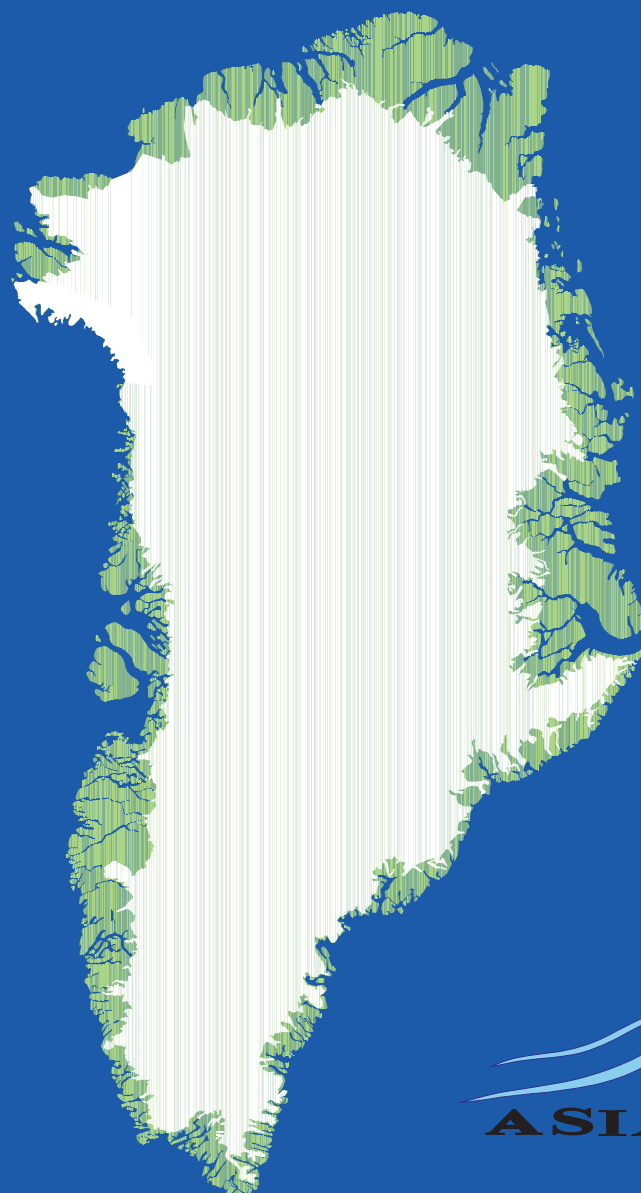


# Radon i Grønlandske Boliger



**NIRAS**  
GREENLAND A/S

**ASIAQ**

Dorthe Petersen, Grønlands Forundersøgelser, ASIAQ  
Uffe Storm Boe og Bjarne Persson, NIRAS Greenland A/S

**Finansiering:** Nærværende rapport er udarbejdet for Direktoratet for Boliger og Infrastruktur, Grønlands Hjemmestyre og finansieret med midler fra ”Sektorprogram for Renovering med en Miljø- og Energiforbedrende effekt”.

**Forfattere:**

Dorthe Petersen

Grønlands Forundersøgelser, ASIAQ  
Postboks 1003  
DK-3900 Nuuk  
Grønland  
Telefon: (+299) 34 88 00  
Fax: (+299) 38 88 01  
E-mail: [asiaq@asiaq.gl](mailto:asiaq@asiaq.gl)

Uffe Storm Boe og Bjarne Persson

NIRAS Greenland A/S  
Postboks 769  
3900 Nuuk  
Telefon: (+299) 32 31 11  
Fax: (+299) 32 33 50  
E-mail: [niras@greennet.gl](mailto:niras@greennet.gl)

Published by: Greenland Survey, ASIAQ  
Postbox 1003  
DK-3900 Nuuk  
Tel: +299 348800  
Fax: +299 348801  
E-mail: [asiaq@asiaq.gl](mailto:asiaq@asiaq.gl)

Printed in Denmark  
By BookPartner A/S

ISSN 1601-3816  
ISBN 87-91144-07-8

# **Radon i Grønlandske Boliger**

**Dorthe Petersen  
Grønlands Forundersøgelser, ASIAQ**

**Uffe Storm Boe og Bjarne Persson  
NIRAS Greenland A/S**

---



---

## **Førord**

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med projektet Radon i Grønlandske Boliger. Projektet er den første større undersøgelse af forekomsten af radon i boliger i Grønland.

Rapporten giver en grundig, teknisk gennemgang af undersøgelsen og dens resultater og deraf udledte anbefalinger til lovgivningsmæssige tiltag på området.

Først i rapporten gives et omfattende sammendrag på både dansk og grønlandsk.

Sammendraget er specielt rettet mod læsere, som hovedsagelig er interesseret i undersøgelsens hovedresultater og de konklusioner, der kan drages.

Projektet er udført af ASIAQ, Grønlands forundersøgelser og NIRAS Greenland A/S for Direktoratet for Boliger og Infrastruktur, Grønlands Hjemmestyre og finansieret med midler fra ”Sektorprogram for Renovering med en Miljø- og Energiforbedrende effekt”.

---

## Sammendrag

### *Projekt Radon i Grønlandske Boliger*

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med projektet Radon i Grønlandske Boliger. Projektet er udført af ASIAQ, Grønlands forundersøgelser og NIRAS Greenland A/S for Direktoratet for Boliger og Infrastruktur, Grønlands Hjemmestyre og finansieret med midler fra ”Sektorprogram for Renovering med en Miljø- og Energiforbedrende effekt”.

Projektet havde til formål

- at klarlægge om radon er et problem i grønlandske boliger
- at klarlægge om radonniveauet i en given bygning kan estimeres på baggrund af bygningens beliggenhed og konstruktion.
- at give anbefalinger vedrørende behovet for tiltag til begrænsning af radonniveauet i eksisterende og nyt byggeri i Grønland.

Der er ikke tidligere foretaget større undersøgelser af forekomsten af radon i grønlandske boliger. For at klarlægge om radon er et problem i Grønland blev der derfor gennemført en målekampagne i perioden maj 2003 til maj 2004. Der blev foretaget målinger af radonniveauet i 258 boliger fordelt på de tre byer Narsaq, Nuuk og Qaqortoq. Ud over at måle radonniveauet i boligerne blev en række oplysninger om bygningernes konstruktion og anvendelse registreret. Disse oplysninger blev sammenholdt med de målte radonniveauer i en statistisk analyse. Den statistiske analyse giver oplysninger om hvilke faktorer, der er betydende for radonniveauet i boliger. Endelig er der givet en vurdering af behovet for tiltag til begrænsning af radonniveauet i grønlandske boliger. Denne vurdering bygger på en sammenholdning af de målte radonniveauer med erfaringer og praksis fra andre lande.

Det har ikke været en del af undersøgelsen at evaluere de grænseværdier/aktionsniveauer som benyttes i andre lande eller at tage

stilling til hvilket aktionsniveau der bør benyttes i Grønland.

### *Hvad er radon?*

Radon er et naturligt forekommende grundstof. Radon dannes i jord- og bjergarter over hele jorden, men nogle steder i større mængder end andre steder, afhængig af den lokale geologi.

Da radon er en gas, vil den sive op fra undergrunden gennem revner og sprækker. Hvor der er placeret en bygning, er der risiko for, at radon vil sive op i denne. Koncentrationen af radon kan her blive betydelig større end i udendørsluften. Radon har en negativ sundhedsmæssig effekt, idet personer der har været udsat for radon har en øget risiko for at udvikle lungekræft.

Nyere undersøgelser har vist, at risikoen afhænger lineært af radonniveauet uden nogen tærskelværdi. En halvering af radonniveauet vil derfor halvere risikoen. At der ikke er fundet nogen tærskelværdi betyder, at selv et meget lavt radonniveau giver en (lille) risiko for at udvikle lungekræft.

Hvilket niveau af radon der kan accepteres i boliger (aktionsniveauet), er en politisk beslutning. De nordiske landes myndigheder er gået sammen om at anbefale, at der bør sættes ind med simple og billige tiltag, hvis radonniveauet ligger mellem 200 og 400 Bq/m<sup>3</sup>. Hvis radonniveauet overstiger 400 Bq/m<sup>3</sup>, anbefales det at sætte ind med tiltag, der kan reducere niveauet til under 200 Bq/m<sup>3</sup>. USA's myndigheder anbefaler, at der etableres radonbegrænsende tiltag, hvis niveauet overstiger 150 Bq/m<sup>3</sup>, og at disse foranstaltninger skal kunne nedbringe niveauet til 40 Bq/m<sup>3</sup>.

Ved et radonniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup> vil livstidsrisikoen gennemsnitlig være ca. 1.4%. Det vil sige, at hvis tusind personer hele livet

---

(70 år) er udsat for et radonniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup>, så vil ca. 14 af disse dø pga. radon. I både USA og Europa vurderes det, at rygning er en langt hyppigere årsag til udvikling af lungekræft end radon. I Danmark vurderes rygning hvert år at forårsage ca. 3500 nye lungekræfttilfælde, mens radon vurderes at forårsage ca. 300 nye lungekræfttilfælde om året.

#### *Reduktion af radonniveauet i boligen.*

Der findes flere forskellige metoder til at reducere radonniveauet i boliger. Radonniveauet kan reduceres ved at forbedre ventilationen af boligen. Radonniveauet kan herved reduceres med op til 60-70%. En anden metode er at reducere indtrængningen af radon til boligen ved at forbedre ventilationen af kælder/krybekælder/hulrum under gulv. Radonniveauet kan herved reduceres med op til 80-99%. Endelig kan indtrængen af radon fra undergrunden til boligen reduceres ved at tætte adskillelsen mellem undergrunden og beboelsen. Dette giver typisk reduktioner af radonniveauet på 10-80%.

#### *Radon i grønlands undergrund.*

På baggrund af eksisterende geologiske kort og undersøgelser er der foretaget en overordnet vurdering af dannelsen af radon i undergrunden i Grønland. Vurderingerne skal opfattes som vejledende; specielt skal det understreges, at der lokalt kan forekomme områder, hvor der dannes mere radon i undergrunden end der kan erkendes på baggrund af det foreliggende materiale.

Sydgrønland er geologisk set meget varieret. Prøver fra området viser relativt højt potentiale for dannelse af radon i undergrunden, og der er derfor også risiko for, at niveauet af radon i boliger i Sydgrønland kan være forhøjede. Dette omfatter byerne Nanortalik, Narsaq og Qaqortoq.

I det øvrige Vestgrønland vurderes dannelsen af radon i undergrunden generelt at være lav,

dog findes der lokalt områder med højere niveauer af radon. Radonniveauerne i de eksisterende byer på vestkysten fra Ivittuut i syd til Qaannaq i nord forventes at være relativt lave.

De tilgængelige oplysninger om radon i Østgrønland er mere begrænsede. For Tasiilaq er det sandsynligt, at niveauerne af radon vil være relativt lave. For Illoqqortoormiut kan radonniveauerne ikke umiddelbart bedømmes.

#### *Resultater fra målekampagnen.*

Resultaterne fra målekampagnen viser stor variation i niveauet af radon i grønlandske boliger.

Samlet set viste resultaterne, at radonniveauet i 5.9 procent af de undersøgte boliger overskred 200 Bq/m<sup>3</sup>. Andelen af boliger med radonniveau over 200 Bq/m<sup>3</sup> ligger lidt højere end i Danmark, lidt lavere end i Norge og væsentlig lavere end i Sverige og Finland. Tilsvarende er det højeste radonniveau målt i denne undersøgelse af samme størrelsesorden som i Danmark, men meget lavere end de højeste niveauer set i Norge, Sverige og Finland.

Den statistiske analyse af resultaterne fra nærværende undersøgelse påviste, at det målte radonniveau afhang af følgende parametre:

- byen boligen var placeret i
- boligens kældertype
- typen af vægkonstruktioner i boligen
- boligens byggeår
- antal etager i boligen
- boligens placering på løs jord eller fjeld.

Den mest betydende faktor for niveauet af radon i de undersøgte boliger er hvilken by, boligen er placeret i:

- 
- I Nuuk er de målte niveauer lave set i forhold til et aktionsniveau på  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Der er gennemført målinger i 125 boliger i Nuuk. Det gennemsnitlige målte radonniveau var på  $10 \text{ Bq/m}^3$  og den højeste målte værdi var  $136 \text{ Bq/m}^3$ .
  - I Qaqortoq er de målte niveauer lidt højere end i Nuuk. Det gennemsnitlige målte radonniveau i Qaqortoq var  $50 \text{ Bq/m}^3$  og i 7% af de 67 undersøgte boliger oversteg det målte radonniveau, i mindst et lokale,  $200 \text{ Bq/m}^3$ .
  - I Narsaq er de målte niveauer relativt høje. Det gennemsnitlige målte radonniveau var på  $172 \text{ Bq/m}^3$  og i 28% af de 60 undersøgte boliger oversteg det målte niveau, i mindst et lokale,  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

Niveauerne i de tre byer relativt til hinanden er i god overensstemmelse med forventningerne ud fra de geologiske forskelle i undergrunden ved de tre byer.

På baggrund af den statistiske analyse er der opstillet en faktormodel, som giver mulighed for at estimere radonniveauet i en bolig placeret i en af de tre undersøgte byer. Et sådan estimat skal dog tages med forbehold, idet det faktiske niveau i en given bolig kan afvige væsentligt fra den estimerede værdi. Det vurderes at faktormodellen kan anvendes til udpegning af boliger, der bør undersøges nærmere for radonniveau.

Faktormodellen kan endvidere anvendes vejledende ved nyopførelse af boliger. Især kan dette anbefales i de byer, hvor der er risiko for høje radonkoncentrationer. Ud over eventuelle deciderede tiltag specielt rettet mod at opnå et lavt radonniveau, kan det ud fra faktormodellen f.eks. anbefales at boliger i Narsaq opføres med krybekælder eller på en åben pælefundering og med lette ydervægge.

#### *Anbefalinger*

På baggrund af målekampagnens resultater samt kendt viden om de geologiske forhold i Grønland anbefales det, at der opstilles regler for tiltag til begrænsning af radon i såvel eksisterende som nyt byggeri i Sydgrønland syd for  $61^{\circ}30'N$ .

Det anbefales, at der opstilles krav til at der ved nybyggeri i Sydgrønland indarbejdes tiltag, der begrænser niveauet af radon i den kommende bolig.

For eksisterende boliger i Sydgrønland anbefales det, at der gennemføres en analyse til udpegning af boliger, hvor der kan forventes forhøjede niveauer. For boliger i Narsaq og Qaqortoq kan en sådan udpegning tage udgangspunkt i den fundne faktormodel. For boliger i Nanortalik kan der være behov for at gennemføre en mindre målekampagne for at opnå information om det generelle niveau.



---

## Eqikkaaneq (Sammendrag på grønlandsk)

### *Kalaallit Nunaanni Illuni Radonimik Sammisag*

Nalunaarusiaq manna Kalaallit Nunaanni Illuni Radonimik sammisamut atatillugu suliarineqarpoq. Sammisag Namminersornerrullutik Oqartussani Ineqarnermut Attaveqarnermullu Pisortaqarfimmut ASIAQ-mit, Kalaallit Nunaanni Misissueqqaarnernit aamma NIRAS Greenland A/S-imit suliarineqarpoq. Pilersaarut aningaasalerneqarpoq uangaaniit ”Avatangisitigut nukissior-nikkullu pitsaanagerusumik sunniuteqarfiusunik Iluarsaanissamik Pilersaarusiaq”.

Sammissap siunertarisimavai

- kalaallini illuni radonip ajornartorsiutaanera pillugu nassuiaanissaq,
- illumi aalajangersimasumi radonip annertussuserisaa illup inissisimanagera sananeqaataalu tunuliaqutaralugit missiliorneqarsinnaaneramik nassuiaaneq,
- Kalaallit Nunaanni illuni pioreersuni nutaatullu illuliani radonip annertussusaata annikillissarnissaanut iliuuserisassanut pisariaqartitsinerit pillugit innersuusuteqarnissaq.

Siusinnerusukkut kalaallini illuni radoneqarneramik annertunerusunik misissuisoqarsimanngilaq. Taamaattumik Kalaallit Nunaanni radonip ajornartorsiutaanera nassuiarniarlugu 2003-mi maajimit 2004-mut maajimut uuttortaanermik suliniut nammasillugu ingerlanneqarsimavoq. Illoqarfinni pingasuni Narsami, Nuummi Qaqortumilu agguataarlugu illuni 258-ini radoneqassuseq uuttortarneqarpoq. Illuni radoneqassutsip uuttortarnerata saniatigut illut sananeqaataannik atugaanerinillu paasissutissarpasuit nalunaarsorneqarput. Paasissutissat taakku radoneqassutsip uuttortarneqarneranut sanilliullugit naatsorsueqqissaarnermik misissuiffiqineqarput. Naatsorsueqqissaaraluni misissuineq illuni radoneqassutsip annertussusaanut pingaarutilinnik pissutsinik sunik paasissutissiivoq. Kiisalu kalaallini

illuni radonip annertussusaata annikillissarnissaanut iliuuserisassanut pisariaqartitsineramik naliliisoqarsimavoq. Naliliineq taanna radonip annertussusaannik uuttortagaasunik nunani allani misilittakkanut iliuuserisartakkanullu sanilliussineramik tunngaveqarpoq.

Nunani allani atornerarlutik killissaqassutsit nalinginik/sunniuffissaata inissisimaffiinik naliliinissaq, imaluunniit Kalaallit Nunaanni sunniuffissaata inissisimaffissaata sukutsitaanniittariaqarneranut isummernissaq misissuinerup ilagisimanngilai.

### *Radoni suua?*

Radoni pinngoqqaataavoq pinngortitami pissusissamisoortutut nassaassaasoq. Nunarsuarmi tamarmi radoni nunatami qaqqanilu pinngortarpoq, sumiiffinnili nunap geologiia appeqquaatillugu sumiiffinnut allanut naleqqiullugu annertunerusarluni.

Radoni gassiugami nunap ataani quppatigut aatsangasutigullu aniasarpoq. Illoqassappat radonip tassunga isaanissaa aarleqqutaasinnaavoq. Tassani radoneqassuseq silaannarmiittumit annertunerujussuusinnaavoq. Radonip peqqiillortitsinermik sunniuteqartarpoq, inuimmi radonimik sunniuteqarfiusimasut puammikkut kræfteqalernissamut annertunerusumik aarleqquteqarfiusarmata.

Misissuinerit nutaanerit takutissimavaa aarleqqutaasoq killissamik naleqanngitsumik radoneqarnerata inissisimanagerata narlusuusutut ittumik qaffariartorneramik aalajangerneqartarpoq. Radoneqarnerata inissisimanagerata affaannangortinnerata aarleqqut affaannangortissavaa. Killissamik naleqassutsimik nassaartoqannginnera isumaqarpoq allaat radoneqarnerata inissisimaneerarsua puakkut kræfteqalersinnaaneramik (annikitsumik) aarleqquteqartitsisanagera.

Illuni akuerisamik radonip inissisimanissaata sumiinnissaa (sunniuffissaata inissisimaffia) politikikkut aalajangiineruvoq. Radoneqarnerata inissisimanera 200-t aamma 400 Bq/m<sup>3</sup>-it missaanniippat pisariitsunik akititsunillu iliuuseqartariaqarneranik nunat avannarliit oqartussaaveqarfiisa ataatsimoorullugu inassuteqarfigisimavaat. Radoneqarnerata inissisimanera 400 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnersimappagu iliuitsunik inissisimanerup 200 Bq/m<sup>3</sup>-it ataanut inissinnissaanut iliuuseqartoqassasoq inassutigineqarpoq. USA-mi oqartussaasoqarfiit 150 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnerlugit inissisimaneqalerneratigut radonimik annikillisaassutinik iliuuseqartoqassasoq, iliuserisassallu taakku inissisimassutsip 40 Bq/m<sup>3</sup>-it ataannut inississinnaassagaat inassutigaaat.

Radoneqarnerata inissisimanera 200 Bq/m<sup>3</sup>-iniippat inuunerup sivisussusaanik aarleqqutaasoq 1,4%-it missaanniissaaq. Tassalu inuit 1000-it inuunertik tamaat (ukiut 70-it) 200 Bq/m<sup>3</sup>-inik radoneqarnerata inissisimaffianik atugaqarsimagunik taakkunanit 14-it missaat radoni toqussutigissavaat. USA-mi Europamilu radonimut naleqqiullugu pujortartarnek puanni kræfteqarnerup pilierartuaarneranut patsisaanerpaartaasartuusutut nalilerneqarpoq. Qallunaat Nunaanni ukiut tamaasa pujortartarnerup inunni 3500-t missaanni nutaanik puanni kræfteqalissutaasarnera nalilerneqarpoq, ukiulli tamaasa radonip inunni 300-t missaanni nutaanik puanni kræfteqalissutaasarnera nalilerneqarluni.

#### *Illumi radoneqarnerata inissisimanerata annikillisinna*

Illuni radoneqarnerata inissisimaneranik annikillisaanissamut assigiinngitsunik periu-seqarpoq.

Illup silaannarissarnerata pitsanngorsarneratigut radoneqarnerata inissisimanera annikillisinneqarsinnaavoq. Taamaalluni radoneqarnerata inissisimanera 60-70%-it tikillugit annikillisinneqarsinnaavoq. Periu-seq alla tassaavoq naqqup iluani/naqqup ataani qaarusuusami/naqqup ataani ammanertami

silaannarissaanerup pitsanngorsarneratigut illumut radonip isaaneranik annikillisisineq. Taamaalinermi radoneqarnerata inissisimanera 80-99%-it tikillugit annikillisinneqarsinnaavoq. Kiisalu nunap ataani illumut radonimit isaasoqarnera naqqup ataani inigisallu akornanni assiaqutaasup issussarneratigut annikillisarneqarsinnaavoq. Radoneqarnerata inissisimaneranik nalinginnarmik 10-80%-inik annikillisaanermik kinguneqartarpoq.

#### *Kalaallit Nunaata nunap ataani radoni*

Nunap assingi nunalerutit pioreersut misissuinerillu tunngavigalugit Kalaallit Nunaata nunap ataani radonip pinngortarneranik pingaarnerutitamik naliliisoqarsimavoq. Naliliinerit missingersuutaannaasutut paasineqassapput; ingammik paasissutissaatitaasut tunuliaqutaralugit paasisanit nunap ataani annertunerusumik radonimik pinngortoqarfiinik najugarisani immikkoortortaqarsinnaanera erseqqissarneqassaaq.

Kujataata nunataata geologiia (nunataata sananeqataa) assorsuaq allanngorartuuvoq. Immikkoortumit misiliutaasut takutippaat nunap ataani radonip pinngornissaanut annertungaatsiartumik ilippanaateqangaanera, taamaattumillu aamma Kujataani illuni radoneqarnerata inissisimaffigisaata annertunerusinnaaneranut aarleqquteqarnera. Tassani pineqarput illoqarfiit Nanortalik, Narsaq aamma Qaqortoq.

Kitaata sinnerisaani nunap ataani radonip pinngorsinnaanera nalinginnaasumik annikitsuusoq naliliiffiuvoq, taamaattorli najugarisani immikkoortortani radoneqarnerata inissisimaffigisai annertunerusinnaasarput. Kitaani illoqarfiusuni, kujataani Ivittuuniit avannaani Qaanaamut radoneqarnerata inissisimaffigisai annikinnerusunnissaat naatsorsuutigineqarput.

Tunumi radoni pillugu paasissutissat pissarsiarisinnaasat annikinnerupput. Tasiilamut atatillugu radoneqarnerata inissisimaf-

---

figisai annikinnerusuussasut ilimanartuupput. Illoqqortoormiunut atatillugu radoneqarnerata inissisimaffigisai imaaliillaannaq nalilerneqarsinnaanngillat.

#### *Uttortaanermik suliniutip inernerit*

Uttortaanermik suliniutip inernerisaasa kalaallini illut radoneqarnerisa inissisimaffigisaasa assorsuaq assigiinngiiaarnerat takutippaat.

Illut misissugaasut 5.9%-iini radoneqarnerata inissisimassimanerata 200 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnersimagaa misissuinerit ataatsimoorullugu takutippaat. Illut 200 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnerlugit radoneqarneranik inissisimaffillit Qallunaat Nunaannut naleqqiullugit amerlanerulaarput, Norgemut naleqqiullugu ikinnerulaarlugit, aammalu Sverigemut Finlandimullu naleqqiullugu annikinnerujussuulluni. Misissuinermit matumani radoneqarnerata inissisimaffigisaa annertunerpaaq Qallunaat Nunaanni annertussutsimut assinguvoq, Norgemili, Sverigemi Finlandimilu inissisimaffiit annertunerpaaffiannit annikinnerarsuulluni.

Misissuinermit tassannga inernerit naatsorsoqqissaarlugit misissorneqarnerisa takutippaat radoneqarnerata inissisimaffigisaa uuttortarneqartoq tullinnguuttunit aalajangerneqartarnera:

- illoqarfik illup inissisimaffia
- illumi naqqup ataata qanoq ittuunera
- illumi iikkat sanaartugaanerisa suussusaat
- illup ukioq qanga sanaartorneqarnera
- illumi quleriit qanoq amerlatigineri
- illup issumi imaluunniit qaarsumi inissisimanera.

Illuni misissugaasuni radoneqarnerata inissisimaffigisaanut pingaaruteqarnerpaasoq tassaavoq illoqarfik illup inissisimaffigisaa:

- Nuummi inissisimaffigisat uuttortarneqartut sunniuffissatut inissisimaffimmut 200 Bq/m<sup>3</sup>-inut naleqqiullugit appasinne-  
rupput. Nuummi illuni 125-ni uuttortaaso-

qarpoq. Uttortakkamik radoneqarnerata inissisimaffigisaata agguaqatigiissinnera 10 Bq/m<sup>3</sup>-iuvoq, uuttortagaasullu naleqarnerpaaffigisaa 136 Bq/m<sup>3</sup>-iulluni.

- Qaortumi inissisimaffigisat uuttortarneqartut Nuummumut naleqqiullugit annertunerulaarput. Qaortumi uuttortakkamik radoneqarnerata inissisimaffigisaata agguaqatigiissinnera 50 Bq/m<sup>3</sup>-iuvoq, illullu 67-it misissugaasut 7%-iini minnerpaami inimi ataatsimi radoneqarnerata inissisimaffigisaata uuttortarnera 200 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnersimavaa.
- Narsami inissisimaffigisat uuttortarneqartut qaffasingaatsiarput. Uttortakkamik radoneqarnerata inissisimaffigisaata agguaqatigiissinnera 172 Bq/m<sup>3</sup>-iuvoq, illullu 60-it misissugaasut 28%-iini minnerpaami inimi ataatsimi radoneqarnerata inissisimaffigisaata uuttortarnera 200 Bq/m<sup>3</sup>-it sinnersimavaa.

Illoqarfinni pingasuni taakkunani nunap ataani geologiskimik assigiinngissutsit aallavigalugit illoqarfinni pingasuni taakkunani inissisimaffigisat imminnut naleqqiullugit naatsorsuutigisanut malinnilluarterujuupput.

Naatsorsueqqissaarinermit misissuineq tungavigalugu pissutsinik ilusiliussamik inissisiterisoqarpoq, taannalu illoqarfinni pingasuni misissuiffigineqartut ilaanni illumi inissinneqarsimasumi radoneqarnerata inissisimaffigisaanik naatsorsuusiornissamik periarfissiivoq. Taamatulli naatsorsuut aalajangiutivinneqarnaveersaarneqassaaq, nalitummi naatsorsuutigisamit illumi sumiluunniit inissisimaffivik annertuumik allaanerusinnaamat. Pissutsinik ilusiliussarisaq illunik radoneqarnerata inissisimaffigisaanik erseqqinnerusumik misissugarisassat toqqartorneqarnissaannut atorneqarsinnaanissaa nalilerneqarpoq.

Pissutsinik ilusiliussaq aamma illunik nutaanik sanaartulernermit najoqqutarisatut atorneqarsinnaavoq. Ingammik tamanna illoqarfinni annertuumik radoneqarneranik

---

aarleqquteqarfiusuni innersuussutaasinnaavoq. Radoneqarnerata inissisimaffigisaa annikitsoq anguniarlugu aalajangersimasunik iliuuseqarsinnaanerup saniatigut pissutsinik ilusiliusaaq aallaavigalugu assersuutigalugu Narsami illut naqqup ataani qaarusuusamik (krybekælderimik) imaluunniit silatimikkut oqitsunik iigartalinnik ammasumik sukanik toqqavilersorlugit sanaartorneqarnissaat innersuussutigineqarpoq.

*Innersuussutit*

Uuttortaanermik suliniutip inernerisai, kiisalu Kalaallit Nunaanni geologiskimik pissutsinik ilisimasat naluneqanngitsut tunngavigalugit Kujataani 61°30' Avannarliup kujataani illunut pioreersunut nutaatullu sanaartugaa-sunut radoneqarnerata annikillisarnissaanut

iliuuseqarnissamut malittarisassior-toqarnissaa innersuussutigineqarpoq.

Kujataani nutaanik illuliornermi iliuusissanik illugiligassami radoneqarnerata inissisimaffigisaanik annikillisaasunik piumasaqaasior-toqarnissaa innersuussutigineqarpoq.

Kujataani illunut pioreersunut atatillugu illut inissisimaffigisat qatsissuunissaannik naatsorsuutigisaqarfiit toqqartugaanissaannut misissuineramik suliaqartoqarnissaa innersuussutigineqarpoq. Pissutsinik ilusiliusaaq nassaarineqartoq aallaavigalugu taamatut toqqartuineq Narsami Qaqortumilu illunut pisinnaavoq. Nanortalimmi illunut atatillugu inissisimaffigisaaq nalinginnaasoq pillugu paasissutissarsiorniarluni annikinnerusumik uuttortaanermik suliniutip ingerlanneqarnissaanut pisariaqartitsisoqarsinnaavoq.

---

## Indholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Eqikkaaneq (Sammendrag på grønlandsk) .....	5
Indholdsfortegnelse.....	9
1 Indledning og læsevejledning .....	10
1.1 Indledning .....	10
1.2 Læsevejledning .....	10
2 Fakta om radon.....	11
3 Radon i boliger.....	13
3.1 Faktorer der påvirker radon-niveauet.....	13
3.1.1 Undergrunden under boligen .....	13
3.1.2 Bygningstekniske forhold .....	13
3.1.3 Bygningens anvendelse.....	14
3.2 Foranstaltninger til begrænsning af radon i bygninger .....	14
3.2.1 Forbedret ventilation af boligen.....	14
3.2.2 Ventilation af hulrum under beboelsen (ændret trykgradient).....	14
3.2.3 Tætning af gulve .....	15
4 Radon i undergrunden.....	16
4.1 Geologisk betinget forekomst af radon .....	16
4.2 Forventet forekomst af radon i Grønland.....	17
5 Undersøgelsens omfang .....	20
6 Undersøgelsens metode.....	24
6.1 Måling af radonniveau .....	24
6.2 Måling af luftskifte.....	24
6.3 Registrering af oplysninger om de deltagende boliger .....	25
7 Overordnede resultater .....	26
7.1 Resume af radonmålinger .....	26
7.2 Forhold imellem sommer og helårs koncentrationer af radon .....	28
7.3 Resultater af målinger i krybekældre .....	31
8 Faktoranalyse af radonmålinger.....	32
8.1 De undersøgte faktorer.....	32
8.2 Metode, model og forudsætninger .....	36
8.3 Faktormodel .....	38
8.4 De enkelte faktorer i faktormodellen .....	41
8.4.1 By.....	42
8.4.2 Byggear .....	43
8.4.3 Kælderforhold .....	44
8.4.4 Antal etager .....	45
8.4.5 Vægmateriale .....	46
8.4.6 Geologi.....	46
8.5 Lokal geografisk variation .....	47
9 Konklusion og anbefalinger .....	49
Referencer .....	51
Bilagsliste.....	53

---

# 1 Indledning og læsevejledning

## 1.1 Indledning

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med projektet Radon i Grønlandske Boliger.

Projektet havde til formål

- at klarlægge om radon er et problem i grønlandske boliger
- at klarlægge om radonniveauet i en given bygning kan estimeres på baggrund af bygningens beliggenhed og konstruktion.
- at give anbefalinger vedrørende behovet for tiltag til begrænsning af radonniveauet i eksisterende og nyt byggeri.

Der er ikke tidligere foretaget større undersøgelser af forekomsten af radon i grønlandske boliger. Radon er et naturligt forekommende grundstof, som kan have en betydelig negativ sundhedsmæssig effekt. Personer der er udsat for høje niveauer gennem lang tid, har en forøget risiko for at udvikle lungekræft. Der har i en række vestlige lande været sat fokus på problemet, og der er gennemført kortlægninger af problemets omfang gennem målekampaner i 1980'erne -1990'erne. Ved planlægning og gennemførelsen af nærværende undersøgelse er erfaringer med hensyn til målemetoder, omfang af målekampagnen og dataanalyse specielt fra undersøgelserne gennemført i de nordiske lande inddraget.

For at klarlægge om radon er et problem i Grønland blev der gennemført en målekampagne i perioden maj 2003 til maj 2004. Der blev foretaget målinger af radonniveauet i 258 boliger fordelt på tre byer. Ud over at måle radonniveauet i boligerne blev en række oplysninger om bygningernes konstruktion og anvendelse registreret. Disse oplysninger blev sammenholdt med de målte radonniveauer i en statistisk analyse. Den statistiske analyse

giver oplysninger om hvilke faktorer, der er betydende for radonniveauet i boliger. Endelig giver rapporten en vurdering af behovet for tiltag til begrænsning af radonniveauet i grønlandske boliger. Denne vurdering bygge på en sammenholdning af de målte radonniveauer med erfaringer og praksis fra andre lande.

## 1.2 Læsevejledning

Ved udarbejdelsen af rapporten har det været en målsætning at give en kortfattet men fyldestgørende beskrivelse af såvel den gennemførte målekampagne som den statistiske analyse af resultaterne. Store dele af rapportens indhold er derfor af teknisk karakter. Det er tilstræbt, at personer med en teknisk baggrund men uden speciel viden om det aktuelle emne kan forstå rapportens indhold.

I afsnit 2, 3 og 4 gives en opsummering af kendt viden om radon. Disse afsnit kan læses uafhængigt af den øvrige rapport eller overspringes i fald læseren allerede er bekendt med disse emner. Afsnit 2 giver en kort gennemgang af generel baggrundsviden om radon. Flere detaljer om faktorer der bestemmer radonniveauet i en bolig og metoder til reduktion af niveauet findes i afsnit 3. Afsnit 4 omhandler forekomsten af radon i undergrunden generelt og specifikt i Grønland. I afsnit 5 og 6 gennemgås omfanget og metoden for den målekampagne, som er udført i forbindelse med dette projekt. En grundig statistisk behandling af målekampagnens resultater gives i de følgende afsnit 7 og 8, hvor man også finder en gennemgang af databehandlingsmetoden. Endelig indeholder afsnit 9 de konklusioner og anbefalinger der kan drages på baggrund af projektet.

---

## 2 Fakta om radon

Radon er en gas, der dannes i undergrunden som en del af urans henfaldskæde. Radon dannes i jord- og bjergarter over hele jorden men nogle steder i større mængder end andre steder afhængig af den lokale geologi. Radon er selv radioaktiv med en halveringstid på 3,82 dage. Radon omdannes til en række kortlivede radioaktive metal-isotoper, som kaldes radon-døtre.

Da radon er en gas, vil den sive op fra undergrunden gennem revner og sprækker. Herfra vil radon blive opblandet i luften, hvorved radon gassen fortyndes. Hvor der er placeret en bygning, er der risiko for, at radon vil sive op i denne. Koncentrationen af radon kan her blive betydelig større end i udendørsluften. Dette skyldes dels den mindre luftmængde som radon gassen blandes op i, dels at trykket inde i et hus typisk er lidt lavere end i undergrunden/udendørs, hvorfor der ”suges” radon ind i huset. Der kan også tilføres radon til en bolig, hvis der er brugt bygningsmaterialer, der afgiver radon, eller hvis drikkevandet indeholder radon. Undergrunden vil dog oftest være den vigtigste kilde til radon i boliger (Pawel & Puskin, 2003).

Radon er en blandt flere kilder til radioaktiv stråling, som almindelige mennesker udsættes for i deres liv. En del af denne eksponering stammer fra medicinsk behandling. Opgørelser viser, at radon bidrager med ca. 50% af den ikke-medicinske stråling verdens befolkning gennemsnitlig udsættes for (WHO, 2004).

Radon er en klar, lugtfri gas, og man kan derfor hverken se eller lugte, om der er radon i et lokale. For at finde ud af om der er radon i boligen, må der derfor foretages en måling. Radonniveauet måles i enheden Becquerel per kubikmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ). Denne enhed udtrykker, hvor mange henfald der sker per sekund i en kubikmeter luft. Ét henfald svarer til at ét

radon atom omdannes og udsender stråling (alfa-stråling). Det er således ikke koncentrationen af selve grundstoffet der måles, men i stedet radioaktiviteten af den radon der er tilstede. Radioaktiviteten vil dog være ligefrem proportional med koncentrationen, og udtrykkene radonkoncentrationen og radonniveauet vil i det følgende blive benyttet, selvom det er radioaktiviteten, der er blevet målt.

Personer, som opholder sig i et lokale, hvor der er radon i luften, vil ved deres vejtrækning få radon og radondøtre ned i luftveje og lunger. Her vil specielt radondøtrene afsættes på vævet, mens det meste af radon gassen vil komme ud igen med udåndingsluften. Både radon og radondøtrene henfalder ved udsendelse af alfa stråling, og denne stråling vil kunne ødelægge celler i lungerne. Dette vil øge personens risiko for efter en årrække (5-40 år) at udvikle lungekræft (Pawel & Puskin, 2003, Sundhedsstyrelsen, 1987).

Den skadelige virkning af radon blev oprindeligt påvist i større undersøgelser af mine-arbejdere, som ved deres arbejde i minerne havde været udsat for meget høje radonniveauer. Ved disse undersøgelser er det også vist, at der er en synergi effekt mellem rygning og radon påvirkning. Det vil sige, at risikoen for at en ryger, der udsættes for radon, udvikler lungekræft er større end summen af risikoen ved at ryge og risikoen ved at være udsat for radon (Pawel & Puskin, 2003).

Radonniveauet i minerne var væsentlig højere end det niveau, der normalt findes i boliger. Nyere undersøgelser har dog vist, at der også er en risiko for almindelige borgere, der udsættes for radon i deres boliger. Det er fundet, at risikoen afhænger lineært af radonniveauet uden nogen tærskelværdi (Pawel & Puskin, 2003, Darby et al., 2005).

---

En halvering af radonniveauet vil derfor halvere risikoen. At der ikke er fundet nogen tærskelværdi betyder, at selv et meget lavt radonniveau giver en (lille) risiko for at udvikle lungekræft.

Rygning vurderes dog både i USA og Europa at være langt den hyppigste årsag til udvikling af lungekræft. I Danmark vurderes rygning hvert år at forårsage ca. 3500 nye lungekræfttilfælde, mens radon vurderes at forårsage ca. 300 nye lungekræfttilfælde om året (Sundhedsstyrelsen, 1987).

Hvilket niveau af radon, der kan accepteres i boliger, vil være en afvejning i forhold til andre risikofaktorer i hverdagen, samt omkostningerne forbundet ved at reducere radonniveauet i boligen. De nordiske landes myndigheder er gået sammen om at anbefale, at der bør sættes ind med simple og billige

tiltag, hvis radonniveauet ligger mellem 200 og 400 Bq/m<sup>3</sup>. Hvis radonniveauet overstiger 400 Bq/m<sup>3</sup>, anbefales det at sætte ind med tiltag, der kan reducere niveauet til under 200 Bq/m<sup>3</sup> (Åkerblom et al., 2000). USA's myndighed anbefaler, at der etableres radonbegrænsende tiltag, hvis niveauet overstiger 150 Bq/m<sup>3</sup>, og at disse foranstaltninger skal kunne nedbringe niveauet til 40 Bq/m<sup>3</sup> (EPA, 2003).

Ved et radonniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup> vil livstidsrisikoen gennemsnitlig være ca. 1.4% (ICRP, 1993). Det vil sige, at hvis tusind personer hele livet (70 år) er udsat for et radonniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup>, så vil ca. 14 af disse dø pga. radon. Denne livstidsrisiko er en gennemsnitlig risiko, baseret på at en del af personerne, svarende til hvad der normalt ses i den vestlige verden, er rygere.



---

## 3 Radon i boliger

### 3.1 Faktorer der påvirker radonniveauet

Radonniveauet i en bolig vil afhænge af hvor stor en mængde radon, der kommer ind i boligen, og hvor stor en mængde der forlader boligen igen. Dette vil være betinget af en række forhold.

#### 3.1.1 Undergrunden under boligen

Radon fra undergrunden er oftest den væsentligste kilde til radon i en bolig (Pawel & Puskin, 2003). Radonniveauet i boligen vil derfor afhænge af hvor meget radon, der dannes i undergrunden, og hvordan den dannede radongas spreder sig op gennem jorden. Spredningen af radon op gennem jorden vil afhænge af jordens porøsitet eller mængden og fordelingen af revner og sprækker i fjeldet.

#### 3.1.2 Bygningstekniske forhold

Mængden af radon, der trænger fra undergrunden ind i bygningen, vil bl.a. afhænge af hvor tæt konstruktionen mod undergrunden er. I Grønland vil gulvet i en evt. krybekælder under et hus typisk være den blotlagte klippe/undergrund, Figur 3.1. I dette tilfælde er der altså fri adgang for, at radon

kan trænge fra undergrunden ind i krybekælderen, og radonniveauet i boligen vil da afhænge af, hvor tæt gulvet mellem krybekælder og beboelsen er. Herudover vil udluftningen af en evt. krybekælder eller anden luftrum mellem undergrund og bolig have betydning for, hvor meget radon der trænger ind i boligen.

Som nævnt i afsnit 1 vil en anden afgørende faktor for transporten af radon fra undergrunden og/eller krybekælderen ind i boligen være trykforholdene i huset. Jo større undertrykket i huset er i forhold til undergrunden, jo større vil transporten af radon ind i huset være. Trykket i boligen vil bl.a. afhænge af de installerede aftrækskanaler og udluftningsventiler i boligen.

Hvor stor en del af den radon, der kommer ind i huset, som ledes ud af huset igen afhænger af luftskiftet i boligen. Luftskiftet vil afhænge af hvor tæt huset er bygget (utætheder ved vinduer, døre etc.) samt eventuelle ventilationskanaler eller ventilationsanlæg. Luftskiftet i en bolig vil variere over tid, bl.a. afhængigt af hvor meget det blæser udenfor.



Figur 3.1 Eksempler på typiske grønlandske krybekældre.

---

En mindre kilde til radon i boligen kan være afgivelse af radon fra byggematerialer. Materialer som træ og gips vil normalt have en lav afgivelse af radon. Afgivelsen af radon fra beton er varierende afhængig af den lokale geologi, der hvor tilslaget er indvundet (Åkerblom et al., 2000).

### 3.1.3 Bygningens anvendelse

Beboernes adfærd kan have indflydelse på radonniveauet gennem brugen af ventilationskanaler/-anlæg og udluftning via åbne vinduer og døre.

Herudover vil temperaturen i boligen i forhold til udendørstemperaturen have indflydelse på de tidligere nævnte trykforhold i boligen. Jo større temperaturforskellen mellem inde og ude er, jo større vil spredningen af radon fra undergrunden til bygningen være (Andersen et al., 1997).

## 3.2 Foranstaltninger til begrænsning af radon i bygninger

For at reducere radonniveauet i en bygning kan man foretage en række forskellige tiltag. Der er i udlandet foretaget flere undersøgelser af forskellige metoder til reduktion af radon; deres effektivitet, omkostninger, fordele og begrænsninger (Andersen et al., 1997, BRE, By og Byg, EPA, 2003, Jeppesen, 2003).

Metoderne bygger på forskellige principper til reduktion af radonniveauet. Disse principper er at:

- fjerne radon fra beboelsesrum ved at forbedre ventilationen af boligen
- reducere indtrængningen af radon ved at fjerne radon fra kælder/krybekælder/hulrum under gulv ved at forbedre ventilationen der
- reducere indtrængning af radon til beboelsen ved at øge undertrykket i kælder/krybekælder/hulrum under gulv i forhold til den overliggende beboelse (ændret trykgradient).

- reducere indtrængning af radon fra undergrunden til boligen ved at tætte adskillelsen mellem undergrunden og beboelsen.

### 3.2.1 Forbedret ventilation af boligen

Ved at forbedre ventilationen af boligen søges radonniveauet reduceret ved at fjerne/fortynde den radon, som er trængt ind i boligen. En øget udluftning i boligen vil endvidere kunne forbedre det generelle indeklima i boligen. Ulempen ved kraftig udluftning vil være forøgede udgifter til opvarmning af boligen.

Opsætning af friskluftindtag vil ved korrekt opsætning og anvendelse øge ventilationen og reducere undertrykket i boligen. Metoden er billig, men effekten er ret begrænset; radonniveauet vil typisk reduceres med 20% (By og Byg).

Etablering af mekanisk udsugning vil øge ventilationen, men man risikere samtidig at øge undertrykket i boligen, hvorved radonniveauet øges. Hvis der samtidig opsættes ekstra friskluftindtag kan radonniveauet reduceres med op til 60-70% (Andersen et al., 1997)

Ved etablering af balanceret mekanisk udluftning styres både luftindtag og udsugning. Herved kan trykket i boligen styres, således at der opnås neutralt tryk. Overtryk i boligen bør normalt undgås på grund af risikoen for fugtproblemer i bygningskonstruktionen.

### 3.2.2 Ventilation af hulrum under beboelsen (ændret trykgradient)

Ved at øge ventilationen under beboelsen, dvs. i ubeboet kælder, krybekælder eller kapillarbrydende lag under gulvet, reduceres radonniveauet i den luft, der trænger ind i boligen. Herudover reduceres trykket under gulvet, og luftstrømmen op i boligen vil derved mindskes og evt. vendes, således at der trækkes luft fra boligen ned i kælder/krybekælder/kapillarbrydende lag.

---

For at øge ventilationen under beboelsen etableres der et eller flere udsugningspunkter/ventilationsrør under gulvet. Ventilationsrøret føres udvendig eller indvendig gennem huset og op over husets tag, hvor der monteres en vindhætte. Hvis røret føres gennem et uopvarmet loftsrums, skal røret isoleres. Vind, der blæser omkring vindhætten, vil nu medvirke til at suge luft væk fra hulrummet under beboelsen. Hvis ventilationsrøret føres gennem opvarmede rum, vil opvarmningen få luften i røret til at stige opad og derved medvirke til at suge luft fra hulrummet under boligen. Der kan endvidere monteres en ventilator, f.eks. på loftet, som aktiv trækker luft væk fra hulrummet under boligen. I forbindelse med etableringen bør (større) utætheder i gulvkonstruktionen tættes (Jeppesen, 2003). For at sikre at hele hulrummet under gulvet ventileres styres ventilationen med lufttilførsel udvalgte steder. Lufttilførslen sker f.eks. ved ventilationsriste i fundamentet.

Der kan være risiko for afsætning af kondensvand hvis luft fra beboelsen trækkes ned i et uopvarmet rum under boligen, med risiko for råd i gulvkonstruktionen til følge.

Ved passiv ventilation af rum under boligen kan radonniveauet reduceres med 40-99%.

Ved aktiv ventilation ses reduktioner på 80-99% (Jeppesen, 2003). Effektiviteten afhænger primært af hvor let det er at ventilere hulrummet (permeabiliteten). For hulrum som let lader sig ventilere, som f.eks. en åben krybekælder, er effektiviteten ved passiv og aktiv ventilation lige stor. For hulrum med lav permeabilitet er det nødvendigt med aktiv ventilationsanlæg for at opnå tilstrækkelig ventilation og dermed en stor reduktion af radonniveauet i boligen.

### 3.2.3 Tætning af gulve

Hvis adskillelsen mellem boligen og undergrunden tættes, reduceres risikoen for at radon trænger ind i boligen. Det er dog vanskeligt at opnå en helt lufttæt gulvkonstruktion, og selv små utætheder f.eks. langs rørgennemføringer kan betyde, at der ikke ses nogen reduktion af radonniveauet.

Tætningen kan omfatte udbedring af revner, tætning omkring rørgennemføringer, opsætning af membran på kælderloft og/eller udskiftning af gulve.

Typisk opnås reduktioner på 10-80% (Jeppesen, 2003, BRE).

---

## 4 Radon i undergrunden

### 4.1 Geologisk betinget forekomst af radon

Radon dannes ved henfald af grundstoffet radium som en del af urans henfaldskæde. Mængden af radon der dannes i undergrunden vil derfor afhænge af indholdet af uran og radium i undergrunden. Uran og radium forekommer i jord- og bjergarter over hele jorden, men indholdet varierer betydeligt mellem forskellige geologiske formationer. Selv indenfor den samme bjergart og selv indenfor et lokalt område kan der også være en betydelig variation i indholdet af uran og radium. Lokalt kan indholdet være meget højt, som det f.eks. ses ved en uran-åre.

Nogle bjergarter indeholder mere uran og radium end andre. Typiske indhold af radium i bjergarter, der optræder i de nordiske lande, er i Tabel 4.1 angivet ved den radioaktive koncentration. Den radioaktive koncentration er antal radioaktive henfald der foregår per sekund i et kg af den pågældende bjergart.

Magmatiske bjergarter med relativt højt indhold af radium omfatter nogle typer af granit og karbonatit, samt lyse vulkanske bjergarter. De basiske magmatiske bjergarter (magmatiske bjergarter med lavt indhold af silicium,  $\text{SiO}_2$ ) gabbro, diorit og basiske vulkanske bjergarter har relativt lavt indhold af radium, Tabel 4.1.

Sedimentære bjergarter med relativt højt indhold af radium omfatter mørk skiffer (alun skiffer) samt sedimentære bjergarter med indhold af fosfat (U.S. Geological Survey). Andre sedimentære bjergarter som sandsten, kalksten og dolomit har typisk et lavt indhold af radium.

Indholdet af uran og radium i metamorfe bjergarter vil afhænge af udgangsmaterialets indhold.

Løs jord (sedimenter) dannes ved forvitring og erosion af bjergarter. Indholdet af uran og radium i løs jord afhænger derfor af hvilken bjergart jorden er dannet fra. Hvis bjergarten havde et stort indhold af uran og radium vil løs jorden også have et relativt stort indhold.

Indholdet af uran og radium i løs jord dannet fra en given bjergart vil afhænge af løs jordens kornstørrelse. Grove sedimenter som grus og groft sand vil typisk have samme niveau som udgangsmaterialet. Finsand og silt har typisk et lavere indhold af radioaktive mineraler end udgangsmaterialet, da de radioaktive mineraler kan udvaskes af gennemtrængende vand. Ler har typisk et højere indhold af radioaktive grundstoffer, idet denne kornfraktion elektrisk kan fastholde mineraler med uran og radium.

Eksempler på indhold af radium i sedimenter fra de nordiske lande er i Tabel 4.2 angivet ved den radioaktive koncentration.

Tabel 4.1 Typiske radioaktive koncentrationer af radium i bjergarter fra de nordiske lande. Kilde: Åkerblom et al. (2000).

Bjergarts type	Bjergart	Radioaktiv koncentration af $^{226}\text{Ra}$ , Bq/kg
Magmatisk	Granit, normal	20-130
	Granit, rig på uran/thorium	100-500
	Karbonatit	10-650
	Diorit, gabbro og basiske vulkanske bjergarter	1-30
Sedimentær	Sandsten	5-60
	Kalksten, Dolomit	2-30
	Skiffer	10-150
	Alun skiffer	100-3400
Metamorf	Gnejs	25-130
	Kvartsit	5-60

Tabel 4.2 Typisk radioaktiv koncentration af radium i sedimenter fra de nordiske lande. Kilde: Åkerblom et al. (2000).

Type	Kornstørrelse	Radioaktiv koncentration af $^{226}\text{Ra}$ , Bq/kg
Grus	2,0 mm - 200 mm	10 - 90
Sand	0,06 mm - 2,0 mm	4 - 60
Eocen <sup>1)</sup> sand-silt	-	5 - 20
Silt	0,002 mm - 0,06 mm	5 - 70
Ler	< 0,002 mm	15 - 130
Till	usortet gletscher- transporteret materiale	10 - 170
Till med alun skiffer		180 - 2500

<sup>1)</sup> Eocæn : tidsepoke fra 57 til 35 millioner år siden

## 4.2 Forventet forekomst af radon i Grønland

På baggrund af bjergarternes sammensætning og alder kan Grønland inddeles i en række regionale geologiske områder. Inddelingen i regionale geologiske områder vil være baseret på den overordnede geologi, og der kan derfor indenfor en region være lokale geologiske variationer, som kan have betydelig indflydelse på radonniveauet.

I Tabel 4.3 er de grønlandske byers placering i geologiske hovedområder vist. Den dominerende bjergart i byen er bedømt ud fra geologiske kortblade i skala 1:500.000 fra Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS (Larsen, 2003).

Ud over viden om forekomst og fordelingen af bjergarter findes der fra store dele af Vest- og Sydgrønland konkret viden om den kemiske sammensætning af bjergarterne fra prøver indsamlet og analyseret af GEUS.

Prøverne er blandt andet analyseret for indholdet af uran. Tabel 4.4 giver en oversigt over indholdet af uran i prøver indsamlet i nærheden af Grønlands byer.

På baggrund af Tabel 4.3 og Tabel 4.4 kan der gives vurderinger af forventede, relative radonniveauer i Grønlands byer. Vurderingerne skal opfattes som vejledende. Der kan forekomme lokale forhøjede niveauer af uran og radium i undergrunden, som ikke kan erkendes på baggrund af det foreliggende materiale. Herudover vil undergrundens beskaffenhed have indflydelse på transporten af radon op til jordoverfladen. Lignende indhold af uran og radium i undergrunden kan således give anledning til forskellige niveauer af radon i overliggende boliger.

Byerne Nanortalik, Qaqortoq og Narsaq er placeret i den geologiske region Ketilliderne som også omslutter den magmatiske Garder provins. Geologien i disse regioner er meget varieret, og de forekommende bjergarter har

---

meget forskellige kemiske sammensætninger. Det vurderes, at området er for heterogent til, at målinger i én by i området vil kunne bruges til bedømmelse af radonniveauet i de øvrige byer i Sydgrønland. Indholdet af uran i prøver af elv-sedimenter og bjergarter fra området er relativt høje, og der er derfor også risiko for, at niveauet af radon i boliger i Sydgrønland kan være forhøjede.

Byerne Ivittuut, Paamiut, Nuuk og Maniitsoq er geologisk set placeret i den Arkæiske blok, som domineres af gnejs og amfibolit. Forekomsten af uran er i denne region generelt lavt. Lokalt findes der dog områder med højere indhold af uran, f.eks. i de indre dele af Godthåbsfjorden og i den sydligste del af regionen (Steenfelt, 2001). Det vurderes at radonniveauerne i de eksisterende byer i den Arkæiske blok vil være relativt lave og sammenlignelige.

Det Naggsugtoqidiske bælte omfatter byerne fra Sisimiut i syd til Uummannaq i nord, bortset fra Diskoøen, det vestlige Nuussuaq og Svartenhuk hvor gnejsen er dækket af en sedimentær lagserie og herover vulkanske aflejringer fra tidsepokerne Mesozoikum og Tertiær. Qeqertarsuaq er anlagt nær disse vulkanske aflejringer af basaltisk sammensætning, som har et lavt indhold af uran/radium. Indholdet af uran i prøver indsamlet i de øvrige dele af regionen har generelt været lave, dog med lokale områder med højere værdier f.eks. i de indre dele af fjordene øst for Uummannaq (Steenfelt, 2001). Det vurderes at radonniveauerne i de eksisterende byer indenfor det Naggsugtoqidiske bælte vil være relativt lave og sammenlignelige.

Analyser af prøver indsamlet nær Upernavik viser relativt lave niveauer af uran, og det vurderes på denne baggrund, at der også vil være relativt lave niveauer af radon i dette område.

Qaannaq er beliggende i et område med terrestriske sedimenter, og det forventes at radonniveauet her vil være relativt lavt.

Tasiilaq er geologisk set beliggende i det Naggsugtoqidiske bælte. Området omkring Tasiilaq består af diorit med forekomst af granitiske intrusioner. Der findes ikke resultater af analyser af sedimenter eller prøver af fjeldet ved Tasiilaq i GEUS's databaser (Steenfelt, 2004). Da Tasiilaq er anlagt på grundfjeld bestående af diorit og granodiorit, er det sandsynligt, at niveauerne af radon vil være relativt lave.

Illoqqortoormiut er geologisk set beliggende i det Kaledoniske foldebælte, som strækker sig langs Grønlands østkyst fra ca. 71 grader nordlig bredde til ca. 80 grader nordlig bredde. Ifølge Steenfelt (2004) er der ikke resultater af analyser af sedimenter eller prøver af fjeldet ved Illoqqortoormiut i GEUS's databaser. Ud fra det foreliggende materiale kan radonniveauerne ikke umiddelbart bedømmes.

Tabel 4.3 Oversigt over Grønlands byers placering i geologiske hovedområder. Oversigten er udarbejdet på baggrund af GEUS geologiske kortblade i skala 1:500.000. mmsp: med mineralsammensætning præget af. Kilde: Larsen (2003).

By	Geologisk hovedområde	Hovedbjergart	Bemærkninger
Nanortalik	Ketilliderne	GNEJS, Pegmatiter	mmsp biotit, hornblende.
Qaqortoq	Ketilliderne	GRANIT	Julianehåb Granit
Narsaq	Gardar / Ketilliderne	GABBRO	Garder intrusive bjergarter
Paamiut	Arkæisk	GNEJS	Granodioritisk, kvartsdioritisk
Nuuk	Arkæisk	GNEJS, AMFIBOLIT	Tonalitisk-granodioritisk
Maniitsoq	Arkæisk	GNEJS	Enderbitisk
Sisimiut	Naggsugtoqidisk	GNEJS	Enderbitisk
Kangaatsiaq	Naggsugtoqidisk	GNEJS	Granodioritisk - kvartsdioritisk
Aasiaat	Naggsugtoqidisk	GNEJS	Granodioritisk – kvartsdioritisk
Qasigiannguit	Naggsugtoqidisk	GNEJS, GLIMMERSKIFRE	Granodioritisk - kvartsdioritisk mmsp granat, silimanit, muskovit
Ilulissat	Naggsugtoqidisk	GNEJS, AMFIBOLIT	Granodioritisk - kvartsdioritisk
Qeqertarsuaq	Naggsugtoqidisk	GNEJS	Granodioritisk - kvartsdioritisk
Uummannaq	Naggsugtoqidisk	GNEJS	Granodioritisk - kvartsdioritisk
Upernavik	Arkæisk	GNEJS	Tonalitisk - granodioritisk
Qaanaaq	Nordgrønlandsk sedimentær bassin	SANDSTEN, SKIFFER	Qaanaaq formation, Thule Supergroup
Tasiilaq	Naggsugtoqidisk	DIORIT, GRANODIORIT	Ammassalik intrusive kompleks
Illoqqortoormiut	Kaledonisk	GNEJS	

Tabel 4.4 Indhold af Uran i prøver af fjeld og sedimenter fra elve indsamlet og analyseret af GEUS. Kilde: Steenfelt (2004)

By	Antal prøver	Afstand fra prøvelokaliteter til byen (km)	Prøvetype: s: sediment b: bjergart	Indhold af Uran (mg/kg)		
				Minimum	Median	Maksimum
Nanortalik	10	ca. 1,5 - 8	s	6,2	24,1	156
Qaqortoq	5	ca. 3 - 9	s	12,3	15,8	24,9
Narsaq	1	ca. 0,5	b (Julianehåb-granit)	-	6,2	-
	8	ca. 1,5 - 8	s	6,4	49,0	86,0
Paamiut	9	ca. 1,5 - 3	b	4,2	21,2	112,0
	5	ca. 6 - 17	s	<0,1	1,3	2,7
Nuuk	2	ca. 7 - 9,5	b (Suprakrustale)	0,6	-	3,0
Maniitsoq	5	ca. 4 - 11	s	<0,1	2,3	4,0
Sisimiut	6	ca. 1,5 - 15	s	<0,1	<0,1	1,9
Kangaatsiaq	8	ca. 5,5 - 16	s	1,4	1,8	7,2
Aasiaat	9	ca. 2 - 12	s	1,4	2,2	9,2
Qasigiannguit	9	ca. 0,4 - 29	s	1,2	3,2	6,1
Ilulissat	6	ca. 3 - 10	b (Gnejs)	<0,5	<0,5	1,5
Uummannaq <sup>1)</sup>	4	ca. 8 - 17	s	4,3	4,7	6,9
Upernavik <sup>2)</sup>	7	ca. 3 - 13	s	2,8	3,7	4,1
Qaanaaq	4	ca. 4 - 9	b	<0,5	<0,5	1,4
	6	ca. 1,5 - 16	s	2,7	4	8

<sup>1)</sup> Prøver fra Storø, som har lignende geologi. <sup>2)</sup> Prøver fra nærliggende øer.

## 5 Undersøgelsens omfang

Projektet Radon i Grønlandske Boliger har til formål:

- at klarlægge om radon er et problem i grønlandske boliger
- at klarlægge om radonniveauet i en given bygning kan estimeres på baggrund af bygningens beliggenhed og konstruktion.
- at give anbefalinger vedrørende behovet for tiltag til begrænsning af radonniveauet i eksisterende og nyt byggeri.

For at fremskaffe et datagrundlag til besvarelse af disse spørgsmål er der foretaget målinger i boliger i tre grønlandske byer. De tre byer der har indgået i undersøgelsens måleprogram er Narsaq, Qaqortoq og Nuuk. Disse er blandt andet udvalgt på baggrund af en stikprøveundersøgelse foretaget af Direktoratet for Boliger og Infrastruktur. Stikprøveundersøgelsen omfattede få målinger i en række byer, se Tabel 5.1. De højeste radonniveauer blev fundet i Narsaq, Qaqortoq og Nuuk. Ud fra kendskab til geologien i områderne vil der specielt kunne forventes høje niveauer i Narsaq, hvor forsøgsminen i det nærliggende Kvanefjeld har vist stort indhold af Uran, se endvidere afsnit 4.2. En grund til at medtage Nuuk i undersøgelsen er den samfundsmæssige betydning af niveauet her, idet en stor del af Grønlands befolkning er bosat i Nuuk.

Målingerne gennemført i projektet Radon i Grønlandske boliger er foretaget i fritliggende en-familie huse og rækkehuse for at opnå størst muligt statistisk materiale på de forventede mest kritiske boliger. Fritliggende en-familie huse og rækkehuse kan sædvanligvis forventes at være mest udsatte pga. den tættere kontakt til undergrunden. I etagebyggeri vil radonniveauet aftage jo højere oppe i byggeriet boligen ligger (Statens Strålevern, 1998b). En undersøgelse i Danmark viste at radonniveauet i etage-

byggeri var bestemt af afgivelsen af radon fra byggematerialer, og at niveauet generelt var lavt (Sørensen & Ulbak, 1987).

Tabel 5.1 Resultater af stikprøvemålinger af radonniveauet i boliger gennemført af Direktoratet for Boliger og Infrastruktur (Køster, 2002).

By	Antal Boliger	Laveste niveau Bq/m <sup>3</sup>	Højeste niveau Bq/m <sup>3</sup>
Ilulissat	3	0	0
Narsaq	4	22	479
Nuuk	6	0	28
Qaqortoq	6	8	155
Sisimiut	6	0	11
Tasiilaq	6	0	6
Uummannaq	6	1	10

Fordelingen af boliger på boligtyper samt antallet af boliger, der indgår i nærværende undersøgelse, er for de tre byer vist i Tabel 5.2. Af typerne en-familie og rækkehuse indgår i gennemsnit 10% af boligerne i undersøgelsen, og der er således en god dækningsprocent.

Effekten af radon på mennesker bestemmes af den samlede påvirkningen over lang tid. Niveauet af radon i en bolig vil variere over dagen og over året som følge af forskelle i udluftningsmønster og vejrforhold (temperatur, vind, tryk) (Andersen et al., 1997). For at få et godt billede af det gennemsnitlige radonniveau er der i denne undersøgelse foretaget målinger over et helt år. Herudover er der foretaget målinger over sommerhalvåret. Herved kan forholdet mellem sommer og vinter niveauet vurderes. Dette har betydning, hvis der på et senere tidspunkt ønskes foretaget målinger over kortere tid til belysning af radonniveauet i en bolig i Grønland. I en Norsk undersøgelse er det fundet at middel radonniveauet om vinteren typisk er dobbelt så højt som om sommeren (Statens Strålevern, 1998a).



Tabel 5.2 Fordelingen af boliger på boligtyper i Narsaq, Nuuk og Qaqortoq (Data fra Grønlands statistik, refereret i Pedersen, 2004), samt antallet af boliger der har deltaget i undersøgelsen Radon i Grønlandske boliger.

By	Antal boliger fordelt på boligtyper			Antal boliger der indgår i undersøgelsen
	En-familie huse	Rækkehuse	Etagebyggeri	
Narsaq	366	152	289	60
Nuuk	846	691	3938	129
Qaqortoq	545	70	721	71

Tabel 5.3 Opsatte og indsamlede måleapparater (dosimetre) til måling af radonniveauet.

By	Antal boliger hvor der blev opsat dosimetre	Antal dosimetre opsat	Antal dosimetre indsamlet		Antal mistede dosimetre
			Efter ½ år	Efter 1 år	
Narsaq	60	240	118	119	3 (1%)
Nuuk	130	520	255	245	20 (3,8%)
Qaqortoq	72	288	142	131	15 (5%)
I alt	262	1048	515	495	38 (4%)

Da målingerne skulle foregå over et helt år, var det forventeligt at en del af målingerne ville gå tabt, f.eks. i forbindelse med at beboerne flyttede eller lignende. For at minimere dette forventede tab af målinger blev det valgt, at deltagelse i undersøgelsen skulle foregå på frivillig basis, ved at beboerne selv tilmeldte sig undersøgelsen. For så vidt muligt at få dækket alle typer af boliger mht. størrelse, byggeår mv. blev der annonceret bredt efter deltagere via dobbeltsprogede skiltereklamer i TV, radio indslag samt annoncer i lokalblade og opslag på byernes opslagstavler.

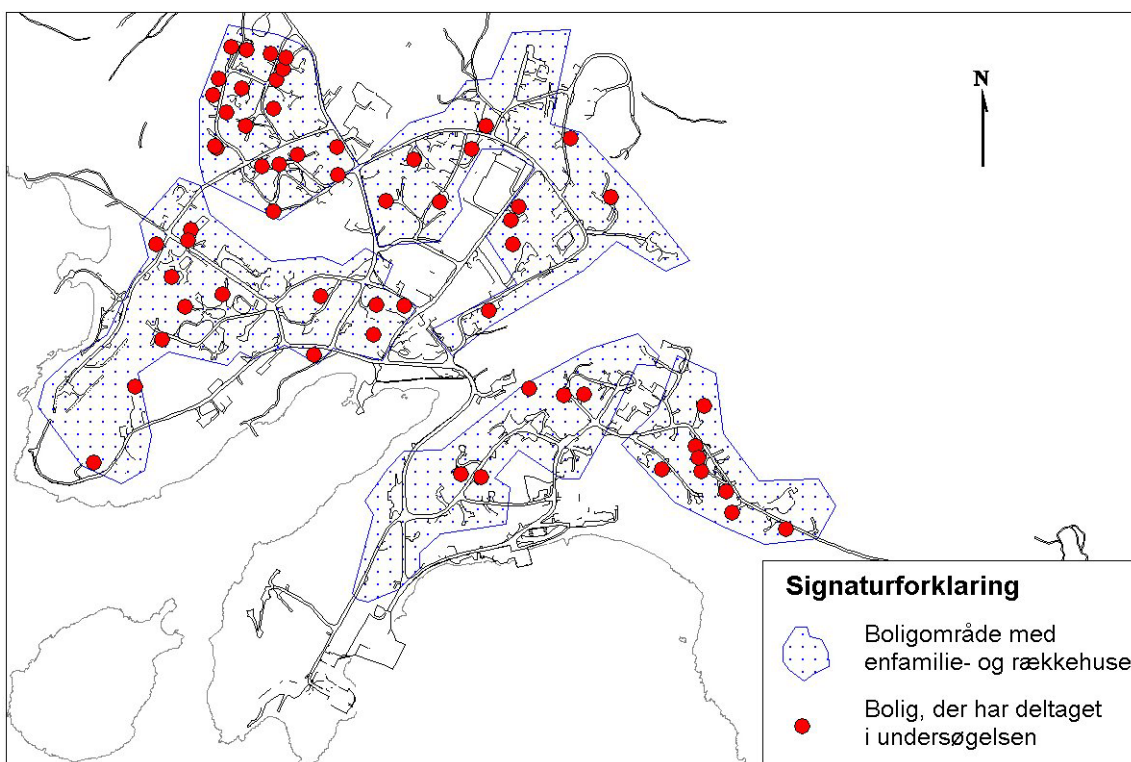
De indkomne tilmeldinger blev gennemgået mht. nøgleoplysninger for boligen og den geografiske fordeling indenfor hver by. Figur 5.1 - Figur 5.3 viser placeringen af de deltagende boliger i de tre byer. Alle boligområder med en-familie og rækkehuse er repræsenteret, og deltagerne er rimeligt fordelt i og mellem boligområderne.

For yderligere at nedsætte tabet af målinger og for at sikre fuld kontrol over måleperiodens længde blev måleapparaterne opsat og nedtaget af personale tilknyttet projektet. I Tabel 5.3 er vist antal opsatte og efterfølgende indsamlede måleapparater (dosimetre). Det ses, at der er opnået

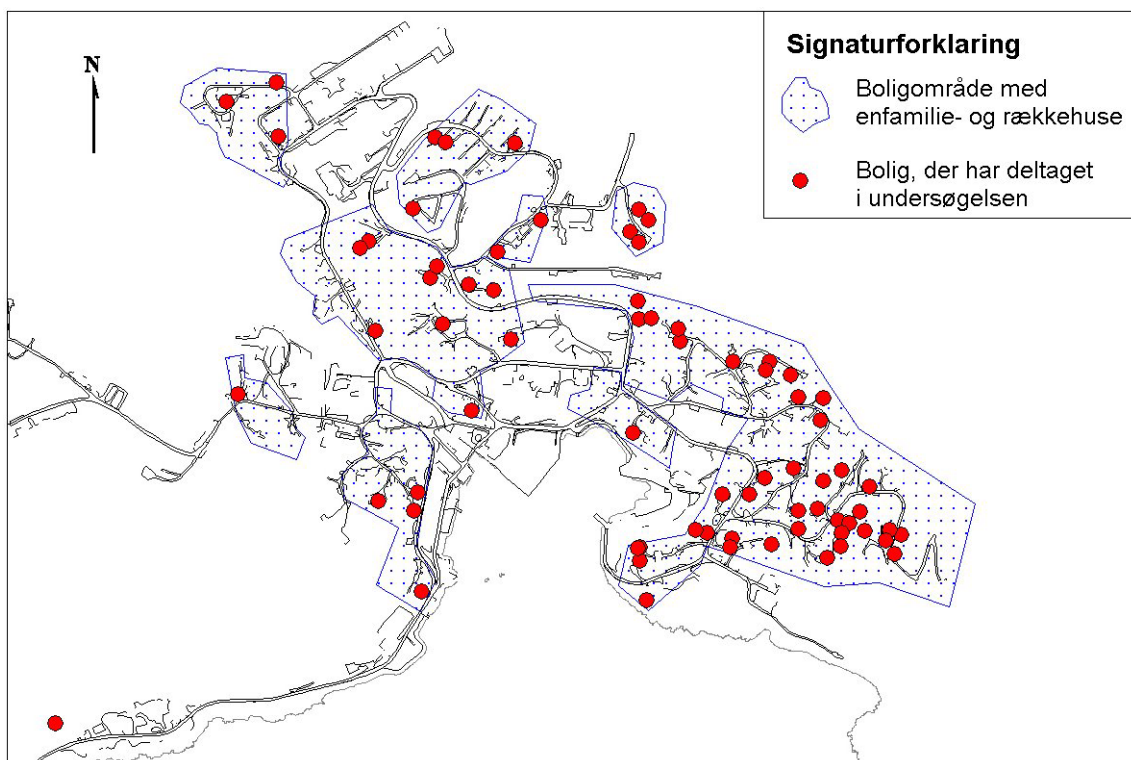
resultater fra 96% af de opsatte dosimetre, hvilket anses for en god gennemførselsprocent.

Ud over målingerne indeni boligerne er der foretaget målinger i få udvalgte krybekældre i hver by. I krybekældrene er der målt radonniveau og luftskifte. Disse målinger er gennemført i forventning om, at der i visse krybekældre kunne ske en ophobning af radondampe med videre spredning til overliggende bygninger til følge. Ophobningen forventes at ske i det tilfælde, hvor luftskiftet i kælderen er lavt. Krybekælderen vil i sådan tilfælde kunne betragtes som en lukket boks. Målingerne vil i givet fald kunne anvendes til en vurdering af ”afdampningspotentialet” fra undergrunden henholdsvis grundfjeldet og løsjord.

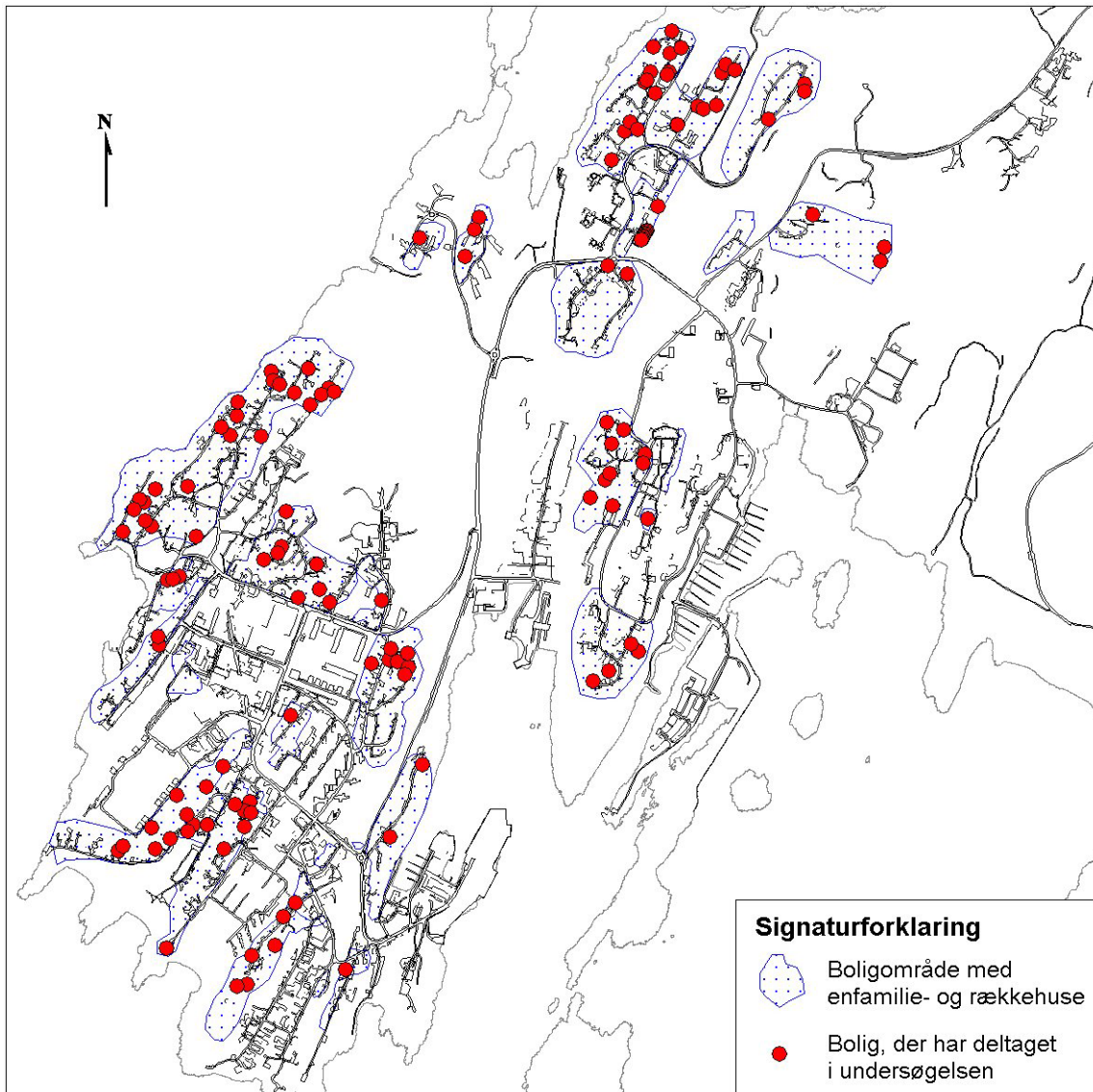
Udvælgelsen af krybekældre med et forventet lavt luftskifte er foretaget på baggrund af en subjektiv vurdering af prøvetager. Endvidere var det en forudsætning for udvælgelsen, at krybekælderen var udført uden gulv, dvs. med direkte adgang til grundfjeld eller løsjord, og endelig blev der så vidt muligt valgt kældre bestående af ét rum uden adgang til andre kælderrum. Der er foretaget målinger i 15 krybekældre.



Figur 5.1 Kort over Narsaq, 1:15000. Vejnet og kystlinie er vist. Af hensyn til en rimelig anonymisering af de deltagende boliger er bygninger ikke vist.



Figur 5.2 Kort over Qaqortoq, 1:15000. Vejnet og kystlinie er vist. Af hensyn til en rimelig anonymisering af de deltagende boliger er bygninger ikke vist.



Figur 5.3 Kort over Nuuk, 1:25000. Vejnet og kystlinie er vist. Af hensyn til en rimelig anonymisering af de deltagende boliger er bygninger ikke vist.

## 6 Undersøgelsens metode

### 6.1 Måling af radonniveau

Målingerne af radonniveauet er foretaget ved hjælp af radondosimetre fra firmaet Gammadata Mätteknik<sup>1</sup>. Radondosimetret er et passivt måleapparat, der måler den totale påvirkning med alfa-stråling i måleperioden. Heraf kan det gennemsnitlige radonniveau bestemmes.

Radondosimetret består af en plastik-kapsel, der indeholder et stykke sporfilm (en speciel slags plastic), som er følsom overfor alfa stråling, se Figur 6.1. Hvis sporfilmen rammes af stråling afsættes et mikroskopisk mærke. Efter måleperiodens afslutning sendes dosimetret til analyse på et laboratorium. Den eksponerede sporfilm udsættes for en ætsning, som gør mærkerne efter strålingen større. Herefter tælles antallet af spor i et mikroskop ved hjælp af et billedbehandlingsprogram. Jo flere spor, jo højere har radonniveauet været. Antallet af spor omregnes til radonniveau i Bq/m<sup>3</sup> ud fra en kalibreringsligning. Herved korrigeres der bl.a. for dosimetrets alder; jo ældre dosimeter jo flere ”falske” spor ses på sporfilmen. Ud fra den kendte eksponeringstid, dvs. den tid som dosimetret har været opsat i boligen, kan det gennemsnitlige radonniveau findes (Gammadata, 2004).

I hver af de deltagende boliger er der foretaget målinger i to rum. Da det i andre undersøgelser er fundet, at radonniveauet aftager jo højere oppe i en bygning der måles, er der så vidt muligt målt i anvendte rum i stueetage og kælder. Her er der så vidt muligt valgt rum, som beboerne forventes at opholde sig i en stor del af tiden, f.eks. soveværelse og stue.

<sup>1</sup> Gammadata Mätteknik AB, P.O.Box 15120, Vallongatan 1, SE-750 15 Uppsala, Sverige. [www.gammadata.se](http://www.gammadata.se).



Figur 6.1 Dosimeter til måling af radonniveau. Dosimeteret er åbnet så sporfilmen kan ses.

Ved opsætning af dosimetrene blev leverandørens anvisninger fulgt. Dosimetret blev placeret så det kunne forventes, at radonniveauet ved dosimetret var repræsentativt for rummet. Det vil blandt andet sige, at dosimetrene ikke blev placeret nær udtrækskanaler eller vinduer, hvor der strømmer luft udefra ind i lokalet. Endvidere blev dosimetrene placeret væk fra radiatorer og andre varmekilder, hvor der kan forventes forøget cirkulation af luften.

### 6.2 Måling af luftskifte

Luftskiftet er målt i 15 krybekældre ved hjælp af en sporgasmetode. I lokalet ophænges en kilde, som langsomt afgiver en gas (perflourdimethylcyclohexan, PDCH). Hastigheden hvormed gassen afgives er kendt. I rummet ophænges også fire adsorptionsrør. Dette er små glasrør, som indeholder et materiale, som sprogassen bindes til. Glasrørene sendes til analyse på et laboratorium, hvor mængden af sporgas i glasrørene bestemmes. Ved opvarmning afgives den sporgas som er opsamlet i glasrøret, og mængden analyseres ved gaschromatografi. Jo større sprogasmængde i glasrørene, jo mindre har luftskiftet været, dvs. jo mindre frisk luft (uden indhold af sporgas) er der kommet ind i lokalet. Luftskiftet udtrykker, hvor mange gange

---

luften i lokalet er udskiftet per time. Udstyr og analyser blev leveret af Statens Byggeforskningsinstitut<sup>2</sup>.

### 6.3 Registrering af oplysninger om de deltagende boliger

I forbindelse med opsætningen af måleapparaterne er alle boliger besøgt af en projektmedarbejder, som har registreret relevante oplysninger om boligen og den omgivende geologi. I bilag A er det anvendte registreringsskema vist.

De registrerede oplysninger omfatter oplysninger, som kan have betydning for radonniveauet i boligen, se afsnit 3. Disse oplysninger danner grundlag for den udførte dataanalyse, se afsnit 7 og 8.

De primære oplysninger er:

#### Oplysninger om undergrunden

- Er boligen funderet på fjeld eller løsjord
- Hvilken type fjeld findes ved boligen

#### Oplysninger om byggetekniske detaljer

- Funderingen af boligen (pæle, terrændæk, krybekælder, fuld kælder)
- Materiale valg (træbeklædning, betonavægge/-gulv, tagbelægning)
- Ventilation (ventilationskanaler, ventilationsanlæg)
- Husets størrelse (grundareal, antal etager)
- Husets type (fritliggende hus, rækkehus)

#### Oplysninger om beboernes vaner

- Udluftningsvaner (anvendelse af ventilationskanaler, ventilationsanlæg, udluftning via vinduer og lign.).
- Temperaturen i boligen, varmekonsum/udgifter.

---

<sup>2</sup> Statens Byggeforskningsinstitut, Postbox 119, Dr. Neergaards Vej15, 2970 Hørsholm, Danmark.  
[www.byogbyg.dk](http://www.byogbyg.dk)



## 7 Overordnede resultater

### 7.1 Resume af radonmålinger

Der er som beskrevet i afsnit 5 udført to parallelle måleserier, en sommermåling og en helårsmåling. Der blev opsat to dosimetre i to opholdsrum i 262 grønlandske boliger i maj måned 2003. Det ene dosimeter blev nedtaget i november 2003. Aflæsningen af dette dosimeter repræsenterer sommer-middelkoncentration. Det andet dosimeter blev nedtaget i maj 2004. Aflæsningen af dette er derfor et udtryk for middel koncentration i gennem et helt år, års-middel-koncentrationen.

Resultaterne af helårsmålingerne og sommermålingerne er resumeret i Tabel 7.1.

I tre beboelser var det ikke muligt at genfinde nogle af de opsatte dosimetre.

I to boliger manglede et dosimeter i henholdsvis det ene og i begge rum ved nedtagningen af sommerdosimeterne. De tilbageværende dosimetre blev her ikke nedtaget, men prioriteret til helårsmålingen. For sommermålingen er der derfor aflæst 515 dosimetre fordelt på lige så mange rum og 258 boliger.

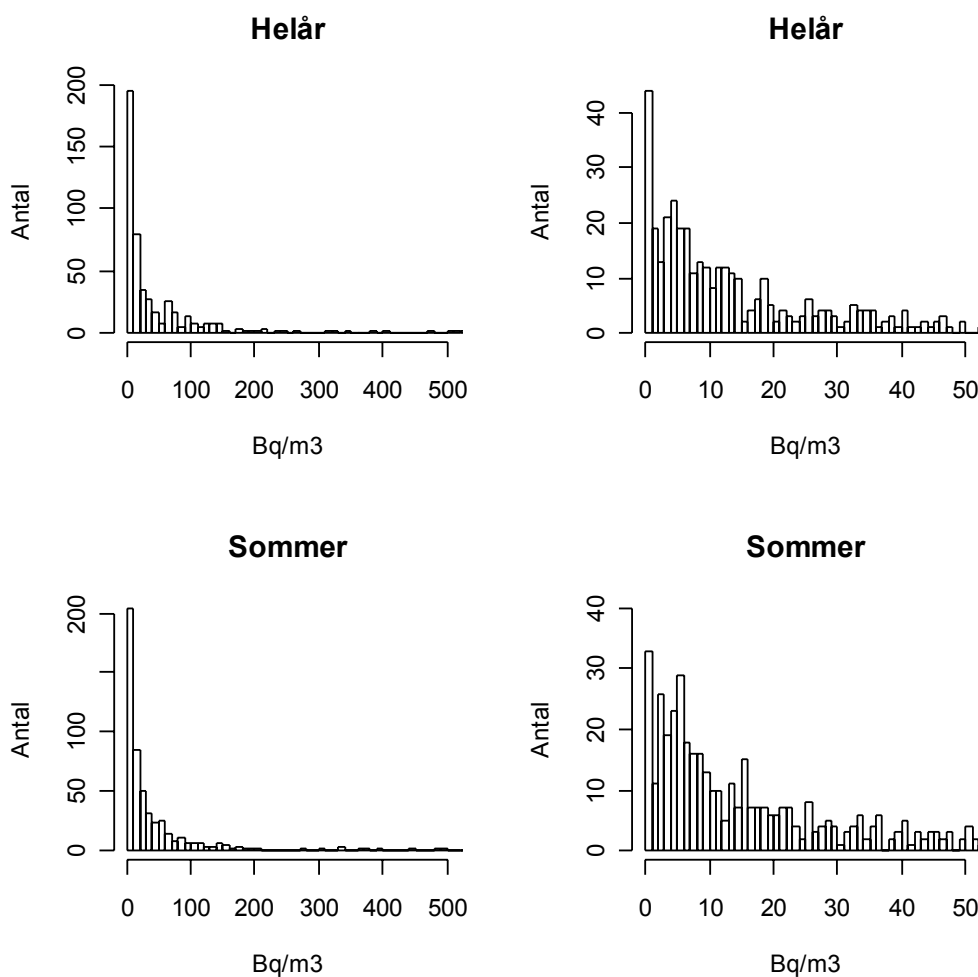
Ved indsamlingen i maj 2004 manglede begge de tilbageværende dosimetre i yderligere otte boliger. I seks boliger manglede et af de opsatte dosimetre. To dosimetre var på uhensigtsmæssig vis blevet flyttet, og aflæsningen kan derfor ikke antages at være repræsentative for radonkoncentrationen. Endelig har det for et enkelt dosimeter ikke været muligt at estimere usikkerheden. Der er derfor aflæst 493 dosimetre fordelt på lige så mange rum og 252 boliger.

Tabel 7.1 resumerer resultaterne af disse målinger. Det fremgår af tabellen at der er store forskelle på median og middelværdier for såvel sommer som helårsmålingerne. Fordelingen af resultaterne for de to måleserier er såkaldte skæve fordelinger med en hale af høje værdier, der trækker middelværdierne op i forhold til medianerne (Figur 7.1).

Henholdsvis 19 og 22 af helårs- og sommermålingerne gav anledning til radonkoncentrationer under detektionsgrænsen. Disse er medregnet med værdien 0 i Tabel 7.1 og bidrager til de relativt mange radonkoncentrationer fra 0 til 1,0 Bq/m<sup>3</sup> i Figur 7.1.

Tabel 7.1 Resume af resultater af helårs og sommermålinger i grønlandske boliger. 1.kvartil, median og 3.kvartil angiver henholdsvis de radonkoncentrationer hvor 25, 50 eller 75 procent af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi. Værdien for  $f_{200}$  angiver den procentdel af målingerne, der er højere end det i Skandinavien anvendte aktionsniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup>.

	Middelværdi Bq/m <sup>3</sup>	1. kvartil Bq/m <sup>3</sup>	Median Bq/m <sup>3</sup>	3. kvartil Bq/m <sup>3</sup>	$f_{200}$ %	Højeste målte værdi Bq/m <sup>3</sup>	N antal
Helårs måling	59,1	5,1	14,9	62,7	5,9	1532	493
Sommer måling	45,0	5,5	15,9	45,8	3,3	1029	515



Figur 7.1 Fordelingerne af radonkoncentrationer for henholdsvis helårs- og sommermålinger. Værdier over 500 Bq/m<sup>3</sup> er udeladt af hensyn til opløsningen i histogrammerne i venstre kolonne. Histogrammerne i højre kolonne viser koncentrationsintervallet 0-50 Bq/m<sup>3</sup> i en bedre opløsning og detaljering.

Der er pt. ikke fastsat noget aktionsniveau for radon i grønlandske boliger. I de Skandinaviske lande anvendes et aktions-niveau på 200 Bq/m<sup>3</sup> (se afsnit 2). I Tabel 7.1 er angivet den procentvise andel af de observerede radonkoncentrationer, der overskrider dette aktionsniveau ( $f_{200}$ ). Denne andel er på 5,9 procent for helårsmålingerne. Til sammenligning er resultater fra undersøgelser gennemført i de nordiske lande summeret i Tabel 7.2. Det ses at  $f_{200}$  for nærværende undersøgelse i grønlandske boliger ligger lidt højere end i Danmark, lidt lavere end i Norge og væsentlig lavere end i Sverige og Finland.

Tilsvarende er det højeste målte radonniveau målt i denne undersøgelse af samme størrelsesorden som i Danmark, men meget lavere end de højeste niveauer set i Norge, Sverige og Finland.

Som der senere skal redegøres for, er der betydelige forskelle på radonkoncentrationerne i de tre grønlandske byer, der indgår i nærværende undersøgelse. De store regionale forskelle på Grønland betyder, at de summerede fordelinger og frekvenser i Tabel 7.1 ikke kan antages at være repræsentative for generelle grønlandske forhold.

Tabel 7.2 Helårsværdier for radonniveauet i boliger i de nordiske lande. Værdien for  $f_{200}$  angiver den procentdel af boligerne, hvor radonniveauet overstiger  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Kilder: Åkerblom et al. (2000), Andersen et al. (2001)

Land	Boligtype	Målinger i boliger		Middelværdi $\text{Bq/m}^3$	$f_{200}$ %	Højeste målte værdi $\text{Bq/m}^3$
		Antal	% af boligmassen			
Finland	Lejlighed	903	0,09	82	1,8	6600
	Enfamiliehus	2171	0,18	145	18	33000
Sverige	Lejlighed	646	0,031	75	7,2	
	Enfamiliehus	714	0,038	141	13,1	84000
Danmark	Lejlighed	148	0,01	19	0	110
	Enfamiliehus	3019	0,27	77	4,6	1200
Norge	Lejlighed	944	0,38	41	2	4000
	Enfamiliehus	6581	0,41	80	7,8	65000
Island	-	18	-	-	-	26

## 7.2 Forhold imellem sommer og helårs koncentrationer af radon

Af Tabel 7.1 fremgår at 3. kvartil er højere for helårsmålingerne end for sommermålingerne, svarende til at radonkoncentrationerne i den høje ende af fordelingerne tendere til at være højere for helårsmålingerne. Dette er endog meget tydeligt i Figur 7.2 øverst, hvor helårskoncentrationerne er plottet mod sommerkoncentrationerne for de enkelte beboelses rum. Den indtegnede linje refererer til nulhypotesen, at radonkoncentrationen er ens for sommer og helårsmålinger. Såfremt sommer-koncentrationer og helårskoncentrationer var ens, skulle det forventes, at punkterne var spredt symmetrisk omkring denne linje. Dette er dog ikke tilfældet, idet punkterne tydeligvis er forskudt imod højere helårs-koncentrationer.

Høje helårskoncentrationer (års-middel-koncentrationer) i forhold til sommerkoncentrationer (sommer-middel-koncentrationer) kan kun forklares ved høje vinterkoncentrationer (vinter-middel-koncentrationer). Vinterhalvåret synes altså at give anledning til en større radonkoncentration i de undersøgte boliger end sommerhalvåret, når årsmiddelkoncentrationen er høj. Lignende iagttagelser er gjort i undersøgelser af

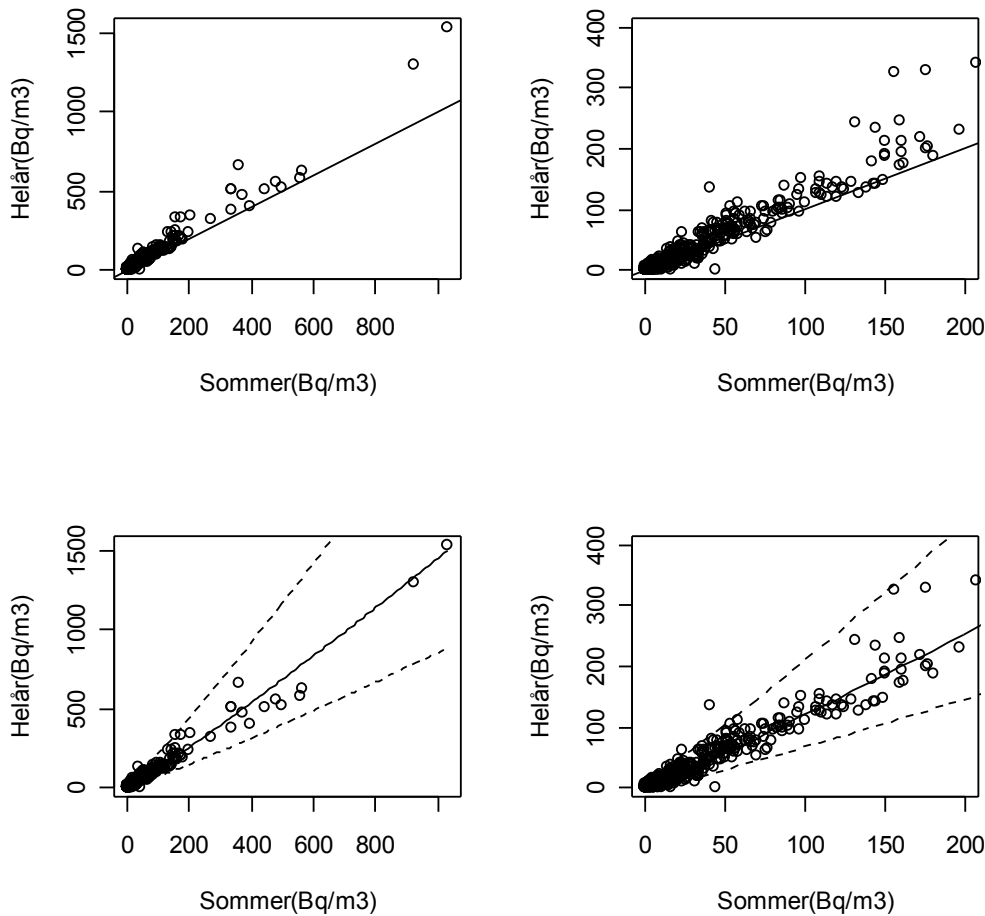
radonkoncentrationer i norske boliger (Statens Strålevern, 1998a).

Et af formålene med nærværende projekt har været at undersøge om helårskoncentrationer (års-middel-koncentrationer) kan estimeres på grundlag af sommerhalvårsmålinger (sommer-middel-koncentrationer). En sådan mulighed kan være ønskelig for om muligt at afvikle fremtidige radonundersøgelser over en kortere periode.

Som det fremgår af Figur 7.2 er der tydeligvis en god lineær relation imellem disse, så det er oplagt at forsøge at gennemføre en lineær regression med sommerkoncentrationen som klasse og helårskoncentrationen som respons. En sådan regression kræver imidlertid at forskellen mellem beregnede og estimerede værdier, de såkaldte residualer, er normalfordelte samt konstante og uafhængige af de estimerede værdier. Heraf er de sidste to forudsætninger de vigtigste.

Det er derfor et væsentligt estimerings problem, at spredningen vokser med voksende radonkoncentrationer (se Figur 7.2). Der er blevet gjort forskellige forsøg, både med at transformere sommer og helårskoncentrationer og med at modellere en spredning eller variansfunktion, uden at en ideel løsning er opnået.





Figur 7.2 **Øverst.** Plot af helårs-koncentrationer versus sommer-koncentrationer i de undersøgte beboelses rum. De to plot viser henholdsvis alle målinger og målingerne indenfor et snævrere interval svarende til mere end 95 % af observationerne. Linjen angiver forventningen  $\text{helårskoncentration} = \text{sommerkoncentration}$ . **Nederst.** Samme som ovenstående, blot angiver den fuldt optrukne linje den estimerede regressionsmodel og de stiplede linier approksimative 95 % konfidensgrænser ved anvendelse af regressionsmodellen til fremtidige beregninger af helårskoncentrationer på baggrund af sommermålinger.

Den bedste løsning synes at være at transformere såvel sommer som helårskoncentrationer, før der udføres en lineær regression. Ved at transformere såvel sommer som helårskoncentrationer ved hjælp af funktionen givet i Ligning 7.1 opnås en udglatning af variansen af residualerne, samtidig med at lineariteten imellem de transformerede sommer og helårskoncentrationer bevares (Se Bilag B for yderligere detaljer). Dog er forudsætningen vedrørende normalfordeling af residualerne kun tilnærmet og altså ikke formelt opfyldt. Der er dog

præcedens for at slække på denne betingelse (Faraway, J. J., 2002).

$$h(x) = \log(x + 11)$$

Ligning 7.1 Udtryk brugt til transformation af sommer og helårskoncentrationer.

Ved den lineære regression bestemmes regressions parametrene  $a$  og  $b$  og residualerne  $\varepsilon$ , hvor sammenhængen for den  $i$ 'de observation er givet i Ligning 7.2.

$$h(y_i) = a \cdot h(x_i) + b + \varepsilon_i$$

Ligning 7.2 Regressionsudtryk for observation 'i'.

De estimerede regressions parametre og standardafvigelse for residualerne er angivet i Tabel 7.3. Konfidensgrænser og standardafvigelser er korrigeret for korrelation imellem parvist målte radonkoncentrationer i de undersøgte boliger efter samme metode som angivet og uddybet i beskrivelsen af faktoranalysen i afsnit 8.2. Helårskoncentrationen (y) kan herefter estimeres for en givet målt sommerkoncentration (x) ved beregningsudtrykket (tilbage transformation) i Ligning 7.3. Der kan samtidig estimeres approksimative nedre og øvre konfidensgrænser ved beregningsudtrykkene (tilbage transformationerne) givet i Ligning 7.4.

De estimerede helårskoncentrationer og approksimative øvre og nedre konfidensgrænser er angivet ved henholdsvis den fuldt

optrukne og de punkterede linier sammen med de observerede sommer og helårskoncentrationer i de to nederste plot i Figur 7.2. Når det understreges at konfidensgrænserne er approksimative, er det på grund af den ikke helt opfyldte forudsætning om normalfordelte residualer.

$$y = (x + 11)^{1,09} \cdot e^{-0,24} - 11$$

Ligning 7.3 Udtryk til beregning af helårskoncentration(y) ud fra sommerkoncentration(x) fundet ved regressionsanalyse.

$$y_{nedre} = (x + 11)^{1,09} \cdot e^{-0,95} - 11$$

$$y_{øvre} = (x + 11)^{1,09} \cdot e^{0,45} - 11$$

Ligning 7.4 Nedre og øvre konfidensgrænser for beregningsudtrykket givet i Ligning 7.3.

Tabel 7.3 Estimerede regressions parametre, standardafvigelse for residualerne samt nedre og øvre konfidensgrænser for regressions parametrene. \*\*\*\* angiver signifikansniveauet  $p < 0,0001$  for regressions parametrene.

	<b>Regressor a</b>	<b>Regressor b</b>	<b>Standardafv. residualer <math>\varepsilon</math></b>
<b>Estimat</b>	1,09 ****	-0,24****	0,36
<b>Nedre konfidensgrænse</b>	1,05	-0,37	
<b>Øvre konfidensgrænse</b>	1,12	-0,11	

### 7.3 Resultater af målinger i krybekældre

Luftskiftet i de undersøgte krybekældre var relativt højt i forhold til forventningerne. Luftskiftet i en dansk bolig er typisk af størrelsesordenen 0,2 – 2 gange i timen, mens det målte luftskifte i de undersøgte krybekældre varierede fra ca. 1,1 til 6,5 gange i timen, med en middel værdi på ca. 2,8 gange i timen, se Tabel 7.4.

På baggrund af de målte høje værdier for luftskifte blev det vurderet, at de udvalgte krybekældre ikke som antaget kunne betragtes som ”lukkede kasser” (se afsnit 5). For ikke at foretage en fejltolkning af bidraget fra undergrunden er der derfor ikke foretaget yderligere bearbejdning af resultaterne fra luftskiftemålingerne.

Tabel 7.4 Resultater af målinger af luftskifte i 15 krybekældre.

Krybekælder nr.	by	Areal af kælderrum, m <sup>2</sup>	Gennemsnitlig højde i kælderrum, m	Luftskifte, h <sup>-1</sup>	Standard afvigelse, %
1	Qaqortoq	32	1,1	1,7	19
2	Qaqortoq	44	1,0	3,0	21
3	Qaqortoq	12	0,8	6,0	20
4	Qaqortoq	40	1,5	2,8	37
5	Qaqortoq	108	1,8	1,1	17
6	Narsaq	116	0,9	1,9	16
7	Narsaq	12	0,8	4,3	20
8	Narsaq	42	0,8	3,0	22
9	Narsaq	32	1,9	2,3	16
10	Nuuk	46	2,0	1,6	18
11	Nuuk	45	1,4	1,9	27
12	Nuuk	95	2,4	1,4	18
13	Nuuk	73	1,5	1,6	26
14	Nuuk	47	0,8	6,5	15
15	Nuuk	113	1,6	1,5	15

---

## 8 Faktoranalyse af radonmålinger

Der er i det følgende udført en analyse af forskellige faktoreres indflydelse på radon-niveauet i de undersøgte grønlandske boliger. Faktorerne er undersøgt i en generel lineær regressionsmodel.

I afsnit 8.1 gives en oversigt over de undersøgte faktorer. Den anvendte metode, model og de statistiske forudsætninger for anvendelsen af modellen er beskrevet i afsnit 8.2 og Bilag C. Dette mere tekniske afsnit kan springes helt eller delvist over, såfremt det ikke har læserens interesse.

Den resulterende regressionsmodel, der er fundet bedst til at forklare de observerede radonkoncentrationer, introduceres og beskrives i afsnit 8.3. De udvalgte faktorer, som indgår i den endelige regressionsmodel, gennemgås enkeltvis og kommenteres med udgangspunkt i en faktoranalyse i afsnit 8.4. Undersøgte faktorer, som ikke indgår i den endelige regressionsmodel, er gennemgået i Bilag D.

På baggrund af regressionsmodellen kan et beregnet radonniveau findes for hver af de undersøgte boliger. Forskellen mellem det beregnede og det målte niveau betegnes residualen. En analyse af den geografiske fordeling af disse residualer fra regressionsmodellen beskrives i afsnit 8.5.

Der er ingen principiel forskel i de analyseprocedurer, der fører til regressionsmodellen præsenteret i afsnit 8.3 og faktoranalysen præsenteret i afsnit 8.4. For at understrege denne sammenhæng foretrækkes betegnelsen faktormodel frem for regressionsmodel.

### 8.1 De undersøgte faktorer

Fra tidligere undersøgelser udført i blandt andet Danmark, Sverige og Norge (Andersen et al., 2001, Strand et al., 2001) er det kendt

eller er der mistanke til, at mange forskellige bolig- og bygningsfaktorer har betydning for radonkoncentrationen i boligen. På dette grundlag blev det tilsvarende valgt at undersøge betydningen af en lang række bolig- og bygningsfaktorer i nærværende undersøgelse. Formålet hermed er at udpege de faktorer, der har væsentlig betydning for radonkoncentrationen i grønlandske boliger.

Det skal her indskydes, at der af forståelsesmæssige grunde skelnes imellem faktorer og klasser. En faktor er underopdelt i et sæt af klasser. Eksempelvis består faktoren ”By” af klasserne ”Nuuk”, ”Narsaq” og ”Qarqortoq”. Ved faktoranalysen vælges en af klasserne som reference og de øvrige klassers radonmæssige betydning for denne faktor måles i forhold til referencen.

Samtidig med opsætningen af dosimetrene blev det oprindelige sæt af faktorer og herunder klasser registreret (se Bilag A). Der er herefter foretaget en bearbejdning af dette oprindelige sæt af faktorer og klasser inden gennemførelsen af faktoranalysen.

De endeligt analyserede faktorer er vist i Tabel 8.1. Der er i tabellen angivet et kort navn eller notation for de enkelte klasser, der af praktiske grunde anvendes på figurer m.v. eller angives i teksten i parentes med henblik på at opnå gennemskuelighed og klarhed.

For nogle faktorer er der foretaget en sammenlægning af klasser, fordi der er registreret et meget lille antal boliger med en eller flere af de pågældende klasser. Sådanne sammenlægninger er kun foretaget, såfremt det med rimelighed kunne antages, at den funktionelle forskel imellem klasserne er lille. Et eksempel herpå er de oprindelige klasser ”kælder” og ”delvis kælder” for faktoren kælderforhold. Der blev kun registreret et lille antal boliger med delvis kælder, og i de

---

tilfælde var den delvise kælder tæt på at udgøre en hel kælder. De to oprindeligt registrerede klasser er i dette tilfælde lagt sammen til klassen "Hel/delvis kælder", der altså betydningsmæssigt dækker både hel og delvis kælder. I modsætning hertil er den oprindelige klasse "Åben pælefundering" bevaret på trods af, at der kun er 10 boliger (20 observationer) af denne type. Dette skyldes, at det på forhånd blev vurderet, at der kunne være en afgørende større passiv ventilation under en bolig med åben pælefundering, end det er tilfældet for de øvrige boliger.

En række faktorer er oprindeligt registreret som numeriske variable og er først efterfølgende inddelt i et antal kategoriske variable eller klasser bestående af intervaller. Det gælder faktorerne "byggeår", "boligareal", "bebygget areal", "opvarmnings udgift", "gulvareal" og "loftshøjde". I hvert tilfælde er der indgået et kompromis imellem at opnå en lineær spredning imellem intervalgrænser og en ligelig fordeling af antallet af observationer i hvert interval.

I et enkelt tilfælde er en faktor helt udeladt fordi næsten alle boliger kun repræsenterer en klasse. Det er faktoren "tagbeklædning", hvor kun fire af de undersøgte boliger havde anden tagbeklædning end tagpap.

I nogle tilfælde er de analyserede faktorer en kombination af flere oprindelige faktorer. Dette er sket med henblik på at undgå en indbygget afhængighed imellem faktorerne (se afsnit 8.2). Af samme grund er det i andre tilfælde valgt at udelade en faktor af den generelle analyse, idet den ikke giver mening i den store generelle samling af undersøgte boliger. Et eksempel er "loftshøjde i krybekælder", der kun giver mening, såfremt der er en krybekælder. Denne type faktorer er ikke medtaget i Tabel 8.1.

Faktorerne er i Tabel 8.1 inddelt i forskellige kategorier. Af disse skal her fremhæves

undersøgelses faktorer og udluftningsvaner. Undersøgelsesfaktoren er alene medtaget for at belyse, om undersøgelsesmetoden i sig selv har bidraget til en øget variation i radonkoncentrationerne. Udluftningsvaner er adfærdsbestemt og beror på interview af beboerne og adskiller sig dermed fra de direkte konstaterbare boligforhold.

Tabel 8.1 Analyserede faktorer opdelt på kategorier. ”n” angiver antallet af undersøgte rum med den pågældende klasse.

Kategori	Faktorer	Klasser	Kort navn	n
Beliggenhed	By	Nuuk	Nuuk	245
		Narsaq	Narsaq	117
		Qarqortoq	Qarqortoq	131
Bygningsforhold	Hustype	Fritliggende hus	FH	303
		Rækkehus m. eget fundament	RH-AF	83
		Rækkehus m. fælles fundament	RH-FF	107
	Byggeår	Efter 1990	E90	166
		1980 til 1990	80-90	103
		1965 til 1979	65-79	109
		Før 1965	F65	115
	Kælderforhold	Krybekælder	KrbK	325
		Hel/delvis kælder	K	107
		Hel/delvis kælder + kældermåling	K+K	33
		Åben pælefundering	P	18
		Terrændæk	T	10
	Bebygget areal	Mere end 100 m <sup>2</sup>	>100	190
		50 til 100 m <sup>2</sup>	50-100	167
		Mindre end 50 m <sup>2</sup>	<50	161
	Boligareal	Mere end 110 m <sup>2</sup>	>110	172
		80 til 110 m <sup>2</sup>	80-110	220
		Mindre end 80 m <sup>2</sup>	<80	101
	Antal Etager	1	1	255
2 eller flere		2+	147	
2 eller flere + måling første etage		2+1	91	
Ydervægge	Let konstruktion	LY	420	
	Beton	BY	73	
Opvarmingskilde	Forbrænding (fyr/ovn)	FBV	305	
	El	EL	82	
	Fjernvarme	FJV	75	
Opvarmningsudgift	Mere end 10.000 kr./år	>10	242	
	6.000 til 10.000 kr./år	6-10	179	
	Mindre end 6.000 kr./år	<6	72	
Mekanisk ventilation	Ingen	-MV	366	
	Nogen	+MV	127	
Geologi	Fast klippe	FK	363	
	Løs jord	LJ	130	

(Fortsættes)

(Tabel 8.1 fortsat)

Kategori	Faktorer	Klasser	Kort navn	n	
Rumforhold	Rummets anvendelse	Soveværelse	SV	225	
		Stue	ST	185	
		Køkken/Køkken alrum	K	56	
		Andet	A	27	
	Gulvareal	Mere end 20 m <sup>2</sup>	>20	194	
		10 til 20 m <sup>2</sup>	10-20	207	
		Mindre end 10 m <sup>2</sup>	<10	92	
	Loftshøjde	Mere end 2,40 m	>240	273	
		2,20 til 2,40 m	220-240	141	
		Mindre en 2,20 m	<220	104	
	Gulvtype	Let konstruktion	LG	400	
		Beton	BG	91	
	Vægmaterialer	Let konstruktion	LV	394	
		Beton	BV	99	
Rumventilation (aftrækskanaler mv.)	Nogen	+RV	369		
	Ingen	-RV	124		
Udluftningsvaner	Sommer ventilation (ekskl. vinduer/døre)	Dagligt	SVD	231	
		Af og til	SVAT	105	
		Aldrig	-SV	157	
	Vinter ventilation (ekskl. vinduer/døre)	Dagligt	VVD	193	
		Af og til	VVAT	143	
		Aldrig	-VV	157	
	Sommer udluftning (vinduer/døre)	Dagligt	SUD	420	
		Af og til el. aldrig	-SU	73	
	Vinter udluftning (vinduer/døre)	Dagligt	VUD	257	
		Af og til el. aldrig	-VU	236	
	Undersøgelser faktorer	Dosimeterplacering	På skab	Skab	201
			I eller på reol	Reol	140
Hylde			Hylde	52	
På kommode			Kom	12	
Ledning på væg			Led	11	
Søm i væg			Søm	35	
Andet			And	29	

## 8.2 Metode, model og forudsætninger

Som det er vist i afsnit 7 er fordelingerne af de målte helårs og sommer-koncentrationer højreskæve med en lang hale af høje radonkoncentrationer. En sådan fordeling er vanskelig at arbejde videre med i en faktoranalyse. Der er derfor foretaget en transformation af radonkoncentrationerne. Det er valgt at anvende en logaritmisk transformation som vist i Ligning 8.1. Konstanten  $c$  er estimeret for såvel helårs som sommermålinger ved hjælp af softwarepakken MASS (<http://cran.r-project.org/package=VR>), (se Bilag C for yderligere detaljer).

$$z = \ln(y + c)$$

*Ligning 8.1 Logaritmisk transformation.  $z$  er den transformerede radonkoncentration,  $y$  er den målte radonkoncentration,  $C$  er en konstant.*

De mange måleresultater under detektionsgrænsen med en radonkoncentration på 0 udgør dog stadig et særligt problem. Rent måleteknisk opstår 0-værdierne fordi alle målinger korrigeres med en lille individuel baggrundsværdi stammende fra de anvendte sporfilm i dosimetrene. Er den estimerede baggrundsværdi større end aflæsningen på sporfilmene sættes målingens resultat til 0. Det er imidlertid valgt i faktoranalysen at tillade negative radonkoncentrationer. Herved undgås den stepvise start i den nedre ende af fordelingerne.

I faktoranalysen anvendes en generel lineær regressionsmodel (Weisberg, 1985). I modellen opfattes den transformerede radonkoncentration ( $z$ ) som en respons på et sæt af faktorer ( $x$ ), se Ligning 8.2. Residualerne ( $\varepsilon_i$ ) udgør den del af variationen, der ikke forklares af de anvendte faktorer.

$$z_i = x_1 + x_2 \dots + x_n + \varepsilon_i$$

*Ligning 8.2 Lineær regressionsmodel for den transformerede radonkoncentration ( $z$ ).  $x_1, x_2 \dots x_n$  er sættet af faktorer.  $\varepsilon_i$  er fejlen på estimatet af  $z_i$  (residualt)*

De transformerede radonkoncentrationer giver ikke nogen direkte fysisk mening. Det er derfor valgt at omregne de estimerede klasser, således at den prædikterede radonkoncentration udtrykkes direkte. Herved fås beregningsudtrykket i Ligning 8.3 for den prædikterede radonkoncentration, hvor  $R_0$  er radonkoncentrationen svarende til at alle reference klasserne er 1.

$$R = R_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \dots \cdot f_n - c$$

*Ligning 8.3 Udtryk til beregning af prædikteret radonniveau.  $R_0$  er radonkoncentrationen, når alle faktorer antager reference klassen.  $f_i$  er indeks for betydningen af klasserne indenfor faktor 'i' i forhold til faktorens reference klasse.  $c$  stammer fra transformationen af radonkoncentrationerne, se Ligning 8.1.*

Hver faktor er en vektor bestående af et antal klasser. Ved estimeringen af klassernes størrelse (relative betydning) fastsættes en af klasserne for hver af de faktorer, der indgår i modellen, til referenceværdi. Der er generelt anvendt den klasse, der repræsenterer de fleste observationer, som reference. For faktoren by er eksempelvis Nuuk reference og klassen "Narsaq" estimeres i forhold til "Nuuk".

Som allerede nævnt er der i hver bolig som hovedregel udført radonmålinger i to rum. Dog er én af målingerne af forskellige årsager annulleret i et mindre antal boliger. Korrelationen mellem resultater af målingerne indenfor den enkelt bolig kan estimeres ved beregning af en såkaldt intra-klasse korrelation (Fleiss, J. L., 1986). Beregningen giver et estimat for korrelation af målinger indenfor de undersøgte boliger på 0,90. Det har betydning for de variansestimater og teststatistikker, der indgår i faktoranalysen,



---

idet de parvist korrelerede måleresultater betyder at samplevariansen underestimeres i en faktoranalyse, der forudsætter et simpelt og tilfældigt sample design. Samplevarianserne er derfor korrigeret overfor det parvise design med den såkaldte design effekt forud for estimering af signifikansniveauer og konfidensgrænser (Wears, R.L., 2000).

Anvendelse af en generel lineær model forudsætter at:

- residualerne er normalfordelte med  $\mu=0$ .
- residualvariansen er konstant og uafhængig af  $z$
- residualerne er ukorrelerede (autokorrelation)

Transformationen af radonkoncentrationen foretages derfor ikke for at opnå en normalfordelt responsvariabel, men for at opnå at residualerne er normalfordelte og opfylder ovennævnte betingelser. Der er redegjort for de to første af ovennævnte tre betingelser i Bilag C.

Den sidste betingelse er ikke helt opfyldt, idet der er påvist en lille men signifikant rumlig korrelation imellem residualerne indenfor de tre undersøgte byområder. Der er med andre ord en geografisk betinget variation ud over den del af variationen, der er forklaret af de undersøgte bygningsmæssige faktorer. Geografisk variation på lille skala er tidligere påvist i tilsvarende undersøgelser i Norge (f.eks. Ruden et al., 2003). En sådan variation er meningsfuld, idet variationen i en række faktorer (af fysisk, klimatisk, geologisk eller anden natur), som ikke er medtaget i denne undersøgelse, men som kan tænkes at have indflydelse på radonkoncentrationen i boligen, ofte er geografisk betinget. Den rumlige korrelation kan derfor opfattes som en uafhængig indikation på, at de faktorer der indgår i faktormodellen effektivt ekstrahere en stor del af de bygningsmæssige forhold i boligen, der er væsentlige for radonkoncentrationen.

Det må dog erkendes at rumlig korrelation er en særlig form for autokorrelation og dermed i strid med betingelserne for at anvende en generel lineær model. Den rumlige korrelation betyder, at der (teoretisk) findes bedre estimater for de undersøgte faktorer. Det er imidlertid teknisk vanskeligt at indbygge denne form for korrelation i en generaliseret lineær model. De forbedringer af estimerterne, der evt. kan opnås, vurderes på baggrund af de trods alt svage korrelationer at være små. Den geografisk relaterede variation er beskrevet særskilt i afsnit 8.5.

Et af formålene med analysen er at udpege de faktorer blandt de undersøgte, der har indflydelse på radonkoncentrationen i grønlandske boliger. Det er imidlertid væsentligt at være opmærksom på, at de forskellige faktorer ikke nødvendigvis er stokastisk uafhængige. En faktors betydning i modellen kan således afhænge af om andre faktorer samtidig er indeholdt i modellen. I den præsenterede faktormodel (afsnit 8.3) er der i sådanne situationer medtaget den faktor, der forklarer den største andel af variationen i radonkoncentrationerne. Konstruktionen af væggene i et rum forklare eksempelvis en større del af variationen end konstruktionen af husets ydervægge og er derfor foretrukket i modellen. Dette skyldes afhængighed af de to faktorer, idet der indgår mindst én ydervæg i alle rum.

Det er så vidt muligt forsøgt at undgå afhængige faktorer. Det er eksempelvis kendt fra andre undersøgelser, at radonkoncentrationen er størst i den nederste etage og aftager opefter i de overliggende etager. Det har derfor været væsentligt at inddrage etagehøjden, hvor radonmålingen er foretaget, som en faktor. Samtidig er det kendt, at kældertypen og antallet af etager forventeligt er af betydning for det generelle radonniveau i boligen. Herved opstår et problem, idet vi kun kan udføre måling i en kælder, såfremt boligen har kældertypen "kælder". Ligeledes kan vi kun foretage en måling på første etage,

såfremt boligen har mere end én etage. De tre faktorer kan derfor ikke undersøges uafhængigt. Det er en uomgængelig svaghed i vores undersøgelsesdesign. Der er rådet bod herpå ved at reducere de tre faktorer til to. Det er gjort ved at underopdele klassen ”kælder”, der indgår i faktoren kældertype, i 1:de boliger hvor der er kælder og målingen er foretaget i kælderen (Kældertype=”K+K” i afsnit 8.3) og 2:de boliger med kælder, hvor målingen er foretaget i stuen eller på første etage (Kældertype=”K” i afsnit 8.3). Tilsvarende er klassen for to eller flere etager underopdelt i to klasser, der henholdsvis indbefatter de boliger, hvor målingen er foretaget på første etage (Antal etager= ”2+1” i afsnit 8.3) og de boliger med to eller flere etager, hvor målingen er foretaget i stueetagen eller i kælderen (Antal etager=”2+” i afsnit 8.3). De tre oprindelige faktorer er dermed reduceret til to for at undgå den iboende afhængighed.

Ovennævnte betragtninger er også en af de væsentlige grunde til, at det er valgt at bygge faktormodellen på individuelle rum-målinger frem for en såkaldt ”husværdi” eller et andet vægtet eller uvægtet gennemsnit, der repræsenterer boligens generelle radonniveau, sådan som det f.eks. er gjort i en stor landsdækkende undersøgelse i Danmark (Andersen et al., 2001). Korrelation kan dog ikke helt undgås i den forstand, at nogle kombinationer af faktorer vil forekomme hyppigere end andre. Det skyldes grundlæggende, at en undersøgelse som denne ikke kan designes balanceret, som det er tilfældet i et planlagt laboratorieforsøg.

Der skal endelig gøres opmærksom på, at en sådan form for kompleks analyse ikke nødvendigvis altid fører til ét enkelt facit (Faraway, 2002). Den præsenterede model synes dog robust, idet den er det enslydende resultat af flere forskellige udviklingsprocesser; henholdsvis trinvis opbygning, startende med en simpel model med en enkelt faktor, og trinvis reduktion af den mest komplekse model med alle faktorer (Faraway,

2002). Ved den trinvis opbygning henholdsvis reduktion er der i hvert trin anvendt et signifikanskriterium på  $p < 0,05$ , og der er henholdsvis beholdt den faktor, der forklarer den største andel af variationen i radonkoncentrationerne eller kasseret den faktor, der forklarer den mindste andel af variationen.

### 8.3 Faktormodel

I Figur 8.1 vises øverst en konceptuel præsentation af faktormodellen og nedenunder den aktuelt estimerede model indeholdende de enkelte og tilsvarende estimerede faktorer og radonindeks for hver klasse. Stjernemarkeringerne angiver signifikansniveauet for de enkelte klasser i forhold til referencen, der i hvert tilfælde er 1. C’et hidrører som tidligere omtalt fra transformationen af radonkoncentrationen (Ligning 8.1).

Der kan ved anvendelse af modellen opnås en beregnet minimal radonkoncentration på -0,65. Beregnede negative radonkoncentrationer bør naturligvis opfattes som nul.

Der er i Figur 8.1 vist to eksempler på, hvordan modellen kan anvendes til at beregne den forventede radonkoncentration i en given bolig.

Eksempel 1 er en bolig beliggende i Nuuk. Boligen er med fuld kælder, opført med to etager, indervægge helt eller delvist udført i beton og er bygget efter 1990 på fast klippe. Modellen giver en beregnet radonkoncentration i stueetagen på  $17,8 \text{ Bq/m}^3$ . Til sammenligning indgår der fem boliger og rum af denne type i undersøgelsen med radonkoncentrationer i intervallet fra  $13,3$  til  $25,3 \text{ Bq/m}^3$  og en middelværdi på  $17,7 \text{ Bq/m}^3$ .

Eksempel 2 er en bolig i Narsaq. Boligen er bygget på en åben pælefundering, med én etage, indervægge i let konstruktion og bygget i perioden fra 1980 til 1990 på løs jord. Modellen giver anledning til en beregnet radonkoncentration på  $22,1 \text{ Bq/m}^3$ . Der er

undersøgt to rum i én bolig af denne type, hvor der blev målt henholdsvis 24,3 og 31,4 Bq/m<sup>3</sup>.

Et sidste gennemregnet eksempel (ikke vist i Figur 8.1) for en bolig opført i Narsaq viser, at modellen skal anvendes med nogen forsigtighed. Dette eksempel er en bolig bygget efter 1990 med fuld kælder, på løs jord, én etage og let vægkonstruktion.

Modellen giver en beregningsmæssig radonkoncentration på 199 Bq/m<sup>3</sup>. Der er foretaget målinger i fem rum fordelt på 3 boliger af den pågældende boligtype, hvor der blev målt radonkoncentrationer fra 80,3 til 1533 Bq/m<sup>3</sup> med en middelværdi på 808 Bq/m<sup>3</sup>. Jo højere den beregnede radonkoncentration er, jo større spredning kan der forventes i de faktiske radonkoncentrationer.

	By	Kældertype	Vægkonstruktion indervægge	Byggeår	Antal etager	Løsjord	
R = R <sub>0</sub>	· $\begin{bmatrix} \text{Narsaq} \\ \text{Nuuk (ref)} \\ \text{Qarqartoq} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} \text{T} \\ \text{KrbK (ref)} \\ \text{P} \\ \text{K} \\ \text{K+K} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} \text{LV(ref)} \\ \text{BV} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} \text{80-89} \\ \text{E90 (ref)} \\ \text{65-79} \\ \text{F65} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} \text{2+} \\ \text{1 (ref)} \\ \text{2+.2} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} \text{FK (ref)} \\ \text{LJ} \end{bmatrix}$	- c
R = 7,558 Bq/m <sup>3</sup>	· $\begin{bmatrix} 13,82^{****} \\ 1 \\ 4,46^{****} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} 2,01 \\ 1 \\ 0,30^{****} \\ 1,50^{**} \\ 1,92^* \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} 1 \\ 2,37^{****} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} 0,59^{**} \\ 1 \\ 0,77 \\ 0,75 \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} 0,72^* \\ 1 \\ 0,67^{**} \end{bmatrix}$	· $\begin{bmatrix} 1 \\ 1,28 \end{bmatrix}$	-1,55
<b>Eksempel 1:</b>							
Hustype:	Nuuk	K	BV	E90	2+	FK	
17,8 Bq/m <sup>3</sup> = 7,558 Bq/m <sup>3</sup> · 1	· 1	· 1,50	· 2,37	· 1	· 0,72	· 1	· -1,55
<b>Eksempel 2:</b>							
Hustype:	Narsaq	P	LV	F65	1	LJ	
22,1 Bq/m <sup>3</sup> = 7,558 Bq/m <sup>3</sup> · 13,82	· 13,82	· 0,30	· 1	· 0,59	· 1	· 1,28	· -1,55

Figur 8.1 Faktormodel for radonkoncentrationen i grønlandske boliger. Den konceptuelle model, de indgående faktorer og de enkelte klasser vises øverst, mens den nederste beregningsalgoritme viser den estimerede model bestående af de tilsvarende estimerede numeriske faktorer og klasser. Bemærk at korrektionsfaktoren c hidrørende fra transformationen af radonkoncentrationerne indgår med et negativt bidrag i modellen. Stjernerne angiver signifikansniveauet for de enkelte klasser i forhold til referencen, der i den præsenterede tilbage beregnede version er 1 (\*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* angiver henholdsvis signifikansniveauerne  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  og  $p < 0,05$ ).

---

Et andet vigtigt forbehold ved brug af faktormodellen er, at de seks faktorer, der indgår i modellen, giver anledning til i alt 720 forskellige boligtyper. Det er imidlertid kun 131 af disse, der faktisk er repræsenteret i undersøgelsen, og da modellen i alt kun er baseret på 493 radonmålinger er en del af disse boligtyper yderligere kun repræsenteret ved en enkelt eller nogle få målinger. Det betyder at modellen skal anvendes med stor forsigtighed og forbehold til beregning af de faktisk forventede radonkoncentrationer i en given bolig.

Modellen kan bruges vejledende til at sætte fokus på bygningsmæssige og beliggenhedsmæssige faktorer, der er kritiske for radonkoncentrationerne. Ovenstående gennemregnede eksempel fra Narsaq peger på, at det bør overvejes at iagttage bygningsmæssige faktorer i Narsaq, der er af betydning for radonkoncentrationen i boligen, og at der eksempelvis i nogle boliger opført efter 1990 findes særdeles høje radonkoncentrationer. Årsagen til det sidste forhold bør granskes. Eksemplet viser også at spredningen bør iagttages ved høje beregnede radonkoncentrationer. En beregnet forventet radonkoncentration i nærheden af  $200 \text{ Bq/m}^3$ , betyder at en del boliger vil have kritisk høje radonkoncentrationer. Der er i Tabel 8.2 angivet øvre og nedre grænser i 95 % konfidensintervallerne for  $R_0$  og de estimerede klasser.

Flere af konfidensintervallerne er overlappende, hvilket betyder at klasserne for den pågældende faktor indbyrdes ikke er signifikant forskellige. Eksempelvis ses det, at der ikke er signifikant forskel på, om målingen er foretaget i et kælderrum eller et andet sted i huset ("Hel/delvis kælder" overlapper "hel/delvis kælder + kælder-måling"). Tilsvarende ses det, at der ikke er signifikant forskel på, om målingen er foretaget på første etage eller et andet sted i huset ("2 eller flere" overlapper "2 eller flere+måling første etage"). Det skal dog også

bemærkes, at der ikke er nogen entydig sammenhæng imellem en faktors eller klassens signifikansniveau og faktoren eller klassens estimerede betydning for radonniveauet. Eksempelvis er klassen "terrændæk" ikke signifikant i forhold til reference klassen, hvilket er tilfældet for de øvrige klasser tilhørende faktoren "kælderforhold". Men den estimerede radonmæssige betydning er stor i forhold til flere af disse. Signifikans og konfidensgrænser afspejler i et vist omfang kun hvor mange boliger tilhørende den pågældende klasse, der er med i undersøgelsen. De enkelte faktorer vil blive kommenteret og diskuteret mere indgående i afsnit 8.4.

Som et mål for faktorernes betydning er det i yderste højre kolonne i Tabel 8.2 angivet, hvor stort et procentvist tab der opstår i modellens evne til at forklare variationen i radonkoncentrationerne ved at udelade faktorerne enkeltvist. Endelig er den intakte models procentvise evne til at forklare variationen angivet nederst i tabellen. Bemærk at summen af enkeltfaktorernes procentvise forklaring af variansen ikke blot kan adderes sammen til den intakte models procentvise forklaringssevne. Disse giver dog et mål for de enkelte faktoreres betydning. Det ses eksempelvis at faktoren "By" (36 %) er af nogenlunde samme vigtighed som de fem øvrige faktorer tilsammen (68 % -36 %=32 %).

Tabel 8.2 Estimerede værdier samt øvre og nedre konfidensgrænser (95%) for  $R_0$  og radonindeks for klasserne i faktormodellen. I yderste højre kolonne er angivet det procentvise tab i den forklarede andel af variansen, der opstår ved at udelade enkelte faktorer i modellen, samt hvor stor en del af variansen den intakte model forklarer (bemærk at disse ikke er additive).

Klasse	Estimeret værdi	Nedre konfidensgr.	Øvre konfidensgr.	Procentvis forklaring af variansen
$R_0$ (Bq/m <sup>3</sup> )	7,6	5,8	9,8	
<b>By:</b>				36
Narsaq	14	10	19	
Qarqartoq	4,5	3,4	5,9	
<b>Kælderforhold:</b>				4
Hel/delvis kælder	1,5	1,1	2,0	
Hel/delvis kælder +kældermåling	1,9	1,1	3,3	
Åben pælefundering	0,30	0,17	0,54	
Terrændæk	2,0	0,94	4,3	
<b>Indervægge:</b>				3
B	2,4	1,7	3,4	
<b>Byggeår:</b>				
1980 til 1990	0,59	0,44	0,80	
1965 til 1979	0,77	0,57	1,1	
Før 1965	0,75	0,55	1,0	
<b>Antal etager:</b>				2
2 eller flere	0,72	0,56	0,93	
2 eller flere + måling første etage	0,67	0,49	0,91	
<b>Geologi:</b>				0,3
Løs jord	1,3	0,94	1,7	
<b>Model i alt:</b>				68

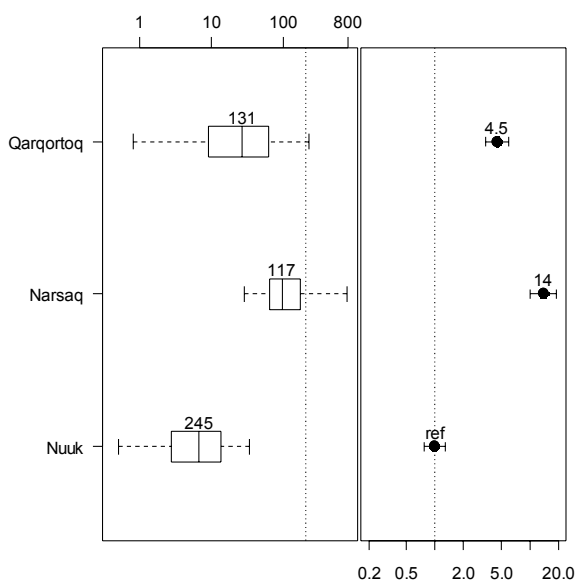
#### 8.4 De enkelte faktorer i faktormodellen

I det følgende beskrives resultaterne af faktoranalysen systematisk for de faktorer, som indgår i faktormodellen (afsnit 8.3), og betydningen af de enkelte faktorer kommenteres og diskuteres. En gennemgang af de øvrige undersøgte faktorer er givet i Bilag D.

For hver faktor er der genereret et diagram bestående af et boksplot, der viser de målte radonniveauer fordelt på hver klasse og et plot

af klassernes estimerede faktorindeks i en faktoranalyse (i den tilbage transformerende model). Diagrammet er eksemplificeret for faktoren 'by' i nedenstående Figur 8.2.

Hver klasse er angivet til venstre i figuren. Figuren læses for den enkelte Klasse vandret, mens der for sammenligninger imellem henholdsvis radonkoncentrationer og klasser læses lodret i figuren.



Figur 8.2 Diagram for faktoren 'by', bestående af et boksploot visende målte radonniveauer fordelt på byer (venstre del af diagrammet) og faktorplot visende klassernes estimerede betydning i faktoranalysen (højre del af diagrammet).

I boksploppet til venstre er der markeret henholdsvis 2,5, 25, 50, 75 og 97,5 % fraktileerne. Hele det markerede interval for hver Klasse repræsenterer derfor 95 % af observationerne. Antallet af observationer for hver Klasse er angivet med tallet over boksen. Den lodrette stiplede linie angiver kvalitetskriteriet på 200 Bq/m<sup>3</sup>. Bemærk at skalaen for radonkoncentrationerne af hensyn til den grafiske præsentation er logaritmisk.

Plottet i den højre side af figuren viser det estimerede faktorindeks for klasserne, angivet ved et punkt. I tilfælde af at klassen er signifikant ( $p < 0,05$ ) forskellig fra referencen angives punktet ved en udfyldt cirkel, hvorimod det angives med en åben cirkel såfremt den ikke er signifikant forskellig fra referencen (ikke vist her). Bemærk at én klasse altid udvælges til referenceværdi og har værdien 1, der også er angivet ved den lodrette stiplede linie. Det skal ligeledes bemærkes at skalaen for klassernes størrelse også her er logaritmisk. Af hensyn til læsbarheden er den enkelte klasses indeks angivet med en talværdi.

Som allerede nævnt er den enkelte faktors betydning afhængig af, hvilken model-kontekst den præsenteres i. De enkelte faktorer er præsenteret i modellen beskrevet i afsnit 8.3 sammen med de andre faktorer, der er fundet signifikante for radonvariationen.

#### 8.4.1 By

Diagrammet for faktoren 'by' er vist i ovenstående Figur 8.2. Endvidere er kvartiler og gennemsnitlige radonniveauer for hver af de tre byer vist i Tabel 8.3. Det fremgår af boksploppet at der kun er meget lille overlap imellem de målte radonkoncentrationer i Nuuk og Narsaq, mens de målte koncentrationer i Qarqortoq så stort udfylder spændet imellem de to foregående og overlapper med begge førnævnte intervaller.

Tabel 8.3 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer (Bq/m<sup>3</sup>) fordelt på byer. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid del
Nuuk	0,0	2,7	6,5	13,6	34,1	10,2
Narsaq	28,1	64,2	95,7	172	766	172
Qarqortoq	0,8	8,9	26,7	62,1	228	49,9

En betydelig del af de målte radonkoncentrationer i Narsaq, knap 25 %, er større end det i Skandinavien anvendte aktionsniveau på 200 Bq/m<sup>3</sup>, mens ingen eller kun ganske få af målingerne i henholdsvis Nuuk og Qarqortoq overstiger kvalitetskriteriet.

Som det fremgår af faktorplottet til højre i diagrammet er radonkoncentrationer forventeligt hele 14 gange højere i Narsaq end i referencen Nuuk. Faktoren 'by' er, som det allerede er nævnt i afsnit 8.3, den mest betydende faktor blandt de undersøgte. Dette er ikke overraskende set i lyset af undersøgelser af radonniveauet i boliger i andre lande, idet regionale forskelle også her har vist sig at være en af de væsentligste faktorer (Andersen et al., 2001, Strand et al., 2001).

Forskellene i radonniveau mellem byerne afspejler antageligvis primært forskelle i geologien. Jævnfør afsnit 4.2 er der væsentlig forskel på de dominerende bjergarter og indholdet af uran i disse mellem de tre lokaliteter. Det relative forhold mellem de målte radonniveauer i de tre byer er i god overensstemmelse med forventningerne på baggrund af de geologiske forskelle.

Ud over de geologiske forhold kan faktoren 'by' afspejle andre forskelle, i f.eks. byggestil, mellem de tre lokaliteter, som ikke er beskrevet ved de øvrige undersøgte faktorer.

#### 8.4.2 Byggeår

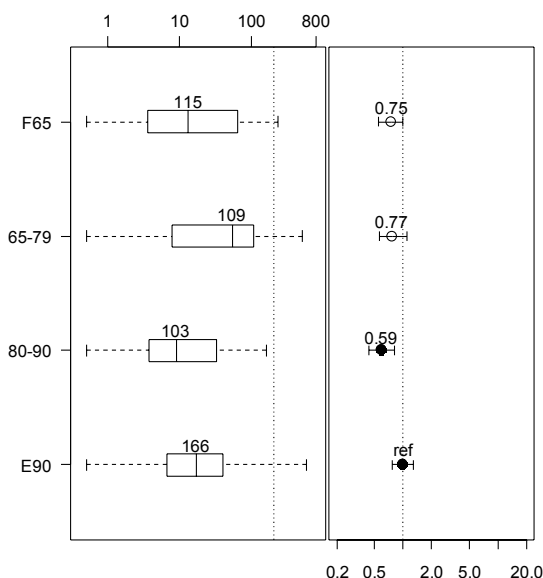
Af Tabel 8.4 og diagrammet i Figur 8.3 fremgår, at radonintervallerne for byggeårsklasserne er overlappende. Det ses imidlertid, at de på trods heraf er indbyrdes noget forskellige med hensyn til medianværdier og en del andre aspekter ved fordelingerne, som højre-venstre-skævhed m.m.

Tabel 8.4 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer (Bq/m<sup>3</sup>) fordelt på byggeårsklasser. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid-del
Efter 1990	0,0	6,7	16,8	40,3	577	69,3
1980 - 1990	0,1	3,8	8,8	32,6	158	32,7
1965 - 1979	0,3	7,7	54,1	106	510	84,1
Før 1965	0,0	3,6	13,1	64,5	230	44,1

Betragtes begge sider af diagrammet, er der ikke nogen let gennemskuelig sammenhæng imellem de estimerede radonindeks og fordelingerne af radonkoncentrationerne i boksplottet. Forklaringen skal findes i det ubalancerede datamateriale. Det er især relevant at se på, hvordan byggeårsklasserne er fordelt på byer (Figur 8.4), idet byen er den faktor, der har størst betydning for radonniveauerne. Det er tydeligt, at der er en større andel af boliger fra Nuuk bygget efter

1990 end i de øvrige klasser. Omvendt er der en mindre andel af boliger fra Nuuk i byggeperioden fra 1980 til 1990. Ligeledes er der en større andel af boliger fra Narsaq bygget i perioden fra 1965 til og med 1979 end i de øvrige klasser. Hvis man tager fordelingen af radonkoncentrationerne i de tre byer med i betragtningen med generelt lave koncentrationer i Nuuk og høje koncentrationer i Narsaq, er det tydeligt, at by-faktoren påvirker fordelingen af radonkoncentrationer i byggeårsklasserne. Men også andre ubalancerede faktorer kan naturligtvis bidrage hertil.

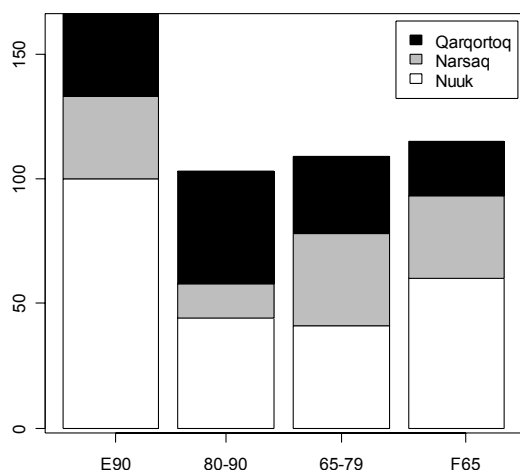


Figur 8.3 Diagram for faktoren 'byggeår'. E90: boliger opført i perioden efter 1990; 80-90: boliger opført i perioden fra og med 1980 til og med 1990; 65-79: boliger opført i perioden fra og med 1965 til og med 1979; F65: boliger opført i perioden før 1965.

I faktoranalysen kan der i vist omfang kompenseres for det ubalancerede datagrundlag. Resultatet af faktoranalysen er, at boliger bygget efter 1990 har et højere radonindeks end de øvrige byggeårsklasser. Det er ikke muligt på baggrund af datagrundlaget indsamlet i nærværende undersøgelse at afgøre årsagerne til de højere niveauer i nyere boliger. Det anbefales derfor, at byggesagkyndige gransker hvilke byggeforhold, der er ændret i nyere boliger, og hvordan dette

evt. kan give anledning til højere radonkoncentrationer.

En mulig årsag til højere niveauer af radon i nyere boliger kunne være at nyere huse var bedre isoleret og dermed mere tætte, hvilket kunne medføre en mindre passiv udluftning af boligen. En anden mulig årsag kunne være anvendelse af nye/ændrede byggematerialer, som eventuelt afgiver mere radon eller tillader større gennemtrængning af radon fra undergrunden ind i boligen (Strand et al., 2001). Brugen af beton i forhold til lette konstruktioner i ydervægge, indervægge og gulve indgår som faktorer i denne undersøgelse (se afsnit 8.3 og 8.4.5) og burde derfor i et vist omfang være separeret fra faktoren byggeår.



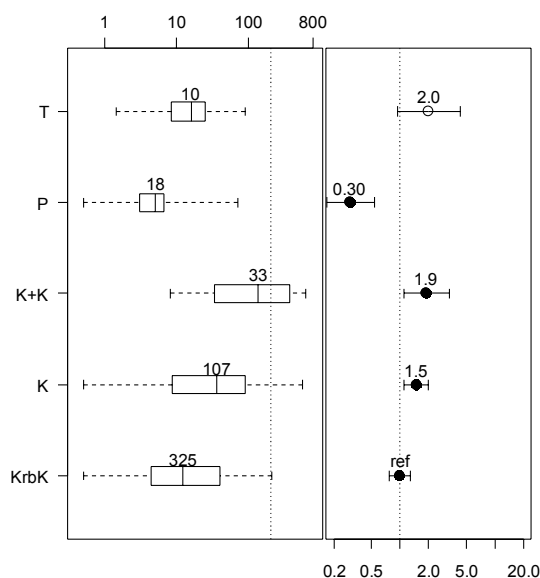
Figur 8.4 Histogrammet viser antallet af radonobservationer i byggeårsklasserne fordelt på de tre byer Nuuk, Narsaq og Qarqortoq. E90: boliger opført i perioden efter 1990; 80-90: boliger opført i perioden fra og med 1980 til og med 1990; 65-79: boliger opført i perioden fra og med 1965 til og med 1979; F65: boliger opført i perioden før 1965.

I en større undersøgelse af radon i Danmark kunne det ikke påvises, at radonniveauet afhang signifikant af byggeåret (Andersen et al., 2001). Ved undersøgelser i Norge er der derimod fundet en signifikant forskel på radonniveauet i boligmassen i dag og bolig-

massen 20 år tidligere. Det gennemsnitlige niveau i en undersøgelse udført i år 2000 var 70-75% højere end niveauet i en undersøgelse gennemført i 1985-1987, hvori alene boliger opført før 1980 indgik (Strand et al. 2001).

### 8.4.3 Kælderforhold

Kælderforholdene er efter faktoren by den næst mest betydende faktor for radonkoncentrationen i de undersøgte boliger. Diagrammet for kælderforhold er vist i Figur 8.5. Kvartiler og gennemsnit af radonniveauerne er givet i Tabel 8.5.



Figur 8.5 Diagram for faktoren 'kælderforhold'. KrbK: boliger med krybekælder; K: boliger med hel eller delvis kælder. K+K: boliger med hel eller delvis kælder, hvor målingen er foretaget i et kælderrum. P: boliger med åben pælefundering. T: boliger med terrændæk.

Der er tydeligvis en væsentlig forskydning i radonniveauerne afhængig af kælderforholdene. Disse forskydninger giver sig også udslag i de estimerede radonindeks. Radonindekset på 1 for referenceklassen 'krybekælder' er signifikant forskellig fra alle øvrige klasser.

Signifikansen af radonindeksene for klasserne 'åben pælefundering' og 'terrandæk' skal ses i lyset af det meget begrænsede antal



observationer i disse klasser. Det lille observationsmateriale giver sig udslag i relativt bredere konfidensintervaller for disse to radonindeks. Som det var tilfældet for faktoren 'byggeår', kan det også her være vanskeligt at gennemskue en direkte sammenhæng imellem koncentrationsintervallerne og de estimerede radonindeks for netop disse to klasser. Igen skal forklaringen søges i det ubalancerede datamateriale. Klassen 'terrændæk' består på nær én udelukkende af observationer fra Nuuk, mens Nuuk overhovedet ikke er repræsenteret blandt boliger med en åben pælefundering.

Den danske radonundersøgelse (Andersen et al., 2001) viste, at kælderforholdene også var af stor betydning for radonkoncentrationen i boligerne i Danmark. Den relative størrelse af radonindeksene for boliger med henholdsvis krybekælder og hel eller delvis kælder er imidlertid forskellig fra nærværende undersøgelse. Der kan være flere årsager hertil. Et væsentligt forhold kan være, at boliger på grønland ofte er bygget på et skrånende terræn, hvilket kan betyde at krybekældrene i grønlandske boliger gennemsnitligt er højere og med bedre udluftning.

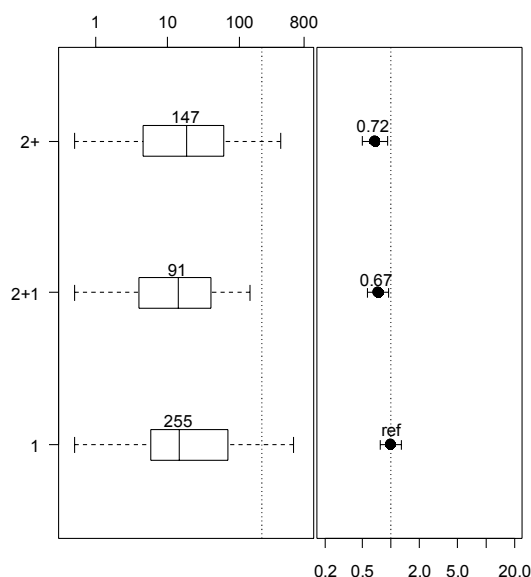
Tabel 8.5 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer (Bq/m<sup>3</sup>) fordelt på kældertype. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid-del
Krybekælder	0,0	4,3	12,2	39,9	209	37,7
Kælder	0,5	8,6	36,3	90,7	565	89,5
Kældermåling	8,0	33,6	136	380	631	204
Pæle	0,3	3,0	5,1	6,5	71	13,9
Terrændæk	1,4	8,3	15,7	24,8	90,1	27,4

#### 8.4.4 Antal etager

Forskellen imellem fordelingerne for de tre klasser er, bedømt alene ud fra boksplottet i Figur 8.6 eller kvartilerne i Tabel 8.6 relativt små. Radonindekset viser dog, at radon-

koncentrationerne i boliger med flere etager alt andet lige er mindre end i boliger med kun en etage, og forskellen imellem referenceklassen med kun en etage og de to andre klasser er signifikant.



Figur 8.6 Diagram for faktoren 'antal etager'. 1: boliger med en etage; 2+1: boliger med 2 eller flere etager og måling foretaget på 1. etage; 2+: boliger med en eller flere etager. Kælder er ikke medregnet som en etage.

Tabel 8.6 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer (Bq/m<sup>3</sup>) fordelt på antal etager. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid-del
1 etage	0,1	5,7	14,2	67,9	572	72,5
2 el. flere etager	0,0	4,5	18,0	59,1	373	52,7
1. sals måling	0,0	4,0	13,8	40,3	140	31,7

Det laveste radonindeks er ikke uventet for de boliger, hvor målingen er foretaget på 1. etage frem for i stueetagen ('2+1' i Figur 8.6). I undersøgelsen af danske boliger blev det ligeledes fundet, at radonkoncentrationen er lavere i boliger med flere etager (Andersen et al., 2001).

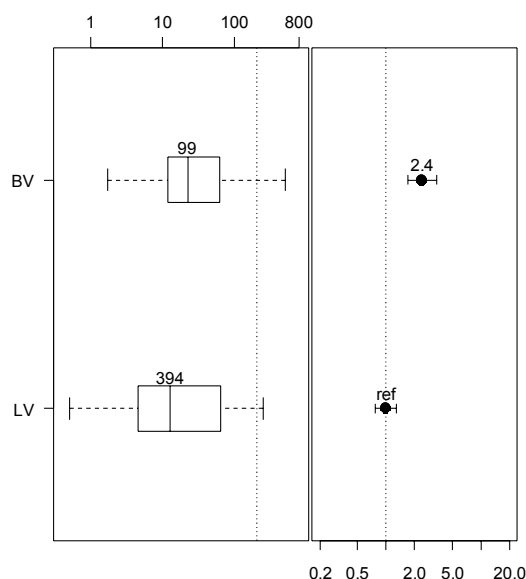
### 8.4.5 Vægmateriale

Faktoren 'vægmateriale' er inddelt i klasserne 'let væg', hvor væggen er konstrueret af træ og/eller gips, og 'betonvæg', hvor væggen indeholder beton eller letbeton. Faktoren 'vægmateriale' er knyttet til det enkelte rum i modsætning til faktoren ydervægge, der er knyttet til hele boligen. I det enkelte rum kan der være forskelle på væggene med hensyn til de to klasser. Rummets vægge klassificeret som 'betonvæg', hvis mindst en af væggene er af beton. Af samme grund er faktoren 'vægmateriale' korreleret med faktoren 'ydervægge' (Faktoren 'ydervægge' er vist i Bilag D).

Af Tabel 8.7 og boksplottet i Figur 8.7 fremgår det, at der er en lettere forhøjet radonkoncentration i klassen 'betonvæg' i forhold til referenceklassen 'let væg'. Dette er tilfældet på trods af, at der er en overrepræsentation af boliger fra Nuuk i klassen 'betonvæg', som alt andet lige trækker radonkoncentrationen ned. Denne effekt af det ubalancerede datagrundlag er delvis filtreret bort i radonindekset, der angiver, at den forventede radonkoncentration alt andet lige er ca. dobbelt så høj i klassen 'betonvæg', og at denne forskel er signifikant.

Tabel 8.7 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer (Bq/m<sup>3</sup>) fordelt på vægmateriale. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid-del
Let konstruktion	0,0	4,5	12,7	63,1	246	53,1
Beton	1,7	11,9	22,0	61,4	517	82,9



Figur 8.7 Diagram for faktoren 'vægmateriale'. LV: let væg; BV: betonvæg.

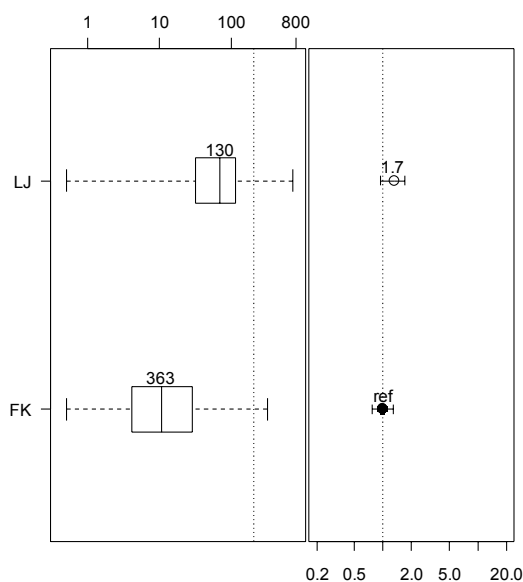
### 8.4.6 Geologi

Faktoren 'geologi' dækker over en klassificering af om boligerne er opført på fast klippe eller på løs jord. Som det fremgår af Tabel 8.8 og boksplottet i Figur 8.8, er der en tydelig forskel på radonkoncentrationerne i de to klasser med de tydeligvis største radonkoncentrationer i klassen af boliger på løs jord. Forskellen skyldes til dels det ubalancerede materiale og en overrepræsentation af boliger fra Narsaq i klassen af boliger på løs jord. Radonindekset for 'løs jord' er imidlertid tæt på signifikansniveauet på 0,05 og kan bedømt ud fra det estimerede radonindeks have en betydelig indflydelse på radonniveauet. Det viser i overensstemmelse med boksplottet en højere radonkoncentration i boliger opført på løs jord.

Inddelingen i klasserne fast klippe og løs jord er en meget grov geologisk opdeling, som ikke indeholder information om den mineralske sammensætning af undergrunden. Der ligger altså ikke i klasserne nogen oplysninger om undergrundens potentiale for at afgive radon. Sammenlignes lokaliteter, hvor undergrunden indeholder sammenlignelige mængder af radium (det grundstof radon dannes fra) vil en bolig opført på løs

jord typisk have højere niveauer af radon end et hus opført på klippe. Dette skyldes, at radon-gassen typisk nemmere trænger gennem den mere porøse løs jord, og at radon fra et større volumen af undergrunden derfor kan trænge ind i boligen (Statens Strålevern, 1998b). Borearkiv data fra områderne viser, at der i de fleste tilfælde er tale om begrænsede løs jords tykkelser; typisk af mindre end 6 meters dybde (data fra ASIAQ's borearkiv).

Udover forskelle i radons evne til at blive transporteret gennem undergrunden, kan faktoren afspejle byggetekniske forskelle f.eks. med hensyn til fundering mv. på løs jord henholdsvis klippegrund.



Figur 8.8 Diagram for faktoren 'geologi'. FK: fast klippe; LJ: løs jord.

Tabel 8.8 Kvartiler (K) og gennemsnit af radonniveauer ( $Bq/m^3$ ) fordelt på geologi. Kvartilerne angiver henholdsvis de radonniveauer hvor 2,5%, 25%, 50%, 75% eller 97,5% af måleresultaterne er mindre end den angivne værdi.

Klasse	K <sub>2,5</sub>	K <sub>25</sub>	K <sub>50</sub>	K <sub>75</sub>	K <sub>97,5</sub>	Mid-del
Fast klippe	0,0	4,1	10,5	28,1	314	36,7
Løs jord	0,2	31,7	69,2	114	712	121

## 8.5 Lokal geografisk variation

Som nævnt i afsnit 8.3 forklarer faktor-modellen kun en del af variationen (68 %). Den resterende variation udgøres af residualerne, der er forskellen imellem de målte radonniveauer og de niveauer, der beregnes med faktormodellen. Det er nærliggende at antage, at en del af denne variation kunne være geografisk betinget.

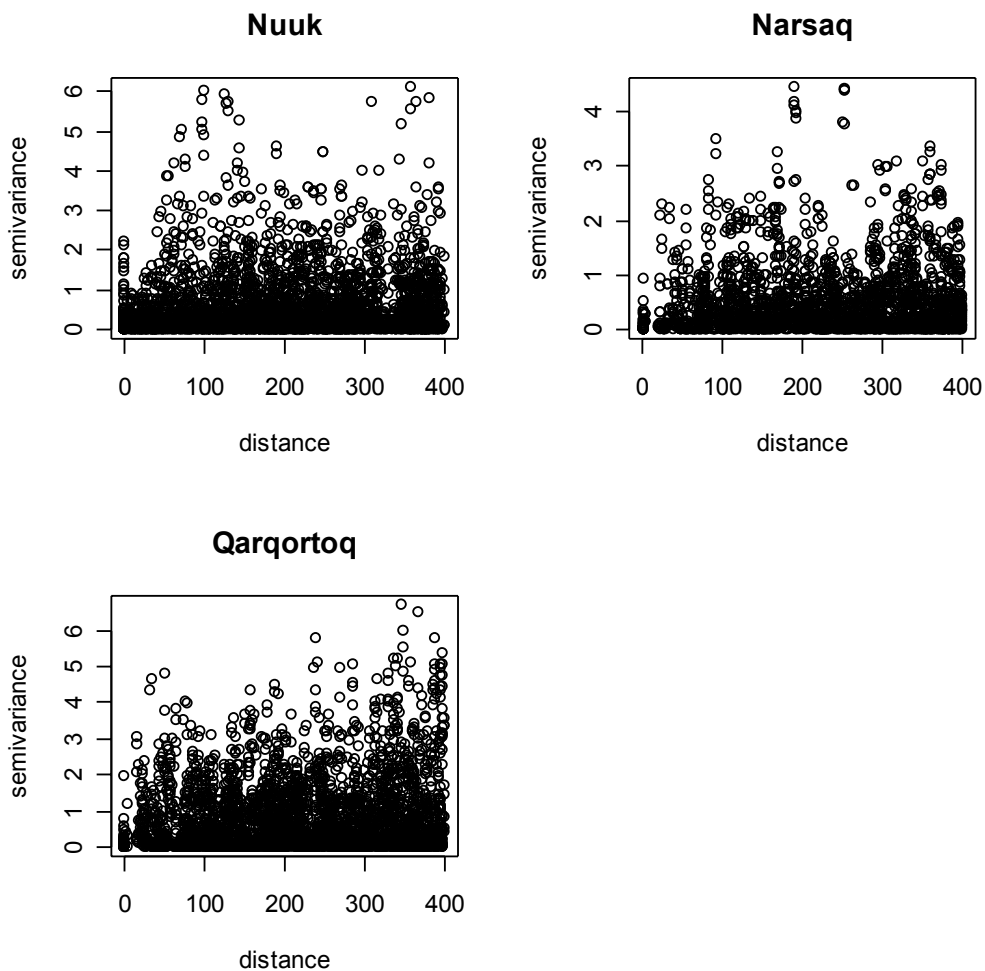
For at undersøge dette er der ved hjælp af GeoR ([http://cran.r-project.org/\(GeoR\)](http://cran.r-project.org/(GeoR))) udført en geostatistisk analyse af residualerne. I denne sammenhæng opfattes hver radonmåling som en punktobservation, hvor observationen kan tilknyttes et sæt af geografiske koordinater. Til hver observation er knyttet samme koordinater som centroiden i den polygon, der afbilder boligen på et teknisk grundkort. Det betyder at de to målepunkter, der er benyttet i hver bolig, tildeles de samme koordinater.

Hvis forskellen imellem punktobservationer af en given parameter vokser med afstanden imellem punkterne, siges observationerne at være spatialt korrelerede. For at undersøge om residualerne udviser en sådan geografisk betinget variation er de kvadrerede differencer imellem residualerne for alle parvise kombinationer af punktobservationer plottet mod afstanden imellem punkterne for hver af de tre undersøgte byer, se Figur 8.9. Plottene giver anledning til en tæt punktsky. Det ses at forskellen imellem residualerne er svagt voksende indenfor det afbildede afstands-interval. En mere formel test af dette udsagn er udført med Spearman' rang korrelationstest i afstandsintervallet 10-400 m og er signifikant i alle tre tilfælde, om end korrelationerne kun er svage. Afstands-intervallet er valgt så parvise observationer fra de samme boliger udelades.

Den svage men dog tilstedeværende geografiske korrelation giver sig udslag i et geografisk variationsmønster, hvor boliger med residualer i samme størrelsesorden

tenderer mod en klumpet fordeling. Fordelingen er ikke illustreret på kort på grund af et rimeligt hensyn til anonymisering af de enkelte boliger og deres beboere.

Årsagen til den geografiske variation er ikke kendt, men kan skyldes såvel geologiske forhold som byggetekniske faktorer, der ikke er indeholdt i faktormodellen, idet boliger ofte kan have kvartermæssige lighedspunkter.



Figur 8.9 Plot af kvadrerede differencer imellem residualerne for alle parvise kombinationer af punktvisse radonmålinger plottet mod afstanden i afstandsintervallet 0-400 m.

---

## 9 Konklusion og anbefalinger

Der er gennemført målinger af radonniveauet i boliger i tre byer i Grønland; Narsaq, Nuuk og Qaqortoq.

Resultaterne fra målekampagnen viser stor variation i niveauet af radon i grønlandske boliger. Den mest betydende faktor for niveauet af radon i de undersøgte boliger er hvilken by, boligen er placeret i:

- I Nuuk er de målte niveauer lave set i forhold til aktionsniveauet på  $200 \text{ Bq/m}^3$ , der anvendes i de nordiske lande. Der er gennemført målinger i 125 boliger i Nuuk. Det gennemsnitlige målte radonniveau var på  $10 \text{ Bq/m}^3$  og den højeste målte værdi var  $136 \text{ Bq/m}^3$ .
- I Qaqortoq er de målte niveauer lidt højere end i Nuuk. Det gennemsnitlige målte radonniveau i Qaqortoq var  $50 \text{ Bq/m}^3$  og i 7% af de 67 undersøgte boliger oversteg det målte radonniveau, i mindst et lokale,  $200 \text{ Bq/m}^3$ .
- I Narsaq er de målte niveauer høje. Det gennemsnitlige målte radonniveau var på  $172 \text{ Bq/m}^3$  og i 28% af de 60 undersøgte boliger oversteg det målte niveau, i mindst et lokale,  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

Niveauerne i de tre byer relativt til hinanden er i god overensstemmelse med forventningerne ud fra de geologiske forskelle i undergrunden ved de tre byer.

Faktoranalysen af resultater fra nærværende undersøgelse påviste, at det målte radonniveau afhang af en række parametre. Ud over byen, som boligen var placeret i, havde følgende parametre en signifikant eller nær signifikant effekt:

- boligens kældertype
- typen af væg konstruktioner i boligen
- boligens byggeår
- antal etager i boligen
- boligens placering på løs jord eller fjeld.

Faktormodellen giver mulighed for at estimere radonniveauet i en bolig placeret i en af de tre undersøgte byer. Et sådan estimat skal dog tages med forbehold. Det faktiske niveau i en given bolig kan afvige væsentligt fra den estimerede værdi specielt i tilfælde, hvor niveauet estimeres at være højt.

Det vurderes at faktormodellen kan anvendes til udpegning af boliger, der bør undersøges nærmere for radonniveau. Ved en sådan udpegning bør der specificeres et accept-niveau af hvor mange fejludpegninger, der kan tillades i forhold til et aktionsniveau. Med fejludpegning menes dels boliger som ikke udpeges selvom det faktiske radonniveau i boligen overskrider aktionsniveauet, dels boliger som udpeges selvom det faktiske radonniveau i boligen ikke overskrider aktionsniveauet.

Faktormodellen kan endvidere anvendes vejledende ved nyopførelse af boliger, især kan dette anbefales i de byer, hvor der er risiko for høje radonkoncentrationer. Ud over eventuelle deciderede tiltag specielt rettet mod at opnå et lavt radonniveau, kan det ud fra faktormodellen f.eks. anbefales at boliger i Narsaq opføres med krybekælder eller på en åben pælefundering og med lette ydervægge.

Med udgangspunkt i det i de nordiske lande anvendte aktionsniveau på  $200 \text{ Bq/m}^3$  og på baggrund af målekampagnens resultater må det konkluderes, at radon ikke er et problem i Nuuk. I Qaqortoq er radon et moderat problem, mens radonniveauerne i Narsaq er høje i en stor andel af boligmassen. Det skal her bemærkes at undersøgelsen ikke har haft til formål at vurdere hvilket aktionsniveau der bør benyttes i Grønland.

På baggrund af målekampagnens resultater samt kendt viden om de geologiske forhold i Grønland anbefales det, at der opstilles regler for tiltag til begrænsning af radon i såvel

---

eksisterende som nyt byggeri i Sydgrønland syd for 61°30'N.

Det anbefales, at der opstilles krav til, at der ved nybyggeri i Sydgrønland indarbejdes tiltag, der begrænser niveauet af radon i den kommende bolig.

For eksisterende boliger i Sydgrønland anbefales det, at der gennemføres en analyse til udpegning af boliger, hvor der kan forventes forhøjede niveauer. For boliger i Narsaq og Qaqortoq kan en sådan udpegning

tage udgangspunkt i den fundne faktormodel. For boliger i Nanortalik kan der være behov for at gennemføre en mindre målekampagne for at opnå information om det generelle niveau.

Ved gennemførelse af målekampagner kan det være ønskeligt at begrænse måleperioden. I nærværende undersøgelse er det fundet, at det gennemsnitlige niveau for hele året kan estimeres ud fra niveauet målt over sommerhalvåret (maj-november).

---

## Referencer

- Andersen, Claus E., Bergsøe, Niels C., Brendstrup, Jens, Damkjær, Anders, Graversen, Peter og Ulbak, Kaare (1997) Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse. Udarbejdet for Bygge- og Boligstyrelsen og Statens Institut for Strålingshygiejne. Forskningscenter Risø Risø-R-979.
- Andersen, Claus E., Ulbak, Kaare, Damkjær, Anders og Graversen, Peter (2001) Radon i danske boliger. Kortlægning af lands-, amts- og kommuneværdier. Sundhedsstyrelsen. Statens Institut for Strålehygiejne.
- BRE Radon. Building Research Establishment Ltd. England. <http://www.bre.co.uk>.
- By og Byg. Praktiske råd om hvordan man kan begrænse radon i bygninger. Statens Byggeforskningsinstitut. Danmark. <http://www.by-og-byg.dk>
- S Darby, D Hill, A Auvinen, J M Barros-Dios, H Baysson, F Bochicchio, H Deo, R Falk, F Forastiere, M Hakama, I Heid, L Kreienbrock, M Kreuzer, F Lagarde, I Mäkeläinen, C Muirhead, W Oberaigner, G Pershagen, A Ruano-Ravina, E Ruosteenoja, A Schaffrath Rosario, M Tirmarche, L Tomásek, E Whitley, H-E Wichmann, R Doll (2005) Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005;223, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63
- EPA (2003) Consumer's Guide to Radon Reduction, How to fix your home. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/radon/pubs/consguid.html>
- Faraway, J. (2002) Practical Regression and Anova using R. <http://www.stat.lsa.umic.edu/~faraway/book>
- Fleiss JL. Reliability of measurement. In: *The Design and Analysis of Clinical Experiments*. New York: John Wiley & Sons; 1986:1 - 32.
- Gammadata (2004) Information om Radonmätning. <http://www.gammadata.se>
- ICRP Publication 65 (1993) Protection Against Radon-222 at Home and at Work.
- Jeppesen, Mette Neerup (2003) Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning. Miljøprojekt Nr. 750. Teknologiprogrammet for Jord- og grundvandsforurening. Miljøstyrelsen. Miljøministeriet.
- Køster, Janus, Direktoratet for Boliger og Infrastruktur, Grønlands Hjemmestyre (2002) Personlig kommunikation.
- Larsen, Jens Nykjær (2003) Radon og Grønlands geologi. ASIAQ rapport 2003-5. Intern publikation.
- Pedersen, Lene Marie Selma. (2004) Radon and other indoor environment aspects in Greenlandic dwellings. Master thesis. Technical University of Denmark. International centre for indoor environment and energy.
- Pawel, David J. & Puskin, Jerome S. (2003) EPA assessment of risks from radon in homes. United States Environmental Protection Agency. Office of Radiation and Indoor Air. Washington. [http://www.epa.gov/radiation/docs/assessment/radon\\_in\\_homes.pdf](http://www.epa.gov/radiation/docs/assessment/radon_in_homes.pdf)
- Ruden, Line, Ramberg, Gro Beate, Ånestad, Katrine og Strand, Terje (2003) Kartlegging av radon i Oslo Kommune. Statens Strålevern.
- Statens Strålevern (1998a) Måling av radon i inneluft og undersøkelser av byggegrunn. Helseisriko, Målinger og mottiltak. StrålevernHefte 3 – Oktober 1998. <http://www.nrpa.no/dokumentarkiv/StraalevernHefte3.pdf>
- Statens Strålevern (1998b) Kartlegning av radon i boliger. StrålevernHefte 17 – November 1998. <http://www.nrpa.no/dokumentarkiv/StraalevernHefte17.pdf>
- Steenfelt, A. 2001: Geochemical atlas of Greenland - West and South Greenland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/46, 39 pp., 1 CD-ROM.
- Steenfelt, A. 2004: En vurdering af de geokemiske forhold i de grønlandske byers vandressourceoplande og deres indflydelse på kvaliteten af råvandet - revideret. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2004/58, 73 pp., 1 CD-ROM.

---

Strand, T., Ånestad, K., Ruden, L., Ramberg, G.B., Jensen, C.L., Wiig, A.H., Thommesen, G. (2001) Kartlegning av radon i 114 kommuner. Kort presentasjon av resultater. Strålevern Rapport 2001:6. Østerås. Statens Strålevern.

Sundhedsstyrelsen (1987) Radon – Boliger – Strålingsdosis – Lungekræftisiko. Sundhedsstyrelsen. Statens Institut for Strålehygiejne. <http://www.radon.dk>.

Sørensen, S. & Ulbak, K., (1987) Naturlig stråling i danske boliger. Sundhedsstyrelsen. Statens Institut for strålehygiejne.

U.S. Geological Survey. The Geology of Radon. <http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon/3.html>

Wears, R.L. (2000) Statistical methods for analysing and cluster Randomized Data., Society for Academic Emergency Medicine., Sanfransisco, CA May 24, 2000

Weisberg, S. (1985) Applied Linear Regression. 2<sup>nd</sup> ed. New York:Wiley.

WHO (2004) Radon and Health. WHO Information Sheet. <http://www.who.int/phe/radiation/en/2004Radon.pdf>

Åkerblom, G., Mjönes, L., Annanmäki, M., Magnusson, S., Strand, T., Ulbak, K. (2000) Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. The radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.



---

## **Bilagsliste**

Bilag A. Registreringsskema

Bilag B. Regressionsmodel for sommer og helårsmålinger

Bilag C. Faktormodel

Bilag D. Undersøgte faktorer, som ikke indgår i faktormodellen.

---

## **Bilag A. Registreringskema**

Ejer:		B-nr.:
Beboer:	Telefon:	
Adresse:	Boks:	By:
Skema vedr. indeklima udfyldt <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nej		

## BYGNINGEN

Fritliggende hus  Rækkehus, m. adskilte fundamenter  Enderækkehus, m. adskilte fundamenter  
  Rækkehus, fælles fundament  Enderækkehus, fælles fundament

Bygge år: \_\_\_\_\_ Grundareal \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> Antal etager ud over kælder \_\_\_\_\_

Ydervægge  beton  letkonstruktion  beton og let  andet: \_\_\_\_\_

Beklædning af:  træ  andet: \_\_\_\_\_

Tagbelægning  paptag  andet: \_\_\_\_\_

Oplysninger om kælder  fuld kælder  krybekælder  terrændæk (ingen kælder)  pæle  
 delvis kælder / krybek.  delvis kælder / t.dæk  delvis krybek. / t.dæk

Loftshøjden \_\_\_\_\_ m

Ventilret  mekanisk  stor passiv  let passiv  ingen

Dæk udført i  beton  letkonstruktion  ingen dæk mod terræn

Opvarmning  el  olie  fjernvarme  anden: \_\_\_\_\_ årlig omkostning \_\_\_\_\_ kr.

Mekanisk udluftning i boligen  ja  nej Hvis ja hvor: \_\_\_\_\_

Bemærkninger:

## GEOLOGI

Observationen er foretaget:  Under huset  Omkring huset

Løsjord:  sandet  organisk indhold  leret  organisk indhold Tykkelse \_\_\_\_\_ m

Fjeld:  granit  gnejs  gangbjergart

Beskrivelse af geologien:

## ADMINISTRATIVE OPLYSNINGER

Ved ophængning er skema udfyldt af \_\_\_\_\_

Bemærkninger:

## RUM 1

Anvendelse: \_\_\_\_\_ Areal  $\frac{x}{x}$  m m Loftshøjde \_\_\_\_\_ m

Etage \_\_\_\_\_ kælder \_\_\_\_\_ stuen \_\_\_\_\_ første \_\_\_\_\_ anden \_\_\_\_\_ tredje

Gulv \_\_\_\_\_ beton \_\_\_\_\_ letkonstruktion \_\_\_\_\_ andet: \_\_\_\_\_

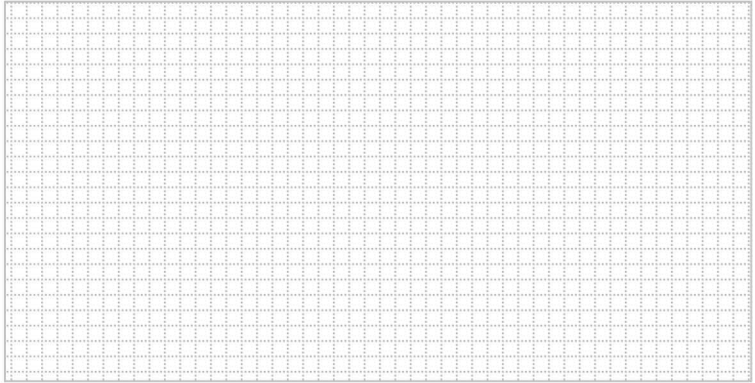
Væge \_\_\_\_\_ beton \_\_\_\_\_ træ/gips \_\_\_\_\_ andet: \_\_\_\_\_

Udluftning: \_\_\_\_\_ mekanisk \_\_\_\_\_ passiv beskrivelse: \_\_\_\_\_

Passivt brug Sommer \_\_\_\_\_ altid \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent  
 Vinter \_\_\_\_\_ altid \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent Rumtemperatur \_\_\_\_\_ °C

Vinduer / døre Sommer \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent Natsenkning \_ ja \_ nej  
 Vinter \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent

Dosimeter  
 opsat d. \_\_\_\_\_ placering \_\_\_\_\_ nr.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Bemærkninger: Skitse med vinduer og døre: 

## RUM 2

Anvendelse: \_\_\_\_\_ Areal  $\frac{x}{x}$  m m Loftshøjde \_\_\_\_\_ m

Etage \_\_\_\_\_ kælder \_\_\_\_\_ stuen \_\_\_\_\_ første \_\_\_\_\_ anden \_\_\_\_\_ tredje

Gulv \_\_\_\_\_ beton \_\_\_\_\_ letkonstruktion \_\_\_\_\_ andet: \_\_\_\_\_

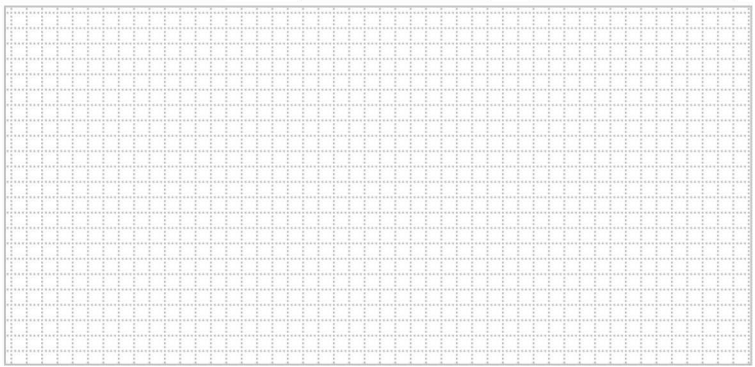
Væge \_\_\_\_\_ beton \_\_\_\_\_ træ/gips \_\_\_\_\_ andet: \_\_\_\_\_

Udluftning: \_\_\_\_\_ mekanisk \_\_\_\_\_ passiv beskrivelse: \_\_\_\_\_

Passivt brug Sommer \_\_\_\_\_ altid \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent  
 Vinter \_\_\_\_\_ altid \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent Rumtemperatur \_\_\_\_\_ °C

Vinduer / døre Sommer \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent Natsenkning \_ ja \_ nej  
 Vinter \_\_\_\_\_ dagligt \_\_\_\_\_ af og til \_\_\_\_\_ sjældent

Dosimeter  
 opsat d. \_\_\_\_\_ placering \_\_\_\_\_ nr.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Bemærkninger: Skitse med vinduer og døre: 

---

## Bilag B. Regressionsmodel for sommer og helårsmålinger.

Ved regressionen estimeres regressionskoefficienterne. Såfremt nedenstående tre betingelser er opfyldt er estimatet centralt (unbiased), normalfordelt og med den mindst mulige varians.

1. residualerne er normalfordelte
2. residualerne er konstante (uafhængige af radonkoncentrationen – identisk fordelte)
3. residualerne er uafhængige (ingen autokorrelation)

Som omtalt i afsnit 7.2 og som det også fremgår af figur B.1 (øverst til venstre) vokser spredningen med voksende radonkoncentrationer. For at opfylde betingelse 2 om identisk fordelte residualer er det derfor nødvendigt at transformere data. Da målingerne af sommer og helårskoncentrationerne er foretaget på fuldstændig identisk vis og de to variable begge må antages at bidrage til spredningen, er det nærliggende at anvende en symmetrisk transformation, hvor såvel den uafhængige variabel(x) som responsvariablen(y) transformeres med den samme funktion  $h(x)$ :

$$h(y_i)=ah(x_i)+b+\varepsilon_i$$

Flere forskellige funktioner  $h(x)$  har været afprøvet for både at opnå en ensartet spredning og en tilnærmelsesvis normalfordeling af residualerne (både betingelse 1 og 2), hvoraf nogle er vist i figur B.1. Hverken kvadratrods transformationer (fig. B.1 øverst til højre), kubikrod eller andre arbitrære rødder af radonkoncentrationerne opfylder de nævnte betingelser. Heller ikke en simpel logaritmisk transformation af radonkoncentrationerne opfylder betingelserne. En simpel iterativ metodisk afprøvning af forskellige værdier af  $c$  i en logaritmisk transformation af typen  $h(x) = \log_e(x + c)$  førte til den bedst egnede transformation for  $c=11$  (fig. B.1 nederst til venstre).

Regressionsudtrykket kan altså skrives på følgende vis:

$$\log_e(y_i+11)=a \log_e(x_i+11)+b+\varepsilon_i$$

hvor koefficienterne  $a$  og  $b$  estimeres ved regressionen.

Den udførte regression viser, at residualerne er ukorrelerede med de estimerede transformerede radon koncentrationer. Dette er afbildet grafisk i figur B.2 øverst til venstre og nederst til venstre. Den beregnede korrelation er 0,02 ( $p=0,64$ ).

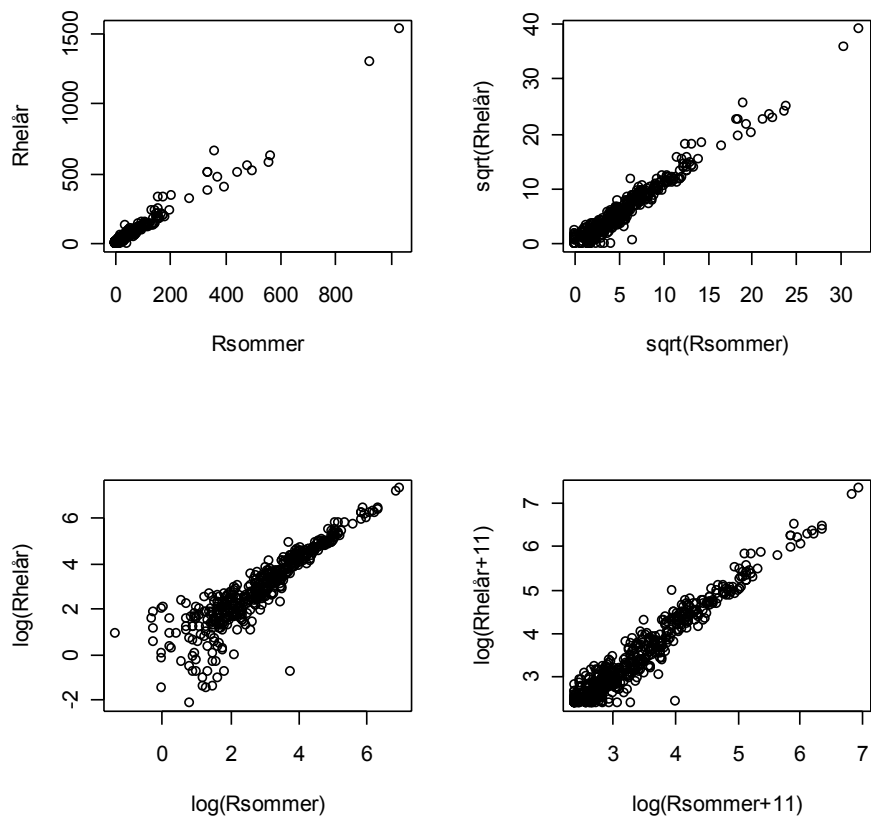
I figur B.2 øverst til højre er vist kvantiler i fordelingen af normaliserede residualer plottet mod de teoretiske kvantiler i normalfordelingen. Såfremt residualerne var normalfordelte ville de være beliggende på en linie eller tæt omkring en linie der går igennem (0,0) med hældningen 1. Dette er tilfældet for de ca. 95 % af fordelingen, der er beliggende mellem -2 og +2, mens der i bund og top af fordelingen er en hale af ekstreme værdier, der tydeligvis falder uden for normalfordelingen. Dette er en væsentlig grund til, at det i afsnit 7.2 er understreget at de beregnede konfidensgrænser kun er approksimative.

Breusch-Godfrey test for seriel korrelation af første orden er signifikant ( $p<0,01$ ). Denne autokorrelation betyder, at betingelse 3 ikke er opfyldt, og der muligvis findes bedre estimatorer for koefficienterne i regressionsmodellen.

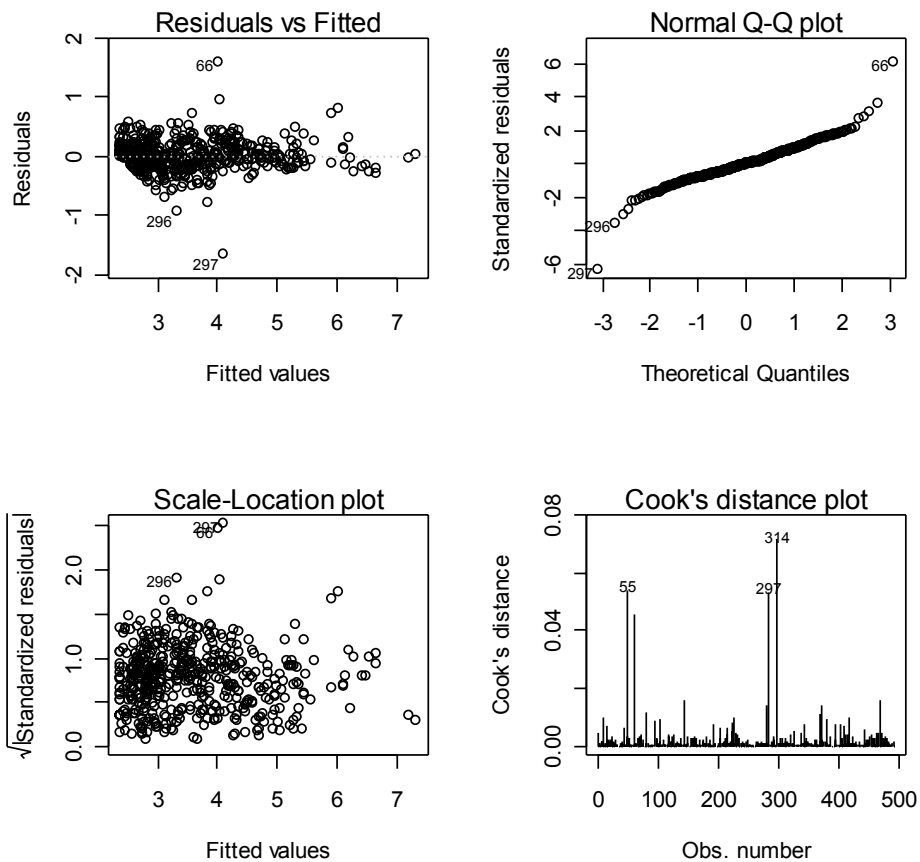
Cooks afstande i figur B.2 nederst til højre er et mål for det enkelte punkts indflydelse på regressionen. Som det fremgår er der specielt fire observationer, der har særlig stor indflydelse på regressionen. Resultatet af regressionen er imidlertid ikke væsentligt forskelligt ved udeladelse af de fire

observationer. Dette skyldes antageligvis, at de ikke påvirker regressionens resultat i samme retning, men derimod virker

modsatrettede og derved ophæver indflydelsen af den enkelte observation.



**Figur B.1.** Helårskoncentrationer afbildet som funktion af sommer-koncentrationen (øverst til venstre). Afbildningen indikere eksistensen af en tilnærmelsesvis en lineær relation imellem sommer og helårskoncentrationer, men også at spredningen af punkterne vokser med voksende radonkoncentrationer. **Øverst til højre:** transformation af såvel den uafhængige og som den afhængige respons variabel med funktionen  $h(x)=\sqrt{x}$ . **Nederst til venstre:** transformation af såvel den uafhængige og som den afhængige respons variabel med funktionen  $h(x)=\sqrt{x}$ . **Nederst til højre:** transformation af såvel den uafhængige og som den afhængige respons variabel med funktionen  $h(x)=\log_e(x+11)$



**Figur B.2.** Diagnostiske plot for regressionen  $\log_e(h+11)=a\log_e(s+11)+b+\epsilon_i$ . **Øverst til venstre:** residualer plottet som funktion af estimerede transformerede helårskoncentrationer. **Øverst til højre:** normaliserede residualer plottet mod kvantiler i normalfordeling. **Nederst til venstre:** kvadratrods af normaliserede residualer plottet som funktion af estimerede transformerede helårskoncentrationer. **Nederst til højre:** Cook's distance måler ændringer i den estimerede transformerede helårskoncentration ved at udelade den pågældende observation og er altså et mål for de enkelte observationers indflydelse på regressionsmodellen.

## Bilag C. Faktormodel

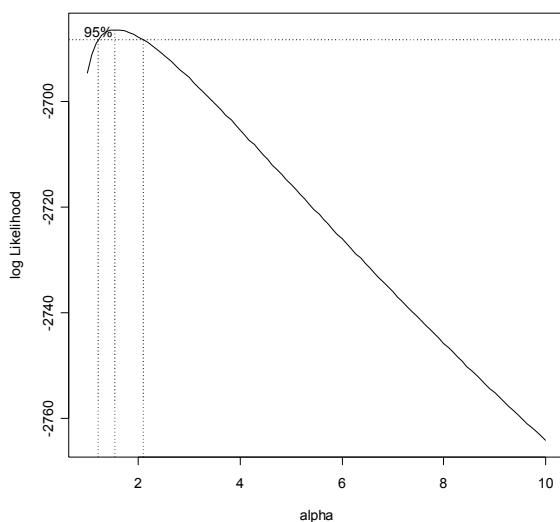
Anvendelse af en generel lineær model forudsætter at:

1. residualerne er normalfordelte med  $\mu=0$ .
2. residualerne er identisk fordelte (uafhængig af  $z$ )
3. at residualerne er ukorrelerede (autokorrelation)

For at opfylde betingelse 1 er det valgt at anvende en logaritmisk transformation af formen:

$$z = \log_e(y+c)$$

hvor  $y$  er den målte radonkoncentration og  $c$  er en konstant. Konstanten  $c$  er estimeret til 1,55 ved hjælp af software-pakken MASS (figur C.1).



**Figur C.1.** Maksimum-likelihood estimeret af  $c$  i transformationen  $z=\log_e(y+c)$

Estimatet af  $c$ , er afhængigt af faktormodellen, idet  $c$  netop estimeres med henblik på at opnå normalfordelte residualer i samme model. Processen er derfor iterativ, idet der først er opstillet en initial faktormodel på baggrund af en skønnet værdi for  $c$ .

Dernæst er  $c$  estimeret med udgangspunkt i denne initiale model, og alle modelkonstruktionens skridt er herefter gentaget for den nye transformation (trinvis opbygning af antallet af faktorer med udgangspunkt i en simpel model med kun en enkelt faktor og trinvis udeladelse af faktorer med udgangspunkt i en model bestående af samtlige faktorer, som beskrevet i afsnit 8.2).

Som det fremgår af figur C.2 øverst til højre, hvor fraktilerne i den standardiserede fordeling af residualerne er plottet mod fraktilerne i en standard normalfordeling, er fordelingen af residualerne ikke væsentlig forskellig fra at være normalfordelte. Dette er heller ikke tilfældet i en shapiro-wilk-test for normalitet ( $p=0,42$ ). Dermed er betingelse 1 opfyldt.

Residualerne er som illustreret i figur C.2 øverst og nederst til venstre endvidere uafhængige af den transformerede radonkoncentration. Korrelationen imellem residualer og estimerede værdier af den transformerede radonkoncentration er mindre end  $10^{-16}$ . Dermed er betingelse 2 opfyldt.

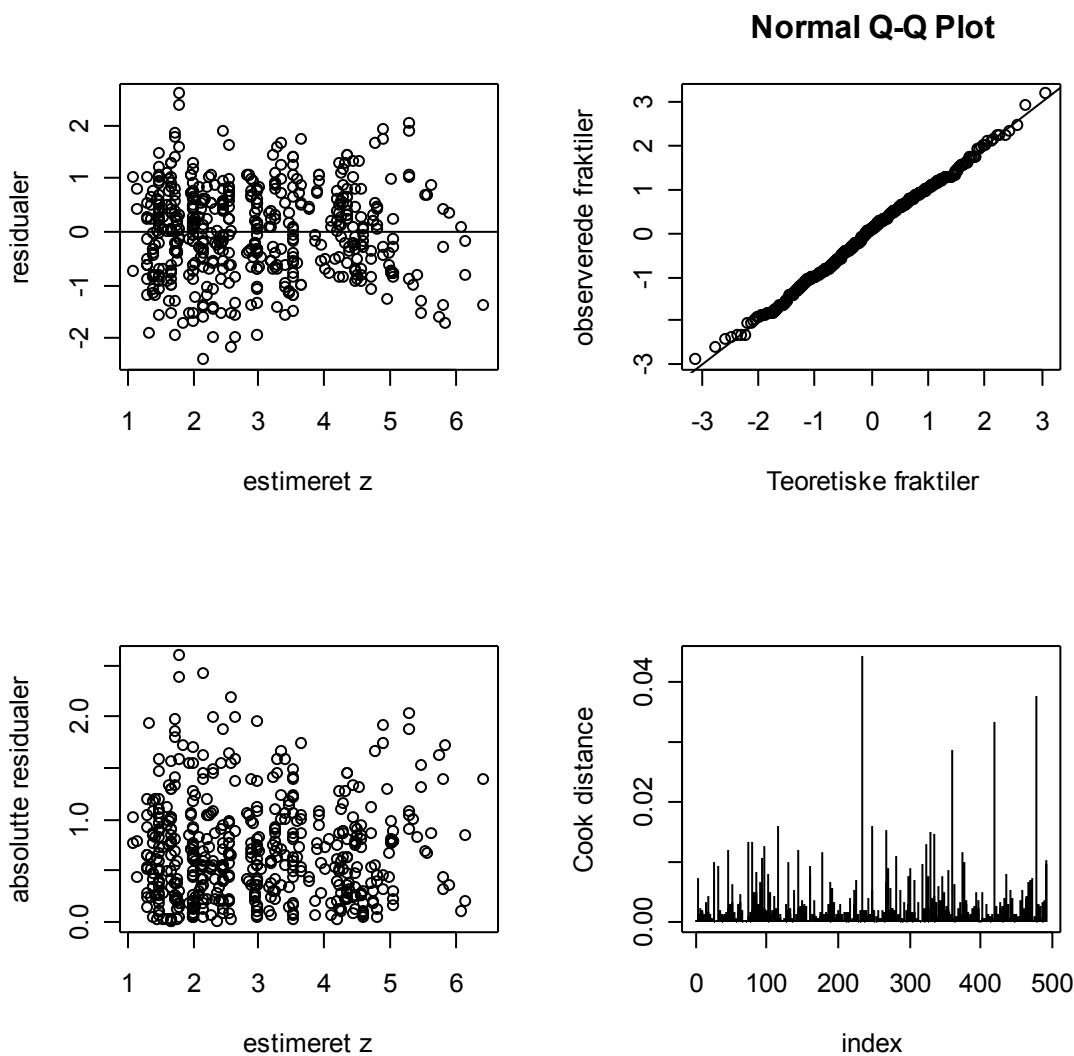
Breusch-Godfrey test for seriel korrelation af første og højere orden er signifikant ( $p<0,01$ ). Denne autokorrelation betyder at betingelse 3 ikke er opfyldt og der muligvis kan findes bedre estimater for koefficienterne i faktormodellen. Der er imidlertid som omtalt også indikationer på en spatial korrelation, der er en særlig form for autokorrelation.

Cooks afstande i figur C.2 nederst til højre er et mål for den enkelte observations indflydelse på faktormodellen. Som det fremgår er der specielt fire observationer, der har særlig stor indflydelse på regressionen. Resultatet af regressionen er imidlertid ikke væsentligt forskelligt ved udeladelse af de fire observationer. Dette skyldes antageligvis, at



de ikke påvirker regressionens resultat i samme retning, men derimod virker modsatrettede og derved ophæver indflydelsen af den enkelte observation. Der er i øvrigt ingen indikationer

på at nogen af de fire observationer er specielle eller forhold der begrundes at ekskludere disse observationer ved modelberegningerne.



**Figur C.2.** Diagnostiske plot for faktormodellen . **Øverst til venstre:** residualer plottet som funktion af estimerede transformerede radonkoncentrationer. **Øverst til højre:** fraktiler i fordelingen af standardiserede residualer plottet mod fraktiler i en standard normalfordeling. **Nederst til venstre:** absolutte residualer plottet som funktion af estimerede transformerede radonkoncentrationer. **Nederst til højre:** Cooks's distance måler ændringer i den estimerede transformerede radonkoncentration ved at udelade den pågældende observation og er altså et mål for de enkelte observationers indflydelse på regressionsmodellen.

## Bilag D. Undersøgte faktorer, som ikke indgår i faktormodellen.

I det følgende beskrives resultaterne af faktoranalysen systematisk for de faktorer, som ikke indgår i faktormodellen (afsnit 8.3), og betydningen af de enkelte faktorer kommenteres og diskuteres.

For hver faktor er der genereret et diagram bestående af et bokspot, der viser de målte radonniveauer fordelt på hver klasse og et plot af klassernes estimerede faktorindeks i en faktoranalyse (i den tilbage transformerende model). En nærmere beskrivelse af hvordan faktordiagrammet læses er givet i afsnit 8.4.

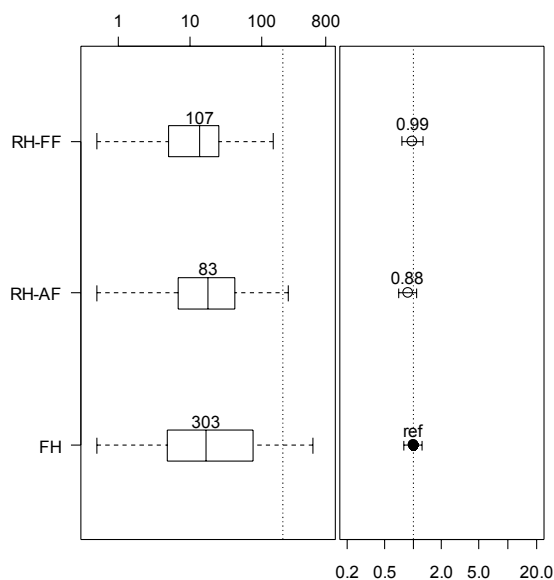
Den enkelte faktors betydning afhænger af, hvilken modelkontekst den præsenteres i. Det er fundet mest rimeligt generelt at præsenterer de enkelte faktorer i en model sammen med de faktorer, der er fundet signifikante for radonvariationen. Det vil sige i kontekst med de seks faktorer der indgår i modellen i afsnit 8.3. I enkelte tilfælde er der dog gjort undtagelser. Det er i de tilfælde, hvor en faktor er korreleret med en af faktorerne i modellen i afsnit 8.3, og ændrer sig markant såfremt denne faktor udelades. I de tilfælde er det valgt at vurdere dem i en modelkontekst, hvor de erstatter den pågældende faktor. Det vil i så fald eksplicit fremgå af teksten.

### D.1 Hustype

Som det fremgår af diagrammet for faktoren 'hustype' (Figur D.1), er der stort overlap imellem intervallerne af målte koncentrationer i de tre klasser.

Det er derfor ikke overraskende at klasserne af rækkehuse (RH-AF og RH-FF) ikke adskiller sig signifikant fra klassen 'fritliggende huse' (FH), der er reference klasse. Betragter man boksploppet af fordelingerne af radonkoncentrationer og den estimerede betydning af de enkelte klasser i faktoranalysen, bemærkes en uoverensstemmelse. Ud fra fordelingen af radonkoncentrationerne

alene skulle vi forvente at finde det mindste radonindeks i klassen af rækkehuse med fælles fundamenter (RH-FF). Det er imidlertid ikke tilfældet.



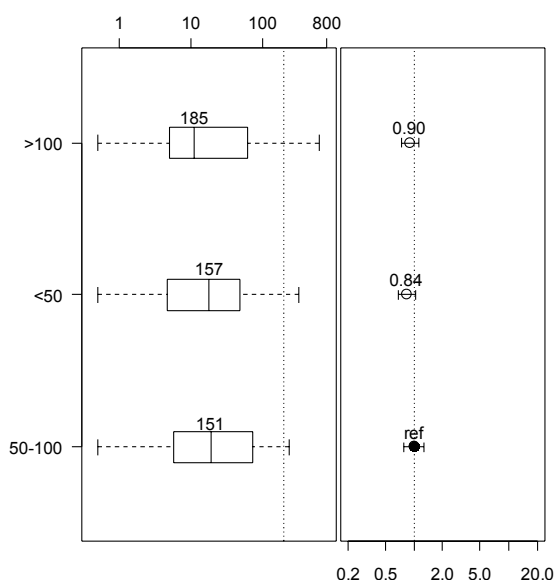
Figur D.1 Diagram for faktoren 'hustype'. FH er fritliggende huse, RH-AF er rækkehuse med adskilte fundamenter og RH-FF er rækkehuse med fælles fundamenter.

Forklaringen skal findes i, at faktoren 'hustype' er præsenteret i en modelkontekst, hvori der også indgår de seks signifikante faktorer fra modellen i afsnit 8.3. Datamaterialet er ubalanceret og der er i klassen af rækkehuse med fælles fundamenter en større andel af huse fra Nuuk end i de øvrige klasser. Som allerede fremhævet er den forventede radonkoncentration i Nuuk alt andet lige mindre end i en bolig i Qarqortoq og Narsaq. Faktoren by er derfor en del af forklaringen på de lidt lavere radonkoncentrationer i rækkehuse med fælles fundamenter. Faktormodellen kan i et vist omfang kompensere for den opståede ubalance ved at filtrere effekterne af 'by', 'hustype' og de øvrige faktorer fra.

## D.2 Bebygget areal

Fra en simpel betragtning må den samlede fluks af radon ind i boligen vokse med det bebyggede areal. Det var grundlaget for at medtage denne faktor i undersøgelsen. Der ses imidlertid ingen væsentlige forskelle i radonkoncentrationer i de tre undersøgte intervaller (Figur D.2). I overensstemmelse hermed viser radonindekset for de tre klasser kun ganske små forskelle.

Boligareal indgår også som en faktor i undersøgelsen (afsnit D.3). Det kunne tænkes at forholdet imellem boligareal og bebygget areal var af betydning for radonkoncentrationen. En sådan mulig sammenhæng er blevet undersøgt og kunne heller ikke påvises (ikke vist).

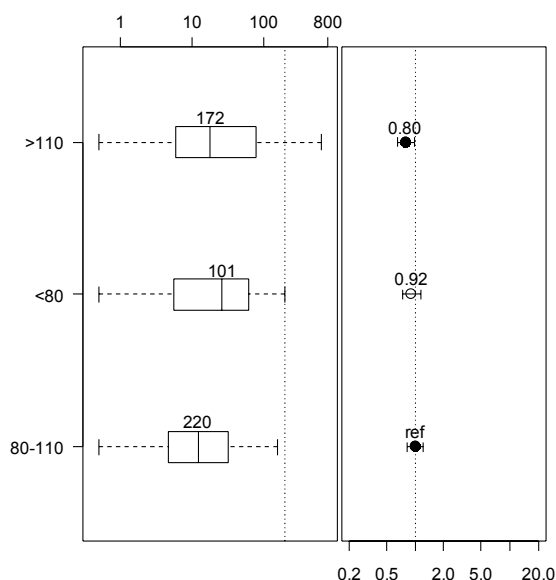


Figur D.2 Diagram for faktoren 'bebygget areal'. 50-100: boliger med bebygget på mellem 50 og 100 m<sup>2</sup>; <50: boliger med et bebygget areal mindre end 50 m<sup>2</sup>. >100: boliger med et bebygget areal på mere end 100 m<sup>2</sup>.

## D.3 Boligareal

Boligareal kunne ud over ovennævnte interaktion med bebygget areal tænkes at have en selvstændig betydning for radonkoncentrationen. Boksplottet i diagrammet (Figur D.3) viser overlappende intervaller for de tre klasser, men der er mindre forskelle imellem fordelingerne.

Der er en overrepræsentation af boliger fra Nuuk i referenceklassen (ikke illustreret) og omvendt en forholdsmæssig større andel af boliger fra Narsaq og Qarqortoq i de to andre klasser. Radonindeksene på under 1 for disse to klasser er et udtryk for at radonkoncentrationen i disse to klasser, alt andet lige, er mindre end i referenceklassen. For boliger på mere en 110 m<sup>2</sup> er denne forskel faktisk signifikant ( $p < 0,05$ ) i forhold til referencen. Når faktoren 'boligareal' alligevel ikke er medtaget i faktormodellen repræsenteret i afsnit 8.3, er det fordi faktormodellen med denne faktor inkluderet ikke adskiller sig signifikant fra den simple model. Boligarealet bidrager altså meget lidt til at forklare variationen i radonkoncentrationerne.

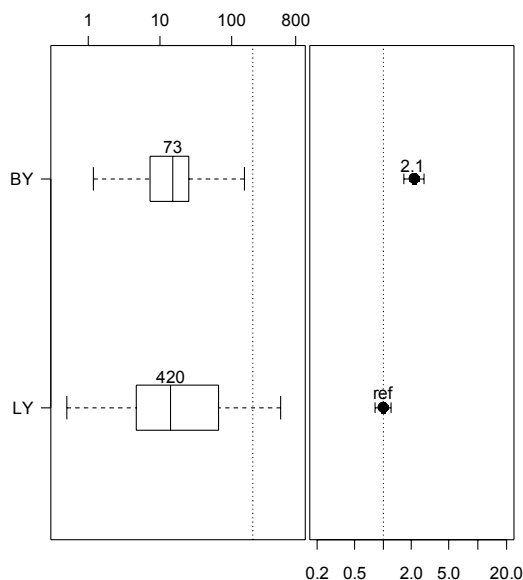


Figur D.3 Diagram for faktoren 'Boligareal'. 80-110: boliger med et boligareal på mellem 80 og 110 m<sup>2</sup>; <80: boliger med et boligareal mindre end 80 m<sup>2</sup>. >110: boliger med et boligareal på mere end 110 m<sup>2</sup>.

## D.4 Ydervægge

Af boksplottet i Figur D.4 fremgår, at de to klasser, let ydervæg og betonydervæg, antalsmæssigt er meget ulige repræsenteret. Dette afspejles tydeligt i de forskellige spredninger. Spredningerne dækker imidlertid også over en ulige repræsentation af de øvrige klasser. Især er det igen klasserne i faktoren 'by', der har betydning i fordelingerne med en

meget lille repræsentation af boliger fra byerne Qarqortoq og Narsaq i klassen af boliger med ydervægge af beton.



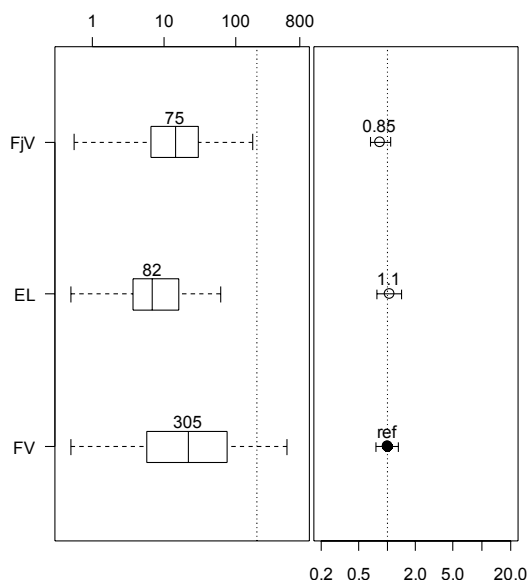
Figur D.4 Diagram for faktoren 'ydervægge'. LY: let ydervæg (træ, gips m.m.); BY: ydervægge af beton eller gasbeton.

I radonindekset er nogle af virkningerne af det ubalancerede datagrundlag bortfiltreret, og det ses, at der kan forventes en dobbelt så høj radonkoncentration i boliger med ydervægge af beton i forhold til boliger med ydervægge af træ eller andet let materiale. Når faktoren 'ydervægge' alligevel ikke indgår i faktor modellen i afsnit 8.3 er det fordi faktorerne 'ydervægge' og 'vægmaterialer' er stærkt korrelerede. 'Vægmaterialer' er en af faktorerne i kategorien "rumforhold". Som for ydervægge skelnes der imellem vægge af beton (letbeton og almindelig beton) og lette konstruktioner af andet materiale (træ, gips m.m.), dog således at vægmaterialer klassificeres som beton blot en af væggene indeholder beton. Da der endvidere er mindst én ydervæg i alle rum, kan boliger tilhørende klassen beton for ydervægge siges at være en delmængde af boliger tilhørende klassen beton for vægmaterialer. Da faktoren 'vægmaterialer' forklarer en lidt større andel af variationen end faktoren 'ydervægge', er førstnævnte foretrukket i faktormodellen i

afsnit 8.3. Det beregnede radonindeks for 'ydervægge' i Figur D.4 er beregnet i en model, hvor 'ydervægge' erstatter 'vægmaterialer' i faktormodellen.

## D.5 Opvarmningskilde

De tilsyneladende lidt forskellige radonkoncentrationer i boksplottet i Figur D.5 afspejler igen det ubalancerede datagrundlag. Eksempelvis er alle de el-opvarmede boliger udelukkende fra Nuuk, hvilket formentlig er årsagen til de lidt lavere radonkoncentrationer.



Figur D.5 Diagram for faktoren 'Opvarmningskilde'. FV: Forbrændingsvarme (oliefyr, brændeovn m.m.); EL: el-varme; FjV: fjernvarme.

Radonindekset viser at der ikke er signifikante forskelle på radonkoncentrationerne i boliger med fjernvarme eller el-varme i forhold til reference klassen med forbrændingsvarme.

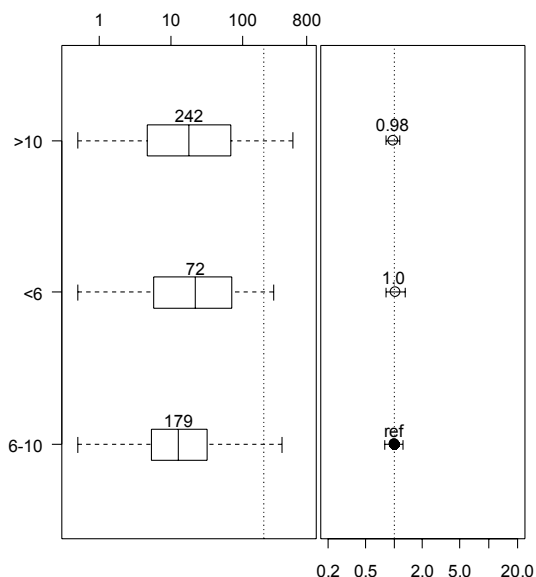
## D.6 Opvarmningsudgift

Som det fremgår af boksplottet i Figur D.6 er fordelingen af radonkoncentrationerne lidt forskellige i de tre klasser med hensyn til variationsbredden af de to midterste kvartiler. Årsagen til dette kendes ikke, men kan måske

igen skyldes det ubalancerede datagrundlag. Der kan ikke påvises nogle forskelle på radonindekset i de tre klasser.

Faktoren blev inddraget i undersøgelsen, idet det blev vurderet at opvarmningsudgiften kunne give et indirekte mål for, hvor godt boligen var isoleret, og hvor tæt huset var. Det blev derfor forventet at en stor opvarmningsudgift ville kunne indikere et stort luftskifte. Dog vil et større hus alt andet lige også have en større opvarmningsudgift end et lille.

På baggrund af samtaler med beboerne blev det klart, at hovedparten af boligerne ikke har individuelle varmemålere, og at afregningen i stedet foregår samlet for et boligområde. Oplysningerne om opvarmningsudgift er derfor ikke særlig specifik for den enkelte bolig, hvilket kan være en medvirkende årsag til, at der ikke har kunnet påvises nogen signifikant effekt af faktoren på radon niveauet.

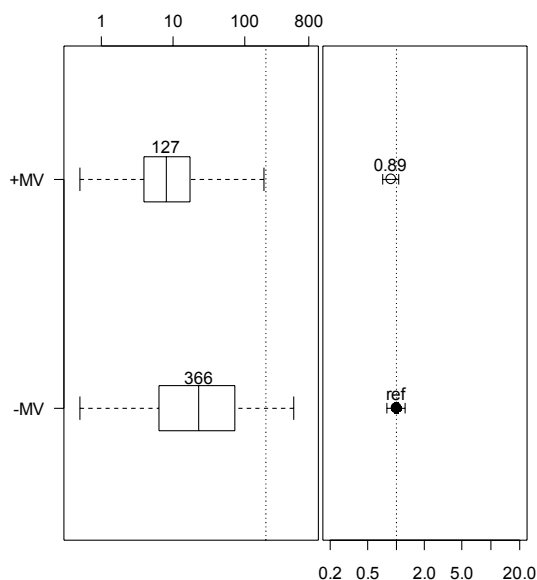


Figur D.6 Diagram for faktoren 'Opvarmningsudgift'. 6-10: 6.000 kr. – 10.000 kr. årligt; <6: mindre end 6.000 kr. årligt; >10: mere end 10.000 kr. årligt.

## D.7 Mekanisk ventilation

Mekanisk ventilation dækker over installationer som emhætte i køkken, badeværelses-

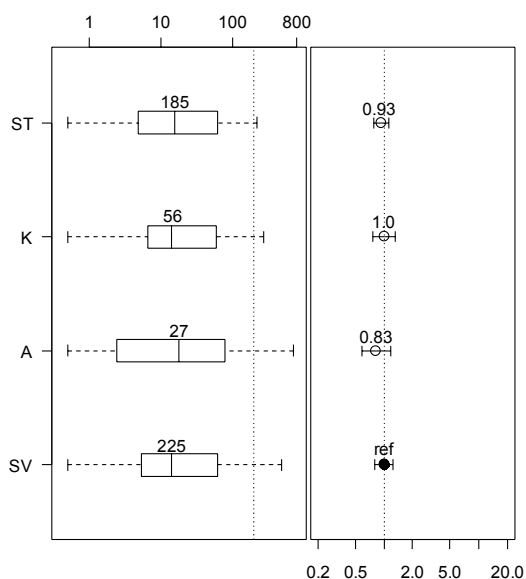
ventilation og mere udbyggede ventilationsanlæg. Boksplottet i Figur D.7 viser, at radonkoncentrationen er mindre i huse med mekanisk ventilation. Forskellen beror imidlertid til dels på en overrepræsentation af boliger fra Nuuk i klassen af boliger med mekanisk ventilation, der således bidrager til at uddybe forskellen imellem klasserne. Selvom radonkoncentrationen således som forventet er mindre i boliger med mekanisk ventilation, er denne forskel ikke fundet signifikant.



Figur D.7 Diagram for faktoren 'Mekanisk ventilation'. -MV: ingen mekanisk ventilation; +MV: der findes i boligen en eller anden form for mekanisk ventilation.

## D.8 Rum-anvendelse

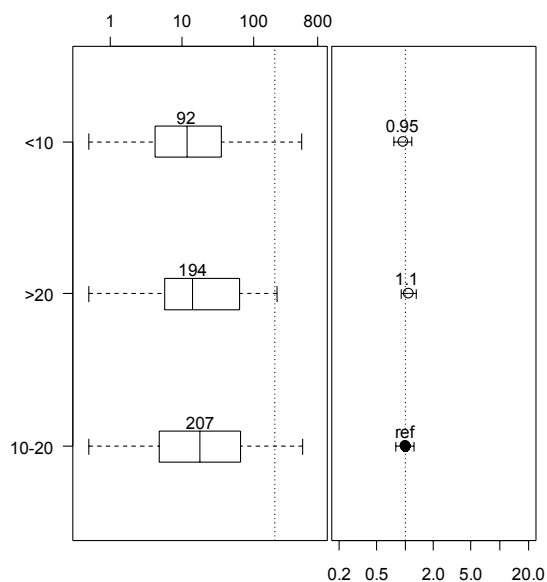
Faktoren 'rum-anvendelse' består af fire klasser, som det fremgår af Figur D.8. Det var på forhånd antaget, at de undersøgte rums forskellige anvendelser medførte, at der kunne være forskelle på hyppigheden af udluftninger og andre forhold, der vedrører luftskiftet. Sådanne forskelligheder ville også kunne påvirke radonkoncentrationen. Som det ses i Figur D.8 er der imidlertid hverken i boksplottet eller radonindekset indikationer på at anvendelsen har betydning for radonkoncentrationen.



Figur D.8 Diagram for faktoren 'rum-anvendelse'. SV: soveværelse; A: anden anvendelse; K: køkken; ST: stue.

### D.9 Gulvareal

Faktoren gulvareal er inddelt i tre klasser, mindre end 10 m<sup>2</sup>, fra 10 til 20 m<sup>2</sup> og større end 20 m<sup>2</sup>.

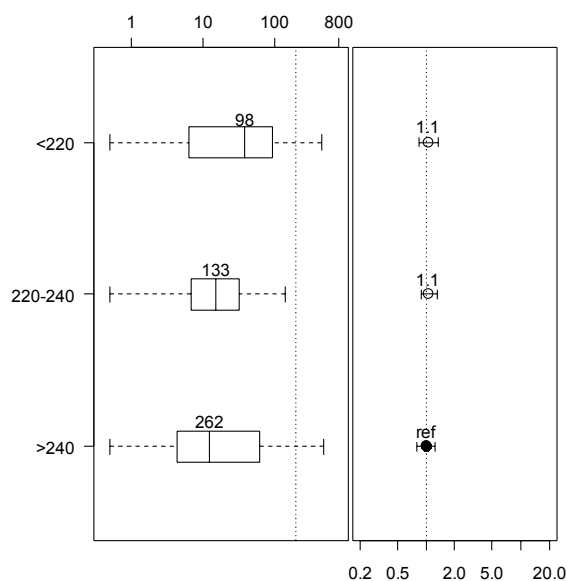


Figur D.9 Diagram for faktoren 'gulvareal'. 10-20: 10-20 m<sup>2</sup>; >20: større end 20 m<sup>2</sup>; <10: mindre end 10 m<sup>2</sup>.

Som det fremgår af Figur D.9 er der ikke noget der indikerer at gulvarealet har betydning for radonkoncentrationen i rummet.

### D.10 Loftshøjde

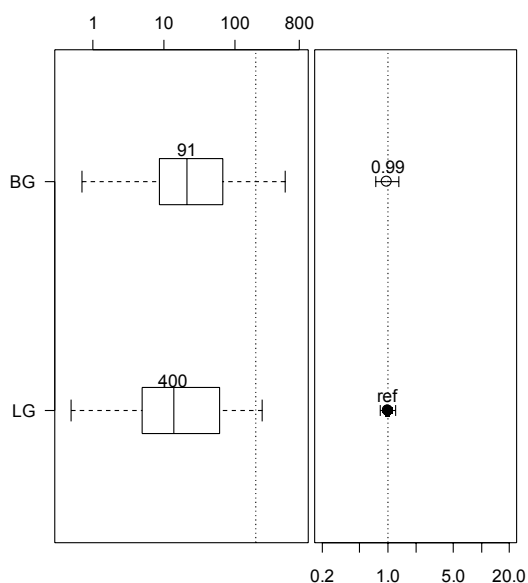
Faktoren loftshøjde er inddelt i tre klasser: 'mindre end 220 cm', 'fra 220 til 240 cm' og 'højere end 240 cm'. Boksplottet i Figur D.10 viser en lidt forhøjet radonkoncentration i klassen 'mindre end 220 cm'. Det skyldes imidlertid formentlig en overrepræsentation af boliger fra Narsaq og forskellen er ikke afspejlet i radonindekset.



Figur D.10 Diagram for faktoren 'loftshøjde'. >240: højere end 240cm; 220-240: 220-240cm; <220: lavere end 220cm.

### D.11 Gulvtype

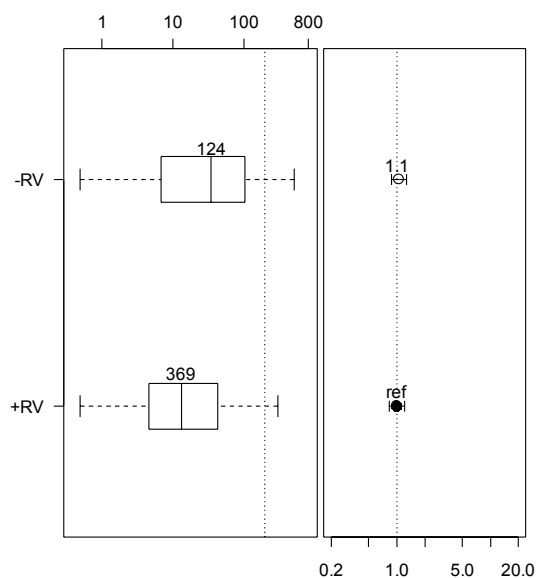
I faktoren 'gulvtype' er der skelnet imellem lette gulvkonstruktioner, fortrinsvis trækonstruktioner, og betongulve. Som det har været vist i denne og andre undersøgelser af radon i boliger, har vægmateriale og vægkonstruktionen betydning for radonkoncentrationen i boliger. Det var derfor ventet at gulvkonstruktionen også kunne tænkes at have en lignende betydning. Som det fremgår af boksplottet og radonindekset i Figur D.11 er der imidlertid ikke i denne undersøgelse indikationer på at der er nogen forskelle imellem de to klasser.



Figur D.11 Diagram for faktoren 'gulvtype'. LG: let gulv; BG: beton gulv.

## D.12 Rumventilation

I faktoren 'rumventilation' er klassifikationen afhængig af om der er installeret en form for passiv eller aktiv ventilation i rummet (vinduer og døre ikke inkluderet) eller en sådan ikke er installeret.



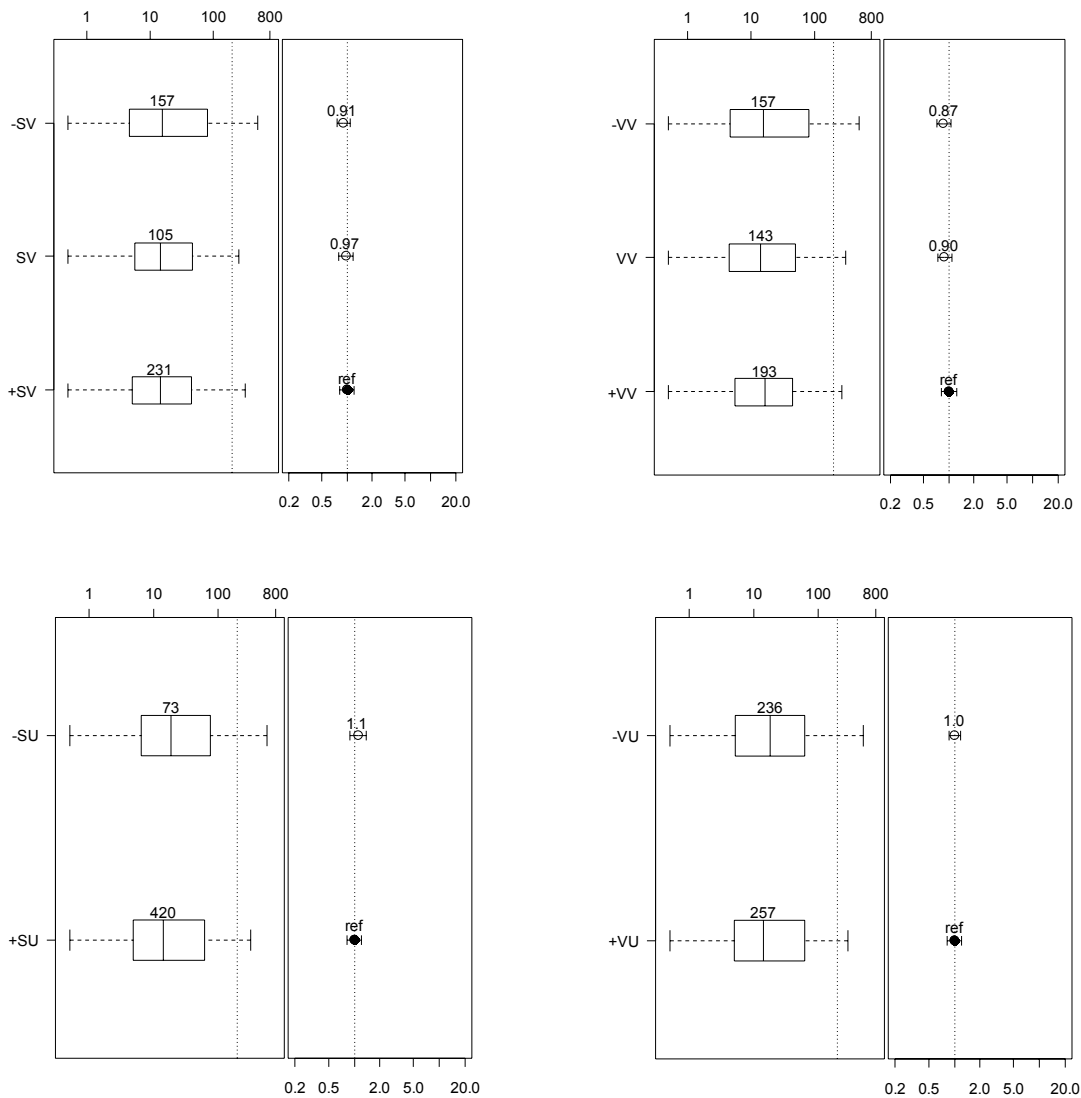
Figur D.12 Diagram for faktoren 'rumventilation'. +RV: rum ventilation findes ; -RV: ingen rum ventilation.

Som det fremgår af boksplottet i Figur D.12 er der en højere radonkoncentration i rum uden en ventilations anordning. Dette skyldes imidlertid snarere en lav repræsentation af boliger fra Nuuk i denne klasse. I radonindekset, hvor effekten af det ubalancerede datagrundlag delvis er bortfiltreret, er der ikke signifikante forskelle imellem de to klasser.

## D.13 Udluftningsvaner

I modsætning til alle ovennævnte faktorer, beror faktorerne i denne kategori ikke på faktiske konstaterbare fysiske forhold ved boligen, men på interview af beboerne vedrørende deres udluftningsvaner. Der er skelnet imellem udluftning foretaget ved periodevis åbning af døre og/eller vinduer og ventilation foretaget ved anvendelse af passive eller aktive ventilationsmuligheder. Der er endvidere skelnet imellem sommer og vinterhalvår, idet de klimatiske forskelle på forhånd var antaget at kunne medføre betydelige sæsonmæssige variationer. Der er således i alt fire faktorer for udluftningsvaner. For hver faktor er der oprettet tre klasser repræsenterende forskellige hyppigheder: "dagligt", "af og til" og "aldrig". Da klassen "aldrig" kun er svagt repræsenteret i faktorerne for udluftning, især sommer udluftning, er klasserne "af og til" og "aldrig" slået sammen i en klasse for sommer- og vinter-udluftning.

Som det fremgår af boksplottene diagrammerne i Figur D.13 er der ikke væsentlige forskelle på radonkoncentrationerne i klasserne i de fire faktorer. Dette forhold afspejles også i radonindeksene, hvor alle indeks er tæt på referenceklassen. Det kan således ikke påvises at udluftningsvanerne har betydning for radonkoncentrationen i boligerne.



Figur D.13A-D **A (ø.tv.):** Diagram for faktoren 'sommer-ventilation'. +SV: daglig ventilation; SV: af og til; -SV: aldrig. **B (ø.th.):** Diagram for faktoren 'vinter-ventilation'. +VV: daglig ventilation; VV: af og til; -VV: aldrig. **C (n.tv.):** Diagram for faktoren 'sommer-udluftning'. +SU: daglig udluftning; -SU: af og til eller aldrig. **D (n.th.):** Diagram for faktoren 'vinter-udluftning'. +VU: daglig udluftning; -VU: af og til eller aldrig.

## D.14 Dosimeterplacering

Placeringen af dosimeteret i rummet bør optimalt set ikke have nogen indvirkning på det målte radon niveau. Opsætningen af dosimetrene blev foretaget efter leverandørens anvisninger, og f.eks. blev placering nær udtrækskanaler, hvor niveauet typisk vil afvige fra det gennemsnitlige niveau i lokalet undgået (se også afsnit 6.1).

Placeringen er analyseret som de øvrige faktorer, hvor placeringen er klassificeret i de i tabel 8.1 nævnte klasser. Der har ikke kunnet påvises nogen betydning af dosimeter placeringen (diagram ikke vist).