo lokacijo, kjer ni inštalacij, ki bi jih s posegom lahko prekinili.

Izbrano mesto mora biti tudi tako, da bomo do tega mesta zlahka napeljali električno napajanje za ventilator, da bo krmiljenje ventilatorja iz prostora, kamor učenci nimajo dostopa, ter da bo mesto izbrano tako, da se bo sistem kar se da vklopil v izgled stavbe (glej tudi nadaljevanje).

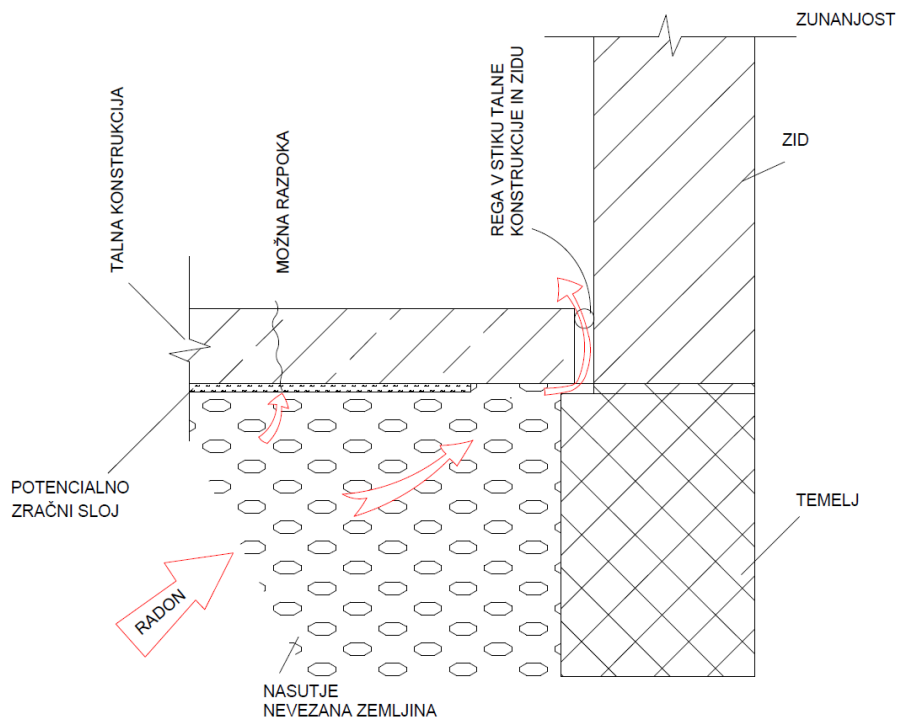
6.1.1.4 Osnovna oprema

Osnovna oprema, ki jo potrebujemo pri izvajanju sanacije, obsega:

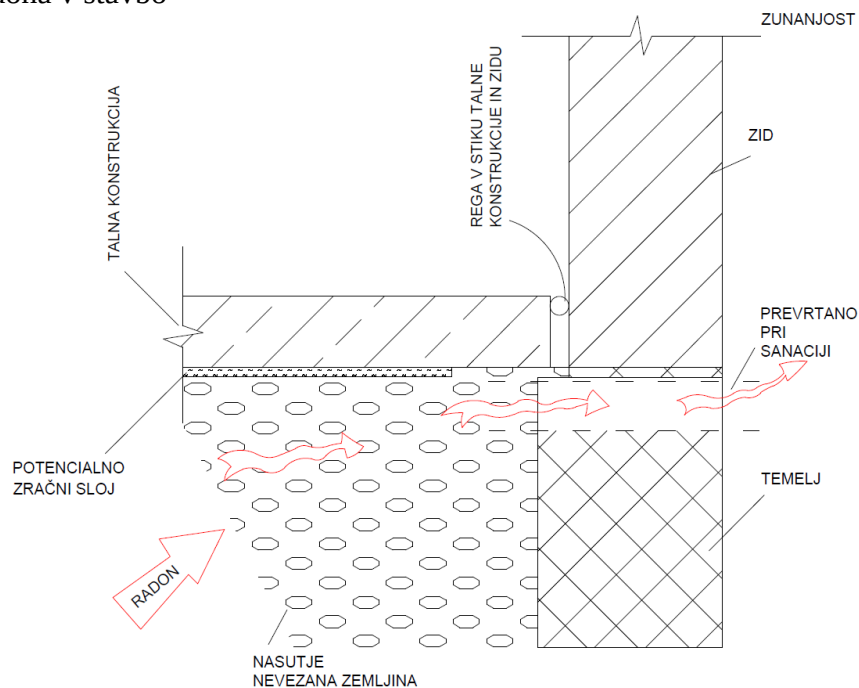
- kronski vrtnalni stroj (z ustreznimi nastavki za dolžino) z ustreznim premerom – 5 – 10 mm večjim od zunanjega premera cevi
- udarni vrtnalni stroj (sveder zadostne dolžine, včasih 1200 mm in več)
- ročno orodje
- lopatko za izkop votline (v nekaterih primerih) – slika 4.
- potrošni material
 - samoekspanzijski tesnilni trak
 - PU pena
 - trajnoelastična poliuretanska (PU) tesnilna masa
 - podložni profil (penjeni polietilen -PE)
- osebna zaščitna oprema

6.1.2 Pretakanje radona pod talno konstrukcijo in zajem radona

Pretaknje radona po zemljini pod talno konstrukcijo je shematsko prikazano na sliki (Slika 7).



A. Vstop radona v stavbo



B. Odvod radona iz stavbe

Slika 7: pretakanje radona pod talno konstrukcijo in poti vstopa.

6.1.2.1 Pretakanje radona

Radon se pod talno konstrukcijo pretaka po prepustnih plasteh in razpokah. Vir gibanja so tlačne razlike, zato je pomembno, da zagotovimo takšno stanje, v katerem se radon relativno neovirano giblje pod talno konstrukcijo do zbirnega mesta. Relativno neovirano gibanje je na voljo takrat, ko:

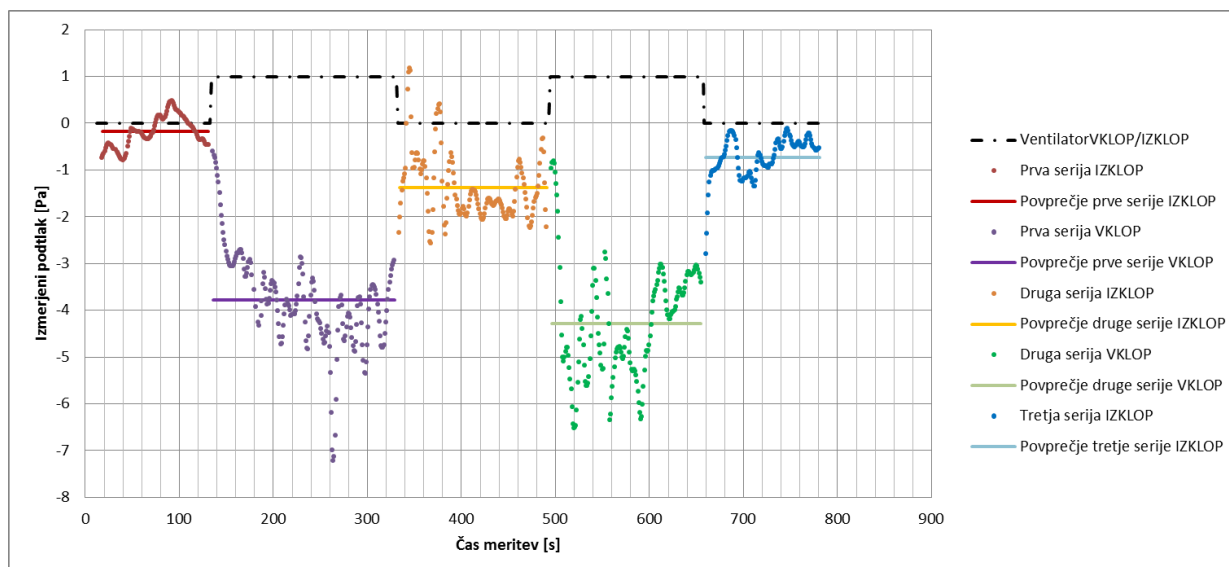
- so temelji plitvi in se radon giblje pod temelji
- so v temeljih preboji med prostori (npr. kinete) in ti preboji niso tesno izvedeni
- je talna konstrukcija prepustna (brez zelo finih frakcij peska), ali pa se polnilo posede, kar ima za posledico tanko plast zraka tik pod talno konstrukcijo

Če sumimo, da je gibanje radona relativno omejeno, preverimo, ali obstajajo enostavne možnosti za povezovanje posameznih prostorov. Pogosto je to možno pod pragovi vrat.

Posebej moramo tudi paziti na primere, ko so **za nasutje uporabljali žgalne ostanke**. Ti ostanki sami so vir radona! Če imamo tak primer, sanacijo prepustimo usposobljenemu zunanjemu izvajalcu.

Za ugotavljanje tesnosti talne konstrukcije (oziroma raztezanja podtlačnega polja) obstaja za to razvit protokol merjenja, vendar so te meritve prezahtevne, da bi bile del samogradnje radonskega sistema. Zato o prepustnosti talnih slojev sklepamo na osnovi zbranih podatkov o stavbi in načinu gradnje.

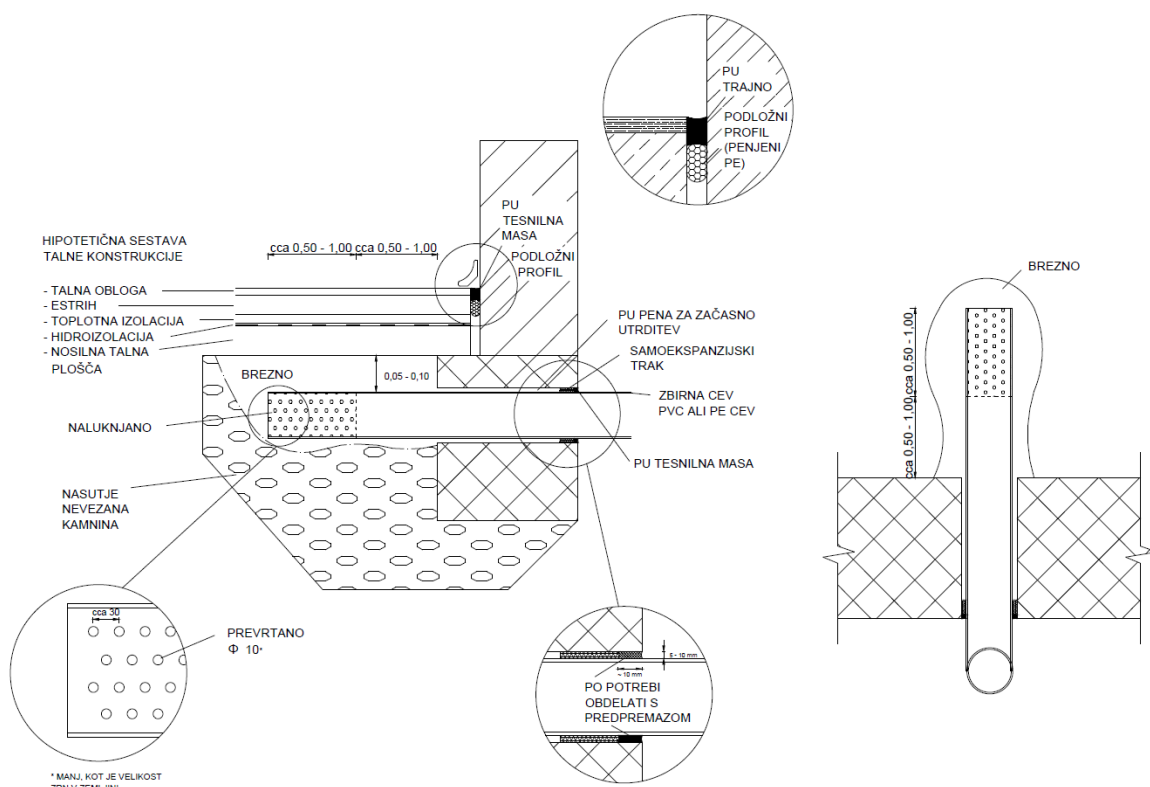
Primer rezultatov merjenja tlačnega polja in predvidenega učinka ventilatorja je na sliki (Slika 8). Polje podtlaka se razteza po celotnem tlorisu stavbe.



Slika 8: primer rezultata merjenja učinka delovanja ventilatorja na podtlak pod talno konstrukcijo.

6.1.2.2 Zajem radona

Shema sesalnega brezna za zajem radona z detajli je prikazana na sliki (Slika 9).



Slika 9: shema zajema radona v sesalnem breznu.

Zajem radona izvedemo na za to predvidenem mestu, ki mora biti izbrano glede na kriterij raztezanja podtlačnega polja tako, da zajamemo čim večji del stavbe, in glede na kriterij fizične dostopnosti.

Zajem radona obsega:

- preboj obodne konstrukcije,
- izvedbo zbirnega brezna in
- povezavo zbirnega brezna z zunanostjo

6.1.2.2.1 Preboj obodne konstrukcije

Preboj obodne konstrukcije izvedemo z ustreznim orodjem, navadno s kronsko vrtalko. Kronska vrtalka mora biti primerne premera – praviloma 5 mm do 10 mm več kot je zunanji premer cevi, ki jo bomo skozi odprtino vstavili. Izkušnje pokažejo, da je za prevrtanje premera 125 mm najboljša vrtalka premera 135 mm. Tesnejšo vrtino lahko izvedemo, vendar bomo imeli več težav pri vstavljanju cevi skozi prevrtano konstrukcijo. Pri poravnavanju vrtine pazimo na naklone. V vrtino bomo namreč vstavili cev in če vrtina ne bo skrbno poravnana, bomo imeli kasneje težave pri sestavljanju segmentov odvodne cevi. Zato vrtino izvedemo kar se da pravokotno, vodoravno na tla in v smeri proti notranjosti objekta.

Pri izvajanju vrtanja posebej pazimo na nevarnost preboja inštalacij v steni. Prav tako moramo predvideti vodno hlajenje kronske vrtalke.

Vrtamo tako, da bo vrh izvrtine po višini tik pod spodnjo koto talne konstrukcije. Višino izvrtine določimo s prenašanjem notranjih in zunanjih mer. Ciljna razlika med zgornjo koto vrtine in spodnjo koto talne konstrukcije je 5 cm. Če ne vemo, kje se nahaja talna konstrukcija, lego ocenimo in vrtamo varnostno 5 cm nižje od najnižje pričakovane točke talne konstrukcije.

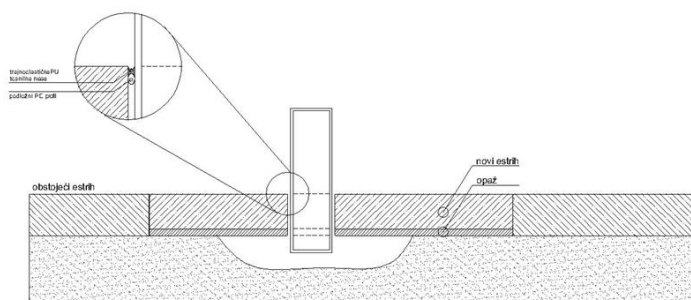
Če vrtamo previsoko, bomo zadeli na talno konstrukcijo in bo potrebno prilagoditi sesalno cev. V večini primerov večjih težav ne bo.

6.1.2.2.2 Zbirno brezno

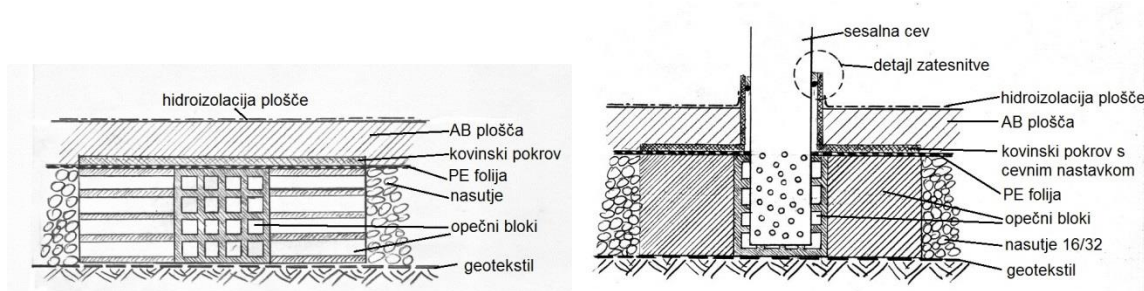
Zbirno brezno izvedemo tako, da skozi prevrtno obodno konstrukcijo s primernim orodjem (lopatica na podaljšku) odstranimo material pod talno konstrukcijo, skupaj vsaj 20 litrov, praviloma pa več (do 50 litrov). Brezno izvedemo v globini (odmiku od notranjega roba zidu) vsaj 50 cm. Brezno naj se v notranjost razteza vsaj 50 cm od začetka brezna. Volumen ni zelo bistven; večje kot je brezno, bolj je sistem učinkovit, vendar pa ne smemo preveč spodkopati talne konstrukcije. Brezno oblikujemo tako, da podpira zbirno cev.

6.1.2.2.3 Alternativna izvedba brezna (od zgoraj)

Včasih je prezračevalni sistem lažje izvesti od zgoraj, tako, da prebijemo talno konstrukcijo (del konstrukcije lahko tudi odstranimo). Pod talno konstrukcijo izkoplje sesalno brezno (Slika 10 **Error! Reference source not found.**, Slika 11) v enaki velikosti, kot pri vstopu iz strani (približno 50 litrov). V brezno vstavimo cev. Če imamo težave s fiksiranjem cevi, cev podložimo, vendar pazimo, da je s tem ne zamašimo. Cevi v breznu ni potrebno naluknjati, če cev stoji v zraku in je dostop zraka iz brezna v cev nemoten.



Slika 10: izvedba brezna z vstopom od zgoraj.



Slika 11: izvedba brezna z vstavljenjo opeke.

Praktično v takih primerih odstranimo del talne konstrukcije ter izkoplremo brezno, lahko tudi večje. V brezno položimo votle opeke (votlak), ki bodo na eni strani podpirale opaž za talno konstrukcijo in sesalno cev, na drugi strani pa bodo zagotavljale »zračnost« sesalnega brezna. Tudi v tem primeru tesnimo preboj skrbno, na enak način kot pri breznu z vstopom od strani: s trajnoelastično tesnilno maso in podložnim profilom. Če smo cev vstavili naknadno, uporabimo tudi samoekspanzijski trak, če pa smo cev (preboj) vbetonirali v talno konstrukcijo, pa samo skrbno izvedemo stik cevi in (novega) estriha.

6.1.2.2.4 Povezava brezna z zunanostjo

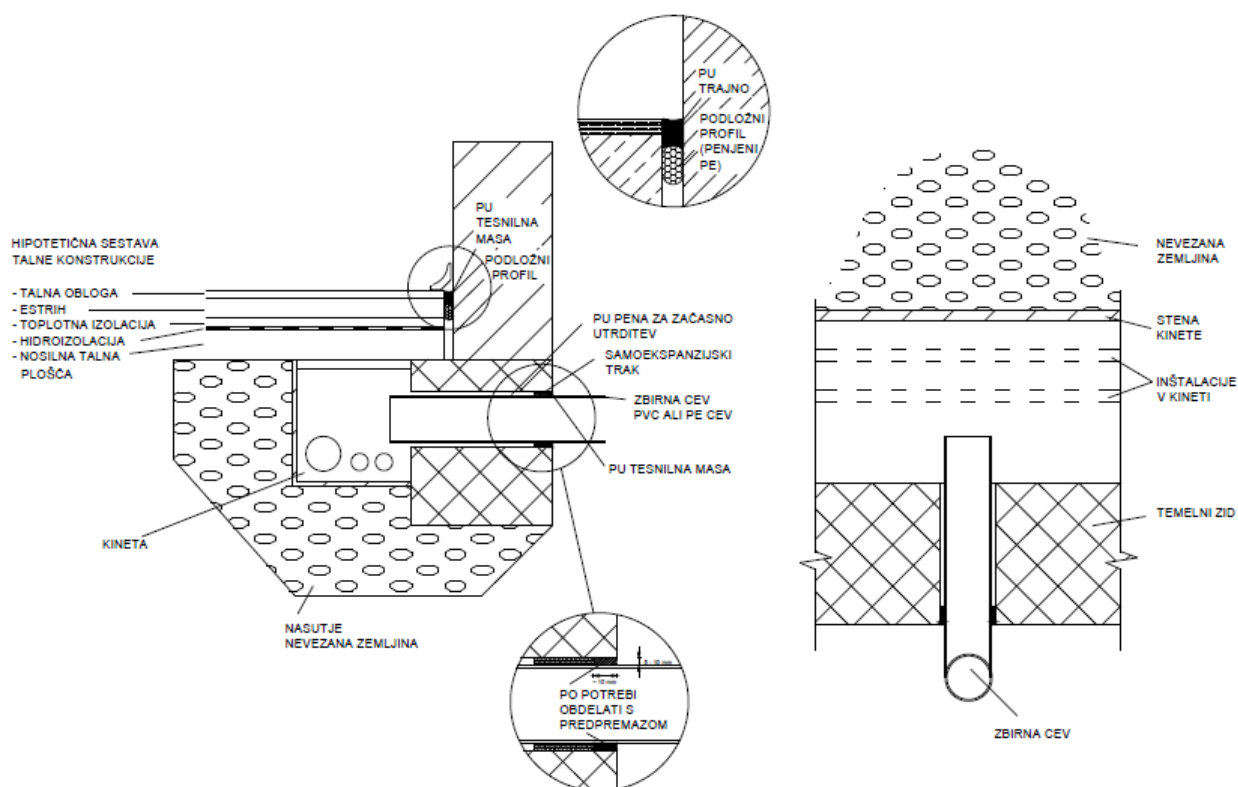
Brezno z zunanostjo povežemo z zbirno cevjo. Uporabimo PVC (ali PE) cev ustreznega premera. Ustrezni premeri so med 80 mm in 125 mm, pri tem, da za celoten sistem uporabimo enotno dimenzijo cevi. Izjemoma lahko uporabimo tudi cevi izven teh okvirjev, vendar moramo upoštevati, da lahko cevi s premerom, manjšim od 80 mm, nudijo neželen večji upor pretakanju zraka, za cevi večjih premerov pa nastopijo estetske omejitve.

Največkrat v praksi pri izvajanju sanacij uporabimo cev s premerom 125 mm zaradi možnosti priključitve ventilatorja (običajno zaradi ustreznih karakteristik uporabimo model ventilatorja za cev premera 125 mm). Obstajajo tudi drugačni ventilatorji (glej poglavje 6.1.3).

6.1.2.2.5 Kinete

Poseben primer že obstoječih »brezen« so kinete. Te se pogosto raztezajo po celotnem objektu. Le redko so izvedene tesno proti zemljini, zato so v mnogih primerih skoraj idealna situacija.

Slika preboja v kineto je na sliki (Slika 12).

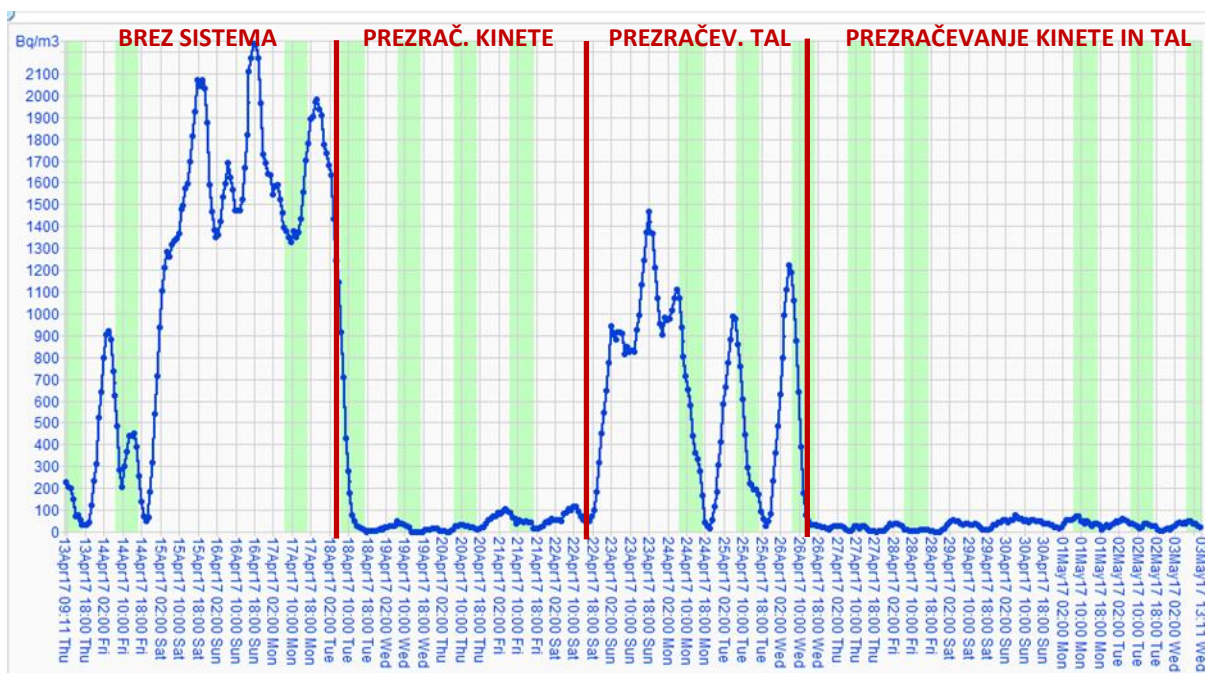


Slika 12: preboj v kineto.

Prezračevanje kinete izvedemo enako kot prezračevanje brezna; v kineto vstopimo na primernem mestu – od strani ali od zgoraj, prebijemo steno kinete, ter preboj zatesnimo s samoekspanzijskim trakom in s trajnoelastično poliuretansko (PU) tesnilno maso.

Poskrbimo, da so vsi vstopi inštalacij v kineto zaprti in zatesnjeni.

Primer učinka delovanja prezračevanja kinete in prezračevanja kompaktne zemljine v stavbi z globokimi temelji vidimo na sliki (Slika 13).



Slika 13: prezračevanje kinete, prezračevanje zemljine in prezračevanje kinete in zemljine hkrati.

6.1.3 odvod radona in mehanske naprave

Odvod radona iz zbirnega brezna poteka po razvodu cevi, ki so priključene na zbirno cev. Odvod je lahko pasiven ali aktiven. O pasivnem odvodu govorimo, ko podtlak v breznu ustvarja vzgon zaradi temperaturne razlike med notranjostjo in zunanostjo stavbe. Pasivni sistemi delujejo v primeru, ko vodimo razvod radonskih cevi po toplem (po notranjosti stavbe) in čim bolj naravnost nazvgor. Če cevi potekajo po zunanosti, je delovanje pasivnega sistema mnogo slabše, saj ni vzgona, ki bi ustvarjal tlačno razliko. V Sloveniji imamo dobre izkušnje z aktivnim sistemom, zato pasivni sistem zaradi tveganja netesnosti v šolah in vrtcih odsvetujemo. Če ga že izvedemo, mora zgornja točka sistema priti nad kot slemena, to pomeni, da moramo prebijati streho.

O aktivnem sistemu govorimo, ko je v razvod vgrajena mehanska naprava (ventilator), ki zagotavlja podtlak v dovodnem delu radonskega razvoda.

Razvod radonskega sistema običajno vključuje še kos, ki preprečuje nabiranje kondenza v notranjosti cevi.

6.1.3.1 Razvod cevi in spajanje

Za razvod običajno uporabimo PVC kanalizacijske cevi, ki so že oblikovane tako, da omogočajo enostavno, a tesno spajanje. Uporabimo sistemske kose z mufnami. V nekaterih državah uporabljajo tudi PE cevi, ki jih med sabo varijo. Osnovni razlog je boljša obstojnost pri zelo nizkih temperaturah. Vendar v Sloveniji nimamo slabih izkušenj s PVC cevmi, zato jih predvsem zaradi enostavnosti dela predlagamo kot prvo izbiro.

Razvodne cevi narežemo tako, da jih lahko sestavimo v razvod. Ko jih sestavljamo poskusno, je smiselno tesnilo začasno odstraniti ali ga zaščititi, sicer bomo pri razstavljanju cevi imeli znatne težave. V poskusni konfiguraciji cevi narežemo, ter robove posnamemo, skladno z navodili

proizvajalca cevi. Posamezne kose spojimo in tesnimo s sistemskim tesnilom. To načeloma zadošča, vendar pa zaradi varnosti priporočamo, da se cevi vsaj na dovodnem delu med sabo dodatno tesni s trajnoelastično PU tesnilno maso.

Razvod kočamo stran od najbližjih oken, tako, da je med izpustom in oknom vsaj 1 m razdalje. To ni vedno lahko, zato je mesto izpusta potrebno predvideti povsem na začetku načrtovanja sistema. Izpust oblikujemo tako, da je zaščiten pred neposrednimi meteornimi padavinami. Izpust obrnemo stran od stavbe. Na koncu izpusta namesimo zaščito pred ptiči in drugimi živalmi (mreža ali naluknjan pokrovni kos).

Razvod utrdimo s sistemskimi pritrdili, vsak kos vsaj polovične dolžine z najmanj dvema pritrdiloma, skupno najmanj s štirimi pritrdili.

6.1.3.2 Kondenz

Potencialni problem kondenza rešujemo z dvema ukrepoma; razvod lahko izoliramo z ustrezno izolacijo in na dno vertikalne dvižne cevi namesimo T kos, ki ga spodaj zapremo. Slep krak T kosa služi kot posoda za kondenz, ki jo občasno (po potrebi) praznimo. V večini primerov kondenz ne bo nastajal v omembe vrednih količinah, če pa že nastane, bo stekel nazaj v sesalno brezno. Vendar v praksi beležimo tudi primer, ko se je T-kos izkazal za potreben element, zato je vsaj pri stavbah, kjer pričakujemo nižje zunanje temperature, nujen.

Celoten cevni razvod izvedemo tako, da ima rahel, enakomeren padec proti sesalnemu breznu. Povsem se moramo izogniti nastanku sifonov v razvodu, saj na teh mestih morebitna kondenzirana voda lahko povsem zapre pretok zraka.

6.1.3.3 Zaščita

Razvod cevi zaščitimo pred mehanskimi poškodbami in pred nepooblaščenim poseganjem v cevi. Pogosto razvod ogradimo z ustežno zaščitno oblogo, ali pa z mrežo.

6.1.3.4 Ventilator

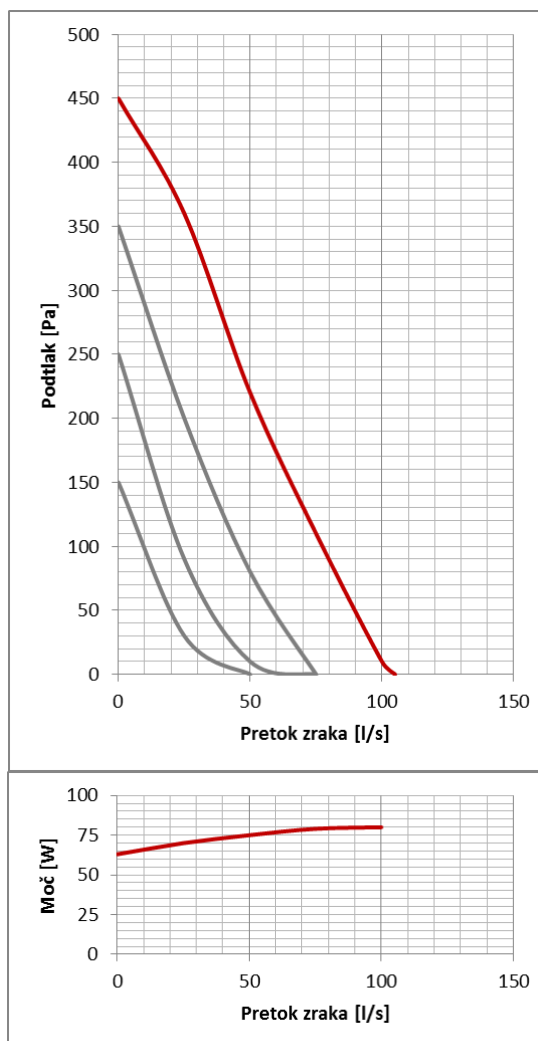
Ventilator je ključni element aktivnega protiradonskega sistema. Zagotavlja podtlak v breznu. Če je sistem tesen, ventilator ne povzroča velikega pretakanja zraka.

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 tlačno karakteristiko

Ventilatorji so lahko različni. Ventilator vgradimo in namestimo skladno z navodili proizvajalca ventilatorja. Premer priključkov ventilatorja mora ustrezati cevem razvoda. Karakteristike

ventilatorjev so različne. Primer karakteristike ventilatorja, ki se je do sedaj izkazal kot ustrezen, so na sliki (Slika 14). Krivulje na sliki: rdeče: karakteristika pri polni moči, sivo: karakteristika pri zmanjšani moči



Slika 14: 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.

Pri načrtovanju sistema predvidimo napajanje 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.

Ventilator ima načeloma moč nekaj 10 W, zato posebni električni priključki niso potrebni.

6.1.4 Tesnjenje

6.1.4.1 Tesnjenje oboda talne konstrukcije

Tesnjenje oboda talne konstrukcije je nujno, saj poveča učinkovitost sistema. Ker je pri delovanju sistema v zemljini podtlak, se pojavi pretok toplega, notranjega zraka, skozi netesnosti v talni konstrukciji v sesalni sistem. To sicer navadno ne ogrozi učinkovitosti sistema, povzroča pa nepotrebne toplotne izgube.

Enako velja tudi za preboje cevi v kinete. Tudi te preboje moramo zatesniti s trajnoelastično tesnilno maso (uporabimo PU tesnilno maso, skladno z navodili proizvajalca – po potrebi nanesemo prednamaz).

Detajl tesnenja je prikazan na sliki (Slika 9).

6.1.4.2 Tesnjenje zidu in zbirne cevi

Stik zbirne cevi in zidu tesnimo s trajnoelastično tesnilno maso (PU) s podložnim PE profilom. Dodatno cev tesnimo s samoekspanzijskim trakom (npr. trak za vgradnjo stavbnega pohištva). Detalji so prikazani na sliki (Slika 9).

6.1.4.3 Tesnjenje cevnega razvoda

Celoten razvod radonskega sistema 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).

6.1.5 Označevanje 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

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

zraku.

6.2 Vzpostavitev podtlaka pod membrano

V točki 6.1 smo obravnavali varianto izvedbe sistema ASD s prezračevanjem pod talno ploščo, ki je najpogostejša izvedba ASD sistema. Vendar to ni edini možni način – sistem ASD lahko izvedemo tudi z zagotavljanjem podtlaka pod membrano. Osnovi principi so enaki, pomembnejše razlike pa so v nadaljevanju te točke.

6.2.1 Posebnosti v primerjavi s sistemom podtlaka pod talno ploščo

Namesto, da bi izkopavali zemljino pot dalno konstrukcijo pri sistemu SMD vgradimo plast, zaporno za konvekcijo in difuzijo radona. Skladno z doktrino EPA (United States Environmental Protection Agency) jo položimo in pritrdimo na tla. Vse stike z obodnimi stenami tesnimo. Zbirno cev napeljemo pod membrano in sicer tako, da prezračujemo prostor med membrano in zgornjo koto talne konstrukcije. Če membrano položimo na tla, jo moramo zaščititi pred mehanskimi poškodbami. Membrana mora biti na stikih tesno in neprekinjeno spojena.

V praksi lahko sistem SMD izvedemo tudi tako, da žrtvujemo klet, ki sedaj prevzame volgo zbirnega radonskega brezna, membrano pa izvedmo z izolacijo stropne konstrukcije kleti. Tak pristop je izvedljiv v primerih, ko ima stavba neuporabljen kletni prostor.

6.3 Vzpostavitev nadtlaka v prostoru

Generalno tlačno shemo v prostorih lahko spreminamo na dva načina: bodisi s podtlakom pod talno konstrukcijo ali membrano, ali pa z nadtlakom v prostoru. Specifika velike večine slovenskih VIZ je, da v njih ni že obstoječih prezračevalnih sistemov, zato bi jih morali v okviru sancije stavb pred škodljivimi vplivi radona dograditi. Tak sistem navadno vgrajujemo pri celoviti energijski prenovi stavbe.

Vzdrževanje nadtlaka v prostorih prinaša nekaj identificiranih pasti:

6.3.1 smer potiskanja zraka

Prvo tveganje, ki ga prinaša vzdrževanje nadtlaka v prostoru je, da topel, relativno vlažen zrak nadtlak na vseh netesnostih okrog oken potiska proti zunanosti, v hladno območje. Če so netesnosti večje, se s tem spremenijo temperaturne in vlažnostne razmere na detajlu stika okna in stene. Pride lahko do kondenzacije vodne pare v območju, kjer je to škodljivo in posledično do povečanja toplotnih mostov in tudi do hitrejšega propadanja materialov.

6.3.2 tesnenje

V primeru konstantnega nadtlaka v prostorih se povečajo toplotne izgube. Če npr. vzdržujemo nadtlak reda velikosti 10 Pa, induciramo stalen pretok zraka (podan na površino okna) reda velikosti $1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ali prevedno v toplotne izgube red velikosti 6 W/m^2 (pri zunanji temperaturi 0°C) oziroma za učilnico z 10 m² oken 60W.

6.3.3 uspešnost ukrepa

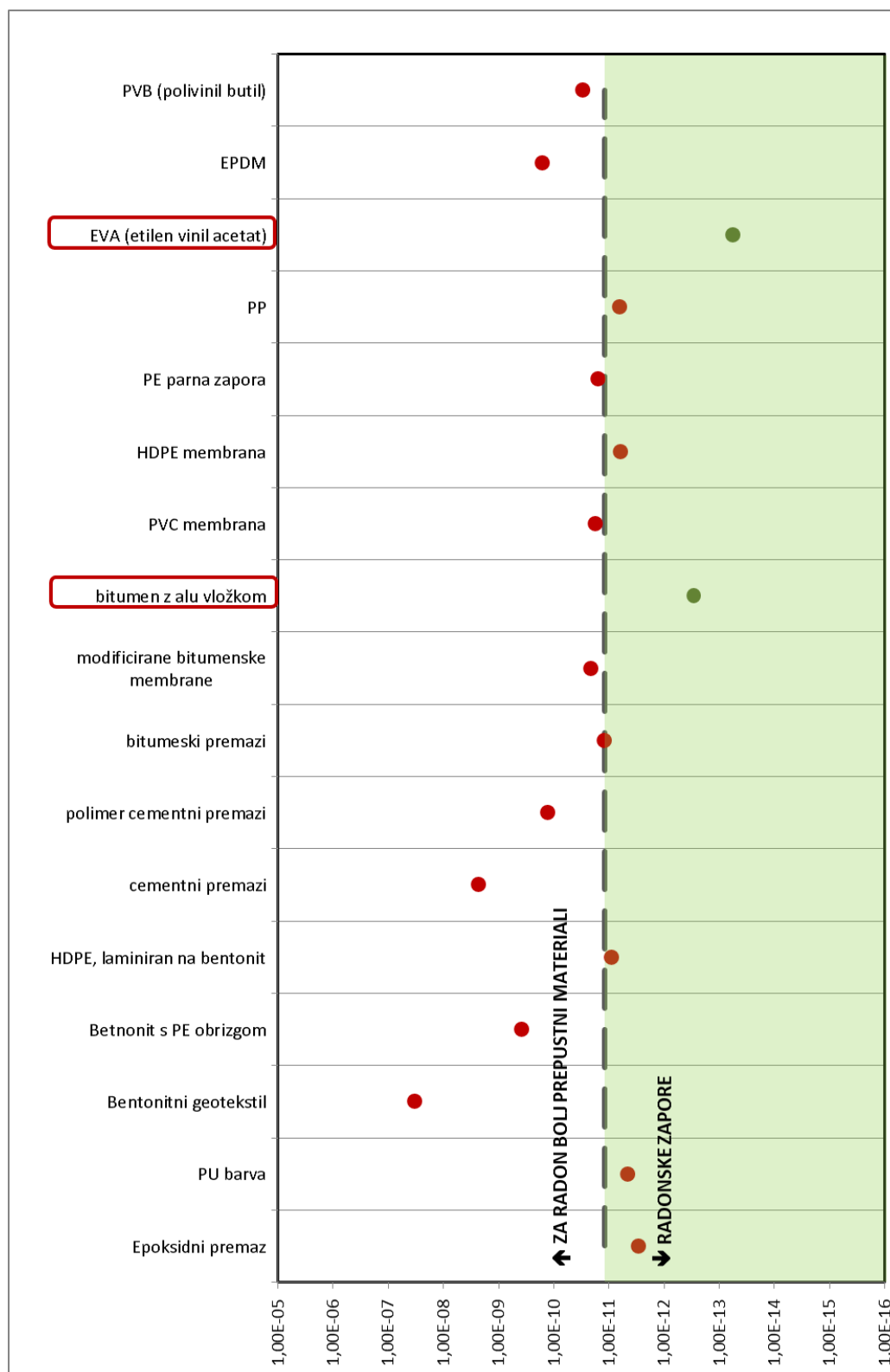
Evropski pristop k reševanju problema radona v stavbah navadno ne vključuje vzdrževanja nadtlaka v prostorih. Po poročilih iz Francije so tam prepoznali tudi, da je ta ukrep le delno učinkovit. Na drugi strani izkušnje iz Slovenije kažejo v enem primeru, da je ukrep dosegel načrtovane učinke. Več izkušenj z vzdrževanjem nadtlaka v Sloveniji nimamo.

Uporabimo načeloma tam, kjer ne moremo drugače, ali pa, če gra za celovito energijsko prenovo, vključno z mehanskim sistemom prezračevanja.

6.4 Tesnjenje kot samostojen ukrep

Tesnjenje **ni primerno** kot samostojen ukrep! Izkušnje pokažejo, da je tesnjenje tal le deloma učinkovito in komaj zaznavno zmanjša koncentracijo Rn^{222} . Povzroči lahko tudi sekundarne težave, povezane z difuzijo vodne pare. Zato tesnjenje **izvajamo izključno kot dodaten ukrep**.

Če tesnjenje izvajamo pri novogradnji (kot dodaten ukrep s pasivnim sistemom odzračevanja), je smiselno uporabiti za to primerne materiale v obliki membran. Na sliki (Slika 13) vidimo prepustnost različnih materialov za difuzijo radona.



Slika 15: zapornost materialov za radon in difuzijski koeficient za radon (m²/s)²

² Povzeto po: M. Jiranek, WP 6: Assessment of radon contro technologies, Deliverable 15: Establishment of measurement procedures of radon control technologies, poročilo projekta RADPAR

7 Stalni nadzor nad delovanjem

Pomembno je, da nad delovanjem sistema poteka stalen, sistematičen nadzor, ki v primeru okvare sistema takoj zazna napako pri delovanju.

Sistematičen stalni nadzor se lahko zagotovi le z ustreznimi zadolžitvami za to primernega osebja, kar potrjujejo tudi izkušnje na terenu. Pokazalo se je namreč, da zaradi nerazumevanja delovanja sistema občasno pride do napačne uporabe sistema, posledica česar je lahko nezadosten učinek delovanja ter ponovno povišanje koncentracij radona.

Osebj, ki je zadolženo za spremljanje delovanja sistema, mora biti za to usposobljeno, kar pomeni, da:

- osebj, ki je pozna pričujočo smernico
- osebj, ki je pozna vgrajeni sistem, njegove dele in fizično izvedbo sistema
- pozna in razume navodila za uporabo sistema, še posebej glede nastavitev in kontinuiranega delovanja sistema

osebje razume posledice in tveganja, ki nastanejo v primeru, da je napaka na sistemu spregledana

Za zagotovitev stalnega nadzora nad delovanjem sistema za trajno vzdrževanje koncentracije radona v prostorih pod najvišjim dovoljenim nivojem sta zato potrebna dva sistemska ukrepa, ki se uvedeta v šolski sistem na področjih, obremenjenih s povišanimi koncentracijami radona:

- v vsakem VIZ se za ta namen usposobiti vsaj tri ustrezne osebe tako, da bo stalni nadzor nad delovanjem sistema njihova redna delovna obveznost;
- tema povišanih koncentracij radona/naravnih sevanj se vključi v učne programe, ki naj bodo na obremenjenih področjih obvezna učna vsebina.

Ukrepa sta potrebna z vidika zavedanja osebja VIZ glede pomena problematike radona ter predvsem zato, da se pravočasno zazna morebitno okvaro sistema. Usposobljeno osebje mora sistematično izvajati naloge, zapisane v točkah 7.1 in 7.2.

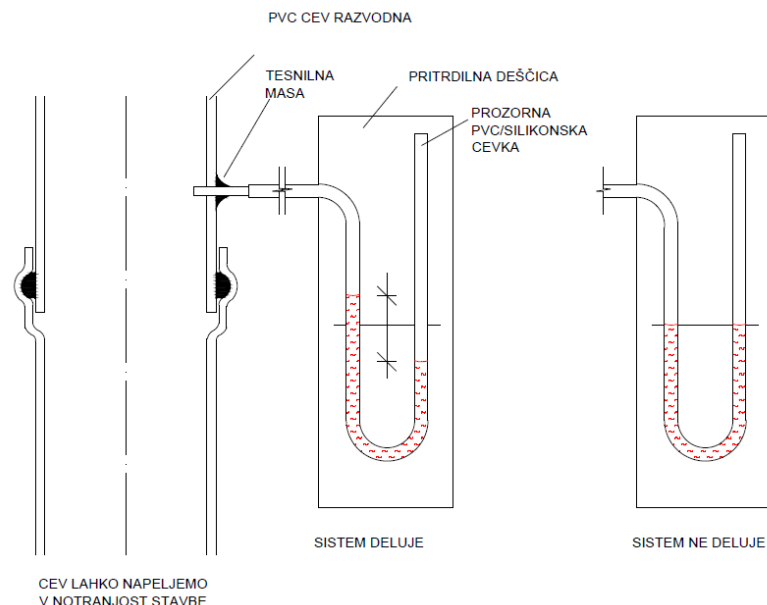
7.1 Spremljanje podtlaka

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. Detajli merilne cevi so na sliki (**Error! Reference source not found.**).

Opazujemo razliko med nivojem tekočine na obeh straneh U-cevke. Če sta nivoja **poravnana**, pomeni, da **sistem ne deluje**, oziroma da manometer ne zaznava podtlaka. V tem primeru preverimo manometer (priključitev cev). Če je ta pravilna, ukrepamo tako, da zagotovimo pregled in popravilo sistema.

Če sta nivoja v U-cevki **različna** (tipična razlika v višini je 5 mm do 10 mm – odvisno od podtlaka), je v sistemu na predvidenem mestu podtlak, kar pomeni, da **sistem deluje**.

Tekočinski manometer se lahko nadomesti tudi z elektronskim diferencialnim manometrom z ustreznim obsegom (npr. ± 250 Pa).



Slika 16: priključek za tekočinski manometer.

7.2 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. To pomeni, da niso točni in zanesljivi do stopnje, kot so merilniki, zahtevani za uradne meritve, vseeno pa lahko služijo kot dober indikator pri odločitvah glede natančnejšega preverjanja stanja glede koncentracije radona v prostorih VVZ.

Če se odčitki konsistentno bistveno razlikujejo od pričakovanj (več kot za dvakratnik negotovosti merjenja – podatek najdemo na poročilu o izvedenih meritvah), ali če so v povprečju konistentno nad najvišjo dovoljeno vrednostjo, meritve ponovimo. Če rezultate potrdimo, moramo takoj ukrepati z analizo delovanja sistema in morebitnih vzrokov za slabše delovanje, neglede na to, da indikator tlaka morda kaže pravilno delovanje sistema.

8 Primer poteka sanacije v slikah



Slika 17: vrtanje s kronske vrtalnimi strojem.



Slika 18: izkop kaverne s posebno lopato.



Slika 19: cev za zajem Rn222 med krojenjem.



Slika 20: navrtanje konca zbiralne cevi.



Slika 21: vstavljanje cevi skozi zid in tesnilni obroč na cevi..



Slika 22: uporabljena trajno elastična tesnilna masa.



Slika 23: tesnjenje cevi in zidu.



Slika 24: montaža razvoda na zid.



Slika 25: montiran vertikalni vod z zaključkom.



Slika 26: montaža in tesnjenje ventilatorja.



Slika 27: primer meritve za potrditev uspešnosti sanacije.