

Aalborg Universitet



Radon i danske lejeboliger

Rasmussen, Torben Valdbjørn; Skytte Clausen, Louise

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Rasmussen, T. V., & Skytte Clausen, L. (2016). *Radon i danske lejeboliger*. (1 udg.) SBI Forlag. SBI Bind 2016:01

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

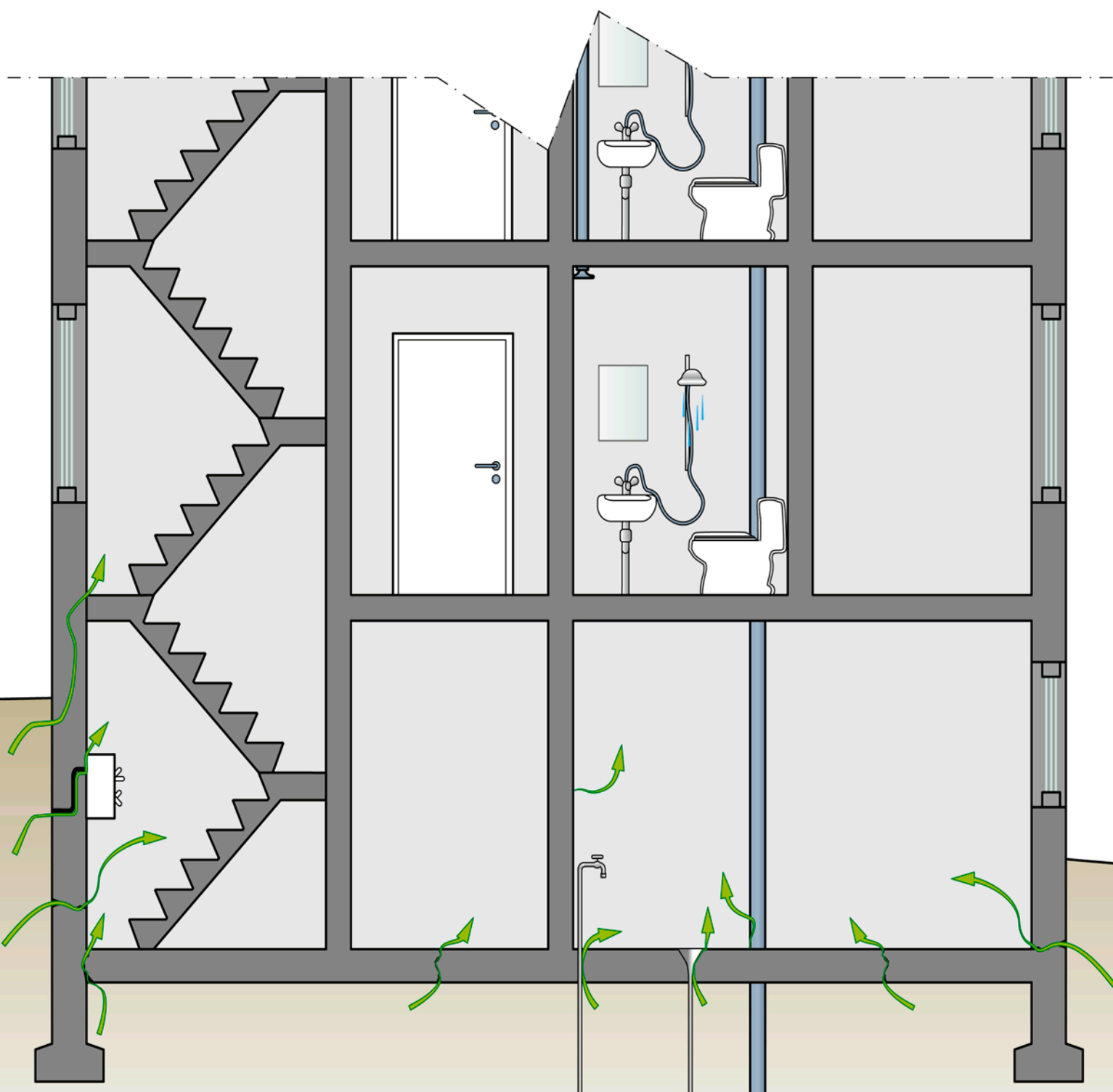
If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

RADON I DANSKE LEJEBOLIGER

SBI 2016:01



Radon i danske lejeboliger

Torben Valdbjørn Rasmussen
Louise Skytte Clausen

Titel	Radon i danske lejeboliger
Serietitel	SBi 2016:01
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfatter	Torben V. Rasmussen, Louise Skytte Clausen
Redaktion	Dea Lindegaard
Sprog	Dansk
Sidetæl	57
Litteratur-henvisninger	Side 54-55
Emneord	Radon, indeklime, lejeboliger, måling, årsmiddelværdi
ISBN	978-87-563-1750-4
Omslag	Bo Amstrup Vestergaard
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Resumé

Ifølge Verdenssundhedsorganisationen, WHO, er indånding af den radioaktive luftart radon den vigtigste årsag til udvikling af lungekræft hos mennesker næst efter rygning. WHO, anbefaler derfor, at radioaktiviteten i bygninger ligger under 100 Bq/m^3 (becquerel per kubikmeter luft). I Danmark antages radon i boligers indeluft at være skyld i ca. 300 tilfælde af lungekræft om året.

Bygningsreglementet anbefaler for eksisterende bygninger, at der etableres enkle og billige foranstaltninger, hvis niveauet af radon i indeluften ligger mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 . Måles radonindholdet i indeluften til over 200 Bq/m^3 anbefales det, at der iværksættes mere effektive foranstaltninger, der kan reducere radon i indeluften. Niveauet af radon er den beregnede gennemsnitlige radonkoncentration over et helt år, altså årsmiddelværdien for boligen.

I denne undersøgelse er radonindholdet i indeluften og bestemmelse af fordelingsveje for radon i en række danske lejeboliger kortlagt. I forhold til tidligere undersøgelser af indholdet af radon i indeluften, viser denne undersøgelse, hvordan indholdet af radon i indeluften er fordelt og spredt i en ejendom.

Husstandene er lejeboliger, hvor udlejer, ejer eller foreningen er tilknyttet Grundejernes Investeringsfond eller Landsbyggefonden.

Koncentrationen af radon-222 er målt over vinteren 2013/14 og 2014/15 ved hjælp af sporfilmsmetoden. Måleperioden strakte sig fra november til maj.

I vinteren 2013/14 er der målt radon i 99 boliger fordelt på 15 ejendomme tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og 197 almennyttige boliger fordelt på 24 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden. Årsmiddelværdien kan beregnes for 214 boliger og 8 kældre.

I vinteren 2014/15 er der gentaget måling af radon i 7 boliger inklusiv kældre i 1 ejendom tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og 10 almennyttige boliger fordelt på 10 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden. Årsmiddelværdien kan bestemmes for de 17 boliger og 1 kælder.

For 10 boliger tilknyttet Landsbyggefonden har det været muligt at bestemme årsmiddelværdien for radon i indeluften både ved målinger gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og i 2014/15. I alt indgår årsmiddelværdien for 221 individuelle boliger og 9 kældre i undersøgelsen.

De udvalgte ejendomme repræsenterer et bredt udsnit af den anvendte byggeskik for bygningstypen og anses derfor for at være repræsentative for boligtypen. Desuden ligger de i områder af landet, hvor der ved tidligere undersøgelser har vist sig at være en stor andel af huse med et højt indhold af radon i indeluft, radonkoncentrationer over 200 Bq/m^3 .

Den gennemsnitlige årsmiddelværdi for radonniveauet i de undersøgte lejeboliger er bestemt til $30,7 \text{ Bq/m}^3$.

Omkring 5,9 % af lejeboligerne har et indendørs radonniveau større end 100 Bq/m^3 . Omkring 75 % af disse boliger har et indendørs radonniveau mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 , medens omkring 25 % af disse boliger har et indendørs radonniveau over 200 Bq/m^3 .

Målingerne viser endvidere, at enkelte boliger i etageejendomme kan have et indhold af radon i indeluften, som er væsentligt forskelligt fra øvrige boliger i ejendommen. Endog kan indholdet af radon være væsentligt forskelligt i de enkelte rum indenfor samme bolig. Yderligere giver et højt indhold af radon i indeluften i en kælder ikke nødvendigvis et højt indhold af radon i en bolig ovenover.

Målingerne bekræfter tidligere undersøgelser, der viser at det primært er i stueetagen i bygninger med terrændæk samt i kælderrum, der er risiko for højt indhold af radon i indeluften. Sandsynligheden for forhøjet radonniveau i etageejendomme er meget lille i boliger over kælder eller i boliger over stueetagen i etageejendomme med terrændæk.

Undersøgelsen viser desuden, at de målte værdier og bestemte årsmiddelværdier for radonniveau indendørs er års- og brugerafhængig, og det er ikke muligt at pege på en bygningsdel eller en bygningskomponent som en vigtig kilde til eller fordelingsvej for radon i boliger. Undersøgelsen bekræfter, at jorden under husene er den vigtigste kilde til radon i bygninger.

Indhold

Resumé	3
Indhold	5
Forord	6
Indledning	7
Fakta om radon	9
Andre radioaktive kilder	10
Tidligere undersøgelser	11
Krav og anbefalinger	12
Krav i andre lande	13
Måleprogram	14
Valg af boliger	14
Undersøgelser	15
Målinger 2013	16
Målinger 2014	17
Instrumenter og målemetode	17
Resultater	18
Årsmiddelværdier	18
Årsmiddelværdier 2014/15	22
Boliger med to årsmiddelværdier	23
Årsmiddelværdier sammenholdt med bygningsregistreringer	23
Oversigt over registreringer	40
Målte værdier	41
Fyringssæsonen 2013/14	42
Fyringssæsonen 2014/15	44
Særlige ejendomme	46
Diskussion	48
Konklusion	52
Perspektivering	53
Litteratur	54
Bilag A	56

Forord

Verdenssundhedsorganisationen, WHO, anbefaler, at radioaktiviteten i bygninger ligger under 100 Bq/m^3 (becquerel per kubikmeter luft). Indånding af radon er, ifølge WHO, den vigtigste årsag til udvikling af lungekræft hos mennesker næst efter rygning.

WHO's anbefalinger er første gang indarbejdet i Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) og videreført i Bygningsreglement 2015 (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015). Bygningsreglementet indeholder krav til radonindholdet i indeluften for nybyggeri og anbefalinger til radonindholdet i indeluften for eksisterende byggeri. Bygningsreglementet stiller krav om, at bygninger skal udføres, så det sikres, at radonindholdet ikke overstiger 100 Bq/m^3 . For eksisterende byggeri anbefales, at der etableres enkle og billige foranstaltninger, hvis niveauet af radon i indeluften ligger mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 . Måles radonindholdet i indeluften til over 200 Bq/m^3 anbefales det, at der iværksættes mere effektive foranstaltninger, der kan reducere radon i indeluften (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015).

Undersøgelsen beskrevet i denne rapport har til formål at kortlægge behovet for at gennemføre radonsikring i typiske udlejningsboliger. Boligerne ligger i etageejendomme, kædehuse og rækkehuse tilknyttet Grundejernes Investeringsfond eller i almennyttige boliger tilknyttet Landsbyggefonden.

Der er gennemført radonmålinger i typiske ejendomme. De udvalgte ejendommene repræsenterer et bredt udsnit af den anvendte byggeskik anvendt for etageboligejendomme, kædehuse og rækkehuse til udlejning tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden. Boligerne forudsættes i undersøgelsen at være repræsentative for sin type og ligger i områder i Danmark, hvor der ved tidligere undersøgelser af radonindholdet i indeluften i mange boliger, er målt et højt indhold af radon. I forhold til tidligere undersøgelser af indholdet af radon i indeluften søger denne undersøgelse at vise, hvorledes indholdet af radon i indeluften er fordelt i og spredes i en ejendom.

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet har gennemført undersøgelsen i samarbejde med NIRAS med økonomisk støtte fra Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden. Yderligere har Jørgen Munch-Andersen, Træinformation bidraget fagligt til projektet. SBI takker for bidragene.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Byggeri og Sundhed

Niels Haldor Bertelsen
Konstitueret forskningschef

Indledning

Radon er en naturligt forekommende radioaktiv luftart, der findes overalt i jorden. Radon trænger ind i bygninger med jordluft, som suges ind gennem revner og sprækker i konstruktioner mod jord, fx kældergulv, -væg og terrændæk, og fordeles i bygningen med de indendørs luftstrømme. Opmærksomheden bør ligeledes rettes mod jordluft i dræn og kloak, hvor der er utætheder mod indeklimaet fx gennem udtørrede vandløse og revner eller utætte samlinger i rør og muffer.

Det er almindeligt kendt, at radon i indeluften forøger risikoen for lungekræft. Verdenssundhedsorganisationen, WHO, anbefaler, at radioaktiviteten i bygninger ligger under 100 Bq/m^3 (becquerel per kubikmeter luft). Indånding af radon er, ifølge WHO, den vigtigste årsag til udvikling af lungekræft hos mennesker næst efter rygning. Rygning øger risikoen for udviklingen af lungekræft relateret til radon. I Danmark antages radon i boligers indeluft at være skyld i ca. 300 tilfælde af lungekræft om året.

I denne rapport præsenteres resultater af radonmålinger i 296 lejeboliger. Årsmiddelværdien for radon i indeluften har kunnet bestemmes for 221 boliger. Boligerne er lejeboliger tilknyttet Grundejernes Investeringsfond eller almennyttige boliger tilknyttet Landsbyggefonden. Boligerne er lejeboliger i etageejendomme, række- og kædehuse. Hovedresultatet er en udredning af indholdet af radon i indeluften i lejeboliger, som viser, hvorledes radon er fordelt i enkelte rum og boligheder.

Bygninger og boliger er udvalgt efter bygningstyper angivet ved Type A, Type B og Type C. Opdelingen er foretaget på baggrund af opdelingen af danske bygninger fra Danskebygningsmodeller.dk. Opdelingen af bygninger er foretaget ved at sammenlægge bygningstyper fra Danskebygningsmodeller.dk der har væsentlige sammenfald i forhold til bygningskonstruktioner mod jord samt i udførelsen af etageadskillelse. Sammenlægningen af bygningstyper er foretaget ud fra den betragtning, at det netop er konstruktioner mod jord og udførelsen af etagedæk, der har betydning for indtrængning af jordluft, som kan indeholde radon og spredningen af indeluft med radon i en ejendom.

- Type A er defineret som Type 1 og Type 2 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk. Bygningerne er opført i perioden 1850 – 1920.

Bygningerne er opført med grundmurede, massive ydervægge og kælderydervægge samt fundamenter i teglsten og natursten, sjældnere støbt på stedet i beton. Træbjælkelag i etageadskillelser. Kældergulv typisk i beton eller asfalt på jord.

- Type B er defineret som Type 3 og Type 4 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk. Bygningerne er opført i perioden 1920 – 1960.

Bygninger med massive murede ydervægge eller hule mure og med fundamenter og kældervægge af beton støbt på stedet. Etageadskillelser er bjælkelag med høj grad af jernbjælker eller udført som jernbetonplader støbt på stedet eller som hulstensdæk.

- Type C er defineret som Type 5 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk. Bygningerne er opført i perioden 1960 og frem.

Bygninger med bærende konstruktioner bestående af beton over jord af præfabrikerede elementer. Kældervægge og fundamenter støbt på stedet. Dækelementer af beton som etageadskillelser.

De i undersøgelsen udvalgte ejendomme anses for repræsentative for dansk byggeskik anvendt i perioden 1850 og frem.

Figur 50 og Figur 51 viser en opgørelse over henholdsvis antal ejendomme med lejeboliger i Danmark og antal opvarmede m² tilknyttet almene boligorganisationer og eget af private fordelt efter opførelsestidspunktet givet i tidsintervaller.

Fakta om radon

Overalt i den danske undergrund findes grundstoffet radium. Ved henfald danner radium ædelgassen radon, som siver op gennem jorden. Radon er ikke i sig selv sundhedsskadelig, da den som ædelgas har sværere ved at indgå i kemiske reaktioner, men kan i stedet frigøres til luften fra det materiale, hvori radon dannes. Radon henfalder selv til nye kortlivede radioaktive stoffer - "radondøtre". Ved henfaldet udsender radon og flere af radondøtrene meget korttrækkende alfastråling, som kan beskadige levende celler ved tilstrækkelig tæt kontakt. Radondøtrene er kemisk aktive og bindes let til partikler i luften og til overflader, fx til lungevævet ved indånding. Det er, når henfaldet sker i luftveje og lunger at der udsendes ioniseret stråling, som kan skade celler og give lungekræft, (www.sst.dk).

Radon kan hverken lugtes, smages, høres, føles eller ses og efterlader ikke synlige spor, men radon i indeluften kan måles (Rasmussen & Wraber, 2011).

Radonindholdet i indeluften måles i Bq/m³ (becquerel pr. kubikmeter luft), hvilket angiver antallet af radioaktive henfald pr. sekund pr. kubikmeter luft.

Koncentrationen af radon er ofte 1.000 - 10.000 gange større i jorden end i luften udenfor, i atmosfæren, hvor koncentrationen svarer til 5 Bq/m³, (www.sst.dk).

Ingen bygninger er helt fri for radon, da der er mindst lige så meget radon i indeluften som i udeluften, hvis bygningen er ventileret med udeluft.

Mængden af radon i indeluften afhænger af fire parametre:

- 1 Undergrunden huset er bygget på
- 2 Bygningens evne til at forhindre jordluftindtrængning, herunder konstruktionernes lufttæthed mod jord – terrændæk, kældergulv og -væg
- 3 Materialerne bygningen er opført af
- 4 Bygningens udelufttilførelse samt hvor godt den tilførte luft til ventilationen fordeler sig i bygningen.

Radonmængden i danske boliger er tidligere undersøgt. Resultatet er vist i form af et kort over Danmark og kan ses på www.radon.dk. Bygninger i de sværest ramte områder har størst risiko for at have et højt indhold af radon i indeluften. Især bygninger opført i perioder, hvor der ikke var fokus på at udføre lufttætte konstruktioner mod jord. Men også:

- Hvis huset er fra før 1995 og for enfamiliehuse før 1998, hvor bygningsreglementet for første gang stiller krav til konstruktioner mod jord i forbindelse med undergrundens indhold af radon.
- Hvis man, mod bygningsreglementets regler, bruger kælderen til beboelse.
- Hvis huset ligger med terrændæk, eller blot ligger med gulv direkte mod jorden eventuelt på et stabilt underlag der tillader indtrængning af poreluft fra jord af fx revnet beton eller stampet ler.
- Hvis der er brugt kapillarbrydende lag over 300 mm, der indeholder granit eller pegmatit.
- Hvis der er sjuksket med byggeriet, for så er der sandsynligvis også sjuksket med lufttætningen af konstruktioner og samlinger mellem bygningskomponenter, fx mellem gulvkonstruktionen, væg og fundament.

- Hvis huset har sætningsskader, støbeskel, fx ved tilbygning, ombygning eller reparation eller revner i vægge og gulv mod jorden.
- Hvis huset i forbindelse med etablering af stikdræn er tilsluttet omfangsdræn.
- Hvis huset har indføringer af fx vandforsyning og afløbsrør, gulv afløb, rensebrønd, kabler, kloak eller energiforsyning gennem gulv, fundament eller kældervægge.
- Hvis der er brugt materialer mod jord, der kan transportere luft, fx letklinkerbeton og hulsten af beton eller tegl. Selvom både beton og tegl er tætte i sig selv, kan dårligt udfyldte fuger resultere i stor radonindtrængning i huset.
- Hvis huset har et lavt luftskifte. Eller ikke er gennemventileret. Friskluftventiler kan være tilstoppede og indvendige døre kan være lukkede og tætnede for fx træk, lugt eller støj.
- Hvis der i huset er brugt blåbeton (svenske letbetonelementer fra perioden 1929 til 1975).

Det anslås at radon i boliger er årsag til omkring 300 nye lungekræfttilfælde i Danmark om året. Især rygere er i fare, men rygning er i sig selv mere skadeligt end radon.

Andre radioaktive kilder

Radioaktivitet kan stamme fra både naturlige og menneskeskabte kilder. Af de menneskeskabte radioaktive stoffer er, fx cobalt-60. En strålingskilde kan være et røntgenapparat eller en partikelaccelerator. Strålingskilder anvendes fx på hospitaler til røntgenundersøgelser og strålebehandling. Yderligere udsættes mennesker for en række andre menneskeskabte bestrålinger i hverdagen. De stammer fra fjernsyn, selvlysende ure og måleinstrumenter, røgdetektorer mv. samt fra nedfald fra de atmosfæriske kernevåbenforsøg i 1950'erne og 1960'erne og fra nedfald fra Tjernobyl-ulykken i 1986. En gennemsnitsdansker udsættes for meget lidt radioaktivitet i form af baggrundsstråling, og det betyder, at kræfttrisikoen, der kan tilskrives denne radioaktive bestråling, er meget lille. Læs mere hos Kræftens Bekæmpelse www.cancer.dk.

Tidligere undersøgelser

Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø offentliggjorde i 1987 resultaterne af en landsomfattende repræsentativ undersøgelse af naturlig stråling i danske boliger (Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø, 1987 og Ulbak et al., 1988). Undersøgelsen omfattede målinger i 498 boliger. Radonkoncentrationerne lå i intervallet fra 5 til 600 Bq/m³ med en gennemsnitsværdi omkring 50 Bq/m³. En risikoanalyse gav som resultat, at radon i danske boliger formodes at forårsage omkring 300 ekstra lungekræfttilfælde pr. år (Statens Institut for Strålehygiejne, 1987). Det svarer til en livstidsrisiko på 0,4 %. Radon formodes næst efter rygning at være den vigtigste årsag til lungekræft.

En større undersøgelse foretaget af Sundhedsstyrelsen (Andersen et al., 2001) viste, hvor huse med særlig højt indhold af radon i indeluften forekommer hyppigst. Undersøgelsen omfattede 3019 enfamiliehuse og 101 etageboliger.

Ifølge undersøgelsen havde 4,6 % af enfamiliehusene i Danmark et radonindhold over 200 Bq/m³. Det svarede i 2001 til 65.000 huse. I fx Nordjylland var andelen af huse med et indhold af radon i indeluften over 200 Bq/m³ mindre end 1 %, men på fx Fyn og Bornholm var indholdet af radon i indeluften over 200 Bq/m³ i mere end 10 % af husene. 15 huse i undersøgelsen havde et indhold af radon i indeluften på over 400 Bq/m³.

En regressionsanalyse i forbindelse med undersøgelsen viste desuden en sammenhæng mellem indholdet af radon i indeluften i bygningen og forskellige faktorer. De vigtigste faktorer er kælderforhold, jordart og dermed landsdel. Analysen bekræfter, at jorden under huset er den vigtigste kilde til radon i indeluften i danske enfamiliehuse. 103 af de enfamiliehuse, der indgik i undersøgelsen, var opført i perioden 1988-1995. Disse huse betragtes i undersøgelsen som nyere enfamiliehuse. Undersøgelsen gav ikke anledning til at tro, at en væsentlig del af disse nyere danske enfamiliehuse havde en lufttæt konstruktion mod jord.

Undersøgelsen gav et billede af sammenhængen mellem geologi og radon i indeluften i en bygning. Yderligere påviste undersøgelsen, at der er radonmæssig forskel på moræneler, smeltevandssgrus og morænesand som giver mest radon i enfamiliehuse og flyvesand, saltvandssand og ferskvandstørv som giver mindst. Der er dog risiko for et for højt indhold af radon i indeluften overalt i landet.

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet offentliggjorde i 2008 målinger af indholdet af radon i indeluften i 200 nyere fritliggende enfamiliehuse opført i perioden 2005-2007. Husene var bygget på steder, hvor radonforekomsten i jorden er stor (Jensen & Gunnarsen, 2008). Undersøgelsen viste, at 1 % af de undersøgte boliger havde et indhold af radon i indeluften over 200 Bq/m³, og at 7 % af de undersøgte boliger havde et indhold af radon i indeluften over 100 Bq/m³.

Der blev desuden målt luftskifte i de 10 % af boligerne, der havde de højeste indhold af radon i indeluften. Middelværdien for luftskiftet blev målt til 0,38 gang pr. time. Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) kræver for fritliggende enfamiliehuse, at der i hvert beboelsesrum og i huset som helhed er en tilførsel af udeluft på mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal, hvilket i boliger med almindelig rumhøjde tilnærmelsesvis svarer til ca. 0,5 gang pr. time.

Krav og anbefalinger

Allerede i begyndelsen af 1900-tallet konstaterede engelske forskere, at nogle bygningsmaterialer indeholder radioaktive stoffer, som giver anledning til større eksponering for stråling indendørs end udendørs (Clavensjö & Åkerblom, 2004). Derudover har det siden slutningen af 1800-tallet været kendt, at minearbejdere oftere udvikler lungekræft. Ligeledes blev der i 1800-tallet set en sammenhæng mellem eksponering for høje niveauer af radon og lungekræft. Dette blev dokumenteret videnskabeligt allerede i 1950'erne (World Health Organization, 2009).

I 1970'erne og 1980'erne kom der øget fokus på radon i boligbyggeriet. Efter gennemførelsen af en landsdækkende undersøgelse udgav Byggestyrelsen under Boligministeriet i 1987–88 to pjecer: *Radon i boliger* (Byggestyrelsen, 1987) og *Vejledning om radon og nybyggeri* (Byggestyrelsen, 1988), der bl.a. sigtede mod at hindre indtrængning af radon i datidens nye boliger. Siden da er vurderingen af sundhedsrisikoen blevet styrket af flere videnskabelige undersøgelser, og både anbefalinger og krav til radonindholdet i indeluften er blevet skærpet. Omkring 1995 blev der igangsat en dansk undersøgelse, der havde til formål at afprøve forskellige metoder til at reducere radonkoncentrationen i eksisterende huse. Det var det såkaldte *Radon-95 projekt* (Andersen et al., 1997). På grundlag af resultaterne herfra udgav Bygge- og Boligstyrelsen pjecen: *Radon i enfamiliehuse* (Byggestyrelsen, 1997).

I Danmark er det Statens Institut for Strålebeskyttelse, som er et institut i Sundhedsstyrelsen, som tager sig af myndighedsopgaver, der relaterer til strålebeskyttelse inden for de områder, hvor der bruges ioniserende stråling, særligt i forbindelse med medicinsk anvendelse og inden for industri, forskning og miljø. Desuden forskes i stråling og radon på Risø, DTU's Afdeling for Strålingsforskning samt på Kræftens Bekæmpelses Institut for Epidemiologisk Kræftforskning.

Bygningsreglement 1995 er det første bygningsreglement, der opsætter anbefalinger og krav med hensyn til radon, (Bygge- og Boligstyrelsen, 1995). I 1998 blev krav til radon ligeledes indført i *Bygningsreglement for småhuse* (Bolig- og Byministeriet, 1998). Kravet i forhold til radon blev formuleret således: 'Bygningskonstruktioner mod undergrunden skal udføres lufttætte'. Yderligere blev det i den tilhørende vejledningstekst til kravet anbefalet (Bolig- og Byministeriet, 1998), at der blev iværksat enkle og billige forbedringer, når radonindholdet i eksisterende boliger var mellem 200 og 400 Bq/m³, og at der blev iværksat mere effektive forbedringer, når radonindholdet oversteg 400 Bq/m³. For nybyggeri blev det anbefalet, at radonindholdet ikke oversteg 200 Bq/m³.

Bygningsmyndighederne skrev endvidere, at det er muligt at måle radon, men der forelå ingen klare anbefalinger til husejerne om, at det burde gøres (Byggestyrelsen, 1987 og Bygge- og Boligstyrelsen, 1997).

I 2009 kommer Verdenssundhedsorganisationen, WHO med anbefalinger til, at lande indfører grænseværdier for radon i indeluften. Dermed følger WHO anbefalingerne fra de nordiske sundhedsmyndigheder, herunder Sundhedsstyrelsen (Sundhedsstyrelsen, 2009). Da radioaktiviteten fra naturlige kilder hovedsageligt stammer fra radon, betyder det, at WHO anbefaler, at bygninger opføres og udføres, så radonindholdet indendørs ikke bør overstige 100

Bq/m³. I lande hvor dette af særlige årsager ikke er muligt, anbefaler WHO, at den tilladte grænseværdi for radioaktivitet ikke overstiger 300 Bq/m³.

Kravet til radonindholdet i indeluften blev efter WHO's anbefaling efterfølgende skærpet i *Bygningsreglement 2010*, BR10 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010), og følger således WHO's anbefalinger om, at den tilladte radioaktivitet i bygninger fra naturlige kilder bør ligge under 100 Bq/m³. BR10 stiller krav til radonindholdet i indeluften i nybyggeri og anbefalinger til radonindholdet i indeluften i eksisterende byggeri, se BR10, afsnit 6.3.3.2 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010). Kravet er formuleret som, at 'Bygningen skal udføres, så det sikres at radonindholdet ikke overstiger 100 Bq/m³'. For eksisterende byggeri anbefales, at der etableres enkle og billige foranstaltninger, hvis niveauet af radonindholdet i indeluften ligger mellem 100 Bq/m³ og 200 Bq/m³. Måles radonindholdet i indeluften til over 200 Bq/m³, anbefales det, at der iværksættes mere effektive foranstaltninger til reduktion af radon i indeluften.

Bygningsmyndighederne skriver endvidere, at det er muligt at måle radon, og der gives anbefalinger til husejere om, hvorledes målingerne bør foretages. Der gives dog ingen klare anbefalinger til husejere om, at det bør gøres. (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010).

Kravet til radon i indeluften formuleret i BR10 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) er videreført i *Bygningsreglement 2015*, BR15 (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015).

Der findes ikke en dokumenteret grænse for, hvornår radonindholdet ikke udgør en sundhedsrisiko (World Health Organization, 2009). Man skal derfor altid tilstræbe et så lavt radonindhold som muligt. Det anbefales derfor at anvende byggetekniske løsninger, som hindrer radonindtrængning og i kombination med ventilation af bygningen sikrer et lavt radonindhold i indeluften (Rasmussen & Wraber, 2011; Rasmussen 2015 a; Rasmussen 2015 b).

Krav i andre lande

I Sverige er grænseværdien for indholdet af radon i indeluften for nye huse 200 Bq/m³. Fra og med 2015 er det ikke længere muligt i Sverige at opnå økonomisk støtte til at gennemføre radonsikring for private, (<http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/halsoskydd-och-miljohalsa/inomhusmiljo/radon/>).

I Finland er grænseværdien for nye huse 200 Bq/m³, <http://www.suomenradonhallinta.fi/sv/bygg-och-radon>.

Norge stiller krav om, at bygninger skal projekteres og udføres med radonforbyggende foranstaltninger for at begrænse indstrømningen af radon fra undergrunden. Indholdet af radon i indeluften i bygninger må ikke overstige 200 Bq/m³. Bygninger beregnet til permanent ophold skal have radonspærre mod undergrunden. Yderligere skal bygninger til permanent ophold opføres med egnede tiltag, som kan aktiveres, hvis indholdet af radon i indeluften overstiger 100 Bq/m³, <http://www.nrpa.no/fakta/90034/radon-i-nybygg>.

Både Sverige, Finland og Norge har højere gennemsnitskoncentrationer af radon i indeluften end Danmark. Gennemsnitskoncentrationen er i Finland 96 Bq/m³, i Sverige 108 Bq/m³, i Norge 60 Bq/m³ og i Danmark 50 Bq/m³. Yderligere er gennemsnitskoncentrationen i Tyskland 50 Bq/m³, i Frankrig 66 Bq/m³ og i England 20 Bq/m³, http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/sv_FI/pitoisuudet/.

Måleprogram

Valg af boliger

Boliger tilknyttet Grundejernes Investeringsfond (GI) og almennyttige boliger tilknyttet Landsbyggefonden (LBF) indgår i undersøgelsen. Boligerne er lejeboliger. Boligerne ligger i ejendomme organiseret i foreninger af varierende størrelse eller er ejet af private, som evt. kan eje flere ejendomme. Ejendommene er valgt, så de repræsenterer typiske ejendomme tilknyttet de to fonde. Ejendommene og boligerne repræsenterer et bredt udsnit af den almindeligt anvendte byggeskik og ligger i områder i landet, hvor der ved tidligere undersøgelser er blevet målt et højt indhold af radon i indeluften.

Bygninger, som indgår i undersøgelsen ligger i Randers kommune, Aarhus kommune, Assens kommune, Odense kommune, Faaborg/Midtfyn kommune, Nyborg kommune, Slagelse kommune, Guldborgsund kommune, Næstved kommune, Ringsted Kommune, Solrød kommune, Greve kommune, Roskilde Kommune, Assens Kommune, Furesø kommune, Gladsaxe kommune og Københavns kommune.

De enkelte ejendomme er valgt ud fra ejernes/foreningernes interesse i at deltage i undersøgelsen. Boligerne, der indgår i undersøgelsen, deltager ligeledes fordi beboerne er interesserede.

Da der ved projektets opstart var stor interesse for projektet blev ejendommene, der indgår i projektet udvalgt således, at der ville være en nogenlunde ligelig repræsentation af dansk byggeskik anvendt fra 1850 og frem.

Ejendommene blev opdelt i bygningstyper angivet ved Type A, Type B og Type C, hvor:

- Ejendomme af typen A er defineret som Type 1 og Type 2 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk. Type 1 og Type 2 har væsentlige sammenfald i forhold til konstruktioner mod jord samt i udførelsen af etageadskillelse, hvorfor de i denne undersøgelse behandles under samme type.
 - Bygningerne er opført i perioden 1850 – 1920.
 - Bygningerne er opført med grundmurede, massive ydervægge og kælderydervægge samt fundamenter i teglsten og natursten, sjældnere støbt på stedet i beton. Træbjælkelag i etageadskillelser. Kældergulv er typisk i beton eller asfalt på jord.
- Ejendomme af typen B er defineret som Type 3 og Type 4 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk. Type 3 og Type 4 har væsentlige sammenfald i forhold til konstruktioner mod jord samt i udførelsen af etageadskillelse, hvorfor de i denne undersøgelse behandles under samme type.
 - Bygningerne er opført i perioden 1920 – 1960.
 - Bygningerne er med massive murede ydervægge eller hule mure, medens fundamenter og kælderydervægge er af beton støbt på stedet. Etageadskillelser er bjælkelag med høj grad af jernbjælker eller udført som jernbetonplader støbt på stedet eller som hulstensdæk.
- Ejendomme af typen C er defineret som Type 5 beskrevet i Danskebygningsmodeller.dk.
 - Bygningerne er opført i perioden 1960 og frem.
 - Bygningerne er med bærende konstruktioner bestående af beton, over jord af præfabrikerede elementer. Kælderydervægge og fundamenter er støbt på stedet. Dækelementer er af beton som etageadskillelser.

Undersøgelser

De endeligt valgte ejendomme undersøges i forhold til indeluftens indhold af radon. For ejendommene måles indholdet af radon i indeluften i boliger og i eventuelle tilgængelige kældre.

Yderligere er de enkelte ejendomme besigtiget og gennemgået for registrering af karakteristiske forhold for ejendommen, som ønskes undersøgt i forhold til bestemmelsen af årsmiddelværdien for indholdet af radon i indeluften. Registreringerne knyttes til de beregnede årsmiddelværdier for indholdet af radon i de enkelte boliger.

Radonmålinger

De udvalgte deltagere, der indvilligede i at deltage i undersøgelsen, fik tilsendt målesæt bestående af detektorer i form af dosimetre samt en vejledning i opsætning af disse. Alle dosimetre var forudmonteret stregkode og nummer. Ved opsætning blev det enkelte dosimeter registreret med nummer og placering i forhold til adresse og typen af rum samt dato for opsætning. Ved endt måling blev datoen for nedtagning registreret.

Dosimetrene er leveret af Gammapdata Mätteknik AB (Uppsala, Sverige), hvortil detektorerne (dosimetrene) også er blevet returneret for analyser af radonkoncentrationen for den enkelte detektor og for bestemmelsen af årsmiddelværdien i den enkelte bolig.

NIRAS, Aarhus stod for håndteringen af adresser og detektorerne samt registreringer af resultater. Stregkoderne på de enkelte detektorer blev brugt til kontrol af sammenhængende informationer mellem detektorer, placeringen af detektoreren og den målte radonkoncentration samt den beregnede årsmiddelværdi for den enkelte bolig.

Bygningsgennemgang

De enkelte ejendomme blev gennemgået og registreringer blev udført i forhold til ejendommenes karakteristika. Gennemgangen blev gennemført i 2014.

Ejendommene blev registreret i forhold til følgende:

- Etageadskillelse. Er ejendommen opført med etageadskillelse udført med træbjælkelag, i beton eller andet fx kombinationer af træ beton, stål og tegl.
- Baderums placeret i bygningen. Er baderum placeret inde i bygningen uden direkte forbindelse med en ydervæg eller er mindst en væg i baderummet en ydervæg.
- Adgang til etager. Er der åbent trappeløb med adgang til kælder og boliger i samme trappeløb eller er adgang til kælder adskilt fra boligernes øvrige adgangsvej. Adgang kan også være via svaegang eller spring i niveau.
- Elevator. Er ejendommen udstyret med elevator.
- Affaldsskakt. Har ejendommen affaldsskakt med mulighed for, at beboere kan komme af med deres affald fra egen etage.
- Ventilation. Ventileres boligen ved hjælp af ventilationsriste placeret i ydervæg.
- Ventilation. Ventileres boligen ved hjælp af et ventilationsanlæg med varmegenindvinding.
- Det undersøges, om det oprindelige gulv i kælder er blevet renoveret eller om det fremstår som det oprindelige kældergulv.
- Det undersøges, om der er etableret gulvfløb i kælder.
- Det undersøges, om der er synlige utætheder i etageadskillelsen til over eller underbo.
- Det undersøges, om rør er ført i installationsskakt i ejendommen.

- Det undersøges, om ejendommens kældervægge er opført i tegl, beton eller andre materialer samt om kælderen efter opførelsen er blevet brand-sikret.
- Det undersøges, om ejendommen har lavet ændringer af facader i form af facaderenovering, efterisolering af facaden eller har fortaget andre indgreb i facaden.
- Vindue. Det noteres om ejendommen har vinduer med rammer af plast eller træ.

NIRAS gennemførte besigtigelsen, gennemgangen og registreringen af de enkelte ejendomme.

Målinger 2013

Målingerne foregik i perioden november 2013 til maj 2014, og varede i gennemsnit 85,3 dage med en standardafvigelse på 17,3 dage og en variationskoefficient på 20,3 %. Figur 1 viser den akkumulerede andel enheder i form af en bolig eller en kælder som funktion af den tid i dage, målingerne har fundet sted. Antallet af enheder i form af bolig, kælder osv. som funktion af måleperioden i dage tilknyttet Landsbyggefonden henholdsvis Grundejernes Investeringsfond er vist i figur 48 og figur 49, se Bilag A.

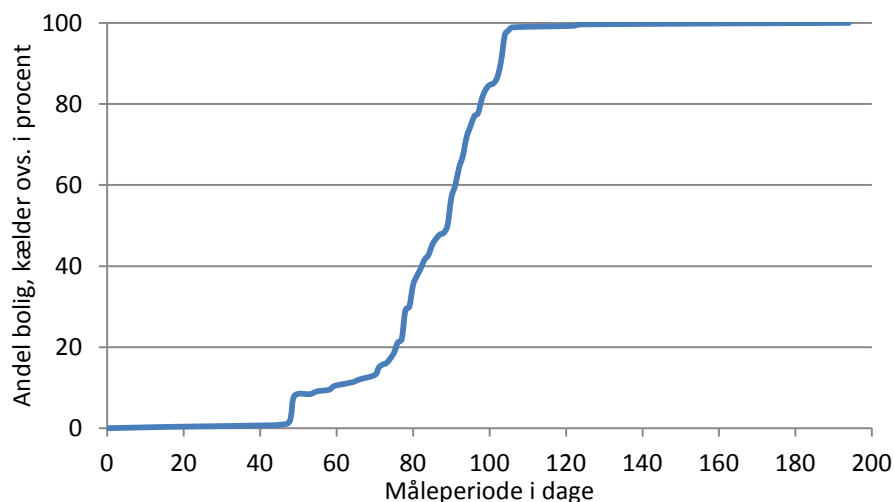
Samlet blev der returneret 833 dosimetre. Dette svarer til 56 % af de oprindeligt udsendte 1.500 dosimetre.

Målingerne omfatter 99 boliger fordelt på 15 ejendomme tilknyttet Grundejernes investeringsfond og 197 almennyttige boliger fordelt på 24 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden fordelt på:

- 6 ejendomme af Type A, se afsnit *Valg af boliger*
- 9 ejendomme af Type B, se afsnit *Valg af boliger*
- 13 ejendomme af Type C – etageejendomme, se afsnit *Valg af boliger*
- 11 ejendomme af Type C – rækkehuse, se afsnit *Valg af boliger*

19 ejendomme gennemførte ikke målingerne hvorved 667 dosimetre gik tabt.

Af de 833 returnerede dosimetre kunne 796 dosimetre anvendes til at måle indholdet af radon, hvor de havde været placeret i måleperioden. 719 dosimetre har været placeret i boliger, medens 77 dosimetre har været anvendt til at bestemme indholdet af radon i luften i kældre.



Figur 1. Akkumuleret måleperioden i dage for boliger eller en anden enhed i ejendommen fx kælder.

Målinger 2014

For boliger med en årsmiddelværdi for radon i indeluften på mere end 100 Bq/m³ ved målinger i 2013/14 blev radonmålingen søgt gentaget i fyringssæsonen 2014/15. Ligeledes blev målingerne gentaget i en hel etageejendom, hvor måleperioden ved målingerne i fyringssæsonen 2013/14 var så kort, at målingerne ikke kunne benyttes til bestemmelsen af årsmiddelværdier.

Målingerne foregik i perioden november 2014 til maj 2015, og havde en varighed på 2 til 3 måneder.

Samlet blev der returneret 52 dosimetre. Dette svarer til 85 % af de oprindeligt udsendte 61 dosimetre.

De gentagede målinger omfatter 17 boliger fordelt på 13 ejendomme. 7 boliger inklusiv kælderen i 1 ejendom tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og 10 almennyttige boliger fordelt på 10 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden. Årsmiddelværdien kan beregnes for de 17 boliger og 1 kælder fordelt på:

- 1 ejendomme af Type A, se afsnittet, *Valg af boliger*
- 11 ejendomme af Type C – rækkehuse, se afsnittet, *Valg af boliger*

2 ejendomme og en bolig i etageejendommen gennemført ikke målingerne, hvorved 9 dosimetre gik tabt.

Instrumenter og målemetode

Til måling af indholdet af radon blev sporfilmsmetoden i form af lukkede dosimetre anvendt. Lukkede dosimetre blev anvendt, da Sundhedsstyrelsen i Danmark har vurderet, at denne metode giver det bedste grundlag for vurdering af radonindholdet i indeluften med den dertilhørende vurdering af sundhedsrisici og stråledoser (www.sst.dk).

Når radon eller radondøtre henfalder i et lukket dosimeter, rammer alfapartiklerne overfladen på sporfilmen af cellulosenitrat eller polyester. Herved opstår skader eller spor, som bliver synlige gennem kemisk ætsning af filmen. Sporene tælles i mikroskop og giver dermed grundlag for vurdering af radonindholdet i indeluften. Årsmiddelværdien for en bolig bestemmes ud fra tre dosimetre alle placeret i boligens beboelsesrum i en periode på mere end 60 dage.

Placeringen af dosimetre blev anvist i forbindelse med opsætningen. Det blev anvist, at dosimetrene skulle placeres i opholdsrum, som benyttes flere timer dagligt. Gerne i soverum og i stue, men helst ikke i et køkken. Ved målinger i boliger med flere etager skal målinger foretages på samtlige etager, der bruges som bolig. I de enkelte rum blev det anvist, at dosimetret skulle placeres, så det ikke ville blive udsat for kraftige luftstrømme eller høj varme. Dvs. ikke blev udsat for direkte sollys og helst skulle placeres 1,5 meter fra luftindtag, yderdør, vindue, radiator, tv, lampe eller anden varmekilde samt 0,5 meter fra luftudsugning. Det blev ligeledes anvist, at dosimetret af samme grund ikke skulle placeres på gulvet og mindst skulle have en afstand på 0,25 meter fra en væg.

Resultater

Koncentrationen af radon er målt med dosimetre i fyringssæsonen 2013/14 og igen i fyringssæsonen 2014/15, dog i et begrænset omfang. Målingerne blev foretaget i lejeboliger i udlejningsejendomme.

I vinteren 2013/14 er der målt radon i 99 boliger fordelt på 15 ejendomme tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og 197 almennyttige boliger fordelt på 24 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden.

I vinteren 2014/15 er der gentaget måling af radon i 7 boliger inklusiv kælder i en ejendom tilknyttet Grundejernes Investeringsfond og 10 almennyttige boliger fordelt på 10 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden.

For 10 boliger tilknyttet Landsbyggefonden blev målinger gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og i 2014/15.

I alt indgår årsmiddelværdien for 221 individuelle boliger og 9 kældre i undersøgelsen.

Årsmiddelværdier

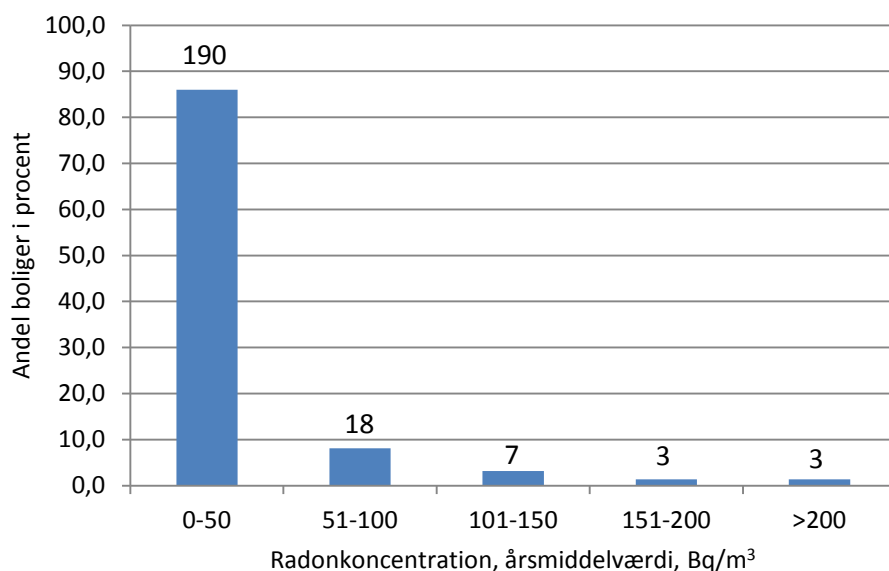
Fra målinger foretaget i fyringssæsonen 2013/14 kan årsmiddelværdien beregnes for 214 boliger og 8 kældre. Fra målinger foretaget i fyringssæsonen 2014/15 kan årsmiddelværdien beregnes for 17 boliger og en kælder. For 10 boliger i 10 ejendomme tilknyttet Landsbyggefonden har det været muligt at bestemme årsmiddelværdien for radon i indeluften både ved målinger gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og i 2014/15.

Årsmiddelværdier bestemt gennem målinger gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og supplerende årsmiddelværdier bestemt gennem målinger gennemført i fyringssæsonen 2014/15 indgår som det grundlæggende dataset til analyse af årsmiddelværdien for lejeboliger. Undersøgelsen omfatter derved 221 individuelle boliger og 9 kældre. Gentagede årsmiddelværdier behandles for sig.

Årsmiddelværdien for en bolig er bestemt ud fra tre dosimetre, hvorfra det har været muligt at bestemme indholdet af radon i indeluften. Dosimetrene har været placeret i opholdsrum, som benyttes flere timer dagligt og har haft en måleperiode på mere end to måneder.

For boliger, hvor der er målt meget lave værdier af radon (mindre end 10 Bq/m^3) har analyseinstituttet vurderet årsmiddelværdien til at være mindre end selve detektionsgrænsen. Disse værdier indgår dog i undersøgelsen med den af analyseinstituttet vurderede årsmiddelværdi.

Figur 2 viser et frekvensdiagram for årsmiddelværdien af radonkoncentrationen bestemt for 221 boliger. Antallet af boliger er angivet i frekvensdiagrammet. Tabel 1 viser andelen af boliger fordelt efter årsmiddelværdien af radonkoncentrationen inddelt i intervaller for de 221 boliger.



Figur 2. Frekvensdiagram for radonkoncentrationen givet for årsmiddelværdien (Bq/m³) bestemt for alle 221 boliger.

Tabel 1. Andel af boliger fordelt efter årsmiddelværdien for radonkoncentrationer inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ for 221 boliger.

Bq/m³	0-50	51-100	101-150	151-200	> 200
Antal boliger	190	18	7	3	3
Andel i %	86,0	8,1	3,2	1,4	1,4

Tabel 2 viser fordelingen af boliger i udlejningsejendomme efter årsmiddelværdien for radonkoncentrationen inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ fordelt på etager. For boliger er minimumsværdien 1 Bq/m³, maksimumsværdien 250 Bq/m³, standardafvigelsen 38,3 Bq/m³, medianværdien på 18 Bq/m³ og middelværdien 30,7 Bq/m³. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for indholdet af radon i indeluften i intervallet 100 Bq/m³ til 200 Bq/m³ er 4,5 %. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for indholdet af radon i indeluften større end 200 Bq/m³ er 1,4 %. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for indholdet af radon i indeluften større end 100 Bq/m³ er derfor 5,9 %.

Tabel 2. Antallet af boliger med årsmiddelværdien for radonkoncentrationen for boliger i udlejningsejendomme inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ fordelt på etager.

	0-50	51-100	101-150	151-200	>200	Antal boliger
Stue	58	18	7	3	3	88
1. Sal	50	0	0	0	0	51
2. Sal	38	0	0	0	0	38
3. Sal	30	0	0	0	0	30
4. Sal	6	0	0	0	0	6
5. Sal	8	0	0	0	0	8
Antal boliger	190	18	7	3	3	221
Andel i %	86,0	8,1	3,1	1,4	1,4	100

Tabel 3 og tabel 4 viser fordelingen af boliger i udlejningsejendomme efter årsmiddelværdien for radonkoncentrationen inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ fordelt på etager opdelt efter forskellen i nederste etage. Tabel 3 viser fordelingen for boliger i udlejningsejendomme med kælder/krybekælder. Tabel 4 viser fordelingen for boliger i udlejningsejendomme med terrændæk. Tabel 5 viser fordelingen af boliger beliggende i stueetagen i etageejendomme med

årsmiddelværdien for radonkoncentrationen i boligen inddelt i intervaller på 50 Bq/m³.

Tabel 3. Antallet af boliger med årsmiddelværdien for radonkoncentrationen for boliger i udlejningsejendomme med kælder/krybekælder inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ fordelt på etager.

	0-50	51-100	101-150	151-200	>200	Antal boliger
Stue	42	9	6	2	1	60
1. Sal	43	0	0	0	0	43
2. Sal	34	0	0	0	0	34
3. Sal	28	0	0	0	0	28
4. Sal	5	0	0	0	0	5
5. Sal	6	0	0	0	0	6
Antal boliger	158	9	6	2	1	176
Andel i %	89,8	5,1	3,4	1,1	0,6	100

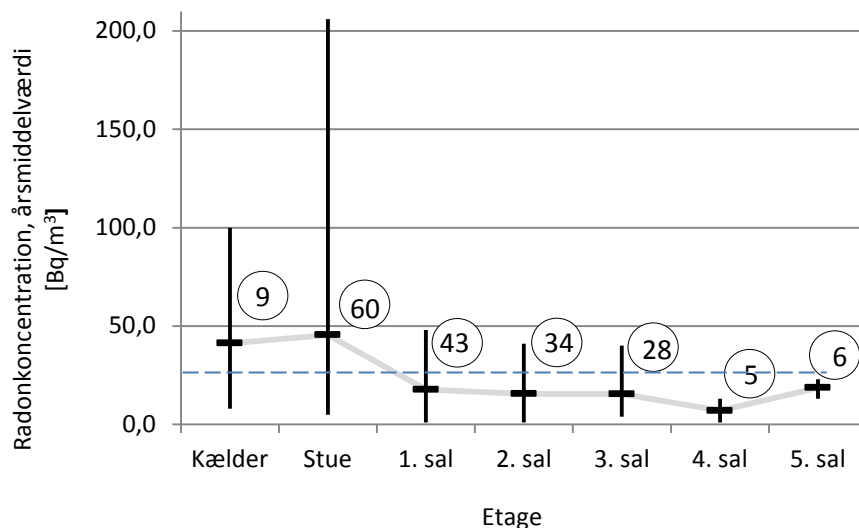
Tabel 4. Antallet af boliger med årsmiddelværdien for radonkoncentrationen for boliger i udlejningsejendomme med terrændæk inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ fordelt på etager.

	0-50	51-100	101-150	151-200	>200	Antal boliger
Stue	15	9	1	1	2	28
1. Sal	8	0	0	0	0	8
2. Sal	4	0	0	0	0	4
3. Sal	2	0	0	0	0	2
4. Sal	1	0	0	0	0	1
5. Sal	2	0	0	0	0	2
Antal boliger	32	9	1	1	2	45
Andel i %	71,1	20,0	2,2	2,2	4,5	100

Tabel 5. Antallet af boliger beliggende i stueetagen med årsmiddelværdien for radonkoncentrationen for boliger i etageejendomme inddelt i intervaller på 50 Bq/m³.

	0-50	51-100	101-150	151-200	>200	Antal boliger
Stue over kælder	42	5	0	0	0	47
Andel i %	89,4	10,6	0	0	0	100 %
Stue over terrændæk	9	7	0	0	0	16
Andel i %	56,3	43,7	0	0	0	100 %

Figur 3 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen i boliger bestemt for ejendomme med kælder/krybekælder fordelt på etager. Antallet af boliger for de enkelte etager er angivet i diagrammet. Tabel 6 viser minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdien og antal boliger for årsmiddelværdien opdelt efter etager som tilhører ejendomme med kælder/krybekælder. For boliger med kælder/krybekælder er minimumsværdien 1 Bq/m³, maksimumsværdien 206 Bq/m³, standardafvigelsen 32,3 Bq/m³, medianværdien på 17,0 Bq/m³ og middelværdien 26,2 Bq/m³.



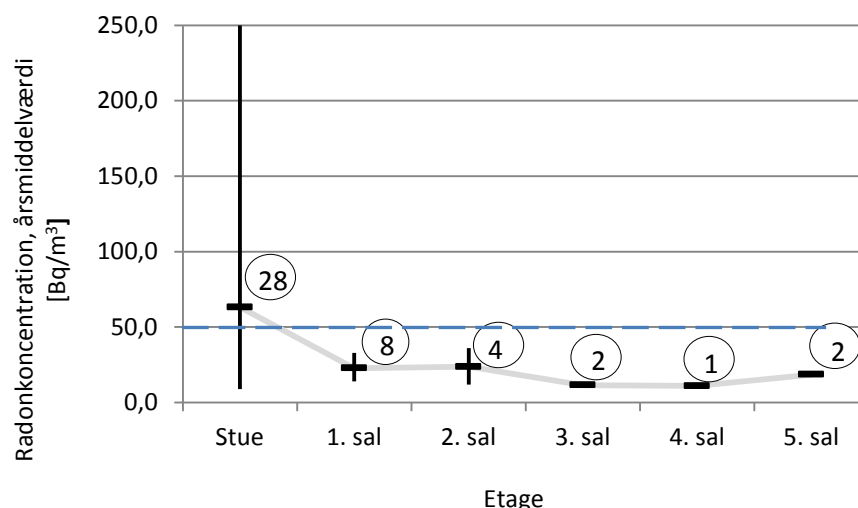
Figur 3. Årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med kælder/krybekælder. For hver etage er intervallet mellem minimumsværdi og maksimumsværdi angivet med en lodrette linje, middelværdien er angivet med en fed vandret markering og antal boliger er angivet i en cirkel.

Tabel 6. Minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdien og antal boliger for årsmiddelværdien for radonkoncentrationen opdelt efter etager i ejendomme med kælder/krybekælder.

	Kælder	stue	1. sal	2. sal	3. sal	4. sal	5. sal
Minimumsværdi [Bq/m ³]	8	5	1	1	4	1	13
Maksimumsværdi [Bq/m ³]	100	206	48	41	40	13	23
Middelværdi [Bq/m ³]	41,2	45,5	17,7	15,5	15,5	7	18,7
Antal boliger/kældre	9	60	43	34	28	5	6

Af de 60 boliger, som ligger i stuen i ejendomme med kælder eller krybekælder, har 9 boliger, svarende til 15 % af de undersøgte boliger i stuen, en årsmiddelværdi for radonkoncentrationen i indeluften større end 100 Bq/m³. 8 boliger, svarende til 13,3 %, har en årsmiddelværdi mellem 100 Bq/m³ og 200 Bq/m³ medens én bolig, svarende til 1,7 %, har en årsmiddelværdi større end 200 Bq/m³.

Figur 4 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med terrændæk fordelt på etager. Antallet af boliger for de enkelte etager er angivet i diagrammet. Tabel 7 viser minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdien og antal boliger for den bestemte årsmiddelværdi for radonkoncentrationen opdelt efter etager i ejendomme med terrændæk. For boliger er minimumsværdien 10 Bq/m³, maksimumsværdien 250 Bq/m³, standardafvigelsen 53 Bq/m³, medianværdien på 33 Bq/m³ og middelværdien 50 Bq/m³.



Figur 4. Årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for målinger foretaget i ejendomme med terrændæk. For hver etage er intervallet mellem minimumsværdi og maksimumsværdi angivet med en lodret linje, middelværdien er angivet med en fed vandret markering og antal boliger er angivet i en cirkel.

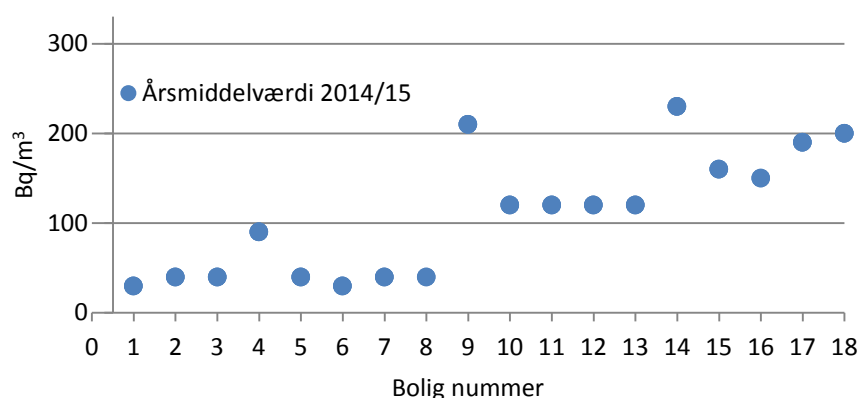
Tabel 7. Minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdien og antal boliger for årsmiddelværdien for radonkoncentrationen opdelt efter etager i ejendomme med terrændæk.

	Stue	1. sal	2. sal	3. sal	4. sal	5. sal
Minimumsværdi [Bq/m³]	9	14	12	10	11	17
Maksimumsværdi [Bq/m³]	250	33	36	13	11	20
Middelværdi [Bq/m³]	63,2	22,8	23,8	11,5	11	18,5
Antal boliger	28	8	4	2	1	2

Af de 28 boliger, som ligger i stuen i ejendomme med terrændæk, har 4 boliger, svarende til 14,3 % af de undersøgte boliger i stuen, en årsmiddelværdi for radonkoncentrationen i indeluften større end 100 Bq/m³. 2 boliger, svarende til 7,1 %, har en årsmiddelværdi mellem 100 Bq/m³ og 200 Bq/m³ og 2 boliger, svarende til 7,1 %, har en årsmiddelværdi større end 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdier 2014/15

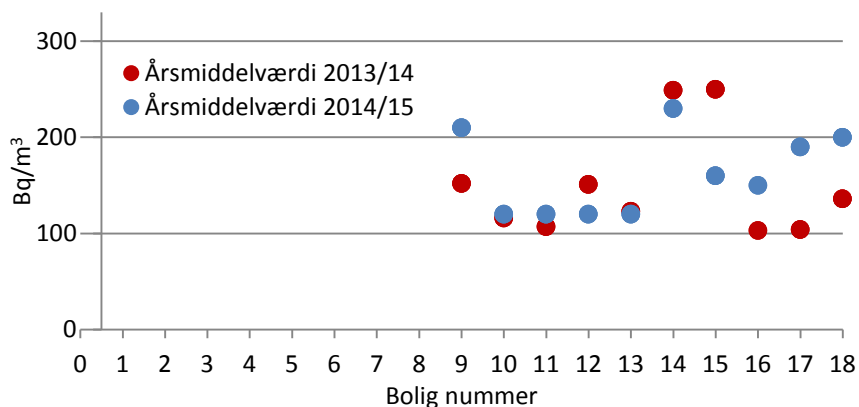
Figur 5 viser årsmiddelværdier for indholdet af radon i indeluften bestemt ved målinger foretaget i fyringssæsonen 2014/15. Årsmiddelværdien er bestemt for 17 boliger og en kælder. Årsmiddelværdien for boliger i en etageejendom af Type A er angivet med bolignummer 1 til 7. Kælderen i etageejendommen er angivet med nummer 8. Årsmiddelværdien for boliger beliggende i rækkehus af Type C er angivet ved numrene 9 til 18. Årsmiddelværdien for radon i indeluften er bestemt med en usikkerhed på 10 Bq/m³ til 50 Bq/m³.



Figur 5. Årsmiddelværdier bestemt ved måling af indeluften i 17 boliger og en kælder i vinteren 2014/15.

Boliger med to årsmiddelværdier

Årsmiddelværdien for radon i indeluften blev på baggrund af gentagede målinger bestemt for 10 boliger i 10 ejendomme af Type C – rækkehuse i vinteren 2013/14 og i vinteren 2014/15. Årsmiddelværdien for radon i indeluften er bestemt med en usikkerhed på 20 Bq/m^3 til 40 Bq/m^3 .

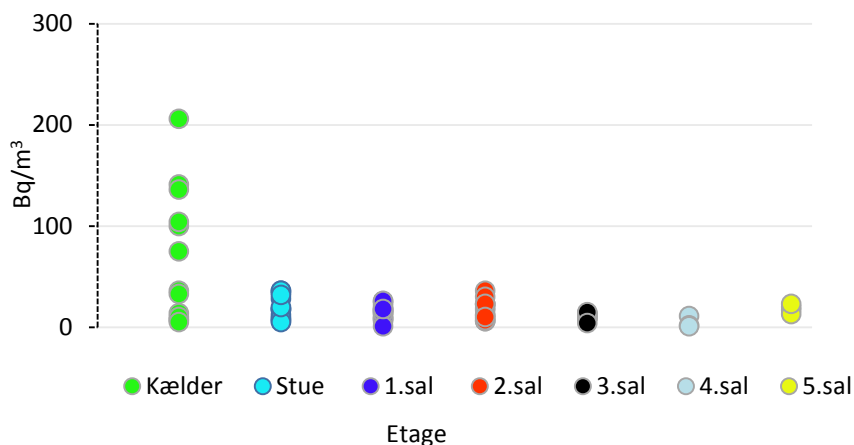


Figur 6. Årsmiddelværdien bestemt ved måling af indeluften i vinteren 2013/14 og gentaget i vinteren 2014/15.

Årsmiddelværdier sammenholdt med bygningsregistreringer

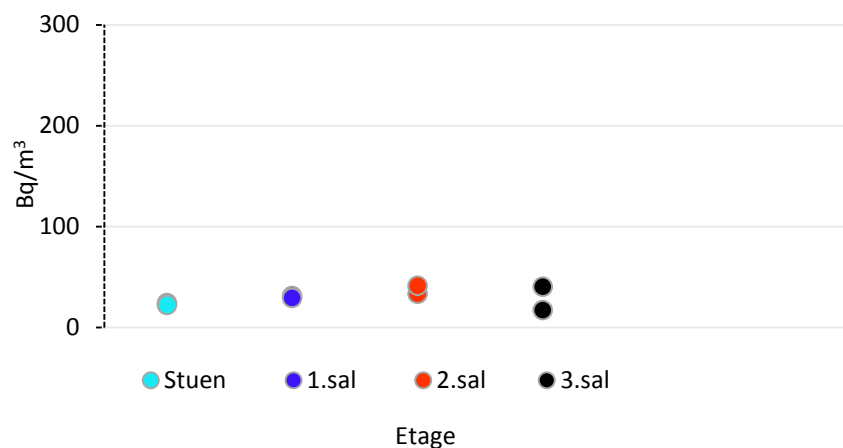
Etageadskillelse

Figur 7 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med etageadskillelse af beton. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $15,7 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $8,8 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 56 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med etageadskillelse af beton er 63.



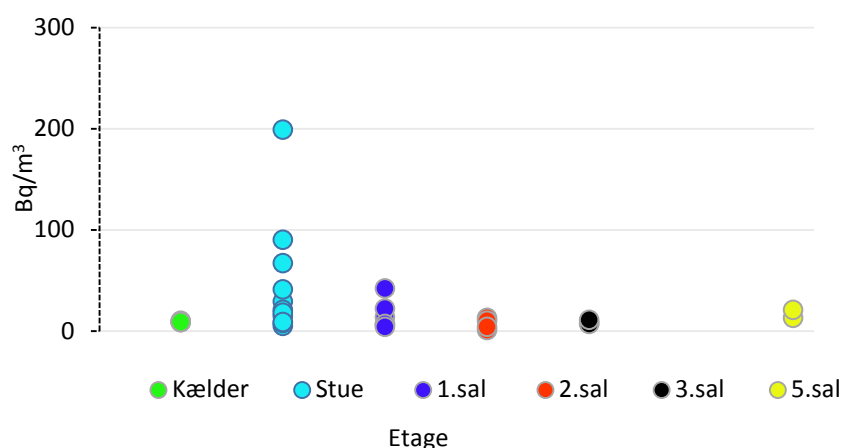
Figur 7. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med etageadskillelse af beton, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 8 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med etageadskillelse bestående af arealer af beton og arealer af træ. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $29,6 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $8,5 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 29 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med etageadskillelse bestående af arealer af beton og arealer af træ er 8.



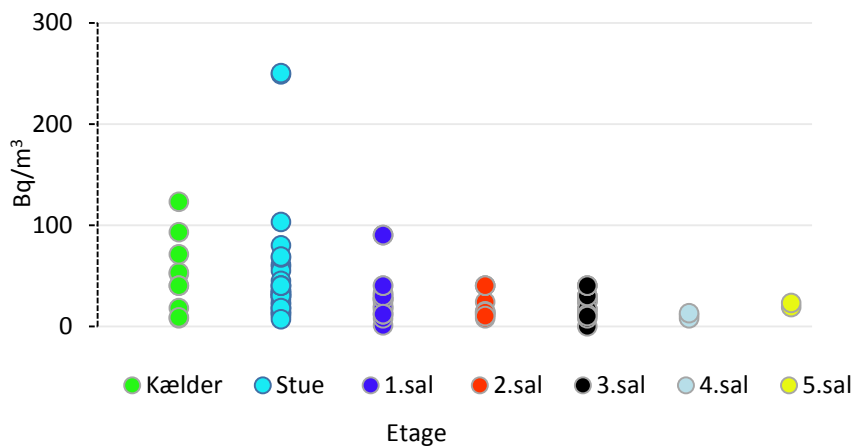
Figur 8. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med etageadskillelse bestående af arealer af beton og arealer af træ, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

Figur 9 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med etageadskillelse af andet end beton og træ fx stål og tegl. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $26,3 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $40,7 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 155 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med etageadskillelse af andet end beton og træ er 26.



Figur 9. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med etageadskillelse af andet end beton og træ fx stål med udfyldninger af tegl, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal og på 5. sal.

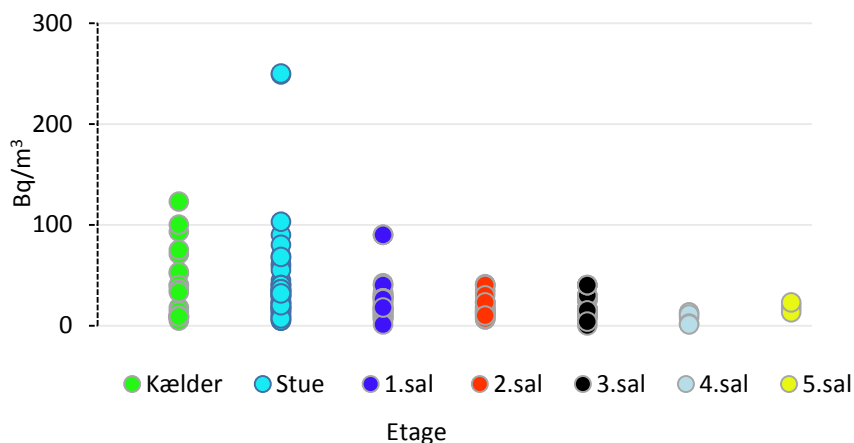
Figur 10 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med etageadskillelse af træ. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $32,9 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $37,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 114 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med etageadskillelse af træ er 97.



Figur 10. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med etageadskillelse af træ, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

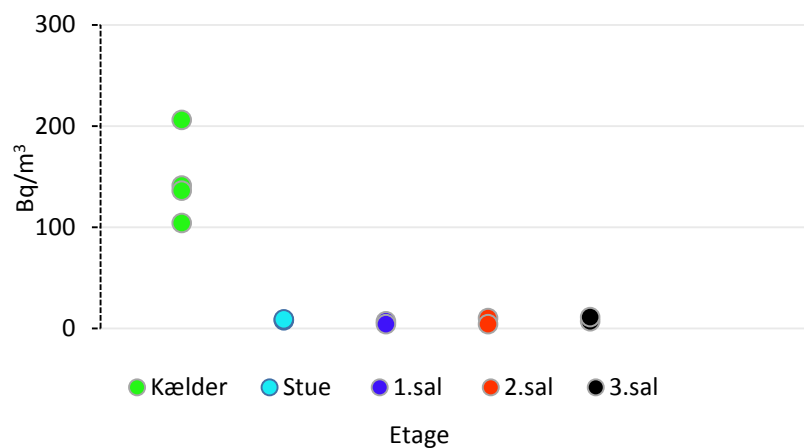
Badeværelse

Figur 11 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med boliger med badeværelse placeret inden i bygningen uden direkte forbindelse med ydervæg. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $27,5 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $30,9 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 113 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med baderum placeret inden i bygningen uden direkte forbindelse med ydervæg er 164.



Figur 11. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med boliger med badeværelse placeret inden i bygningen uden direkte forbindelse med ydervæg, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

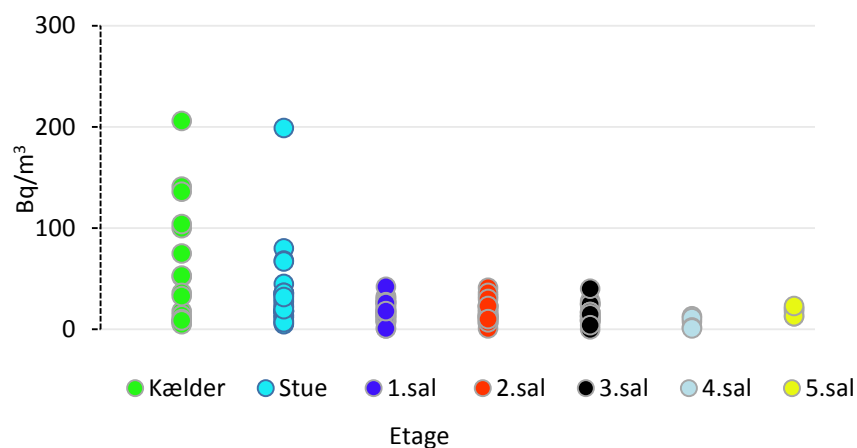
Figur 12 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med boliger med badeværelse placeret i bygningen, så det har mindst en ydervæg. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $7,5 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $2,6 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 34 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med badeværelse placeret i bygningen, så det har mindst en ydervæg er 8.



Figur 12. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med boliger med badeværelse placeret i bygningen, så det har mindst en ydervæg, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, og på 3. sal.

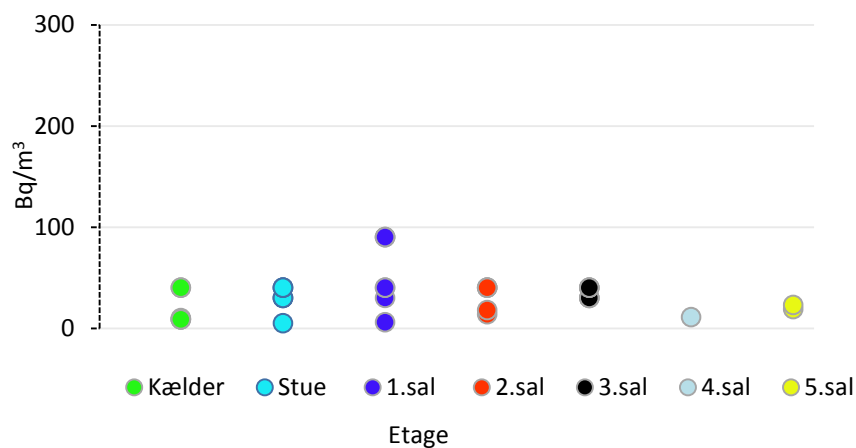
Trappeløb

Figur 13 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med trappeløb med åben adgang til kælder. For boliger er årsmiddelværdien på $20,3 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $19,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 96 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med åbent trappeløb er 144.



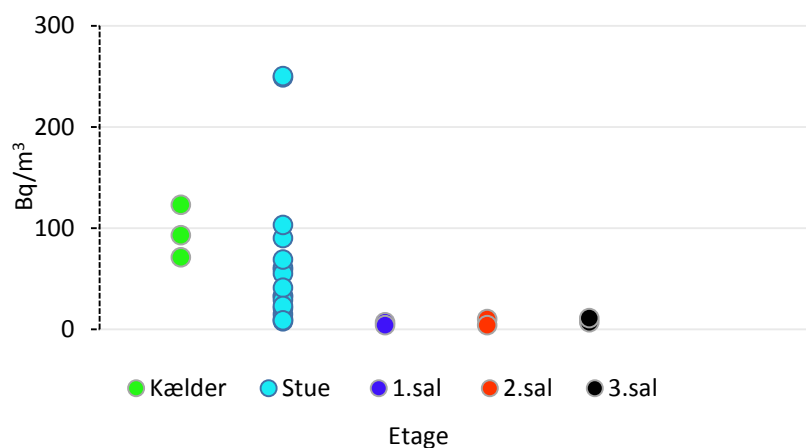
Figur 13. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med trappeløb med åben adgang til kælder, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 14 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med et trappeløb uden åben adgang til kælder. For boliger er årsmiddelværdien på $36,3 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $21,9 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 60 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med trappeløb uden åben adgang til kælder er 28.



Figur 14. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med et trappeløb uden åben adgang til kælder, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

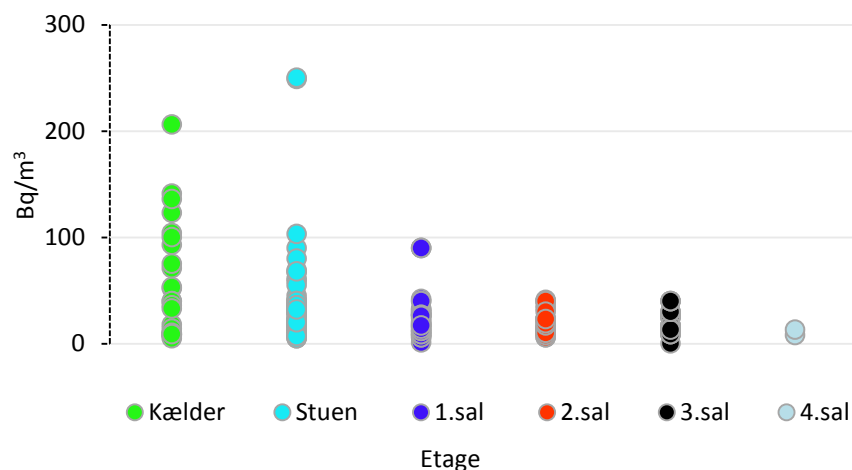
Figur 15 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med anden adgang til boligen end trappeløb fx adgang via svalegang eller fra terræn. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $50,0 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $67,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 135 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med anden adgang end trappeløb er 24.



Figur 15. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med anden adgang til boligen end trappeløb mellem etager, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

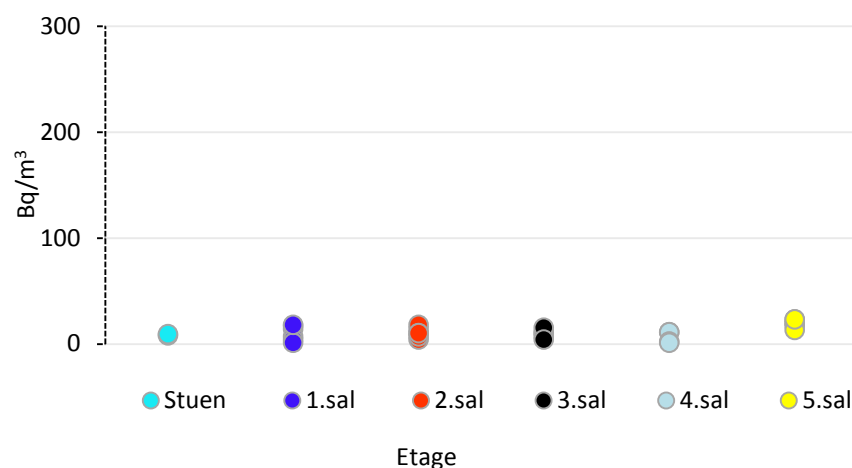
Elevator

Figur 16 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden elevator. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $28,6 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $31,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 110 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden elevator er 156.



Figur 16. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden elevator, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal og på 4. sal.

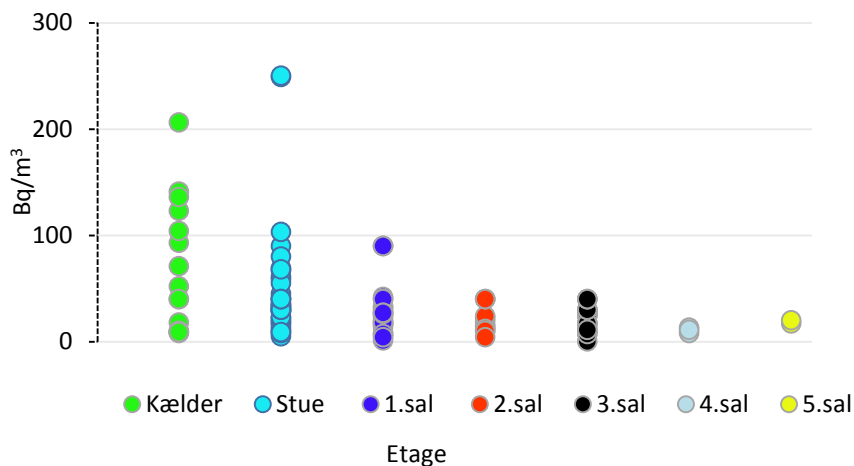
Figur 17 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med elevator. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 11,3 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 6,4 Bq/m³ og en variationskoefficient på 56 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med elevator er 29.



Figur 17. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med elevator fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

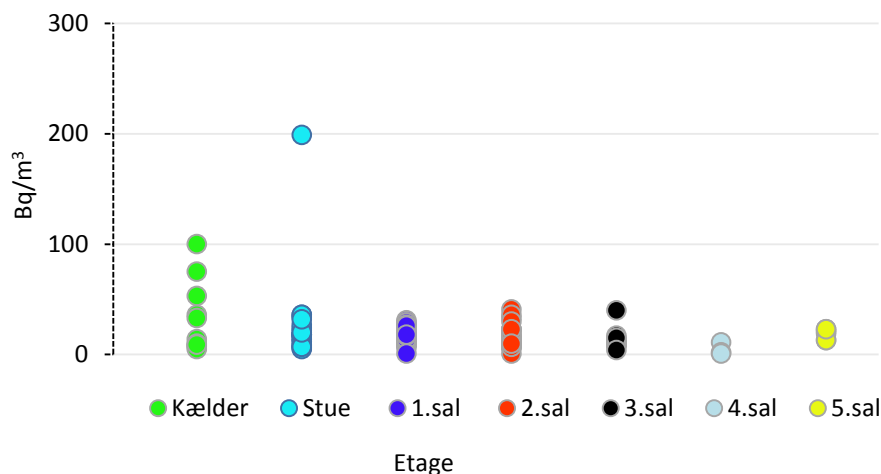
Affaldsskakt

Figur 18 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden affaldsskakt. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 33,7 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 37,7 Bq/m³ og en variationskoefficient på 112 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden affaldsskakt er 100.



Figur 18. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden affaldsskakt, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

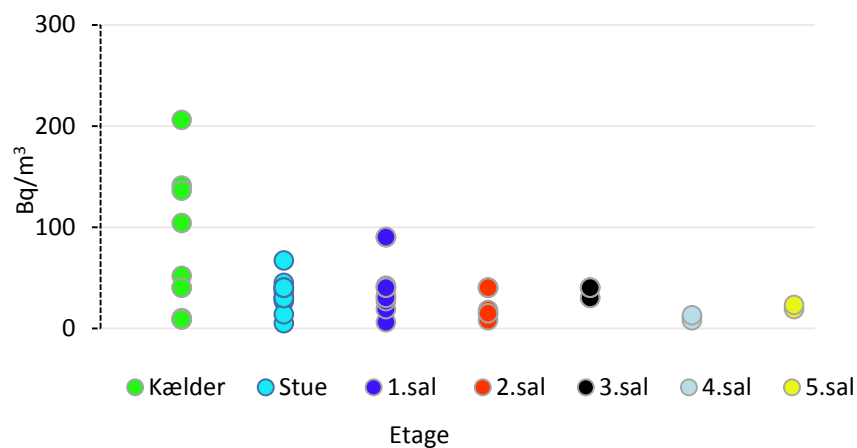
Figur 19 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med affaldsskakt. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 18,4 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 20,9 Bq/m³ og en variationskoefficient på 114 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med affaldsskakt er 94.



Figur 19. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med affaldsskakt, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

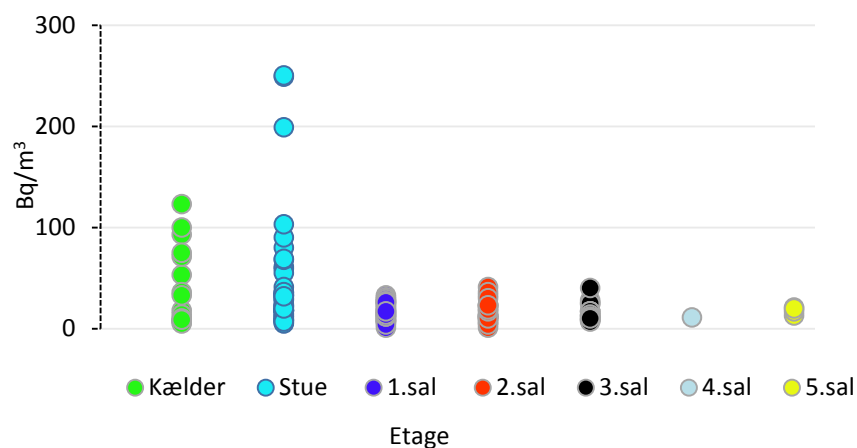
Ventilation: Riste i ydervæg til ventilation

Figur 20 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med riste i ydervæg til ventilation. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 33,5 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 21,0 Bq/m³ og en variationskoefficient på 63 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med riste i ydervæg til ventilation er 40.



Figur 20. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med riste i ydervæg til ventilation, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

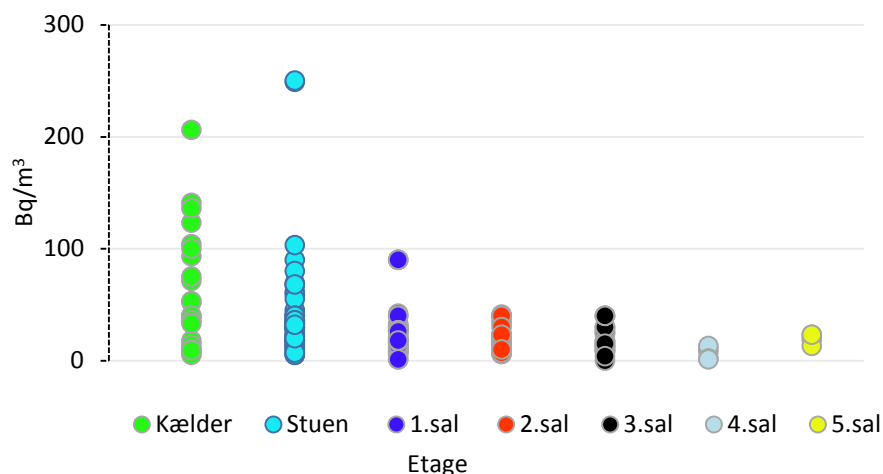
Figur 21 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden riste i ydervæg til ventilation. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 25,8 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 34,9 Bq/m³ og en variationskoefficient på 135 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden riste i ydervæg til ventilation er 139.



Figur 21. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden riste i ydervæg til ventilation, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

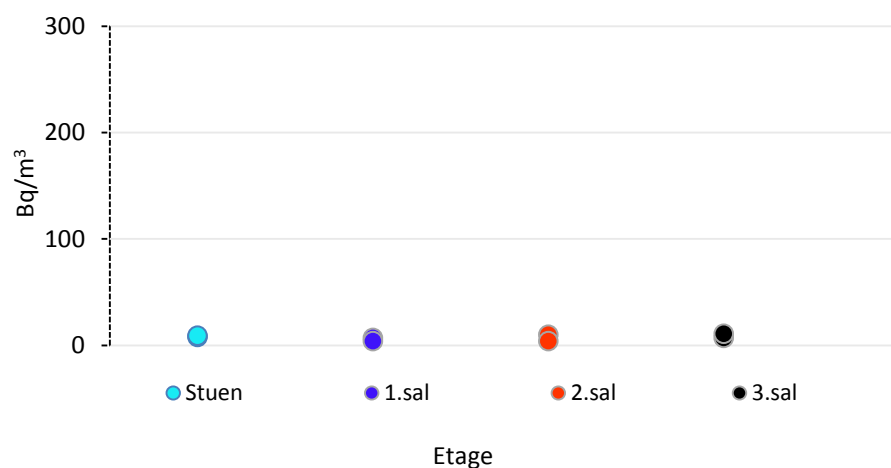
Ventilation: Varmegenindvinding

Figur 22 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden varmegenvinding. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 27,1 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 30,4 Bq/m³ og en variationskoefficient på 112 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden varmegenvinding er 171.



Figur 22. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden varmegenvinding, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

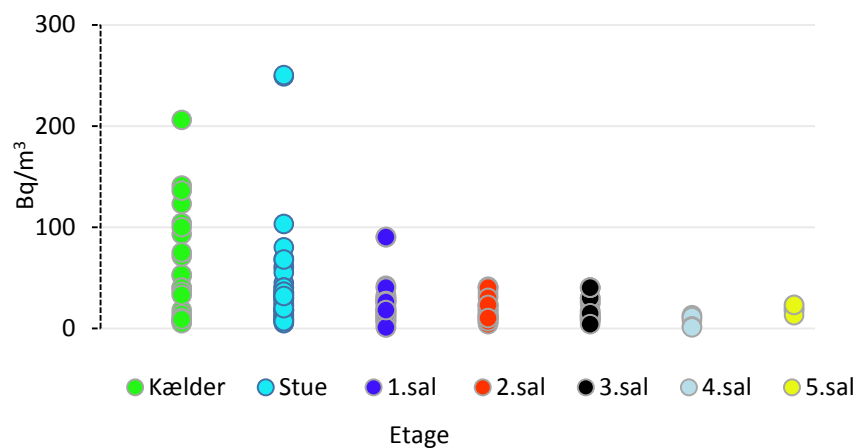
Figur 23 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med varmegenvinding. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 7,5 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 2,6 Bq/m³ og en variationskoefficient på 34 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med varmegenvinding er 8.



Figur 23. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med varmegenvinding, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

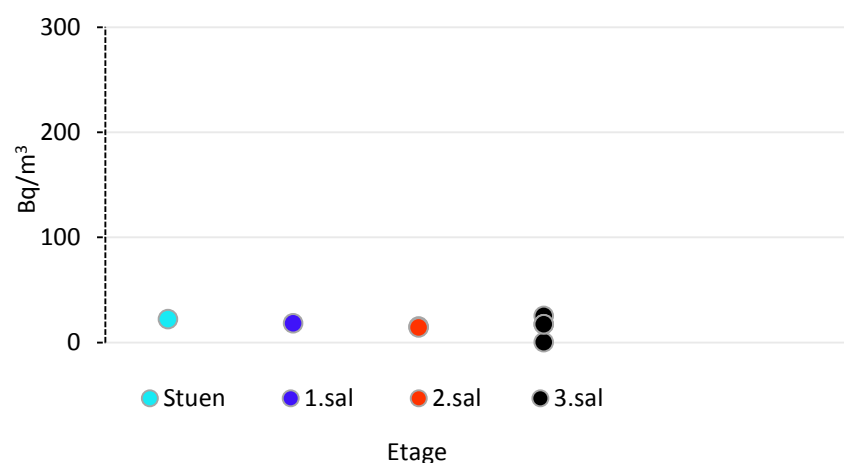
Renoveret kældergulv

Figur 24 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med oprindeligt gulv i kælder. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 26,2 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 30,2 Bq/m³ og en variationskoefficient på 115 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med oprindeligt gulv i kælder er 170.



Figur 24. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kælder i ejendomme med oprindeligt gulv i kælder, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

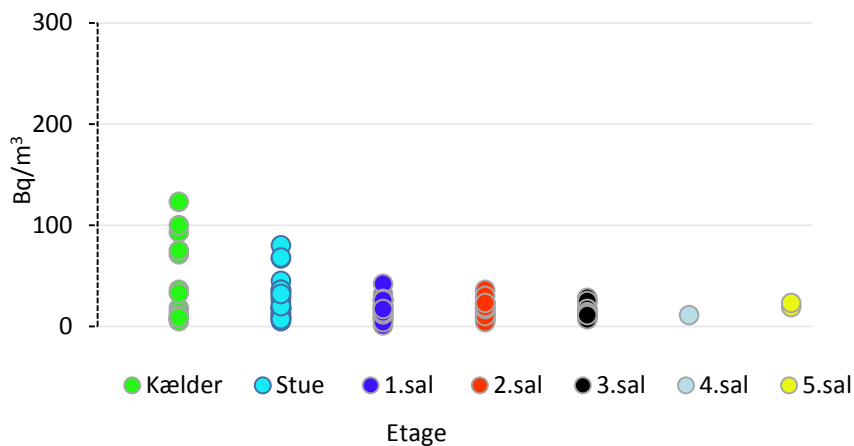
Figur 25 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med et renoveret gulv i kælder eller mod terræn. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 16 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 7,4 Bq/m³ og en variationskoefficient på 46 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med renoveret gulv i kælder eller mod terræn er 8.



Figur 25. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger i ejendomme med et renoveret gulv i kælder eller mod terræn, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

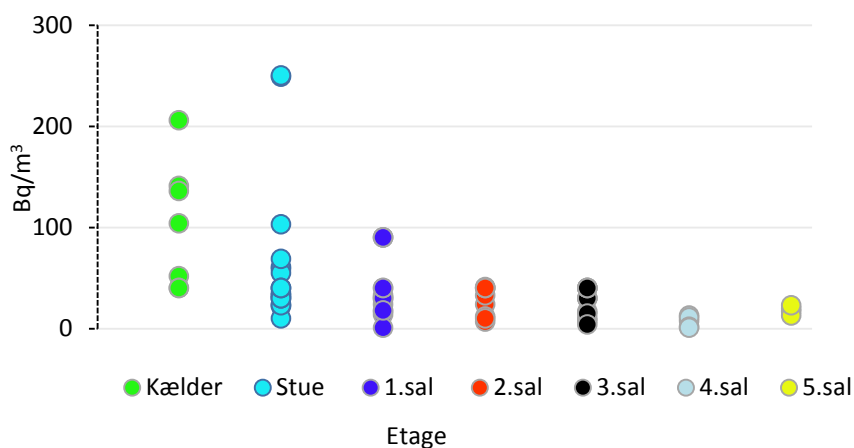
Gulvafløb i kælder

Figur 26 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med gulvafløb i kælder. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 19,2 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 12,8 Bq/m³ og en variationskoefficient på 67 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med gulvafløb i kælder er 105.



Figur 26. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kælder i ejendomme med gulv afløb i kælder, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

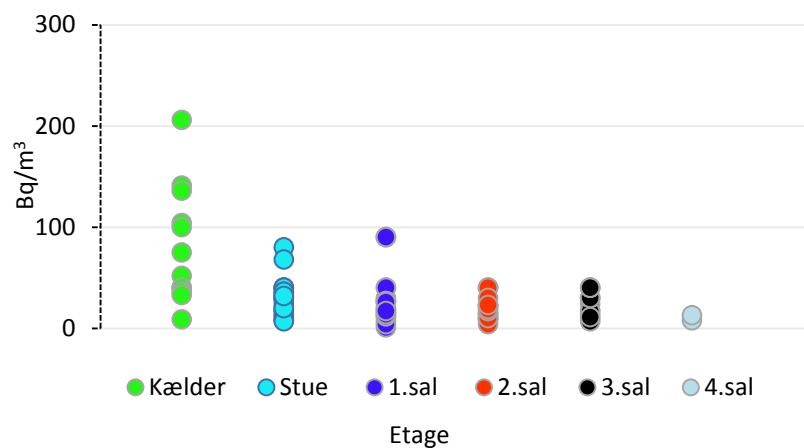
Figur 27 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden gulv afløb i kælder. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $38,2 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på 44 Bq/m^3 og en variationskoefficient på 115 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden gulv afløb i kælder er 64.



Figur 27. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kælder i ejendomme uden gulv afløb i kælder, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

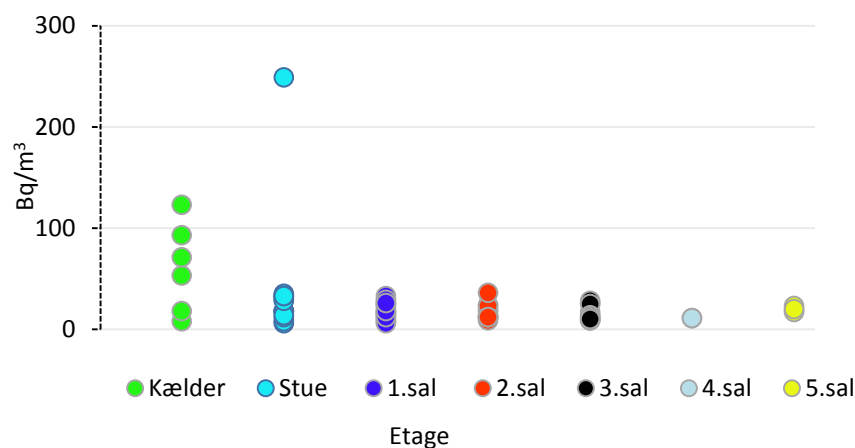
Utætheder i etageadskillelse

Figur 28 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med tydelige tegn på utætheder omkring rørgennemføringer. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $26,2 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $18,1 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 69 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med tydelige tegn på utætheder omkring rørgennemføringer er 90.



Figur 28. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med tydelige tegn på utætheder omkring rørgennemføringer, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal og på 4. sal.

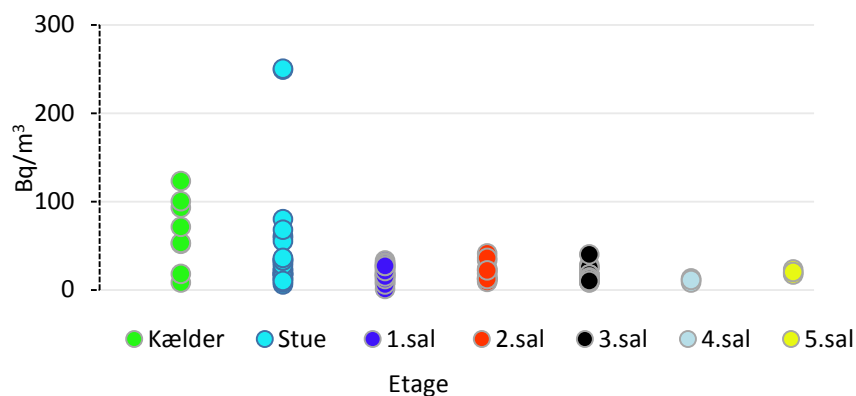
Figur 29 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden synlige tegn på utætte rørgennemføringer. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $22,1 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $30,9 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 140 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden synlige tegn på utætte rørgennemføringer er 45.



Figur 29. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden synlige tegn på utætte rørgennemføringer, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

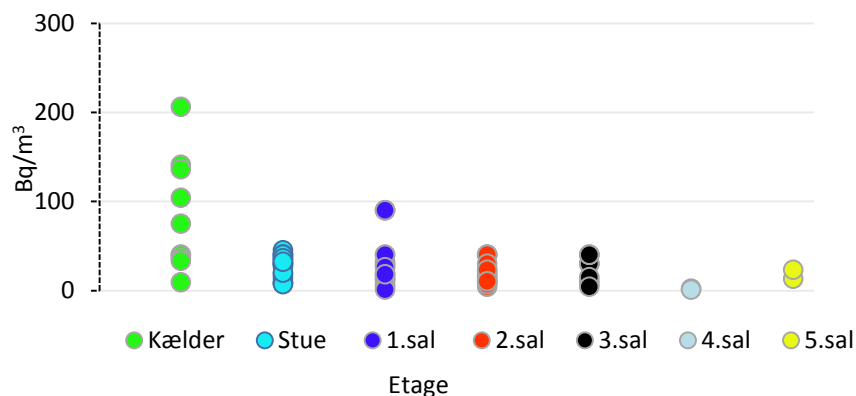
Rørføringer i etageadskillelse

Figur 30 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med rørføringer, som ikke er ført i installationsskakt. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $26,2 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $35,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 135 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med rørføringer, som ikke er ført i installationsskakt er 104.



Figur 30. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med rørføringer, som ikke er ført i installationsskakt, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

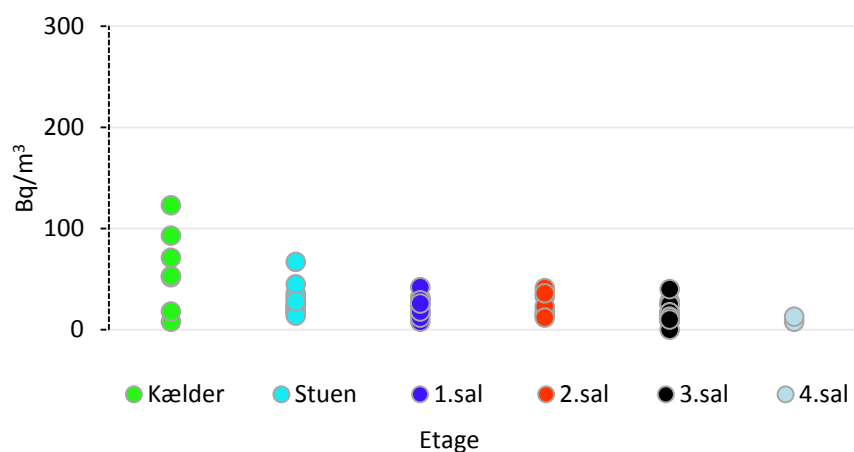
Figur 31 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med rørføringer ført i installationsskakt. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 25,2 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 19,0 Bq/m³ og en variationskoefficient på 76 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med rørføringer ført i installationsskakt er 66.



Figur 31. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med rørføringer ført i installationsskakt, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

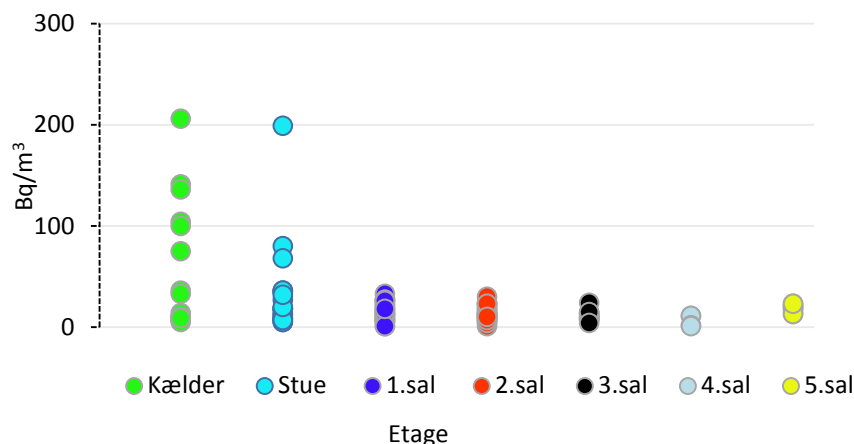
Kælder

Figur 32 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med kældervægge af tegl. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 22,9 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 11,6 Bq/m³ og en variationskoefficient på 51 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med kældervægge af tegl er 52.



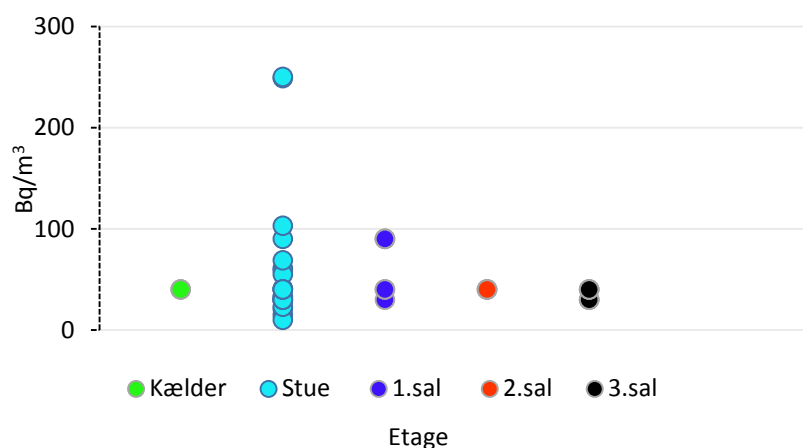
Figur 32. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med kældervægge af tegl, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal og på 4. sal.

Figur 33 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med kældervægge af beton. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $17,6 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $21,3 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 121 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med kældervægge af beton er 105.



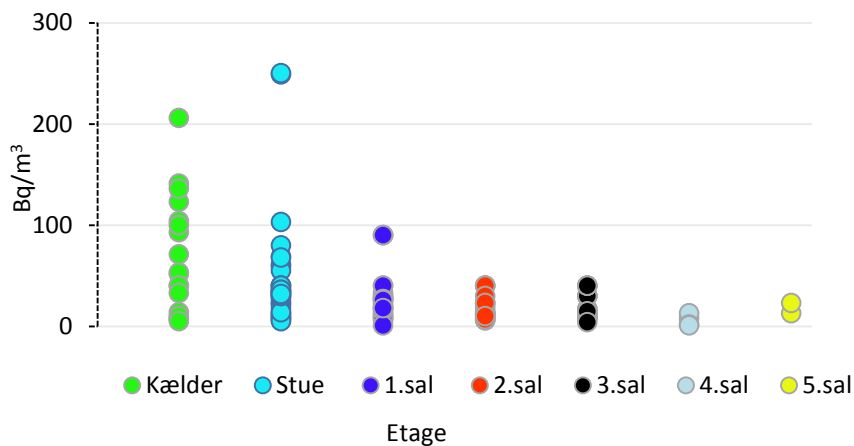
Figur 33. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med kældervægge af beton, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 34 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med kældervægge opført af andet end beton og tegl, fx hulsten eller fundamentsblokke. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $55,7 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $52,1 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 93 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med kældervægge opført af andet end beton og tegl er 37.



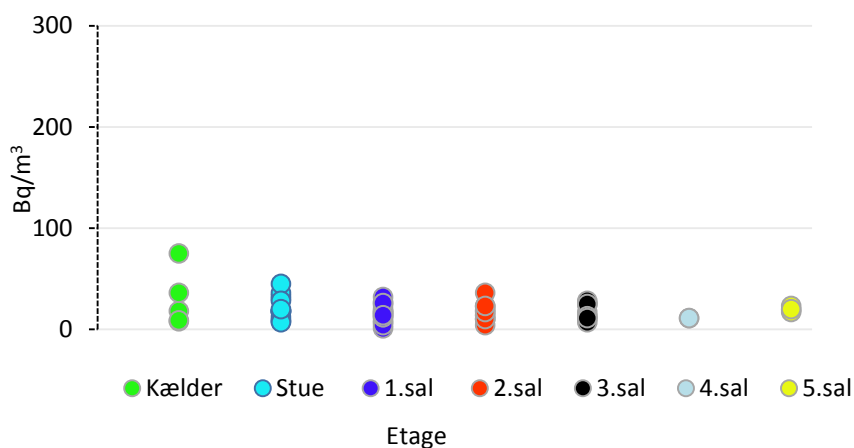
Figur 34. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med kældervægge af andet end beton og tegl, fx hulsten eller fundamentsblokke, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

Figur 35 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med en kælder, der ikke er brandsikret yderligere efter opførelsen. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $30,2 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $37,4 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 124 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med en kælder, der ikke er brandsikret yderligere efter opførelsen er 120.



Figur 35. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med en kælder, der ikke er brandsikret yderligere efter opførelsen fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

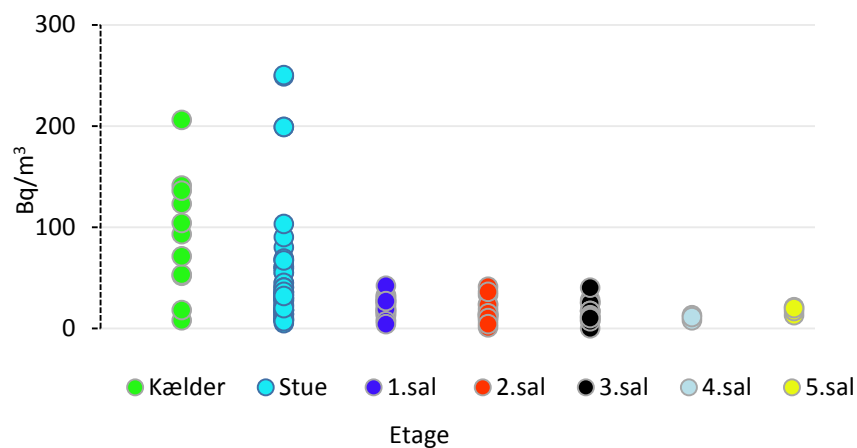
Figur 36 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med en kælder, der er brandsikret efter opførelsen. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 17,4 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 8,6 Bq/m³ og en variationskoefficient på 50 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med en kælder, der er brandsikret efter opførelsen er 62.



Figur 36. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med en kælder, der er brandsikret efter opførelsen, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

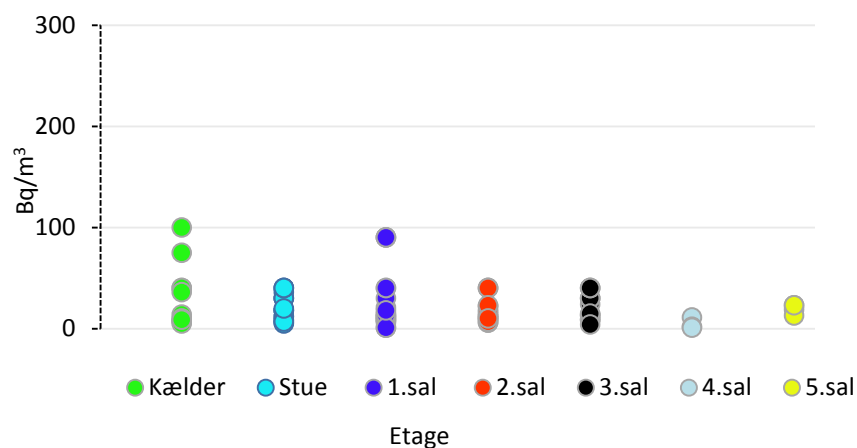
Facader

Figur 37 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med isoleret hulmur. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 31,1 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 38,0 Bq/m³ og en variationskoefficient på 122 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med isoleret hulmur er 139.



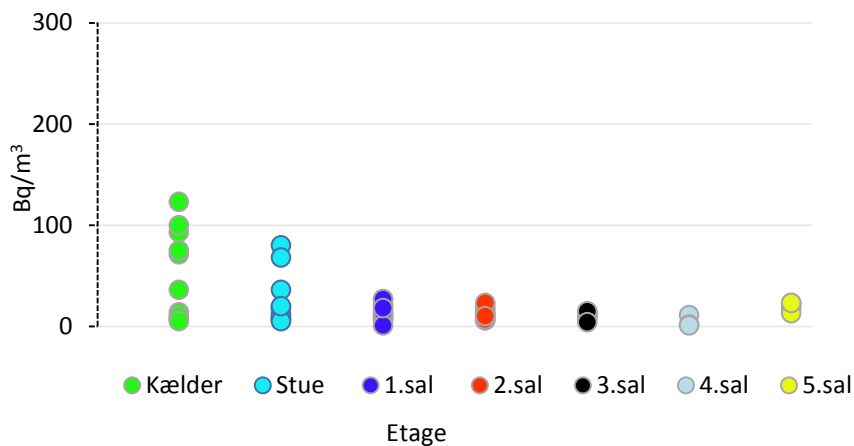
Figur 37. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med isoleret hulmur, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 38 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden isoleret hulmur. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 21,0 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 18,2 Bq/m³ og en variationskoefficient på 86 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden isoleret hulmur er 78.



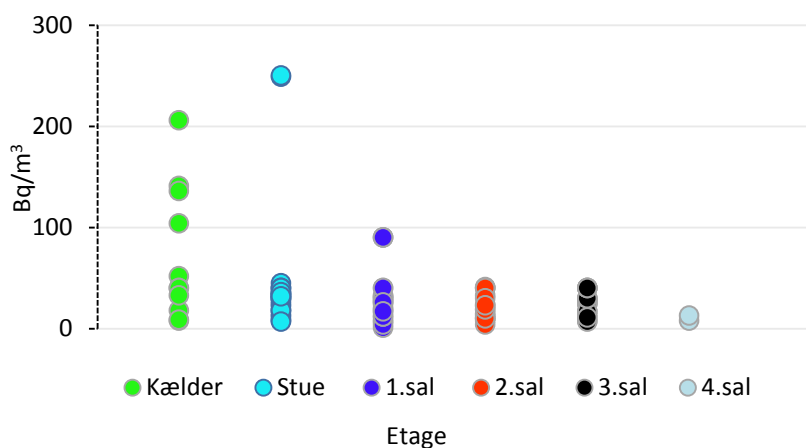
Figur 38. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden isoleret hulmur, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 39 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med efterisolerede facader/ydervægge. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 15,6 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 14,4 Bq/m³ og en variationskoefficient på 92 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med efterisolerede facader/ydervægge er 48.



Figur 39. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med efterisolerede facader/ydervægge, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

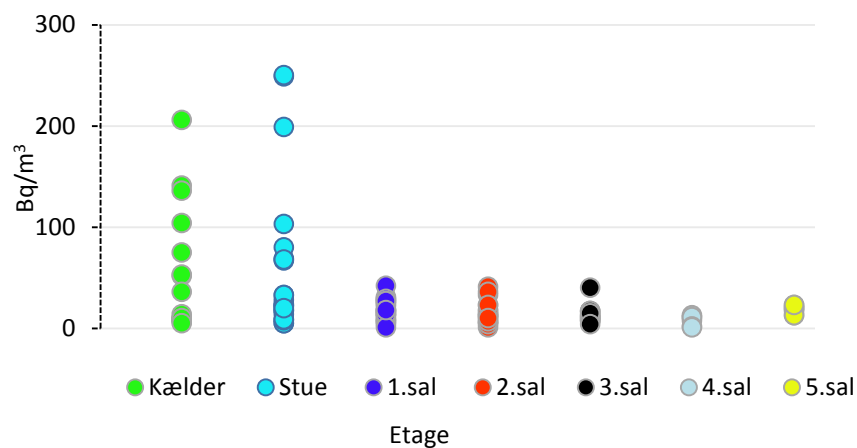
Figur 40 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme uden efterisolerede facader/ydervægge. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $31,0 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $36,8 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 119 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme uden efterisolerede facader/ydervægge er 91.



Figur 40. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme uden efterisolerede facader/ydervægge, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal og på 4. sal.

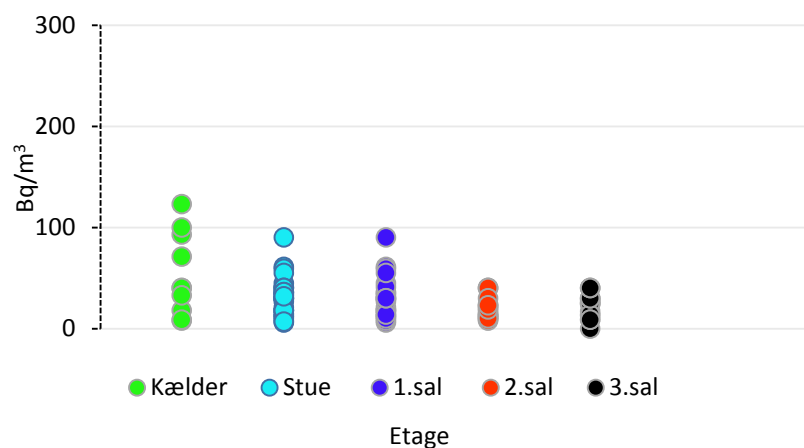
Vinduer

Figur 41 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med vinduer med rammer af plast. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på $26,0 \text{ Bq/m}^3$ bestemt med en standardafvigelse på $40,9 \text{ Bq/m}^3$ og en variationskoefficient på 157 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med vinduer med rammer af plast er 97.



Figur 41. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med vinduer med rammer af plast fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal, 3. sal, 4. sal og på 5. sal.

Figur 42 viser årsmiddelværdien for radonkoncentrationen bestemt for ejendomme med vinduer med rammer af træ. For boliger er middelværdien for årsmiddelværdien på 26,6 Bq/m³ bestemt med en standardafvigelse på 18,2 Bq/m³ og en variationskoefficient på 69 %. Antallet af boliger beliggende i ejendomme med vinduer med rammer af træ er 97.



Figur 42. Årsmiddelværdi for radonkoncentrationen bestemt for boliger og kældre i ejendomme med vinduer med rammer af træ, fordelt på etager. Boligerne er beliggende i stueetagen, 1. sal, 2. sal og på 3. sal.

Oversigt over registreringer

Tabel 8 angiver boligers gennemsnitlige årsmiddelværdi for radonkoncentrationen beliggende i ejendomme med karakteristika givet ved de enkelte bygningsregistreringer. Den gennemsnitlige årsmiddelværdi (Årsmiddel) bestemt med standardafvigelsen (Std.afv.) og variationskoefficienten (Var.) er anført sammen med antallet af boliger beliggende i ejendomme med de samme bygningsregistreringer.

Tabel 8. Gennemsnitlig årsmiddelværdi i Bq/m³, standardafvigelse i Bq/m³, variationskoefficient i procent og antallet af boliger beliggende i ejendomme med tilsvarende karakteristika noteret ved bygningsgennemgangen anført ved bygningsregistreringerne.

Registrering	Årsmiddel [Bq/m ³]	Std.afv. [Bq/m ³]	Var. [%]	Antal boliger
Etageadskillelse af beton	15,7	8,8	56	63
Etageadskillelse med arealer af hhv. beton og træ	29,6	8,5	29	8
Etageadskillelse af andet end beton og træ	26,3	40,7	155	26
Etageadskillelse af træ	32,9	37,4	114	97
Badeværelse inde i bygningen	27,5	30,9	113	164
Badeværelse med ydervæg	7,5	2,6	34	8
Åbent trappeløb fra kælder til bolig	20,3	19,4	96	144
Trappeløb til bolig uden adgang til kælder	36,3	21,9	60	28
Anden adgang til bolig end via trappeløb	50,0	67,4	135	24
Ejendom uden elevator	28,6	31,4	110	156
Ejendom med elevator	11,3	6,4	56	29
Ejendom uden affaldsskakt	33,7	37,7	112	100
Ejendom med affaldsskakt	18,4	20,9	114	94
Ventilation via riste i ydervæg	33,5	21,0	63	40
Ejendom ventileret uden riste i ydervæg	25,8	34,9	135	139
Ejendom uden varmegenvinding	27,1	30,4	112	171
Ejendom med varmegenvinding	7,5	2,6	34	8
Ejendomme med oprindeligt gulv i kælder	26,2	30,2	115	170
Ejendom med renoveret gulv i kælder	16	7,4	46	8
Ejendom med gulvafløb i kælder	18,2	12,8	67	105
Ejendom uden gulvafløb i kælder	38,2	44	115	64
Synlige utætheder i etageadskillelser	26,2	18,1	69	90
Antageligt lufttæt etageadskillelser	22,1	30,9	140	45
Rør ført udenfor installationsskakt	26,2	35,4	135	104
Rør ført i installationsskakt	25,2	19,0	76	66
Kældervægge af tegl	22,9	11,6	51	52
Kældervægge af beton	17,6	21,3	121	105
Kældervægge af andet end beton og tegl	55,7	52,1	93	37
Brandsikring ikke fortaget i kælder	30,2	37,4	124	120
Brandsikring fortaget i kælder	17,4	8,6	50	62
Ejendom med isoleret hulmur	31,1	38	122	139
Ejendom uden isoleret hulmur	21,0	18,2	86	78
Ejendom med efterisolerede facader	15,6	14,4	92	48
Ejendom uden efterisolerede facader	31,0	36,8	119	91
Vinduer med rammer af plast	26,0	40,9	157	97
Vinduer med rammer af træ	26,6	18,2	69	97

Målte værdier

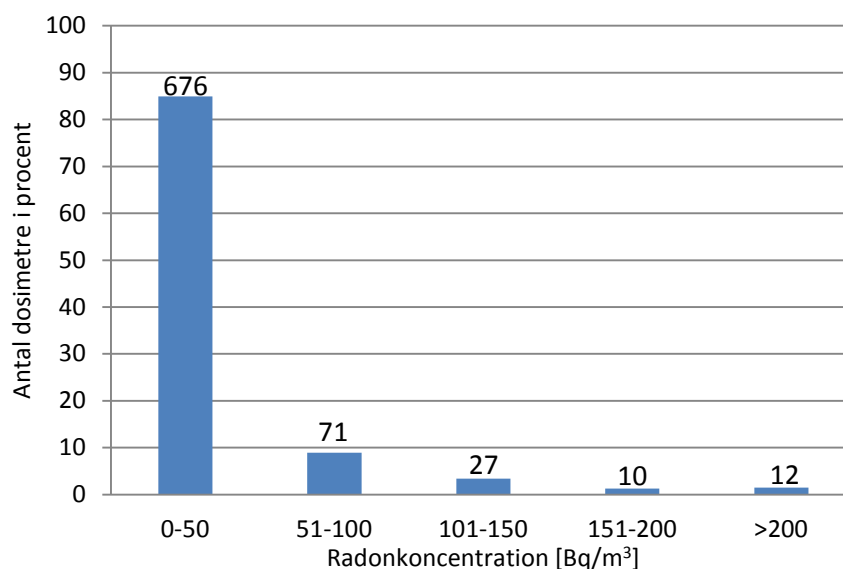
Koncentrationen af radon er målt, ved anvendelsen af dosimetre i fyrings-sæsonen 2013/14 og igen i fyringssæsonen 2014/15, dog i et begrænset omfang.

Hovedparten af de returnerede dosimetre, som indgår i undersøgelsen, viste sig brugbare til bestemmelse af radonkoncentrationen for det enkelte dosimeter. Meget lave værdier for koncentrationen af radon er fra analyseinsti-

tuttet angivet som en målt værdi mindre end 10 Bq/m³. Disse værdier er i databehandlingen for målte værdier angivet med værdien 10 Bq/m³.

Fyringssæsonen 2013/14

Figur 43 viser et frekvensdiagram af radonkoncentrationen bestemt for de brugbare 796 returnerede dosimetre placeret i både boliger og kældre. Antallet af dosimetre er angivet i frekvensdiagrammet. Tabel 9 viser den målte radonkoncentration inddelt i intervaller for de brugbare 796 returnerede dosimetre placeret i både boliger og kældre.

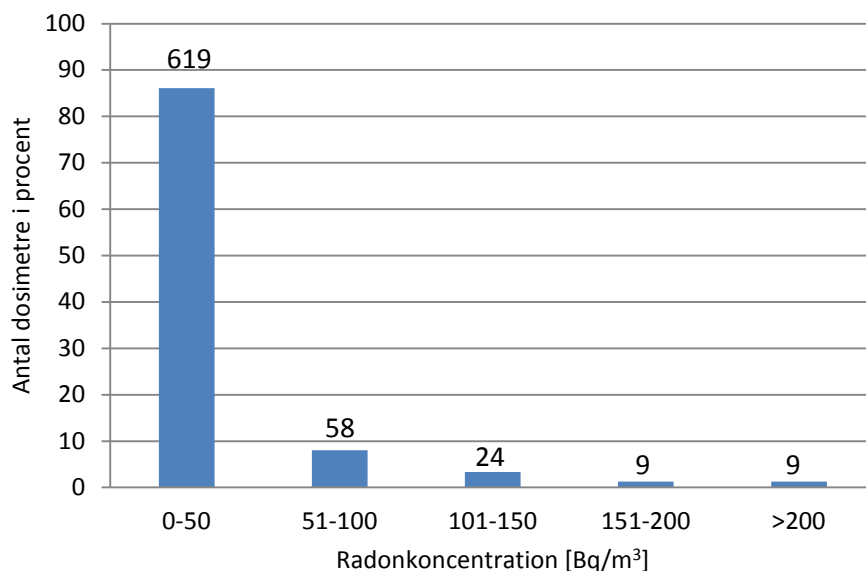


Figur 43. Frekvensdiagram for radonkoncentrationen (Bq/m³) bestemt for de brugbare 796 returnerede dosimetre placeret i både boliger og kældre.

Tabel 9. Målte radonkoncentrationen inddelt i intervaller for de brugbare 796 returnerede dosimetre placeret i både boliger og kældre.

Bq/m ³	0-50	51-100	101-150	151-200	> 200
Antal dosimetre	676	71	27	10	12
Andel i %	84,9	8,9	3,4	1,3	1,5

Figur 44 viser et frekvensdiagram af radonkoncentrationen bestemt for de brugbare 719 returnerede dosimetre, som har været opstillet i boliger. Antallet af dosimetre er angivet i frekvensdiagrammet. Tabel 10 viser den målte radonkoncentration inddelt i intervaller for de brugbare 719 returnerede dosimetre, som har været opstillet i boliger.

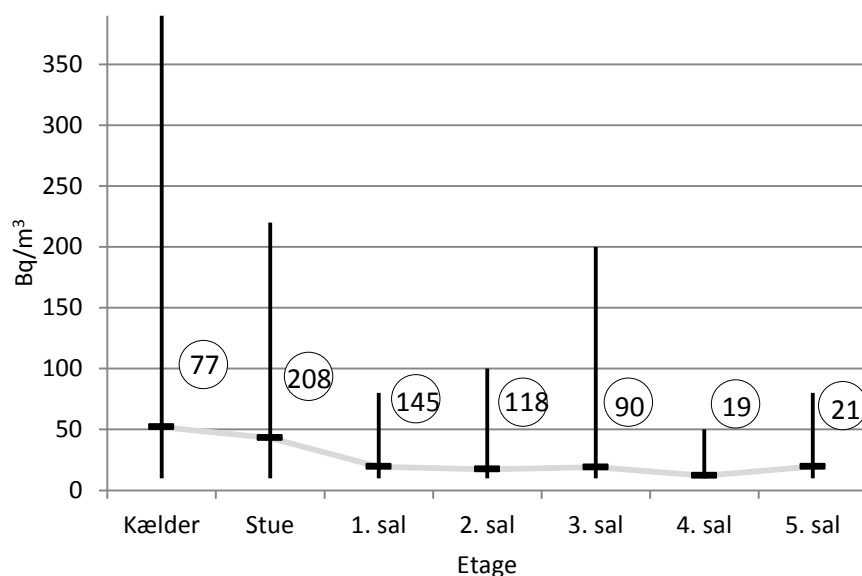


Figur 44. Frekvensdiagram for radonkoncentrationen (Bq/m³) bestemt for de brugbare 719 returnerede dosimetre, som har været opstillet i boliger.

Tabel 10. Andel målte radonkoncentrationer inddelt i intervaller på 50 Bq/m³ for de brugbare 719 returnerede dosimetre, som har været opstillet i boliger.

Bq/m³	0-50	51-100	101-150	151-200	> 200
Antal dosimetre	619	58	24	9	9
Andel i %	86,1	8,1	3,3	1,3	1,3

Figur 45 viser radonkoncentrationen bestemt for målinger foretaget i ejendomme med kælder/krybekælder af de brugbare 796 returnerede dosimetre. Antallet af dosimetre for de enkelte etager er angivet i diagrammet. Tabel 11 viser minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdi og antal dosimetre for den målte radonkoncentration for de brugbare 678 returnerede dosimetre, som tilhører målinger foretaget i ejendomme med kælder/krybekælder. For boliger er minimumsværdien 10 Bq/m³, maksimumsværdien 220 Bq/m³, standardafvigelsen 33 Bq/m³, medianværdien 10 Bq/m³ og middelværdien 27 Bq/m³.

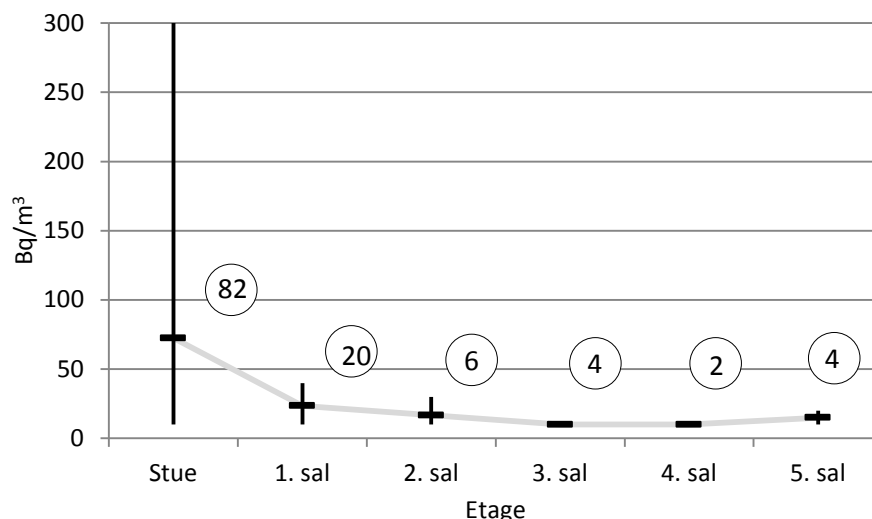


Figur 45. Radonkoncentrationen bestemt for målinger foretaget i ejendomme med kælder/krybekælder. For hver etage er intervallet mellem minimumsværdi og maksimumsværdi angivet med en lodrette linje, middelværdien er angivet med en fed vandret markering og antal dosimetre er angivet i en cirkel.

Tabel 11. Minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdi og antal dosimetre for den målte radonkoncentrationen opdelt efter etager i ejendomme med kælder/krybekælder.

	Kælder	stue	1. sal	2. sal	3. sal	4. sal	5. sal
Minimumsværdi [Bq/m ³]	10	10	10	10	10	10	10
Maksimumsværdi [Bq/m ³]	390	220	80	100	200	50	80
Middelværdi [Bq/m ³]	52	43	20	17	19	12	20
Antal dosimetre	77	208	145	118	90	19	21

Figur 46 viser radonkoncentrationen bestemt for målinger foretaget i ejendomme med terrændæk af de brugbare 796 returnerede dosimetre. Antallet af dosimetre for de enkelte etager er angivet i diagrammet. Tabel 12 viser minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdi og antal dosimetre for den målte radonkoncentrationen for de brugbare 118 returnerede dosimetre, som tilhører målinger foretaget i ejendomme med terrændæk. For boliger er minimumsværdien 10 Bq/m³, maksimumsværdien 300 Bq/m³, standardafvigelsen 63 Bq/m³, medianværdien på 35 Bq/m³ og middelværdien 56 Bq/m³.



Figur 46. Radonkoncentrationen bestemt for målinger foretaget i ejendomme med terrændæk. For hver etage er intervallet mellem minimumsværdi og maksimumsværdi angivet med en lodrette linje, middelværdien er angivet med en fed vandret markering og antal dosimetre er angivet i en cirkel.

Tabel 12. Minimumsværdi, maksimumsværdi, middelværdi og antal dosimetre for den målte radonkoncentrationen opdelt efter etager i ejendomme med terrændæk.

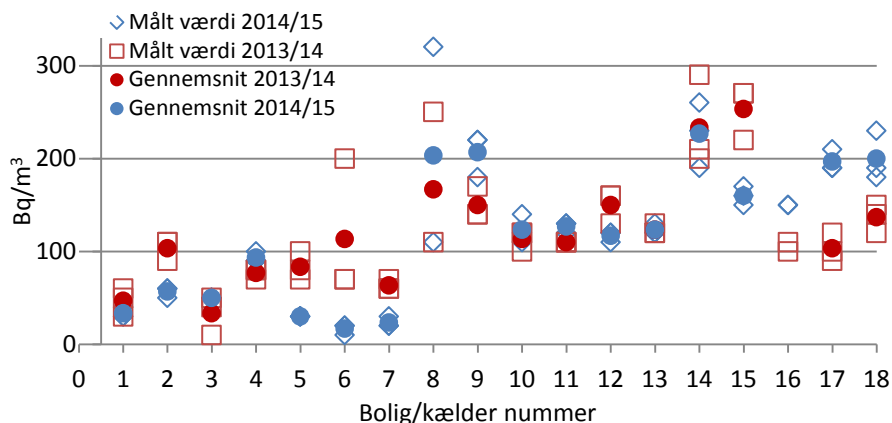
	Stue	1. sal	2. sal	3. sal	4. sal	5. sal
Minimumsværdi [Bq/m ³]	10	10	10	10	10	10
Maksimumsværdi [Bq/m ³]	300	40	30	100	100	20
Middelværdi [Bq/m ³]	72	24	17	10	10	15
Antal dosimetre	82	20	6	4	2	4

Fyringssæsonen 2014/15

Boliger med en årsmiddelværdi for radon i indeluften på mere end 100 Bq/m³ bestemt ved målinger i 2013/14 blev gentaget i fyringssæsonen 2014/15. Ligeledes blev målingerne gentaget i en etageejendom, hvor måleperioden ved målingerne i fyringssæsonen 2013/14 var så kort, at målingerne ikke kunne benyttes til bestemmelsen af årsmiddelværdier.

Målingerne for de enkelte dosimetre for de i alt 17 boliger og 1 kælder er vist i Figur 47. Målinger for boliger i etageejendommen er angivet med nummer

1 til 7. Kælderen i etageejendommen er angivet med nummer 8. Målinger foretaget i de resterende 10 boliger er angivet ved numrene 9 til 18.



Figur 47. Målingerne for de 17 boliger og 1 kælder som blev gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og gentaget i fyringssæsonen 2014/15.

Tabel 13 indeholder beregnet værdier for gennemsnit, Standardafvigelse og variationskoefficienten i procent for måleresultaterne indhentet for de 17 boliger og den ene kælder. Målinger gennemført i fyringssæsonen 2013/14 er angivet ved 2013, og målingerne gentaget i fyringssæsonen 2014/15 er angivet ved 2014. Angivelsen *Samlet* omfatter alle målinger som blev gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og gentaget i fyringssæsonen 2014/15.

Tabel 13. Gennemsnit, Standardafvigelse og variationskoefficienten i procent for de 17 boliger og 1 kælder.

Bolig/kælder nummer	Gennemsnit [Bq/m ³]			Standardafvigelse			Variationskoefficient i %		
	2013	2014	Samlet	2013	2014	Samlet	2013	2014	Samlet
1	47	33	40	15	6	13	33	17	32
2	103	57	80	12	6	27	11	10	34
3	33	50	42	21	0	16	63	0	38
4	77	93	85	6	6	11	8	6	12
5	83	30	57	15	0	31	18	0	54
6	113	17	65	75	6	71	66	35	110
7	63	23	43	6	6	23	9	25	52
8	180	215	198	99	149	105	55	69	53
9	150	207	178	17	23	36	12	11	20
10	113	123	118	12	15	13	10	12	11
11	110	127	118	0	6	10	0	5	8
12	150	117	133	17	6	22	12	5	16
13	123	123	123	6	6	6	5	5	5
14	233	227	230	49	35	39	21	16	17
15	253	160	207	29	10	55	11	6	26
16	105	150	128	7	0	26	7	0	21
17	103	197	150	15	12	53	15	6	35
18	137	200	168	15	27	40	11	13	24

Særlige ejendomme

Bolig nummer 9, 10 og 11

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste årsmiddelværdier i intervallet 100 til 200 Bq/m³ i 5 ud af 6 målinger og for én måling en årsmiddelværdi over 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdier på henholdsvis 152, 116 og 107 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 30, 20 og 20 Bq/m³.

Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien værdier på henholdsvis 210, 120 og 120 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 30, 20 og 20 Bq/m³.

Bolig nummer 9, 10 og 11 er beliggende i ejendommstypen Type C, rækkehus.

Ejendommene er opført i 1983. Ejendommene har betonhuldæk med krybekælder. Der er rørgennemføringer i terrændækket, bl.a. rør i rør, der ikke er tætnet mod jorden. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommene. Ejendommene er opført med ydermurer i beton og gitterspær med eternittag.

Bolig nummer 12

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste en årsmiddelværdi i intervallet 100 til 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdien 151 Bq/m³ med en usikkerhed på 30 Bq/m³. Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien 120 Bq/m³ med en usikkerhed på 20 Bq/m³.

Bolig nummer 12 er beliggende i ejendommstypen Type C, rækkehus. Ejendommen er opført i 1983. Ejendommen har kælder. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommen. Ydermurene er opført i røde tegl. Taget er i eternit. Det vurderes, at ejendommen er opført med kældergulv i beton.

Bolig nummer 13

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste en årsmiddelværdi i intervallet 100 til 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdien 123 Bq/m³ med en usikkerhed på 20 Bq/m³. Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien 120 Bq/m³ med en usikkerhed på 20 Bq/m³.

Bolig nummer 13 er beliggende i ejendommstypen Type C, rækkehus. Ejendommen er opført i 1971. Ejendommen har krybekælder. Kældergulvet er udført i beton. Der er etableret dræn under dele af gulvet i krybekælderen på grund af opstigende grundvand. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommen. Ydermurerne er opført i gule tegl. Taget er eternit. Ejendommen er oprindeligt opført med fladt tag, og for ca. 20 år siden er der etableret en ny tagkonstruktion.

Bolig nummer 14 og 15

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste årsmiddelværdier i intervallet over 200 Bq/m³ i 3 ud af 4 målinger og for én måling en årsmiddelværdi i intervallet 100 til 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdier på henholdsvis 245 og 250 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 40 og 40 Bq/m³. Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien værdier på henholdsvis 230 og 160 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 40 og 30 Bq/m³.

Bolig nummer 14 og 15 er beliggende i ejendommstypen Type C, rækkehus.

Ejendommene er opført i 1980. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommene. Terrændækket er udført i beton. Ydermurer er opført i røde mursten. Der er tegltag. Vinduerne er udskiftet i 2012 til 3 lags glas. Der er mekanisk ventilation i ejendommene.

Bolig nummer 16

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste en årsmiddelværdi i intervallet 100 til 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdien 103 Bq/m³ med en usikkerhed på 20 Bq/m³. Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien 150 Bq/m³ med en usikkerhed på 30 Bq/m³.

Bolig nummer 16 er beliggende i ejendomstypen Type C, rækkehus. Ejendommen er opført i 1986. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommen. Terrændæk er udført i beton. Ydermurer er opført i røde mursten. Der er tegltag.

Bolig nummer 17 og 18

Målinger af indholdet af radon i indeluften viste årsmiddelværdier i intervallet 100 til 200 Bq/m³.

Årsmiddelværdien målt i vinteren 2013/14 gav værdier på henholdsvis 104 og 136 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 20 og 20 Bq/m³. Ved genmålingen i vinteren 2014/15 gav årsmiddelværdien værdier på henholdsvis 190 og 200 Bq/m³ med en usikkerhed på henholdsvis 30 og 30 Bq/m³.

Bolig nummer 17 og 18 er beliggende i ejendomstypen Type C, rækkehus. Ejendommen er opført i 1980'erne. Der er ikke aktiv ventilation i ejendommen. Terrændæk er udført i beton. Ydermurer er opført i røde mursten. Der er tegltag.

Diskussion

Årsmiddelværdien for radonniveauet indendørs er bestemt i 221 lejeboliger. Boligerne er beliggende i etageejendomme og række-/kædehuse opført fra 1850 og frem.

I fyringssæsonen 2013/14 blev årsmiddelværdien bestemt for 214 boliger og 8 kældre. I fyringssæsonen 2014/15 blev årsmiddelværdien bestemt for 17 boliger og en kælder, hvoraf de 10 af boligerne var gengangere fra året før.

Gennemsnittet for årsmiddelværdien for radonniveauet i lejeboliger er $30,7 \text{ Bq/m}^3$. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for radonniveauet i indeluften større end 100 Bq/m^3 er 5,9 %. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for radonniveauet i indeluften i intervallet 100 Bq/m^3 til 200 Bq/m^3 er 4,5 %. Andelen af boliger med en årsmiddelværdi for radonniveauet i indeluften større end 200 Bq/m^3 er 1,4 %. Alle boliger med en årsmiddelværdi for radonniveauet i indeluften større end 100 Bq/m^3 er beliggende i stueetagen i kæde- og rækkehuse opført efter 1960.

Gennemsnittet for årsmiddelværdien for radonniveauet i lejeboliger i ejendomme med kælder eller krybekælder er $26,2 \text{ Bq/m}^3$. Den gennemsnitlige årsmiddelværdi er $41,2 \text{ Bq/m}^3$ i kældre, $45,5 \text{ Bq/m}^3$ i stuen, $17,7 \text{ Bq/m}^3$ på 1. sal, $15,5 \text{ Bq/m}^3$ på 2. sal, $15,5 \text{ Bq/m}^3$ på 3. sal, $7,0 \text{ Bq/m}^3$ på 4. sal og $18,7 \text{ Bq/m}^3$ på 5. sal i ejendomme med kælder eller krybekælder.

Af de undersøgte boliger, som ligger i stuen i ejendomme med kælder eller krybekælder, har 15 % en årsmiddelværdi for radonniveauet større end 100 Bq/m^3 , 13,3 % har en årsmiddelværdi mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 medens 1,7 %, har en årsmiddelværdi større end 200 Bq/m^3 .

Gennemsnittet for årsmiddelværdien for radonniveauet i lejeboliger i ejendomme med terrændæk er 50 Bq/m^3 . Den gennemsnitlige årsmiddelværdi er $63,2 \text{ Bq/m}^3$ i stuen, $22,8 \text{ Bq/m}^3$ på 1. sal, $23,8 \text{ Bq/m}^3$ på 2. sal, $11,5 \text{ Bq/m}^3$ på 3. sal, $11,0 \text{ Bq/m}^3$ på 4. sal og $18,5 \text{ Bq/m}^3$ på 5. sal i ejendomme med terrændæk.

Af de undersøgte boliger, som ligger i stuen i ejendomme med terrændæk har 14,3 % en årsmiddelværdi for radonniveauet større end 100 Bq/m^3 , 7,1 % har en årsmiddelværdi mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 medens 7,1 % har en årsmiddelværdi større end 200 Bq/m^3 .

For 10 boliger i 10 ejendomme, af typen rækkehuse opført efter 1960, tilknyttet Landsbyggefonden, har det været muligt at bestemme årsmiddelværdien for radon i indeluften både ved målingerne gennemført i fyringssæsonen 2013/14 og målingerne gennemført i fyringssæsonen 2014/15. Årsmiddelværdien for radonniveauet indendørs viste sig at ligge over 100 Bq/m^3 ved første og ved anden måling. Radonniveauet indendørs bestemt ved første måling stemte i niveau overens med anden måling. Dog viste målingerne, at ydre omstændigheder, som antages at være faktorer som fx årstidsvariation og anvendelsen af boligen, kan have indflydelse på det bestemte radonniveau indendørs.

Bygningsregistreringer blev gennemført for de enkelte boliger og ejendomme. Registreringerne havde til formål at undersøge, om udvalgte forhold ved boligen eller bygningskomponenter kunne vise sig at være vigtige fordelingsveje for radon og dermed vigtige kilder til radonniveauet i indeluften.

Boligerne blev individuelt registreret i forhold til karakteristika som, om etageadskillelsen er udført med træbjælkelag, eller andet fx beton; badeværelset er placeret med mindst en ydervæg; adgangsveje er via trapperum med åben adgang til kælder; ejendommen er udstyret med elevator; ejendommen er udstyret med affaldsskakt med adgang fra etager; ventilationsriste er placeret i ydervæg; boligen ventileres ved ventilationsanlæg med varmegenvinding; om gulvet i kælderen er det oprindelige eller om det er blevet renoveret; der er gulvafløb i kælder; etageadskillelsen har synlige utætheder fx omkring kabler og rørføringer; hvilke materialer ejendommens kælder er opført af og om den er brandsikret; ejendommen har ændret facader fx i forbindelse med en facaderenovering, reparationer og efterisolering og om ejendommen har vinduer med rammer af plast eller træ.

Årsmiddelværdien for radonniveauet indendørs fordelt på etager i forhold til de enkelte specifikke registrerede bygningsdele og bygningskomponenter viser, at placeringen mod jord er den mest betydende parameter og kilde til radon i indeluften. Det bemærkes, at for parameteren 'renoveret gulv i kælder' ses et bemærkelsesværdigt ændret indhold af radon i indeluften i forhold til ejendomme med oprindelige gulve i kælderen. Dog er antallet af ejendomme med renoverede gulve i kælder meget lavt. Tilsvarende gør sig gældende for boliger med bygningsregistreringer som 'brandsikring foretaget i kælder', 'uden tydelige tegn på utætheder omkring rørføringer', 'etageadskillelse bestående af arealer af beton og arealer af træ', 'ejendomme med elevator' og 'ventilation af boligen med varmegenvinding'. Ligeledes er antallet af årsmiddelværdier i boliger med disse registreringer lav. En nøjere og mere omfattende undersøgelse er nødvendig for at afklare, hvorvidt disse forhold har betydning for radonniveauet i boliger.

Radonniveauet målt for de enkelte dosimetre kan vise forskellige niveauer forskellige steder indenfor samme ejendom eller bolig. De individuelle målte radonniveauer kan fx bruges til at lokalisere væsentlige kilder til radon i indeluften. Forskelle i radonniveauer indenfor samme bolig kan fx skyldes lokale ventilationsforhold, og at fordelingen af udeluft er ujævnt fordelt. Ligeledes kan boligplanen med en forbindelse til et rum placeret mod jord, som anses for den vigtigste kilde til radon i indeluften, have betydning for det enkelte rum men også for radonniveauet i indeluften som helhed.

I fyringssæsonen 2013/14 er der målt radon i 39 ejendomme med 296 lejeboliger. I alt indgår 796 dosimetre, hvoraf 719 er tilknyttet boliger i undersøgelsen foretaget i fyringssæsonen 2013/14. For boliger viste 6,2 % af dosimetrene et radonniveau indenfor større end 100 Bq/m³, 1,3 % viste et radonniveau større end 200 Bq/m³.

I fyringssæsonen 2014/15 er der gentaget måling af radon i 7 boliger inklusiv en kælder i en etageejendom og 10 boliger fordelt på 10 række-/kædehus.

Ved målinger i fyringssæsonen 2013/14 blev der i en enkelt etageejendom målt for høje radonniveauer i enkelte rum på to forskellige etager i ikke umiddelbar nærhed af hinanden. For høje radonniveauer er højere end 100 Bq/m³. De høje målte værdier var væsentligt forskellig fra øvrige beboelsesrum i ejendommen. Ejendommen indgik i målingerne gentaget i fyringssæsonen 2014/15, da måleperioden ved målingen i fyringssæsonen 2013/14 var for kort til bestemmelsen af årsmiddelværdier. For de gentagede målinger i fyringssæsonen 2014/15 kunne der bestemmes en årsmiddelværdi for radonniveauet indenfor. De høje radonniveauer for de enkelte dosimetre i etageejendommen fra målingen i fyringssæsonen 2013/14 kunne ikke bekræftes ved den gentagede måling.

Sammenholdes resultaterne for de enkelte dosimetre fra fyringssæsonen 2013/14 og fyringssæsonen 2014/15 for radonniveauet, bekræfter undersøgelsen, at jorden under ejendommen er den vigtigste kilde til radon i indeluften i boliger.

Sandsynligheden for forhøjet radonniveau i etageejendomme er meget lille i boliger over kælder og i boliger over stueetagen i ejendomme med terrændæk, se Tabel 5.

Et højt radonniveau i kælderen resulterer ikke nødvendigvis i et højt radonniveau inde i en bolig ovenover.

Endvidere viste undersøgelsen den samme sandsynlighed for et forhøjet radonniveau i stueetagen i kæde- og rækkehuse med og uden kælder/krybekælder.

Boliger, som viser sig at have en årsmiddelværdi for radon i indeluften over 100 Bq/m^3 , bør udredes yderligere, før der udføres tiltag til reduktion af indholdet af radon i indeluften.

Årsmiddelværdien er kun en af de undersøgelser, der bør gennemføres og sammenfattes i en udredning.

Udredningen har til formål så præcist som muligt at beskrive, hvor meget radon der er i indeluften, og hvor fra radon trænger ind, eller hvor den målte radioaktivitet ellers stammer fra. Udredningen bør indeholde oplysninger om:

- Indholdet af radon i indeluften, dvs. årsmiddelværdien
- Ventilationsforhold og udelufttilførsel
- Konstruktionernes opbygning og de anvendte materialer
- Graden af overensstemmelse mellem hvordan bygningen er tænkt opført, og hvordan den endelige bygning er opført
- Inspektion af bygningens tilstand, herunder lokalisering af revner m.v.

Udredningen anvendes til at udpege relevante tiltag, se SBI-anvisning 247, *Radonsikring af eksisterende bygninger* (Rasmussen, 2015b).

Indholdet af radon i indeluften, dvs. årsmiddelværdien

Målingen kan give en ide om, hvilke typer tiltag der bør overvejes.

Der kan være tale om én hovedkilde eller en række kilder, hvor radon trænger ind.

Jo større radonindholdet i indeluften er, jo større er behovet for at iværksætte forbedringer. Måleresultatets usikkerhed skal tages i betragtning ved valg af forbedringer.

Der kan foretages en kontrolmåling, som tilfældet har været i denne undersøgelse, se afsnit *Boliger med to årsmiddelværdier* og afsnit *Fyringssæsonen 2014/15*. Udfaldet af kontrolmålingen kan være et udtryk for naturlige variationer i jordluftens indhold af radon, variationer over døgnet og året og brugen af boligen. Den foretagende kontrolmåling viste generelt en fin overensstemmelse mellem første og anden bestemmelse af årsmiddelværdien. Kun fire årsmiddelværdier blev bestemt med en større forskel end den maksimale usikkerhed på 40 Bq/m^3 .

Ventilationsforhold og udelufttilførsel

I en ejendom er det muligt at måle ventilation og intern luftoverførsel mellem rum. Ventilationsforholdene kan dernæst tilpasses til den måde, boligen bruges på.

Måling af ventilationen kan blandt andet udføres for at undersøge og dernæst vurdere, ventilationens evne til at fjerne radon og anden forurening fra indeluften. Forurening af indeluft kan være radon eller andre gasser ført ind med jordluft eller stamme fra menneskers aktivitet, afgang fra bygningsmaterialer og inventar.

Undersøgelsen kan omfatte hele bygningen eller enkelte rum i bygningen. Undersøgelsen af ventilationsforholdene og den interne luftoverførsel kan dermed være med til at afsløre, om radonholdig luft fra fx krybekælder, kælder, gange eller skakte kan trænge ind i boligen, se mere om

undersøgelse af ventilationsforhold i SBI-anvisning 247 (Rasmussen, 2015b).

Konstruktionernes opbygning og de anvendte materialer

Steder, hvor radon kan trænge ind, kan i nogen udstrækning lokaliseres ved at gennemgå tegninger og beskrivelser fra ejendommens opførelse og eventuelle forandringer, der er foretaget i ejendommens levetid, se mere om granskning i SBI-anvisning 247 (Rasmussen, 2015b).

Graden af overensstemmelse mellem hvordan bygningen er tænkt opført, og hvordan den endelige bygning er opført

Inspektion af en ejendom kan skabe overblik over, hvorvidt der er overensstemmelse mellem, hvordan ejendommen er tænkt opført, og hvordan den endelige ejendom er opført og med hvilke materialer. Samtidig kan inspektionen afklare, om ejendommen bliver anvendt som planlagt.

Inspektion af bygningens tilstand, herunder lokalisering af revner m.v.

Inspektionen kan give information om, hvor godt ejendommen er vedligeholdt, og konstruktioner udført i praksis. Praksis kan i et vist omfang afvige fra tegninger og beskrivelser, se mere om inspektion, lokalisering af luftutætheder og differenstryk i SBI-anvisning 247 (Rasmussen, 2015b).

Konklusion

I denne undersøgelse er radonindholdet i indeluften i danske lejeboliger og fordelingsveje for radon afhængig af den anvendte byggeskik og registrerede karakteristika, kortlagt. Ejendommene ligger i egne af landet, hvor tidligere undersøgelser har vist størst sandsynlighed for høje radonniveauer i indeluften. Koncentrationen af radon-222 er målt over vinteren 2013/14 og 2014/15 ved hjælp af sporfilmsmetoden.

I alt indgår 221 forskellige individuelle lejeboliger og 9 kældre i undersøgelsen.

For 10 boliger er årsmiddelværdien for radonniveauet i indeluften bestemt over vinteren 2013/14 og igen over vinteren 2014/15.

Sandsynligheden for et forhøjet radonniveau i boliger i etageejendomme er meget lille i stueetagen over kælder og højere oppe i etagerne og i boliger over stueetagen hvis der er terrændæk.

Der er lige stor sandsynlighed for et forhøjet radonniveau i stueetagen i kæde- og rækkehuse med terrændæk eller med kælder/krybekælder.

Undersøgelsen viser yderligere at:

- Omkring 5,9 % af lejeboligerne har et indendørs radonniveau større end 100 Bq/m^3 .
- Omkring 1,4 % af lejeboligerne har et indendørs radonniveau over 200 Bq/m^3 .
- Det målte radonniveau i indeluften indenfor samme bygning kan være væsentligt forskelligt.
- Kontrolmåling viste generelt en fin overensstemmelse mellem første og anden bestemmelse af årsmiddelværdien, ud fra en betragtning af den tilknyttede usikkerhed.
- Undersøgelsen kan ikke pege på en bygningsdel eller en bygningskomponent som en vigtig kilde eller fordelingsvej for radon i boliger, dog ses et bemærkelsesværdigt lavt radonniveauet i indeluften hvor der ikke er tydelige tegn på utætheder omkring rørføringer, hvor der er udført renovering af kældergulvet, hvor etageadskillelsen består af arealer af beton og arealer af træ, hvor ventilation af boligen inkluderer varmegenvinding og for ejendomme med elevator.

Undersøgelsens resultater er et forbedret informationsgrundlag for befolkningen, byggebranchen og myndigheder. Undersøgelsen er samtidigt et godt grundlag for viden om radonniveauet i lejeboliger i etageejendomme og i kæde- og rækkehuse.

Perspektivering

Undersøgelsen om radon i danske lejeboliger bygger på viden fra tidligere undersøgelser om radon og boliger omtalt i afsnittet *Tidligere undersøgelser*. Denne rapport skal læses i sammenhæng med andre undersøgelser af radonniveauer i indeluften og erfaringer inden for blandt andet jordforurening og indeklima. I forbindelse med undersøgelser inden for disse områder, er der både draget sammenlignelige erfaringer og erfaringer, som er forskellige fra dette projekt. Disse ligheder og forskelle vil kort blive ridset op i denne perspektivering.

Som for radon viser undersøgelser med indtrængning af forurenede poreluft (ex. TVOC, chlorerede opløsningsmidler), at placeringen mod jord er den mest betydende parameter og kilde til en uacceptabel påvirkning af indeluften. Indtrængningen sker med den forurenede poreluft, ligesom for radon, konvektivt. Men i modsætning til radon kan andre typer forurenede poreluft i uacceptable mængder også trænge ind i bygninger diffusivt. Erfaringer fra andre typer forurenede poreluft viser diffusiv spredning til indeklimaet via kloak gennem rørføringer og vandlåse samt igennem etageadskillelser. Denne spredning ses ikke i tilsvarende grad i forbindelse med radon.

Hvor der i forbindelse med spredning af radon i etageejendommene ikke ses tegn på risiko for spredning via fordeling af indeluft og derigennem påvirkning af overliggende etager (1. sal og derover), er det forskelligt fra spredning af anden forurenede luft. I forbindelse med spredning af anden forurenede luft ses ofte en spredning via etageadskillelser og skorstene mv. og med høje koncentrationer på overliggende etager. Ved spredning af anden forurenede poreluft, ses der også ofte en opkoncentrering af den forurenede luft på øverste etage, særligt i forbindelse med renoverede etageetager. Endvidere ses der i forbindelse med spredning af forurenede luft også en spredning og indtrængning via kloaksystemerne og ind i boligerne.

Forskellen mellem spredningen af radon og andre typer forurenede luft vurderes bl.a. at kunne skyldes, at mange andre typer forurenede stoffer i modsætning til radon ikke nedbrydes/halveres, og derved vil der kun ske et fald i koncentrationerne af den forurenede luft i indeklimaet ved fortynding.

Erfaringer fra forureningssager kan anvendes i radonsammenhæng, men der skal tages højde for stoffernes forskelligheder.

Da der ikke findes en dokumenteret nedre grænse for, hvornår radon ikke udgør en sundhedsrisiko. anbefales det, at man tilstræber et så lavt indhold af radon i indeluften som muligt.

Litteratur

Andersen, C.E., Bergsøe, N.C., Brendstrup, J., Damkjær, A., Gravesen, P. og Ulbak, K. (1997). *Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse*. Forskningscenter Risø, Risø-R-979(DA), 108 sider. Rapporten er tilgængelig på elektronisk form på www.risoe.dk

Andersen, C.E., Ulbak, K., Damkjær, A., & Gravesen, P. (2001). *Radon i danske boliger: Kortlægning af lands-, amts- og kommuneværdier*. Herlev: Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålehygiejne. Lokaliseret på: <http://sundhedsstyrelsen.dk/da/sundhed/straalebeskyttelse/radon/boliger/landsomfattende-radonundersogelse/hovedrapport>

Bygge- og Boligstyrelsen. (1995). *Bygningsreglement, BR-95*. København: Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen

Bygge- og Boligstyrelsen. (1998). *Byggereglement for småhuse, BR-S 98*. København: Bolig- og Byministeriet

Byggestyrelsen (Statens Byggeforskningsinstitut). (1987). *Radon i boliger*. Pjece

Byggestyrelsen. (1. udgave: 1988). (2. udgave: 1993). *Vejledning om radon og nybyggeri*. Pjece.

Bygge- og Boligstyrelsen. (1997). *Radon i enfamiliehuse*. Pjece.

Clavensjö, B., & Åkerblom, G. (2004). *Radonboken: Förebyggande åtgärder i nya byggnader*. Stockholm: Formas.

Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010) *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)*. København: Trafik- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på: <http://bygningsreglementet.dk/>

Jensen, R.B., & Gunnarsen, L.B. (2008). *Radonkoncentrationen i nye enfamiliehuse*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://www.sbi.dk/indeklima/luftkvalitet/radonkoncentrationen-i-nye-enfamiliehuse/radonkoncentrationen-i-nye-enfamiliehuse-1>

Kræftens bekæmpelse: <https://www.cancer.dk/hjaelp-viden/fakta-om-kræft/aarsager-til-kræft/veldokumenteret-aarsag/straaling/aarsager-ioniserende-straaling/>

Rasmussen, T.V., & Wraber, I. (2011). *Radon – kilder og måling* (SBI-anvisning 232). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/232>

Rasmussen, T.V. (2015a). *Radonsikring af nye bygninger*, 2. udgave (SBI-anvisning 233). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/233>

Rasmussen, T.V. (2015b). *Radonsikring af eksisterende bygninger* (SBI-anvisning 247). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/247>

Statens Institut for Strålehygiejne. (1987). *Radon-boliger-strålingsdosis lungekræftisiko*. Sundhedsstyrelsen, 14 sider

Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø. (1987). *Naturlig stråling i danske boliger*. Sundhedsstyrelsen, 122 sider

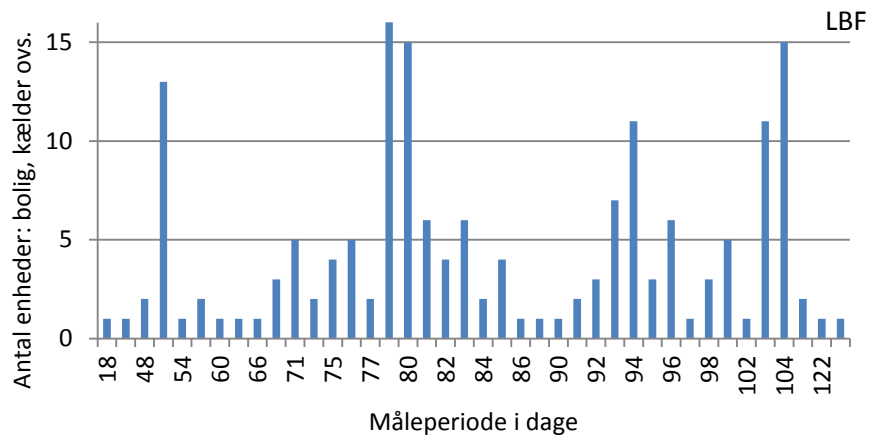
Sundhedsstyrelsen. (2009). *Anbefalinger om radon i boliger i de nordiske lande*. København. Lokaliseret på http://www.sst.dk/publ/Publ2009/SIS/Radon/Nordisk_radon_anbefaling_15-09-2009.pdf

Trafik- og Byggestyrelsen. (2015) *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2015 (BR15)*. København: Trafik- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på: <http://bygningsreglementet.dk/>

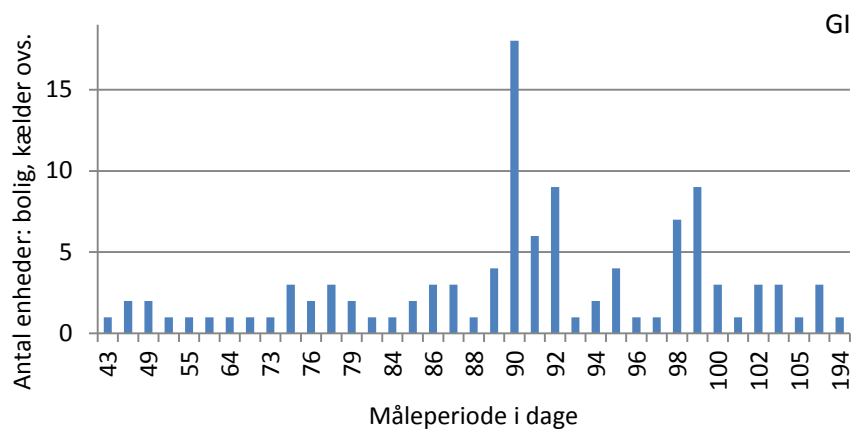
Ulbak, K., Stenum, B., Sørensen, A., Majborn, B., Bøtter-Jensen, L. og Nielsen, S.P. (1988). *Results from the Danish indoor radiation survey*. *Radiation Protection Dosimetry*, 24(1/4), 401–405

World Health Organization. (2009). *WHO Handbook on indoor radon: – a public health perspective*. Geneve. Lokaliseret på: http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf

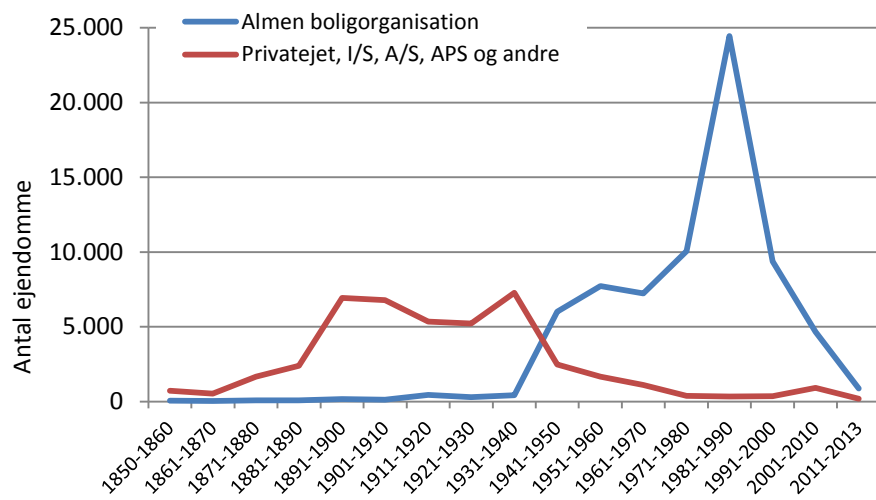
Bilag A



Figur 48. Måleperioden i dage for en bolig eller en kælder for en ejendom tilknyttet Landsbyggefonden (LBF).

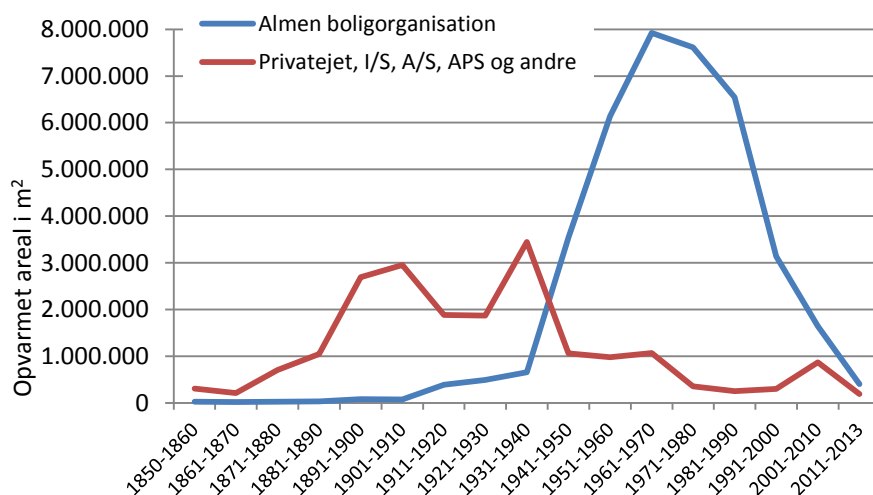


Figur 49. Måleperioden i dage for en bolig eller en kælder for en ejendom tilknyttet Grundejernes Investeringsfond (GI).



Figur 50. Opgørelse over antal ejendomme med lejeboliger i Danmark tilknyttet henholdsvis almene boligorganisationer og private fordelt efter opførelsestidspunktet givet i tidsintervaller. Private ejere omfat-

ter privatpersoner eller interessentskab samt aktieselskaber, anpartsselskaber eller andet selskab. Udtæk fra BBR.



Figur 51. Opgørelse over antal opvarmede m² i lejligheder i Danmark tilknyttet henholdsvis almene boligorganisationer og private fordelt efter opførelsestidspunktet givet i tidsintervaller. Private ejere omfatter privatpersoner eller interessentskab samt aktieselskaber, anpartsselskaber eller andet selskab. Udtæk fra BBR.

I denne undersøgelse kortlægges radonindholdet i indeluften og det undersøges, hvordan indholdet af radon i indeluften er fordelt og spredes i en ejendom, og om det er muligt at pege på en bygningsdel eller en bygningskomponent som en spredningsvej for radon i boliger.

Boligerne er lejeboliger og ligger i etageejendomme, kæde- og rækkehuse tilhørende bygningstyper opført fra 1850 og frem. De udvalgte ejendomme ligger i områder af landet, hvor der ved tidligere undersøgelser har vist sig at være en stor andel af huse med et højt indhold af radon i indeluften.

Koncentrationen af radon er målt over vinteren 2013/14 og 2014/15 ved hjælp af sporfilmsmetoden, og måleperioderne strakte sig fra november til maj. Rapporten indeholder årsmiddelværdien for radonniveauet for 221 individuelle boliger.

1. udgave, 2016
ISBN 978-87-563-1750-4