

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





# Radon og lungekreft i Norge

Ingvild-Maria A. Enger

Mastergraden i Folkehelsevitenskap 2011

30 Studiepoeng

Universitetet for miljø - og biovitenskap

*Institutt for matematiske realfag og teknologi*



## **Sammendrag**

Denne masteroppgaven ”*Radon og lungekreft i Norge*” inneholder to deler; den første delen inneholder en introduksjon til studien med utdypende empiri og teori i en større sammenheng. Den andre delen er artikkelen ”Sammenhengen mellom forekomst av lungekreft og radon målt i bolig hus – en økologisk studie”. Siste del skal sendes til Tidsskriftet for Den norske legeforening for publisering.

Formålet med denne studien var å undersøke om det var høyere forekomst av lungekreft blant kvinner som var eksponert for radonverdier over den anbefalte tiltaksgrensen på 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Data ble samlet inn via Statens strålevern og Kreftregisteret. Det er en epidemiologisk studie med økologisk design.

Resultatene viser at det er en økt risiko for lungekreft hos kvinner i de områder hvor tiltaksgrensen overstiges. Ut i fra et folkehelseperspektiv er den anbefalte tiltaksgrensen fornuftig.

**Nøkkelord:** Lungekreft, kvinner, epidemiologi, stråling, miljø, radon

## **Abstract**

This Master`s thesis ”*Radon and lung cancer in Norway*” contains two parts; the first part includes the introduction to the study with elaborated empiricism and theory in a larger context. The other part is the article “*Correlation between incidence of lung cancer and radon measured in dwellings – an ecological study*”. The last part is submitted to The Journal of the Norwegian Medical Association for publishing.

The aim of this study was to explore if there was a higher incidence of lung cancer among women who was exposed for radon levels above the recommended action limit on 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Data was collected through Norwegian Radiation Protection Authority and CANCER Registry of Norway. This is an epidemiology study with ecological design.

The results show that it is an increased risk for lung cancer among women in areas where the action levels exceeds. The recommended action level on radon makes sense in a public health view.

**Keyword:** Lung cancer, women, epidemiology, radiation, environment, radon

Public Health is

*”The science and art of preventing disease, prolonging life and promoting health through the organized efforts of society”*

The Acheson Report 1988

Public Health in England

(TAR 1988)

## **Forord**

Denne masteroppgaven er min avslutning på Masterstudiet i Folkehelsevitenskap ved Universitetet på Ås (UMB), i tidsrommet 2009 – 2011.

Temaet jeg har valgt gjenspeiler min interesse for miljøeksponeringer og effekter på folkehelsen. Radoneksponering i boliger har opp gjennom tiden vært en del omtalt i media, senest våren 2011 (<http://www.nrk.no/nyheter/distrikt/hordaland/1.7492198>). Å skrive en mastergradsoppgave har gitt meg verdifulle erfaringer, tross at det til tider har vært meget utfordrende. Jeg må innrømme at det er med stor stolthet og lettelse, at jeg nå leverer fra meg oppgaven og dermed har fullført masterstudiet i Folkehelsevitenskap.

Jeg vil takke alle som har vært med på å bidra til at jeg har klart å gjennomføre mastergraden. Takk til mr. T for tålmodigheten. Spesielt takk til svigerforeldre som har stilt opp som barnevakt til alle mulige tider. Takker resten av familien og ikke minst mine venner, som snart får se meg igjen. Takker min kamerat, Espen Utne for gjennomlesing og korrektur. En utrolig stor takk går også til mine medstudenter for deres omtanke og støtte, dere er unike!

Universitetet på Ås fortjener ros for et meget interessant studium med kompetente og gode forelesere.

Tusen takk til professor Geir Aamodt for hjelp til å holde motivasjonen oppe i en tidvis meget krevende prosess, for fantastisk støtte og verdifull veiledning. Takk til Tom Grimrud ved Det Norske Kreftregisteret for nyttige råd og møter. Takk til Ingvild Finne ved Statens Strålevern for data og alle dere andre som har bidratt til at jeg har klart å gjennomføre denne masteroppgaven.

Sylling, 10. mai 2011

Ingvild – Maria A. Enger

## **Innhold**

Sammendrag.....	2
Abstract.....	2
Forord.....	3
Figurer og tabeller.....	5
Forkortelser/ Akronymer.....	6
1.0 Introduksjon .....	7
1.1 Historisk perspektiv .....	8
1.1.1 Forskning på innendørs radoneksponering og lungekreft.....	8
1.2 Lungekreft .....	9
1.3 Radioaktivitet.....	10
1.4 Hva er radon .....	11
1.4.1 Internasjonalt radon arbeid .....	12
1.5 Kilder til eksponering .....	12
1.5.1 Drikkevann.....	12
1.5.2 Berggrunnen.....	12
1.5.3 Lineær – dose -respons .....	14
1.6 Områder i Norge med ekstreme radonnivåer .....	14
1.6.1 Huse - feltet et radonutsatt område .....	14
1.6.2 Røykevaner for kvinner i tidsrommet 1953 til 1963.....	15
1.7 Målet med studien .....	15
2.0 Materialer og metode .....	16
2.1 Kreftregisteret.....	16
2.2 Statens strålevern.....	16
2.3 Oppsummering av metoden.....	17
2.3.1 Lineær regresjon .....	17
2.3.2 Målemetoden.....	19
2.3.3 Metodiske betraktninger .....	19
2.3.4 Etikk.....	20
3.0 Resultater.....	20
3.1 Oppsummering av hovedfunn .....	20

4.0 Diskusjon.....	21
4.1 Dose - respons og terskelverdi.....	21
4.2 Røyking .....	23
4.3 Tiltak.....	23
4.3.1 Helsebekymring .....	23
4.3.2 Tilskudd og radontiltak .....	24
4.3.3 Høyrisikoområder .....	26
4.3.4 Folkehelsestrategier .....	27
5.0 Konklusjon og implikasjoner .....	27
5.1 Implikasjoner .....	28
Referanser: .....	29
Artikkel: Sammenhengen mellom forekomst av lungekreft og radon målt i bolig hus – en økologisk studie.....	34

#### Liste over figurer og tabeller

Figur 1: Scatterplot sammenheng mellom radonnivå og byggeår.....	42
Figur 2: Historisk forekomst av lungekreft.....	44
Figur 3: Hvordan radon kommer inn i boliger.....	13
Tabell 1: Radonoversikt fylker.....	41
Tabell 2: Relativ risiko for lungekreft.....	43
Tabell 3: Insidensrater lungekreft.....	44
Tabell 4: Byggeår og radon.....	18

## **Forkortninger/Akronymer**

<b>NRPA</b>	<u>Statens strålevern</u> (Norwegian Radiation Protection Authority)
<b>NRC</b>	National Research Council
<b>IARC</b>	<u>INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER</u>
<b>WHO</b>	<u>World Health Organization</u>
<b>BEIR VI</b>	Committee on Biological Effects of Ionizing Radiations
<b>Bq/m<sup>3</sup></b>	Becquerel per kubikkmeter
<b>mSv</b>	millisievert (ekvivalent dose)
<b>Gy</b>	gray (absorbert dose)
<b>ICD-10</b>	<u>International Classification of Diseases</u>
<b>ICRP</b>	INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION
<b>UNSCEAR</b>	<u>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation...</u>
<b>H-DIR</b>	<u>Helsedirektoratet.no</u>
<b>PBL</b>	Plan- og bygningsloven
<b>SSB</b>	<u>Statistisk sentralbyrå</u>



## 1.0 Introduksjon

I følge INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC) er lungekreft et alvorlig folkehelseproblem som på verdensbasis har vært den mest vanlige kreftformen i flere tiår. I 2008 ble det estimert 1,61 millioner nye lungekrefttilfeller som representerer 12,7 % av alle nye krefttilfeller. Det er også den vanligste kreftformen flest dør av. Estimerte døde som følge av lungekreft var 1,38 millioner (18,2 % av totalen) i 2008 (IARC 2008). World Health Organization (WHO) fastholder også at lungekreft tar mer liv enn noen annen kreftform. Denne trenden forventes å øke frem til 2030, hvis det ikke skjer noe dramatisk i forhold til forbruk av tobakk, som er hovedårsaken til økt risiko for å utvikle lungekreft (WHO 2011). Det er anslått at røyking står for omkring 85 % av alle lungekrefttilfeller og radongass for omkring 10 % (Brustugun 2011; Kreftregisteret 2011; NRPA 2011; WHO 2011).

Norge er et av de landene i verden med høyest radonkonsentrasjon innendørs. Gjennomsnittelig innendørs radonkonsentrasjon ca.  $89 \text{ Bq/m}^3$  og det er estimert at omkring 300 personer årlig får lungekreft som følge av radoneksponering (NRPA 2011; Strand et al. 2001).

Internasjonalt er det akseptert at radon er et folkehelseproblem som burde prioriteres nasjonalt (Zielinski et al. 2006). Radon og dens nedbrytningsprodukter blir definert som et karsinogen. Karsinogen er et stoff eller agens som blir ansett som kreftfremkallende (IARC 2011; NRC 1999).

Det er beregnet at omkring 175 000 boliger i Norge, eller ca. 9 % av befolkningen, har et radonnivå høyere enn anbefalte maksimumsgrenseverdi på  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Det er også estimert at ca. 25 000 nordmenn bor i boliger med en radonkonsentrasjon som i gjennomsnitt ligger over  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . Dette kan sammenlignes med å røyke 10-20 sigaretter om dagen. (Løvø 2006; NRPA 2011).

Statens strålevern anbefaler at nivået på radon skal holdes så lavt som mulig i alle bygninger. Hvis radonnivået overstiger  $100 \text{ Bq/m}^3$  bør det settes inn tiltak. Dette nivået kalles tiltaksgrensen. Det er også implementert i nye bestemmelser: ”III. Strålingsmiljø. § 13-5. Radon” om radon iverksatt i byggeteknisk forskrift (NRPA 2011; PBL 2011).

Tidligere har tiltaksgrensen vært på  $200 \text{ Bq/m}^3$ , men er nå redusert etter anbefalinger fra ICRP (ICRP 2011).

## **1.1 Historisk perspektiv**

Så langt tilbake som på begynnelsen av 1500 - tallet er det blitt sagt at Georgius Agricola kunne kjenne igjen lungekreft blant gruvarbeidere som var forårsaket av radon, selv om en slik diagnostisering er nokså usannsynlig (Weber 2002). I 1550 - årene ble lungekreft eller "Bergkrankenheit" også beskrevet fra andre hold som en lidelse blant arbeidere i sølvgruver. Ett par århundrer senere, i 1879, ble lungekreft beskrevet blant gruvarbeiderne i Schneeberg av Harting og Hesse (Edling et al. 2010; Greenberg & Selikoff 1993).

Helt frem til begynnelsen av 1900 - tallet var lungekreft en relativt sjelden sykdom, men etter 1900 - tallet har det vært en markant økning i forekomst av lungekreft og denne økningen er knyttet til forbruk av tobakk (Edling et al. 2010; IARC 2011; WHO 2011). I følge Adami med flere (2002) ble det også spekulert om andre miljøfaktorer enn røyking kunne bidra til denne utviklingen. Mellom 1920 og 1970 ble det meste av forskning på lungekreft forklart av yrkeseksponering, da spesielt med tanke på radon i uranrike gruver (Adami et al. 2002; Edling et al. 2010; NRC 1999). Noen tiår senere ble det allment kjent at moderate radonverdier også i boliger kan forårsake en økning av lungekreft og dette bekreftes også i dyrestudier (NRC 1999).

### **1.1.1 Forskning på innendørs radoneksponering og lungekreft**

I 1994 gjorde Magnus og medarbeidere en epidemiologisk studie i Norge for å se på sammenhengen mellom radonnivå innendørs og lungekreft. De fant at insidensraten av lungekreft økte signifikant blant kvinner ved økt radoneksponering (Magnus et al. 1994).

En studie fra Gansu Provinsen i Kina rapporterte i 2002 en signifikant økning av risiko for lungekreft ved en økning av innendørs radonkonsentrasjon (Wang et al. 2002).

Syv Nord - Amerikanske kasus - kontrollstudier ble sammenslått for å undersøke sammenhengen mellom innendørs radoneksponering og lungekreft. Resultantene viste en assosiasjon mellom innendørs radonkonsentrasjon og risiko for lungekreft (Krewski et al. 2005).

Darby med medarbeidere utførte en meta - analyse av 13 epidemiologiske studier fra forskjellige land i Europa i 2005 for å undersøke forholdet mellom radon innendørs og lungekreft. De hadde kasus (lungekreft) for 7148 personer og 14 208 kontroller. Konklusjonen viser at radon i hjemmet er assosiert med økt risiko for lungekreft i den generelle populasjonen (Darby et al. 2005).

## 1.2 Lungekreft

Lungekreft (cancer pulm) er den hyppigste kreftformen i Norden. I Norge er den blant de vanligste kreftformer. Det er den kreftsykdommen som tar flest liv og i 2007 døde 2100 lungekreftpasienter. Hos norske menn og hos kvinner er det den nest hyppigste og tredje hyppigste kreftformen. Hos kvinner er forekomsten økende, mens den er så å si uforandret hos menn (Kreftregisteret 2011).

Lungekreft kan hovedsakelig deles inn i:

- Ikke småcellet lungekarsinom (85 %)
- Småcellet lungekarsinom (15 %)

De vanligste undergruppene av ikke-småcellet lungekarsinom er: plateepitelkarsinom, adenokarsinom og storcellet karsinom. Disse typene er relatert til røyking.

Ikke – småcellet lungekarsinom og småcellet lungekarsinom utgjør samlet ca. 97 % av alle karsinomer i lungene.

Det er dårlige leveutsikter og fem års relativ overlevelse for alle stadier av lungekreft er omkring 14,3 % for kvinner og 11 % for menn (Brustugun 2011). Behandlingen ved lungekreft er enten kirurgi, kjemoterapi eller strålebehandling alene eller i forskjellige kombinasjoner (Brustugun 2011; Kreftregisteret 2011). Latenstiden for lungekreft er lang og en økning eller reduksjon i bruk av tobakk kan gjenspeiles ca. 20 år senere ved en økning eller reduksjon i antall nye lungekrefttilfeller (Adami et al. 2002). Sykdommen er sjelden for personer under 40 år, men øker gradvis frem til 70 - 75 års alderen (IARC 2011; NCI 2011). Latenstid vil si at en mutert celle (eks. DNA-skade) deler seg og blir til to kreftceller, så deler de seg og blir til fire kreftceller, så øker det 2-4-8-16-32 og så videre. Etter 20 delinger har vi over en million kreftceller og da kan kreftsvulsten påvises, tiden det tar blir definert som latenstid (Henriksen et al. 2008). I denne masteroppgaven har jeg valgt å bruke fellesdiagnosekriteriet for lungekrefttilfeller fra ICD 7 koden 162.0, 162.1 og 162. 9, som tilsvarer ICD 10 kodene C33, C34 og C39 (ICD-10 2011). Selve lokalisasjonen det er trukket ut i fra er: luftrør, lunge, bronchus, luftveiene og intratorakale organer, samt andre og dårligere definerte lokalisasjoner.

Ettersom det er for omfattende i forhold til tidsperspektiv og størrelse på oppgaven å dele inn i mindre definerte kriterier som for eksempel ikke- småcellet lungekreft og de forskjellige

undergruppene, har jeg valgt å se på lungekreftdiagnosen samlet. I oppgaven brukes derfor definisjonen lungekreft for alle ICD kodene nevnt ovenfor.

### 1.3 Radioaktivitet

Så lenge mennesket har eksistert, har vi blitt eksponert for radioaktiv stråling fra naturlige kilder. Denne eksponeringen varierer over tid og er dermed ikke konstant. Naturlig stråling stammer fra berggrunnen og kosmisk stråling fra atmosfæren. Menneskeskapt stråling er en tredje kilde til radioaktiv stråling (NRPA 2011; Stranden 1979; WHO 2011).

En atomkjerne som består av samme antall protoner, men ulike antall nøytroner kalles en isotop. Disse atomene er ustabile og prøver hele tiden å bli stabile ved at de emitterer energi eller partikler (NRPA 2011; Yassi et al. 2001). De atomkjernene som brytes ned, eller desintegrerer, sender ut radioaktiv stråling i form av alfa ( $\alpha$ )-, beta ( $\beta$ )- eller gammastråling ( $\gamma$ ). Dette varierer alt etter hva som er karakteristisk for det enkelte isotop. Når desintegrasjonen skjer endrer atomkjernen seg, slik at det faktisk blir et nytt grunnstoff eller at den opprinnelige isotopen blir til en ny isotop. Det gjelder bare ved at alfa eller beta partikler emitterer (Yassi et al. 2001). Helt enkelt sagt kan stråling beskrives som energi som blir overført fra en strålekilde til et materiale (NRPA 2011). Når atomet sender ut stråling kalles prosessen en desintegrasjon (nedbrytning). Dette er aktiviteten til en radioaktiv kilde.

Aktiviteten til en radionuklide er definert som det antall delinger eller transformasjoner som finner sted pr. tidsenhet. Måleenheten er becquerel (Bq). En Bq er det samme som en deling pr. sekund. Aktiviteten av radon og dens datterprodukter er uttrykt i en ratio av aktivitet pr. volum luft, Bq/m<sup>3</sup> (NRC 1999).

Skadeomfanget av strålingen avhenger av typen stråling og den aktuelle dosen. Dosen måles i Gray (Gy) eller Sievert (Sv) (Bissett & McLaughlin 2010; Henriksen et al. 2008; NRPA 2011; Yassi et al. 2001). Det er estimert at den gjennomsnittelige effektive dosen fra all radioaktiv stråling på årsbasis for den norske befolkning er 4.2 mSv (Sundal, A. V. et al. 2004). Hvorav er det beregnet at 100 Bq/m<sup>3</sup> gir en effektiv doseekvivalent på 5 mSv pr. år (Rootwelt 1988).

## 1.4 Hva er radon

Radon og radondøtrene er radioaktive og er den største hovedkilden til naturlig radioaktiv stråling i verden (WHO 2011). Radon er en naturlig gass som siver opp fra berggrunnen og som finnes overalt i naturen i varierende mengder. Den er fargeløs, luktfri og smakløs.

Halveringstiden er den tid det tar fra strålingen fra et radioaktivt stoff avtar til det halve, for radon er det en halveringstid på 3,82 dager. Vanligvis er det lave verdier utendørs, mens innendørs kan gassen akkumuleres i større mengder (NRPA 2011; Stranden 1979; Sundal, A. V. et al. 2004; WHO 2011).

Uran-radium serien er en radioaktiv serie. Derfra dannes radon og dens radondøtre. Radon dannes når radium ( $^{238}\text{Ra}$ ) spaltes, det betyr at atomkjernen endrer seg og blir omdannet til et annet grunnstoff. Radon sender i hovedsak ut  $\alpha$ -stråling. (Henriksen et al. 2008; Løvø 2006; NRC 1999; Yassi et al. 2001). Denne typen stråling sender ut tunge alfapartikler som avgir store mengder energi på kort rekkevidde, gjennom ionisering. Ionisering fører til at et elektron blir ”slått” ut av et molekyl ved at det da danner et positivt ion. Det elektronet som blir slått ut fra atomet kan slå seg sammen med et nytt molekyl og det dannes da negative ioner (NRC 1999). Rekkevidden for alfastråling er bare noen få cm og kan ikke trenge igjennom hudoverflaten vår. Hvis disse partiklene derimot inhaleres eller svelges kan det medføre betydelige skader når de ioniserer atomer i levende celler.

Utvikling av sykdom er knyttet til at strålene avgis i lungevevet og fører til biokjemiske endringer i cellene. De største stråledosene gir de kortlivede datterproduktene av radon. Radondøtre er nye kortlivete radioaktive isotoper av polonium- 218, vismut -214 og bly -214 som blir til når radon desintegrerer nedbrytes (Sundal, A. V. et al. 2004). Disse er metalliske og kan feste seg til partikler i lufta. Det er disse som avgir stråledoser til lungevevet, som igjen fører til at reproduktive cellene blir påført skader i DNA og som øker risikoen for mutasjoner og utvikling av kreftceller. Det er antatt at  $\alpha$ -stråling fra Pb-218 og Po-214 står for mesteparten av strålingen i lungevevet. Hvis radondøtrene er frie avgir de større doser enn de som bundet til støvpartikler som vil avgi mindre doser (Darby et al. 2005; Henriksen et al. 2008; Løvø 2006; NRC 1999; Sanner et al. 1988; Yassi et al. 2001).

### **1.4.1 Internasjonalt radon arbeid**

To internasjonale komitèer som arbeider med radioaktiv stråling er INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP) og The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR).

ICRP har retningslinjer for strålevern som de fleste land i verden følger der de har et strålevern, komiteen skal være, og er konservativ i sine anbefalinger. De følger også prinsipielt lineær dose – effekt – kurven uten en nedre terskelverdi (ICRP 2011). Denne drøftes senere.

UNSCEAR er FNs vitenskapelige strålekomitè, de samler inn og vurderer forskningsresultater innen stråling og helse i fra hele verden. Komiteen presenterer med jevne mellomrom sitt arbeid i rapporter som legges frem for FNs generalforsamling. De er ofte konsentrert om bestemte fagområder. Når en del av UNSCEARs konklusjoner kommer frem, fører de til endringer i de retningslinjer ICRP gir (UNSCEAR 2011).

## **1.5 Kilder til eksponering**

### **1.5.1 Drikkevann**

Det kan forekomme radon i vann. Borebrønner i fast fjell med radiumholdig granitt kan gi høye konsentrasjoner av radon i drikkevannet. Da kan radon frigis i inneluften ved bruk av vannet. I drikkevann er det i følge *Drikkevannsforskriften* satt en grenseverdi for radonnivå på 100 Bq/l (Lovdata 2011).

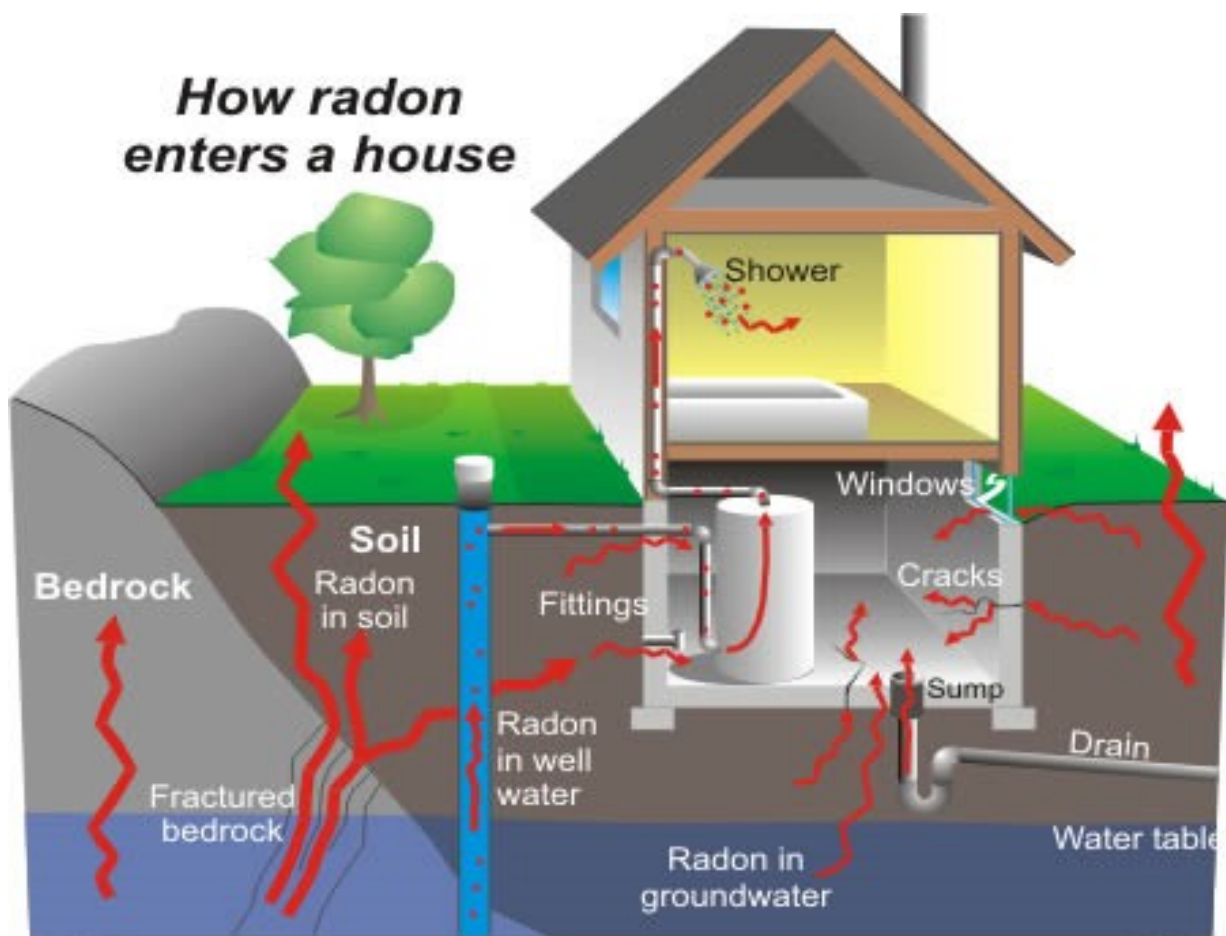
### **1.5.2 Berggrunnen**

Norge er som nevnt tidligere et av landene i verden med høyest radonkonsentrasjon. Hovedårsaken til dette er permeabiliteten og berggrunnen. Enkelte typer alunskifer kan ha en radiumkonsentrasjon som gir opptil 4500 Bq/kg. Dette er så mye som mer enn 100 ganger over gjennomsnittet for norske bergarter (Henriksen et al. 2008). Andre bergarter som inneholder høye radiumkonsentrasjoner er granitt og pegmatitt (Sundal, A. V. et al. 2004). Siden radon dannes naturlig i berggrunnen, vil den ekshalere med jordluft inn gjennom utettheter og sprekker mellom bygninger og berggrunnen. Hvis bygningsmaterialet inneholder radium, vil det kunne avgis noe radon innendørs (Jensen et al. 2006). Gjennomsnittelig radonkonsentrasjon utendørs er omkring 10 Bq/m<sup>3</sup> (Jensen et al. 2006).

En rekke studier som er foretatt utendørs i verden viser at radonkonsentrasjonen vanligvis er omkring  $10 \text{ Bq/m}^3$ , men med en variasjon mellom 1 og  $100 \text{ Bq/m}^3$  (Jensen et al. 2006).

Alt i alt vil radonkonsentrasjonene innendørs gjenspeile type berggrunn (NRPA 2011; Smethurst et al. 2008; Sundal, A. V. et al. 2004).

Ettersom radon finnes i alle slags bygninger vil den totale risikoen være summen av opphold i forskjellige bygninger, det være seg i hjemmet, på jobben og i fritiden. Risikoen for lungekreft øker med konsentrasjonen og opphold i tid (Darby et al. 2005; NRC 1999).



Figur 3: Hvordan radon kommer inn boligen.

Bildet hentet fra: [http://www.google.no/images?um=1&hl=no&client=firefox-a&rls=org.mozilla%3Anb-NO%3Aofficial&channel=s&biw=1366&bih=576&tbs=isch%3A1&sa=1&q=radon+bilder&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.no/images?um=1&hl=no&client=firefox-a&rls=org.mozilla%3Anb-NO%3Aofficial&channel=s&biw=1366&bih=576&tbs=isch%3A1&sa=1&q=radon+bilder&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)

### **1.5.3 Lineær – dose -respons**

ICRP har utarbeidet anbefalte retningslinjer for grense- og terskelverdier som de fleste land i verden følger. Retningslinjene er ikke basert på eksperimentelle eller observerte erfaringer, men på en teoretisk modell som kalles "Linear No Threshold" altså LNT-modellen. Denne modellen baserer seg på at forholdet mellom dose og helseeffekt er rettlinjet og at det ikke er noen nedre dose for helseeffekter. Modellen kan ikke bevises eller støttes av observasjoner (Henriksen et al. 2008; ICRP 2011; UNSCEAR 2011).

Nåværende vitenskapelige funn anbefaler at en lineær dose – responskurve uten en nedre grense for Bq/m<sup>3</sup> uansett brukes for å se på sammenhengen mellom eksponering og lungekreft. Det betyr at for hver økning på 100 Bq/m<sup>3</sup> i radonkonsentrasjon er det estimert en økning i relativ risiko for lungekreft på 8 % til 16 % (Darby et al. 2006) (Schmid et al. 2010).

## **1.6 Områder i Norge med ekstreme radonnivåer**

### **1.6.1 Huse - feltet et radonutsatt område**

Som nevnt tidligere er det en gjennomsnittelig radonkonsentrasjon innendørs på 89 Bq/m<sup>3</sup>. I tillegg finnes det noen områder i Norge med ekstreme verdier. Ett eksempel på et slikt område er Husefeltet i Kinsarvik, i Hordaland fylke. Dette feltet ble oppdaget da Statens strålevern utførte et prosjekt Radon i 1994-96. Flere av boligene hadde ekstremt høye innendørs radonverdier, noen ble målt til en årlig radonkonsentrasjon på nesten 60 000 Bq/m<sup>3</sup> (Valen et al. 2000). Det er ikke målt høyere verdier andre steder i Norge tidligere. Det er til og med målt radonnivåer utendørs i Kinsarvik ligger over den anbefalte maksimumsgrenseverdien på 200 Bq/m<sup>3</sup>. Høyeste verdi utendørs ble målt til 287 Bq/m<sup>3</sup> (Jensen et al. 2006).

Husefeltet ligger på en grovkornet endemorene som ble avsatt for omtrent 10 000 år siden (Jensen et al. 2006). En annen faktor som spiller inn for Husefeltet er hvordan transporten av jordluft blir ekshalert fra berggrunnen og hvordan radon konsentreres i jordluften (Sundal, A.V. et al. 2004). Den spesielle topografien kombinert med alunskifermorenen under Husefeltet er en helning med høydeforskjell på nedre og øvre del på ca. 30 meter. Denne høydeforskjellen medfører en variasjon på radonkonsentrasjon mellom sommer og vinter. Om sommeren er det høyere forekomster av radon i den nedre delen, mens i den øvre delen er det høyere forekomst om vinteren. Kald luft er tyngre enn varm luft. Om sommeren er temperaturen i jordluft kaldere enn temperaturen i uteluft, jordluften strømmer da mot det lavereliggende området. I den kalde



årstiden strømmer jordluften mot høyere liggende områder fordi jordluften har høyere temperatur enn uteluften. I Husefeltet er det ekstremt permeable sediment fra morenen som gjør at denne effekten forsterkes kraftig. Utendørs temperatur og lufttrykk spiller en rolle (Jensen et al. 2006; Sundal, A.V. et al. 2004; Sundal et al. 2008).

Andre områder i Norge med radonproblemer er for eksempel Røyken kommune i Buskerud, Fredrikstad kommune i Østfold og Eidfjord kommune i Hardanger (Jensen et al. 2006).

### **1.6.2 Røykevaner for kvinner i tidsrommet 1953 til 1963**

For ca. 100 år siden startet tobakksindustrien med automatisering av produksjonen. Da ble det en masseutbredelse av sigarettøyking i Norge. I undersøkelsen til Lund har det vist seg at menn over 15 år har stått for ca. 70 % av forbruket av alle sigaretter som er røykt i Norge siden 1927 (Lund et al. 2009). Det kommer også frem i et epidemilogisk perspektiv at menn har stått for en mer intensiv og lengre eksponering for sigaretter enn kvinner. I første halvdel av 1900-tallet var røyking forholdsvis sjelden blant kvinner over 15 år. Det er også funnet at kvinner har tatt røyking i bruk på et senere tidspunkt i livet enn menn. Siden kvinners røykevaner akkumulerte på et senere tidspunkt enn menns, fikk ikke de det samme konsumet på topp som menn fikk. De har hatt en topp på et langt lavere forbruksnivå enn menn (Lund et al. 2009). Fra 1955-1965 var det en nedgang i forbruk hos både kvinner og menn. Mens det var en særlig sterk økning i tobakksforbruk hos kvinner i årene 1965-1975 (RØNNEBERG et al. 1994). Det er vanskelig å kartlegge røykeforbruket eksakt, se (Lund et al. 2009) og (RØNNEBERG et al. 1994) for utdypende informasjon angående dette.

### **1.7 Målet med studien**

Ettersom WHO har definert nivået hvor det sterkt anbefales å utføre tiltak til  $100 \text{ Bq/m}^3$ , bestemte Statens strålevern seg i 2009 for å følge disse retningslinjene. WHO forklarte dette med funn fra de nyeste vitenskapelige data på helseeffekter fra radoneksponering i inneluft. En grenseverdi på  $100 \text{ Bq/m}^3$  kan derfor forsvares fra et folkehelseperspektiv, ettersom en effektiv reduksjon i radonassosierte helseeffekter i befolkningen fra slik grenseverdi kan forventes (WHO 2011).

Jeg ønsker derfor å undersøke om den nye terskelverdien på  $100 \text{ Bq/m}^3$  er relevant i forhold til radoneksponering og lungekreft. Nullhypotesen blir som følger:

$H_0$ : Det er ingen forskjell i forekomst av lungekreft hos kvinner som eksponeres for radonverdier  $> \text{ og } < 100 \text{ Bq/m}^3$  i tidsperioden 1953 – 1963.

## **2.0 Materialer og metode**

### **2.1 Kreftregisteret**

Kreftregisteret er et av de eldste nasjonale kreftregistre i verden. En kombinasjon av dette og personnummersystemet vi har i Norge, gjør at Kreftregisterets materialer særdeles godt egnet til å etablere ny viten gjennom forskning og å spre kunnskap om kreftsykdom. Kreftregisteret har registrert nye tilfeller av kreft som forekommer i Norge fra 1952 og til i dag (Kreftregisteret 2011). I denne studien har vi antall kvinner som har utviklet kreft i tidsrommet 1953 til 1963. Vi har stratifisert på kvinner over og under 65 år.

### **2.2 Statens strålevern**

Statens strålevern er et forvaltningsorgan som skal ivareta befolkningens helse ved hjelp av kartlegging og oppfølging. Strålevernet har forankring i medisin, fysikk og biologi. Forvaltningen er et kunnskapsorientert organ, men bruker også føre - var prinsippet.

Strålevernet fører tilsyn med all bruk av strålekilder i Norge. Målsettingen er redusert risiko til hele befolkningen. De fører også tilsyn ved norske atomanlegg.

Strålevernet har ansvar for oppbygging og vedlikehold av atomberedskapen i Norge. I Regjeringens handlingsplan for atomsikkerhet og miljø i nordområdene er Strålevernet innsats i forebyggende handlinger hjemlet. Strålevernet er en kunnskapsbedrift som er deltakende i en rekke forskningsprosjekter, både europeiske og nasjonale. Disse prosjektene omhandler blant annet forskning på effekten av radioaktiv forurensing i miljøet. Strålevern og atomsikkerhet har et stort internasjonalt kontaktnettverk. Ved saker som vedrører Det Internasjonale Atomenergibyrådet (IAEA), er Strålevernet en rådgivende etat til Utenriksdepartementet.

Statens strålevern ble opprettet i 1993 og har hovedkontor på Østerås i Bærum og har til sammen ca. 100 ansatte fordelt på de forskjellige avdelingene i landet. Strålevernet ligger under Helse - og omsorgsdepartementet. Strålevernet har også egne avtaler med Utenriksdepartementet og Miljødepartementet og skal bistå eventuelle andre departement om spørsmål angående stråling og atomsikkerhet. Strålevernet har et laboratorium som er velutviklet for analyser av alfa-, beta- og gammastråling, samt UV-stråling (NRPA 2011).

## **2.3 Oppsummering av metoden**

Det ble beregnet relativ risiko og tilskrivbar risiko for kvinner i begge alderkategorier for radonverdier over  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Se artikkelen for beskrivelse. Lineær regresjon ble brukt for å se om det var en sammenheng mellom radonnivå og byggeår. Se punkt 2.3.1 for detaljer.

### **2.3.1 Lineær regresjon**

For å kunne se på sammenhengen mellom radonverdier og byggeår, valgte vi ut 20 tilfeldige kommuner som har utført radonmålinger i prosjektet Radon 2000/2001. Det var viktig at det skulle være en kommune fra hvert fylke, ettersom vi har 19 fylker i Norge ble to av kommunene valgt fra to like fylker. Videre gikk jeg inn i hver enkelt av de utvalgte rapportene til kommunen og noterte ned årsmiddelverdien for hver byggeårsperiode. Byggeår ble beregnet som gjennomsnitt av en ti års periode. En ekstremverdi på  $2219 \text{ Bq/m}^3$  ble utelukket i fare for at gjennomsnittelig årsmiddelverdi for den ene byggeperioden skulle bli ekstremt forskjøvet. Gjennomsnittelig årsmiddelverdi av radon, den avhengige kontinuerlige variabelen og gjennomsnitt av byggeår, den uavhengige kontinuerlige variabelen ble plottet inn i SPSS. Lineær regresjon ble da brukt for å undersøke om det var en sammenheng, se artikkelen side 12. De 20 tilfeldig utvalgte kommunene var: Asker, Hemsedal, Hole, Tana, Ringsaker, Odda, Norddal, Hattfjelldal, Snåsa, Nord-Aurdal, Oslo, Forsand, Leikanger, Røros, Vinje, Gratangen, Åseral, Lardal, Svelvik og Skiptvet.

Tallene på byggeår var delt opp i følgende og med en gjennomsnittelig årsmiddelverdi for alle 20 kommuner, se tabell 4:

Byggeår	Bq/m <sup>3</sup>
1950	128
1964,5	131
1974,5	127
1984,5	104
1994,5	113
2000	118

Tabell 4: Både gjennomsnittelig byggeår og radon

Vi søkte Kreftregisteret og Statens strålevern om tilgang til data. Vi fikk befolkningsdata for den kvinnelige andelen av befolkningen i hele landet fordelt på kommunenivå, samt antall lungekrefttilfeller for hver kommune i perioden 1953-1963. Fra Statens strålevern fikk vi målinger av radon innendørs fra hele Norge. Disse dataene inneholdt blant annet måletidspunkt og kommune hvor målingen ble utført. Data måtte klargjøres for videre analyser. Dette arbeidet ble utført i samarbeid med veilederen min Geir Aamodt. Det som ble gjort ved klargjøringen var følgende:

- 1) Laget en liste over antall krefttilfeller per kommune, delt i de to alderskategoriene
- 2) Laget en liste over antall personer under risiko for hver kommune, delt i de to alderskategoriene
- 3) Koblet disse slik at for hver kommune har vi antall personer under risiko og antall tilfeller, begge delt i alderskategoriene. Befolkning og tilfeller er summert over de elleve årene.
- 4) For hver kommune har vi lagt til gjennomsnittsverdier radon for radonmålinger i 2000/2001. Jeg har også lagt til andel over 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Videre omkodet jeg ved hjelp av SPSS alle kommuner ut i fra kommunenummer til tilhørende fylker. Så fikk jeg gjennomsnittelig radonverdi for hvert fylke, antall boliger med radonverdier over tiltaksgrensen i prosent, antall boliger i hvert fylke med målinger.

### **2.3.2 Målemetoden**

Det finnes flere typer målemetoder ved måling av radon. Den som er benyttet i denne artikkelen er passiv måling ved bruk av sporfilmetoden.

I boliger varierer radonnivået med bl.a. årstidene, meteorologien og geologien. Dette vil gi forskjellig utslag ved bruk av sporfilm alt etter hvilken årstid målingen foretas i. Det anbefales at en måler minst 2 måneder sammenhengende og i vinterhalvåret, dette for å jevne ut korttidsvariasjonene.

For å kunne gi en risikovurdering for lungekreft ved radoneksponering i boliger, blir gjennomsnittelig radonkonsentrasjon benyttet som mål. Ved hjelp av lang integrasjonstid og målinger under stabile forhold, er det fullt mulig å estimere en relativt nøyaktig årsmiddelverdi.

Siden alfapartiklene fra radon og radons datterprodukter er tungt ioniserende, har de evnen til å påføre mikroskopiske spor eller skader på materialer av typen glass, mineraler, polymerer etc. Ved hjelp av kjemisk eller elektrokjemisk etsning kan disse gjøres optisk synlige.

Sporfilmen (CR-39) inneholder tynne plate av ulike polymerer. Materialets kjemiske bindinger ødelegges av alfapartiklene ved gjennomtrekking og det blir da synlige spor på grunn av etsningen. Da kan en undersøker tettheten av spor som igjen gir et mål for gjennomsnittelig radonkonsentrasjon i måleperioden.

Sporfilmen består av et diffusjonskammer. Radongass diffunderer gjennom boksen, mens radondøtre og fukt filtreres bort. Det vil etableres en likevekt mellom luften inni og utenfor kammeret. Radondøtre dannes da kontinuerlig inne i kammeret og sporfilmen blir da eksponert for alfapartikler fra desintegrasjonen av radon og radondøtre (NRPA 2011).

### **2.3.3 Metodiske betraktninger**

Hovedmålet med epidemiologisk forskning er å studere sykdommers dødelighet og forekomst, identifisere personer med høy risiko for sykdom og finne risiko for sykdom (Laake et al. 2007). Designet ble valgt på bakgrunn av hva jeg ønsket å undersøke. Jeg ønsker å beskrive lungekrefttilfeller blant kvinner som eksponeres for radonverdier over 100Bq/m<sup>3</sup> sammenliknet med kvinner som eksponeres for radonverdier under 100Bq/m<sup>3</sup>. Økologisk design kan ikke si noe om årsak til sykdom, altså om det er radon i seg selv som er årsak til lungekreft. Men det er

muligheter for å se assosiasjoner i grupper eller områder, som i denne oppgaven er kvinner i utvalgte kommuner.

Andre design som hadde vært bedre egnet for å kunne identifisere kausale effekter til lungekreft ville vært for eksempel kasus - kontrollstudie eller en kohortstudie. Det hadde da vært mulig og tatt høyde for konfounding. Siden data da blir på individnivå, er det lettere å unngå at for eksempel radonmåling i et hus skal gjelde for et stort område. Det ville vært mulig å bruke data fra for eksempel CONOR (Cohort of Norway) som er helsedata på individnivå for så å koble det sammen med bostedsadresse der radonmålinger er utført samt Kreftregisteret for å identifisere personer med lungekreft.

Ifølge Henriksen med flere, påpekes det at ingen epidemiologiske humandata eller eksperimentelle dyredata vil kunne løse problemet med terskelverdi. Teoretiske modeller vil ikke kunne gi noen nedre terskelverdi. I følge noen forskere kan en ikke utelukke at enkel ionisasjon kan gi opphav til skade som eventuelt kan føre til utvikling av kreftsvulst. En slik hypotese lar seg vanskelig bevise fordi stråling i sin tur kan føre til både positive og negative prosesser i en celle (Henriksen et al. 2008; UNSCEAR 2011).

#### **2.3.4 Etikk**

Opplysningene som brukes i masteroppgaven er anonyme og prosjektet er derfor ikke meldepliktig til regional etisk komité (REK).

## **3.0 Resultater**

### **3.1 Oppsummering av hovedfunn**

Resultatene er beskrevet i artikkelen og blir bare kort presentert her. Risikoen for å utvikle lungekreft for kvinner med gjennomsnittverdi for innendørs radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  var 1,92 ganger høyere enn for kvinner som bodde i områder med mindre enn  $100 \text{ Bq/m}^3$  (95 % KI: 1,42 - 2,59). For kvinner over 65 år var tilsvarende verdi 1,72 (95 % KI: 1,28 - 2,30). Antall personer som bor i områder med radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  og som antas å bli syke på grunn av radon er anslått til 55 personer per år. Sammenhengen mellom byggeår og radonnivå var ikke signifikant.

## 4.0 Diskusjon

Dette kapittelet er en utdypende og mer generell diskusjon av artikkelen. Drøfting av funn, svakheter og styrker ved studien kan leses i artikkelen. Punkt én er å drøfte dose – respons – kurven og terskelverdien. Det andre punktet er å drøfte helseeffekten av radon hos røykere og ikke- røykere. Til slutt, i det fjerde punktet vil jeg drøfte tiltak og videre vurderinger av radon i et folkehelseperspektiv.

### 4.1 Dose - respons og terskelverdi

ICRP mener at hvis det ikke eksisterer en nedre doseterskel, bør stråledosene være så små som praktisk talt mulig. De mener da at dosene skal reduseres så mye som mulig, men at det samtidig er viktig å ta sosiale og økonomiske forhold med i betraktningen (ICRP 2011). Det store spørsmålet er egentlig hvor stor, eventuelt liten dose som gir helseeffekt og tidsrommet menneskene blir eksponert under. Det er noen forskere som foreslår at en liten/lav dose med ioniserende stråling kan være positivt for cellene. Cellene settes i beredskap, vokser og tar seg av skader (Thompson 2011). Denne prosessen kalles ”radiationhormesis” og er en hypotese om at lave doser med ioniserende stråling kan være gunstig for kroppen, som fører til at cellene vokser og eventuelt reparerer seg selv. I en studie utført på rotter fant forskerne signifikante forskjeller på forskjellige radioaktive doser. De cellene i rotter som var utsatt for 75 mGy ble mest stimulert. Spørsmålet er om dette også da kan overføres til mennesker (Liang et al. 2011) (Thompson 2011). BEIR VI holder seg til lineær – dose - respons kurven uten en nedre terskelverdi. Det bør påpekes at komiteen ikke kan ekskludere at andre relasjoner mellom radon og lungekreft som inkluderer en terskelverdi og en kurverelasjon. Dette gjelder spesielt de laveste radonnivåene vi eksponeres for (NRC 1999; Toxnet 2011).

I følge dyreforsøk gir en stråledose over kort tid økt risiko for utvikling av kreft i forhold til en stråledose som gis over lengre tid. Dette knyttes opp mot cellenes evne til å reparere seg. Konsekvensen faller bort når en skade repareres. Hvis dosehastigheten er stor, vil det gi flere skader på en gang. Da kan det være vanskelig å holde reparasjonskapasiteten oppe. En vil kunne anta at ved lavere dosehastighet har cellene mer tid til å utføre reparasjoner. Med økende alder vil denne reparasjonsmekanismen svekkes (Henriksen et al. 2008; ICRP 2011; UNSCEAR 2011).

Vi vet heller ikke nøyaktig stråledose i lungevevet, da dette er vanskelig å måle. Derfor praktiseres det i prinsippet en føre var terskel, altså ingen nedre grense. For kvinner som ikke røyker kan andre tilleggsfaktorer spille inn som gener, os fra matlaging, passiv røyking (Kligerman & White 2011).

Det har tidligere vært en kritikk av at grensen på  $100 \text{ Bq/m}^3$  er for lav, men i dette tilfellet er det relevant å konkludere med at grensen er riktig ut i fra funnene vi har gjort.

Det viktigste i fremtiden vil kanskje være å se på den reelle stråledosen i norsk sammenheng for da å kunne si noe om de biologiske effektene strålingen vi eksponeres for og helseeffektene. I følge Henriksen med flere kan det være slik at ved stråleindusert kreft som kan skyldes en stokastisk prosess (tilfeldigheten ved treff av eks. ionisasjon) vil en dose - respons kurve være lineær og uten en nedre terskel. Hvis strålingen setter i gang andre prosesser som igjen er doseavhengige og kan vekselvirke med de prosesser som igjen kan føre til kreft, da vil ikke en lineær kurve være korrekt (Henriksen et al. 2008). Darby peker på at den lineære kurven er den som er mest korrekt og anvender den i sine analyser (Darby et al. 2006).

En annen faktor som kan spille inn er selve dosen; dess mindre dose jo lengre latenstid. Da vil kanskje en riktig lang latens tid som strekker seg utover forventet levealder føre til at strålingens effekter faller bort (Henriksen et al. 2008). Tiden vi eksponeres for radon innendørs har betydning. Kvinner tilbringer ca. 16 timer i hjemmet og menn ca. 14.5 timer. Tiden vi generelt bruker innendørs summeres, det gjelder jobb, hjemme og annen tid innendørs (SSB 2011).

En studie fra Canada fant at eksponering for radon i et kortere tidsintervall på 10 – 20 år økte risikoen for lungekreft hos personer i alderskategorien 30-50 år, sammenliknet med personer som var eldre. Personene i studien var eksponert for verdier mellom  $50- 1000 \text{ Bq/m}^3$  (Chen 2005).

Effekten av radoneksponering kan være forskjellig fra menn og kvinner på grunn av lungefunksjon og andre faktorer basert på kjønn (NRC 1999). Som et eksempel er det i England en gjennomsnittlig innendørs radonkonsentrasjon på  $21 \text{ Bq/m}^3$ , mot den norske på  $89 \text{ Bq/m}^3$ . I England estimeres det at 3.3 % av alle lungekreftdødsfall relateres til radon og 85 % av disse dødsfallene skyldes radonkonsentrasjoner under  $100 \text{ Bq/m}^3$  (Haugen 2009).



## 4.2 Røyking

Det økte antallet tilfeller av lungekreft skyldes i all hovedsak tobakksforbruket, men det påpekes samtidig at det er viktig å redusere risikoen for lungekreft gjennom tiltak mot andre kjente årsaker, for eksempel radon (Strøm-Erichsen 2011).

For de som røyker er det slik at det er en synergieffekt (interaksjon) mellom utvikling av lungekreft og radoneksponering. Det er virkelig store forskjeller i lungekreftinsidensen mellom ikke-røykere og røykere assosiert til radon; dette er beskrevet i Darby (Darby et al. 2006). En tilleggsfaktor kan for eksempel være at tobakksplanter tar opp Pb-210 (blyisotop) (Tahir & Alaamer 2008; Zaga & Gattavecchia 2008).

## 4.3 Tiltak

Verdens helseorganisasjon (WHO) definerer nivået hvor det sterkt anbefales å utføre tiltak til  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Ved en radonkonsentrasjon på  $100 \text{ Bq/m}^3$ , som ligger litt over gjennomsnittet for boliger i Norge i dag, vil risikoen for å dø av radonindusert lungekreft før 75 års alderen være henholdsvis 0,1 prosent for ikke-røykere og 2 prosent for røykere. Det påpekes fra WHO at i lys av de nyeste vitenskapelige data om helseeffekter fra radoneksponering i inneluft, så kan en grenseverdi på  $100 \text{ Bq/m}^3$  forsvares fra et folkehelseperspektiv. Det kan forventes at en effektiv reduksjon i radon vil kunne føre til redusere negative helseeffekter assosiert med radon (WHO 2011). Strålevernet følger disse retningslinjene som WHO har anbefalt (NRPA 2011).

I den senere tid er det på oppdrag fra Statens Strålevern utført en kostnadseffektivitetsanalyse for en tiltaksgrense på  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Denne undersøkelsen beregnet en kostnad per spart lungekrefttilfelle på 3 millioner kroner, noe som tilsvarer mellom 170 000 og 210 000 kroner per spart leveår (Strøm-Erichsen 2011).

### 4.3.1 Helsebekymring

Ettersom hele befolkningen eksponeres for radon i varierende grad, karakteriseres radoneksponering som et folkehelseproblem. Mennesker som eksponeres for radon kan i visse tilfeller bekymre seg så mye ovenfor denne eksponeringen at det i seg selv medfører redusert livskvalitet. Det kan igjen føre til negativt stress som vi vet er ugunstig for metabolismen over

lang tid. Det finnes studier som bekrefter at mennesker kan få helsebekymringer som følge av redsel for radioaktivitet (Petrie et al. 2001).

Medias fremstilling kan noen ganger bidra til og ”blåse” opp farer som igjen fører til helsebekymringer som så å si er ubegrunnet. Radioaktiv stråling kommer langt ned på listen over farer vi omgis oss med, det er nok av eksempler som kan karakteriseres som verre. Men med dagens kunnskap om radon og at det er et karsinogen skal ikke radoneksponering bagatelliseres, men tas hensyn til. Vi bør utsettes for radoneksponering i minst mulig grad.

#### **4.3.2 Tilskudd og radontiltak**

Under opptrappingsplanen for kreft i tidsrommet 1999 til 2003, gav Husbanken tilskudd for å kunne redusere radonnivå i helårs boliger. Tilskudds ordning ble opprettet 1. januar 1999 og trådte i kraft 25. juni 1999. Det var svært få som benyttet seg av ordningen den gang og årsaken til det kan være liten informasjon om radon og at befolkningen i sin helhet ikke tenker over farene ved høy radoneksponering (NRPA 2011).

Befolkningen oppholder seg i forskjellige bygninger i løpet av dagen, derfor må politikerne tenke på at barnehager, skoler og andre offentlige og private bygg bør gjennomføre radonmålinger. Kommunene har ansvar for det miljørettete helsevern. Det er kommunehelsetjenesteloven § 1-4 og kapittel 4a som utgjør lovgrunnlaget for miljørettet helsevern. Paragraf 1-4 (1) sier at kommunens helsetjeneste til enhver tid skal ha oversikt over helsetilstanden i kommunen, og over de faktorer som kan ha innvirkning på denne. Radoneksponering (stråling) faller inn under denne kategorien. En del kommuner mangler en slik oversikt og bør derfor gjøres oppmerksom på ”radonproblemet”. All kunnskap som opparbeides om radoneksponering skal brukes til å foreslå helsefremmende og forebyggende tiltak i kommunen (H-Dir 2010; NRPA 2011).

Den tilskrivbare andelen på ca. 80 personer i året som får lungekreft som følge av radoneksponering over  $100 \text{ Bq/m}^3$  som vi kom frem til i vår studie, avviker fra Statens strålevern sitt tall på 250-300. Det er vanskelig å få eksakte tall i en økologisk studie og radoneksponering dette er uansett et folkehelseproblem som må tas alvorlig.

I teorien er det mulig å redusere nesten alle tilfeller av lungekreft relatert til radon. I virkeligheten er det en umulighet. Kanskje det er slik at noen tilfeller av lungekreft som er direkte relatert til radon ikke er til å unngå og at det derfor kanskje er noe vi må leve med.

Uansett kan en del tilfeller reduseres ved å senke radonnivåene i hus så lave som overhodet mulig og under tiltaksgrensen på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Et stort antall av de som får lungekreft relatert til radon, men som aldri har røyket, vil da ha den største effekten av lavere nivåer. Den tilskrivbare andelen av radon og lungekreftdødsfall blant røykere kunne vært unngått hvis de ikke hadde røyket (NRC 1999).

I forhold til arealplanlegging og den nye plandelen i plan- og bygningslov som trådte i kraft 1. juli 2009, skal potensielle risikoområder vurderes spesielt (PBL 2011). Det er uansett viktig når man skal avgjøre radonnivået i et utsatt område at det ikke bare benyttes vanlige målinger innendørs, men at generelle geologiske faktorer også blir vurdert (Sundal, A.V. et al. 2004).

Radonsperre og tilrettelegging for utlufting av grunnen er viktige tiltak, i nybygg er det vanskelig å anslå radonverdien før bygget er ferdig oppført, derfor vil det være lettere å utføre tiltak hvis det ligger til rette for det i fra begynnelsen (NRPA 2011).

Tiltak mot radon er forebyggende folkehelsearbeid og de metodene som har vært mest effektive. For å kunne redusere risiko for sykdom eller øke muligheten for god helse i hele eller deler av befolkningen kan alle tiltak som gjennomføres med det formål forstås som forebyggende folkehelsearbeid (H-Dir 2010). Det kan både utføres miljørettede tiltak som i denne oppgaven ville være å redusere innendørs radonkonsentrasjon i alle bygg. Det kan også være individrettede tiltak for å fremme folkehelsen der en motiverer og informerer individrettet, i dette tilfellet informasjon om kombinasjon radon og røyking. Ved at det resulterer i røykeslutt eller at folk ikke begynner å røyke. Andre nivåer arbeidet kan rettes inn på er via primærforebygging som i denne sammenheng ville være påse før utbygging av bolig at det blir gjort oppmerksomt på berggrunnen/geologien. Dette kan være av generell karakter, altså gjelde overalt eller mer spesifikk der en vet at radonnivået i berggrunnen er høyt, kan huseier bli pålagt til å iverksette radonreduserende tiltak før start av byggeprosessen. 1.juli 2010 trådte nye bestemmelser om radon i byggeteknisk forskrift i kraft. Tidligere bygningsregelverk har også inneholdt krav om radon. I en overgangsperiode mellom gamle og nye bestemmelser er inntatt i § 17 – 2. Det formelle ansvar for forskriften er Kommunal- og regionsdepartementet. Statens bygningstekniske (BE) etat kan kontaktes for spørsmål angående den nye forskriften.

De nye kravene lyder som følger:

*”III. Strålingsmiljø. § 13-5. Radon*

*(1) Bygning skal prosjekteres og utføres med radonforebyggende tiltak slik at innstrømming av*

radon fra grunn begrenses. Radonkonsentrasjon i inneluft skal ikke overstige 200 Bq/m<sup>3</sup>.

(2) Følgende skal minst være oppfylt:

a) Bygning beregnet for varig opphold skal ha radonsperre mot grunnen.

b) Bygning beregnet for varig opphold skal tilrettelegges for egnet tiltak i byggegrunn som kan aktiveres når radonkonsentrasjon i inneluft overstiger 100 Bq/m<sup>3</sup>.

(3) Annet ledd gjelder ikke dersom det kan dokumenteres at dette er unødvendig for å tilfredsstille kravet i første ledd.”

(Lovdata 2011; NRPA 2011).

De metodene som har vært mest effektiv i forhold til å redusere innendørs radonkonsentrasjon er radonsug og radonbrønn. Med begge metodene har radonkonsentrasjon til vanlig minket med 70 – 90 %. Et radonsug kan enten installeres gjennom gulv eller igjennom sokkelen. Med en avtrekksvifte koblet til et utsugningspunkt suges luft inn gjennom gulvet. Med hjelp av en radonbrønn som er 3-5 meter dyp suges luft ut i fra jorden. Brønnen bygges utenfor boligen som trenger radonreduksjon. Det er mulig å senke radonnivået i inntil ti boliger i nærheten ved hjelp av en radonbrønn. Ved hjelp av tekniske innordninger som bidrar til økt ventilering i boliger eller gjennom å minske undertrykket i boligen kan radonnivået reduseres med 10 – 40 %. Tetting av sprekker i boliger kan føre til en radonreduksjon på mellom 10 – 50 %. Det er mulig å anvende både et balansert ventilasjonssystem og tetting som tiltak for å effektivisere radonsuget og radonbrønnens effekt (Arvela & Reisbacka 2009; Ånestad et al. 2006).

#### 4.3.3 Høyrisikoområder

Når det gjelder Kinsarvik og Husefeltet ville sekundær forebygging være det riktige nivået, ettersom lungekrefttrisikoen øker lineært med radonnivået. Dette for å forhindre videre faremomenter med radoneksponering. Det ville samtidig være slik at hvis vi ensidig bare satset på høyrisikogruppen, i dette tilfellet Husefeltet eller andre områder med ekstreme radonverdier ville det bety at vi ”svikter” de mange. Fordi flere personer med lav risiko i forhold til radoneksponering ofte vil generer mange nye tilfeller av lungekreft enn de få personene med høy risiko. Dette kalles for det såkalte *forebyggingsparadokset* og innebærer at en liten endring hos de mange har større effekt på folkehelsen enn en stor endring hos de få og særlig utsatte (H-Dir 2010).

Radioaktivitet har eksistert siden tidenes morgen og det er rett og slett umulig og ikke unngå eksponering. Det vil være vanskelig å få lavere innendørs radonverdier i boliger hvis for eksempel utendørsverdiene er høyere enn  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Som for eksempel Kinsarvik som har en gjennomsnittelig radonverdi utendørs på  $114 \text{ Bq/m}^3$ .

Mine tall avviker fra myndighetene sine. Jeg har en tilskrivbar andel på 55 personer i året, hvis vi tar høyde for økt befolkningsvekst siden 1950 tallet, vil tilskrivbar andel i dag ligge på ca 80 personer i året som får lungekreft relatert til radonverdier over  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

#### **4.3.4 Folkehelsestrategier**

Jeg tenker at hovedfokuset for å redusere innendørs radoneksponering ville være å tenke massestrategi, der hele befolkningen er målet. Da ville fordelingskurven for innendørs radonkonsentrasjon forskyves mot et lavere nivå og tanken er da at bare en liten reduksjon i radonnivå innendørs samlet ville medføre en lavere forekomst av lungekreft relatert til radoneksponering. Det forutsetter heller ikke noen forkunnskaper om det enkelte individs risiko for lungekreft. Det ville da være nyttig å rette tiltakene mot hele befolkningen (H-Dir 2010). Strukturelle, politiske eller økonomiske tiltak vil da være virkemidlene som indirekte eller direkte minker risikonivået (H-Dir 2010; Mæland 2005).

Ulempen ved et slikt tiltak kan være at det skaper frykt hos en del av befolkningen som egentlig ikke har reell grunn til å engste seg. Et eksempel: sett at flesteparten av de som bor i boliger med radonnivåer over tiltaksgrensen ikke røyker. Da blir sannsynligheten en liten risiko for utvikling av lungekreft. Det andre er at den enkeltes valgfrihet frarøves og det kan oppstå konflikt i forhold til å innordne seg etter massestrategien (Mæland 2005).

## **5.0 Konklusjon og implikasjoner**

Denne studien så på insidensen av lungekreft blant norske kvinner som eksponeres for innendørs radonverdier over og under  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Kvinner som var eksponert for innendørs radonverdier over  $100 \text{ Bq/m}^3$  hadde en signifikant øket risiko for å utvikle lungekreft. Dette gjaldt begge alderskategorier. Tilskrivbar andel som fikk lungekreft assosiert med radon var omkring 58

personer i året og avviker fra Statens strålevernet sine tall som estimerer omkring 250-300 personer i året.

Tiltaksgrensen på  $100 \text{ Bq/m}^3$  som Statens Strålevern har anbefalt er fornuftig tatt i betraktning våre funn og annen forskning på verdensbasis, men det skader ikke å redusere radonkonsentrasjonen så mye som mulig.

Det forebyggende folkehelsearbeidet i forhold til radon bør evalueres og det anbefales å diskutere om det bør opprettes en ny form for stønadsordning for de som har radonverdier over tiltaksgrensen. Det andre viktige aspektet i denne sammenhengen er synergieffekten mellom radoneksponering og røyking. De aller største utfordringene ligger egentlig i å få redusert forbruket av tobakk og motvirke at folk begynner å røyke. Da ville en stor andel av befolkningen som fikk lungekreft assosiert med radon vært unngått, og det ville uansett føre til enorme helsegevinster i den generelle befolkningen.

## 5.1 Implikasjoner

Økologisk design gir ikke svar på kausale sammenhenger. På den andre siden har vi mange og gode målinger over radonnivået innendørs i norske boliger på punktnivå. Så det finnes mange muligheter for videre studier av norske forhold og forekomster av lungekreft, ettersom vi har spesielt høye innendørs radonnivåer. Derfor ville det være spennende å se på samme problemstilling med at annet design der vi har data på røyking og individnivå for eksempel en kasus - kontroll eller kohort studie.

Ett andre alternativ kunne være å bruke geografiske informasjonssystemer (GIS). Da kunne en ha merket av alle punkter og for eksempel brukt glatting på mindre områder for å se forskjell på radonkonsentrasjonen og lungekrefttilfeller.

Det tredje ville vært å se på begge kjønn i en slik sammenheng.

Det siste ville vært og sett enda nærmere på den lineære dose – respons kurven og at det ikke er en nedre terskelverdi ved radon eksponering.

Referanser:

- Adami, H.-O., Hunter, D. & Trichopoulos, D. (2002). Textbook of cancer epidemiology. I, s. 248-280. New York: Oxford University Press Inc.
- Arvela, H. & Reisbacka, H. (2009). *Radonsanering av bostäder*, STUK-A237/JUNI 2009. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority.
- Bissett, R. J. & McLaughlin, J. R. (2010). Radon. *Chronic Dis Can*, 29 Suppl 1: 38-50.
- Brustugun, O. T. (2011). *oncolex*. Om Lungekreft. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://oncolex.no/Lunge.aspx>.
- Chen, J. (2005). Canadian individual risks of radon-induced lung cancer for different exposure profiles. *Canadian journal of public health. Revue canadienne de sante publique*, 96 (5): 360-3.
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 330 (7485): 223.
- Darby, S., Hill, D., Deo, H., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Falk, R., Farchi, S., Figueiras, A., et al. (2006). Residential radon and lung cancer--detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 32 Suppl 1: 1-83.
- Edling, C., et & al (red.). (2010). *Arbets - och miljömedicin*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Gray, A., Read, S., McGale, P. & Darby, S. (2009). Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. *BMJ*, 338: a3110.
- Greenberg, M. & Selikoff, I. (1993). Lung cancer in the Schneeberg mines: a reappraisal of the data reported by Harting and Hesse in 1879. *Ann Occup Hyg*, Feb (37): 5-14.
- H-Dir. (2010). *Folkehelsearbeidet – veien til god helse for alle*. Helsedirektoratet. Oslo: Helsedirektoratet v/helsedirektør Bjørn-Inge Larsen.
- Haugen, T. B. (2009). Radonsikring av nye bygg er kostnadseffektivt. *Tidsskrift for Den norske legeforening* (9).
- Henriksen, T., Ingebretsen, F., Storruste, A., Strand, T., Svendby, T. & Wethe, P. (2008). *Stråling og helse*, b. 12: EUREKA DIGITAL, HØGSKOLEN I TROMSØ. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: [http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1010/v11/undervisningsmateriale/Dig\\_12-08.pdf](http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1010/v11/undervisningsmateriale/Dig_12-08.pdf).
- IARC. (2008). *Lung Cancer Incidence and Mortality Worldwide in 2008 Summary*. GLOBOCAN 2008

- CANCER FACT SHEET: International Agency for Research on Cancer. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://globocan.iarc.fr/factsheets/cancers/lung.asp>.
- IARC. (2011). *Man-made mineral fibres and radon*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.iarc.fr/>.
- ICD-10. (2011). *International Classification of Diseases (Den internasjonale statistiske klassifikasjonen av sykdommer og beslektede helseproblemer)* Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.who.int/classifications/icd/en/>.
- ICRP. (2011). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. I: PROTECTION, I. C. O. R. (red.). ICRP Publication 103; Ann ICRP 37(2-4). Oxford: Pergamon Press. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.icrp.org/index.asp>.
- Jensen, C. L., Sundal, A. V. & Ånestad, K. (2006). Radon i uteluft. Presentasjon av resultater fra radonmålinger i uteluft i seks utvalgte områder i Norge. *Strålevern Rapport*, 2006 (20).
- Kligerman, S. & White, C. (2011). Epidemiology of lung cancer in women: risk factors, survival, and screening. *AJR. American journal of roentgenology*, 196 (2): 287-95.
- Kreftregisteret. (2011). *Institutt for populasjonsbasert kreftforskning* Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.kreftregisteret.no>.
- Krewski, D., Lubin, J. H., Zielinski, J. M., Alavanja, M., Catalan, V. S., Field, R. W., Klotz, J. B., Letourneau, E. G., Lynch, C. F., Lyon, J. I., et al. (2005). Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology*, 16 (2): 137-45.
- Laake, P., Hjartåker, A., Thelle, D. S. & Veierød, M. B. (red.). (2007). *Epidemiologiske og kliniske forskningsmetoder*. 1 opplag 2007 utg., b. 1 utgave. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Liang, X., So, Y. H., Cui, J., Ma, K., Xu, X., Zhao, Y., Cai, L. & Li, W. (2011). The Low-dose Ionizing Radiation Stimulates Cell Proliferation via Activation of the MAPK/ERK Pathway in Rat Cultured Mesenchymal Stem Cells. *Journal of radiation research*.
- Lovdata. (2011). *Norges Lover*.
- Lubin, J. H., Wang, Z. Y., Wang, L. D., Boice, J. D., Jr., Cui, H. X., Zhang, S. R., Conrath, S., Xia, Y., Shang, B., Cao, J. S., et al. (2005). Adjusting lung cancer risks for temporal and spatial variations in radon concentration in dwellings in Gansu Province, China. *Radiation research*, 163 (5): 571-9.
- Lund, K. E., Lund, M. & Bryhni, A. (2009). Tobakksforbruket hos kvinner og menn 1927–2007. *Tidsskriftet den Norske legeforening* Nr. 18 (24. september 2009): 129: 1871-4.
- Løvø, G. (2006). *Ny oversikt over radonutsatte områder*. NGU - Norges geologiske undersøkelse. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/Aktuelt/2006/049/>.



- Magnus, K., Engeland, A., Green, B. M., Haldorsen, T., Muirhead, C. R. & Strand, T. (1994). Residential radon exposure and lung cancer--an epidemiological study of Norwegian municipalities. *International journal of cancer. Journal international du cancer*, 58 (1): 1-7.
- Mæland, J. G. (2005). *Forebyggende helsearbeid i teori og praksis*. 2. utgave utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- NCI. (2011). *National Cancer Institute at the National Institutes of Health*. Radon and Cancer. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/radon>.
- NRC. (1999). Health Effects Of Exposure To Radon: BEIR VI. I: Council, N. R. (red.). *Commission on Life Sciences*. Washington, DC: Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation.
- NRPA. (2009). *Radon, Helserisiko*. I: strålevern, S. (red.). Oslo: Statens strålevern. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no/radon/helserisiko> (lest 02.12).
- NRPA. (2011). *Norwegian Radiation Protection Authority*: Statens Strålevern. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no>.
- PBL. (2011). *Plan- og bygningsloven*. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/>.
- Pershagen, G., Liang, Z. H., Hrubec, Z., Svensson, C. & Boice, J. D., Jr. (1992). Residential radon exposure and lung cancer in Swedish women. *Health physics*, 63 (2): 179-86.
- Petrie, K. J., Sivertsen, B., Hysing, M., Broadbent, E., Moss-Morris, R., Eriksen, H. R. & Ursin, H. (2001). Thoroughly modern worries: the relationship of worries about modernity to reported symptoms, health and medical care utilization. *Journal of psychosomatic research*, 51 (1): 395-401.
- Rootwelt, K. (1988). [Radon and risk of cancer]. *Tidsskrift for den Norske laegeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, 108 (25): 2026-30.
- Rothman, K. J. (red.). (2002). *Epidemiology An Introduction*. New York: Oxford University Press Inc.
- RØNNEBERG, A., LUND, K. E. & HAFSTAD, A. (1994). Lifetime Smoking Habits among Norwegian Men and Women Born between 1890 and 1974. *International Journal of Epidemiology*, 23 (2): 267-276.
- Sanner, T., Dybing, E. & Stranden, E. (1988). [Indoor radon exposure and risk of lung cancer]. *Tidsskrift for den Norske laegeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, 108 (25): 2023-5.
- Schmid, K., Kuwert, T. & Drexler, H. (2010). Radon in indoor spaces: an underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Arzteblatt international*, 107 (11): 181-6.

- Smethurst, M. A., Strand, T., Sundal, A. V. & Rudjord, A. L. (2008). Large-scale radon hazard evaluation in the Oslofjord region of Norway utilizing indoor radon concentrations, airborne gamma ray spectrometry and geological mapping. *The Science of the total environment*, 407 (1): 379-93.
- SSB. (2011a). *3.4 Beregnet middelfolkemengde for 5-årsperioder, etter kjønn og alder* Historisk statistikk: Statistisk sentralbyrå. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/histstat/tabeller/3-4.html>.
- SSB. (2011b). *Ola og Kari*: Statistisk Sentralbyrå. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: [http://www.ssb.no/ola\\_kari/kari\\_ola.pdf](http://www.ssb.no/ola_kari/kari_ola.pdf).
- Strand, T., Ånestad, K., Ruden, L., Ramberg, G. B., Jensen, C. L., Wiig, A. H. & Thommesen, G. (2001). Kartlegging av radon i 114 kommuner. *StrålevernRapport 2001:6*, 2001 (6). Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no/dav/6970f488d4.pdf>.
- Stranden, E. (1979). Radon in dwellings and lung cancer - a discussion. *Helath Pysics*, 38 (March): 301-306.
- Strøm-Erichsen, A.-G. (2011). *Spørsmål nr. 1218 til skriftlig besvarelse*. omsorgsdepartementet, H.-o. Oslo: REGJERINGEN.
- Sundal, A. V., Henriksen, H., Lauritzen, S. E., Soldal, O., Strand, T. & Valen, V. (2004). Geological and geochemical factors affecting radon concentrations in dwelling located on permeable glacial sediments-a case study from Kinsarvik, Norway. *Environmental Geology*, 45: 843-858.
- Sundal, A. V., Henriksen, H., Soldal, O. & Strand, T. (2004). The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *The Science of the total environment*, 328 (1-3): 41-53.
- Sundal, A. V., Valen, V., Soldal, O. & Strand, T. (2008). The influence of meteorological parameters on soil radon levels in permeable glacial sediments. *The Science of the total environment*, 389 (2-3): 418-28.
- Tahir, S. N. & Alaamer, A. S. (2008). PB-210 concentrations in cigarettes tobaccos and radiation doses to the smokers. *Radiation protection dosimetry*, 130 (3): 389-91.
- TAR. (1988). The Acheson Report 1988: Public Health in England.
- Thompson, R. E. (2011). Epidemiological Evidence for Possible Radiation Hormesis from Radon Exposure: A Case-Control Study Conducted in Worcester, MA. *Dose-response : a publication of International Hormesis Society*, 9 (1): 59-75.
- Toxnet. (2011). *radon, radioactive*. medicine, N. l. o. (red.). Hazardous Substances Data Bank.
- UNSCEAR. (2011). *Annex G. Biological effects at low radiation doses.*: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.unscear.org/unscear/index.html>.

- Valen, V., Soldal, O. & Group-Kinsarvik, T. P. (2000). Variations in radon content in soil and dwellings in the Kinsarvik area, Norway, are strongly dependent on air temperature. *2000 International Radon Symposium*.
- Wang, Z., Lubin, J. H., Wang, L., Zhang, S., Boice, J. D., Jr., Cui, H., Conrath, S., Xia, Y., Shang, B., Brenner, A., et al. (2002). Residential radon and lung cancer risk in a high-exposure area of Gansu Province, China. *American journal of epidemiology*, 155 (6): 554-64.
- Weber, L. W. (2002). Georgius Agricola (1494-1555): scholar, physician, scientist, entrepreneur, diplomat. *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology*, 69 (2): 292-4.
- WHO. (2011). *International radon project*. Geneva: World Health Organization. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/env/radon/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/).
- Yassi, A., et & al (red.). (2001). *Basic environmental health*. Oxford New York.
- Zaga, V. & Gattavecchia, E. (2008). [Polonium: the radioactive killer from tobacco smoke]. *Pneumologia*, 57 (4): 249-54.
- Zielinski, J. M., Carr, Z., Krewski, D. & Repacholi, M. (2006). World Health Organization's International Radon Project. *Journal of toxicology and environmental health. Part A*, 69 (7): 759-69.
- Ånestad, K., Strand, T., Høgmo, T., Skjennem, M., Jensen, C. L. & Hoelsbrekken, S. (2006). Tiltak mot radon i privatboliger
- Oppsummering av tiltak under Nasjonal kreftplan 1999-2003. *Strålevernrapport: Statens Strålevern*.

Artikkel:

Sammenhengen mellom forekomst av lungekreft og radon målt i bolig hus – en økologisk studie

## **Sammenhengen mellom forekomst av lungekreft og radon målt i bolig hus – en økologisk studie**

Ingvild-Maria Enger <sup>1</sup>, Geir Aamodt <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi*

<sup>2</sup> *Divisjon for epidemiologi, Nasjonalt folkehelseinstitutt*

Korrespondanse:

Ingvild-Maria Enger

Universitet for miljø og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi

E-post: [ingvildenger@yahoo.com](mailto:ingvildenger@yahoo.com)

Telefon: 901 59 983

## **Abstract**

**Background:** Norway is one of the countries in the world with the highest indoor radon concentrations, which is the second leading risk factor for developing lung cancer, after smoking. The aim of this study was to investigate if there was an increased risk of lung cancer among women that was exposed for radon values  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  in condition to those exposed to levels  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ .

**Methods:** In this study we used lung cancer cases among women in the period 1953-1963 because the proportion of smokers in this group where low (5-10%). Numbers of cases are split after municipality and in two age categories (over/under 65 years). Radon measurements in 183 municipalities were used. We estimated relative risk and attributable fraction of lung cancer for women with levels  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  compared to those  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ .

**Results:** The risk of developing lung cancer for women with a mean radon value for indoor levels  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  was 1,92 times higher than for women that lived in areas with lower than  $100 \text{ Bq/m}^3$  (95 % KI: 1,42 - 2,59). For women over 65 years equivalent values was 1, 72 (95 % KI: 1, 28 - 2, 30). Numbers of persons living in areas with radon levels  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  and are assumed to get ill because of radon is estimated to 55 persons per year.

**Conclusions:** We found a significant increase in the incidence of lung cancer cases with radon exposure with levels  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  in both age categories. We could not take height for smoking habits, but we expect this confounder to be low because few women were smokers. The number of persons affected was lower than previously estimated.

## **Sammendrag**

**Bakgrunn:** Norge er et av de landene i verden med høyest forekomst av radon i inneluft, som er den nest største risikofaktoren for lungekreft etter røyking. Målet med studien var å undersøke om det var økt risiko for lungekreft blant kvinner som var eksponert for radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  i forhold til de som var eksponert for verdier  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ .

**Materialer og metode:** I denne studien har vi benyttet lungekrefttilfeller blant kvinner i perioden 1953-63 fordi andelen røykere blant denne gruppen var lav (5-10 %). Antall tilfeller er delt opp etter kommune og i to aldersgrupper (over/under 65 år). Radonmålinger i 183 kommuner ble benyttet. Vi har beregnet relativ risiko og tilskrivbar andel av lungekreft for kvinner med verdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  sammenliknet med dem  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ .

**Resultater:** Risikoen for å utvikle lungekreft for kvinner med gjennomsnittverdi for innendørs verdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  var 1,92 ganger høyere enn for kvinner som bodde i områder med mindre enn  $100 \text{ Bq/m}^3$  (95 % KI: 1,42 - 2,59). For kvinner over 65 år var tilsvarende verdi 1,72 (95 % KI: 1,28 - 2,30). Antall personer som bor i områder med radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  og som antas å bli syke på grunn av radon er anslått til 55 personer per år.

**Fortolkning:** Vi finner en signifikant økning i antall lungekrefttilfeller ved eksponering for radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  i begge alderskategorier. Vi har ikke kunnet ta høyde for røyking, men antar denne konfunderende faktoren er lav fordi få kvinner røykte. Antall berørte personer er lavere enn tidligere anslått.

## Bakgrunn

Lungekreft er et alvorlig folkehelseproblem. På verdensbasis tar lungekreft mer liv enn noen annen kreftsykdom i følge World Health Organization (WHO) og Wang & Chen (2011) og i Norge er den også blant de vanligste kreftformer (Kreftregisteret 2011; WHO 2011). Denne trenden forventes å øke frem til 2030, hvis det ikke skjer noe dramatisk i forhold til forbruk av tobakk, som er hovedårsaken til økt risiko for å utvikle lungekreft (WHO 2011). Nye tilfeller av lungekreft i 2008 var henholdsvis 1422 og 1107 hos menn og kvinner. Det er en økende forekomst hos kvinner, men for menn har det vært omtrent uforandret de senere år. Se figur 2. Røyking står for ca. 85 % av alle lungekrefttilfeller i Norge (Kreftregisteret 2011).

Etter sigarettøyking antar man at eksponering fra radon er den andre årsaken til lungekreft. Radon er en radioaktiv gass med en halveringstid på 3,8 dager. Gassen er fargeløs, luktfri og smakløs (Henriksen et al. 2008). Den står for den største naturlige eksponeringen av ioniserende stråling på mennesker (Stranden 1979). Statens strålevern (NRPA) anslår at om lag 300 lungekreftdødsfall årlig i Norge er anslått at det skyldes radon i bebyggelser (NRPA 2009). I dag er tiltaksgrensen for radon på  $100 \text{ Bq/m}^3$  innendørs i Norge (NRPA 2011).

Flere studier har undersøkt sammenhengen mellom eksponering av radon i inneluft og risiko for lungekreft. Magnus og medarbeiderne utførte i 1994 en epidemiologisk studie i Norge for å se på sammenhengen mellom radonnivå innendørs og lungekreft. De fant at insidensraten for lungekreft økte signifikant blant kvinner ved økt radoneksponering (Magnus et al. 1994). I 2005 utførte Darby med flere en av de største internasjonale studiene når det gjelder å se på sammenhengen mellom radon og utvikling av lungekreft. Dette var en meta – analyse av 13 kasus – kontrollstudier. Resultatene var signifikante når de så på sammenhengen mellom radoneksponering og utvikling av lungekreft (Darby et al. 2005). I en stor studie i Nord – Amerika og en stor studie i Gansu Provinsen i Kina fant de også sammenheng mellom radoneksponering og utvikling av lungekreft (Lubin et al. 2005), (Krewski et al. 2005). Det var



resultatene fra Darbys studie som var årsak til at tiltaksgrensen for radon innendørs ble redusert fra 200 Bq/m<sup>3</sup> til 100 Bq/m<sup>3</sup> i 2009.

Målet med denne studien var å sammenlikne risiko for lungekreft blant kvinner over og under den nye tiltaksgrensen på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Vi ønsket også å beregne tilskrivbar risiko basert på disse risikoanslagene. Våre undersøkelser vil hjelpe oss til å bedre evaluere nytten av den nye tiltaksgrensen fra Statens strålevern fra 2009.

### **Materiale og metode**

Dette er økologisk studie der vi ser på forekomsten for antall tilfeller av lungekreft for ulike geografisk områder, i dette tilfelle kommuner, og gjennomsnittlig radoneksponeringen for hver kommune. Data er utlevert fra Kreftregisteret og Statens strålevern.

#### **Kreftregisteret**

Kreftregisteret har registrert nye tilfeller av kreft som forekommer i Norge fra 1952 og fram til i dag. Vi har ikke informasjon om røyking i Kreftregisteret. For å redusere den effekten vi har for røyking har vi valgt en kohort der røyking var lavest, nemlig de eldste kvinnene fra tidsrommet 1953 til 1963. Vi har stratifisert på alder over og under 65 år. Lungekreft er i dette uttrekket definert som ICD 7 koden 162.0, 162.1 og 162.9, som tilsvarer ICD 10-kodene C33, C34 og C39. Lokalisasjonene det er trukket ut i fra er: Luftrør, lunge, bronchus, samt luftveier og intratorakale organer, andre og dårlig definerte lokalisasjoner.

#### **Statens strålevern**

Strålevernet overvåker årlig og kartlegger konsentrasjonen av radioaktivitet og følger utviklingen over tid. I vår studie benytter vi alle målinger (N 183) fra årstallene 2000 og 2001, målingene inkluderer også data fra prosjektet Radon 2000/2001 som var en kartlegging av radon i 114 kommuner i Norge. De husene som er valgt til å foreta målinger er representative. Målingene ble gjennomført i minimum to måneder og en lukket sporfilm ble brukt til målingene. For å

estimere en gjennomsnittelig årsmiddelverdi er det viktig at målingene utføres i vinterhalvåret på grunn av faktorer som påvirker radonnivået. Radonnivået varierer blant annet med geologien, meteorologien og årstidene. Mellom 2 % og 10 % av boligmassene i hver av de 183 kommunene har utført målinger. Vi beregnet gjennomsnittlig verdi av alle målingene innenfor hver kommune.

### **Statistisk analyse**

PASW 18 ble benyttet til de statistiske analysene. For å undersøke om radonverdiene i boliger var avhengig av byggeår ble lineær regresjon benyttet. Vi grupperte den kontinuerlige variabelen gjennomsnittlig radonverdi til  $< 100 \text{ Bq/m}^3$  og  $> 100 \text{ Bq/m}^3$ . For hver av aldersstrata beregnet vi relativ risiko for lungekreft for gruppen  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  sammenliknet med gruppen  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ , inkludert 95 % konfidensintervaller. En  $P$  verdi på  $\leq 0,05$  var ansett som statistisk signifikant.

### **Tilskrivbar risiko**

For å beregne antall personer blant de med radonverdier over tiltaksgrensen og som forventes å utvikle lungekreft på grunn av radoneksponering beregnes først tilskrivbar risiko (TR) (Rothman 2002). Denne andelen multipliseres med antall personer som utvikler lungekreft i gruppen  $> 100 \text{ Bq/m}^3$ . I vår studie har vi målinger fra 183 kommuner og dette utgjør omkring 50,6 % av befolkningen fordi 894 911 kvinner var med fra de 183 kommunene av totalt 1767632 kvinner i Norge. For å ta høyde for hele befolkningen multipliserer vi tallet over med  $100/50,6 = 2,08$ . Til slutt multipliseres denne verdien med 2 for å inkludere også menn.

### **Etikk**

Opplysningene som brukes i masteroppgaven er anonyme og prosjektet er derfor ikke meldepliktig til regional etisk komité (REK).

## Resultater

### Radon

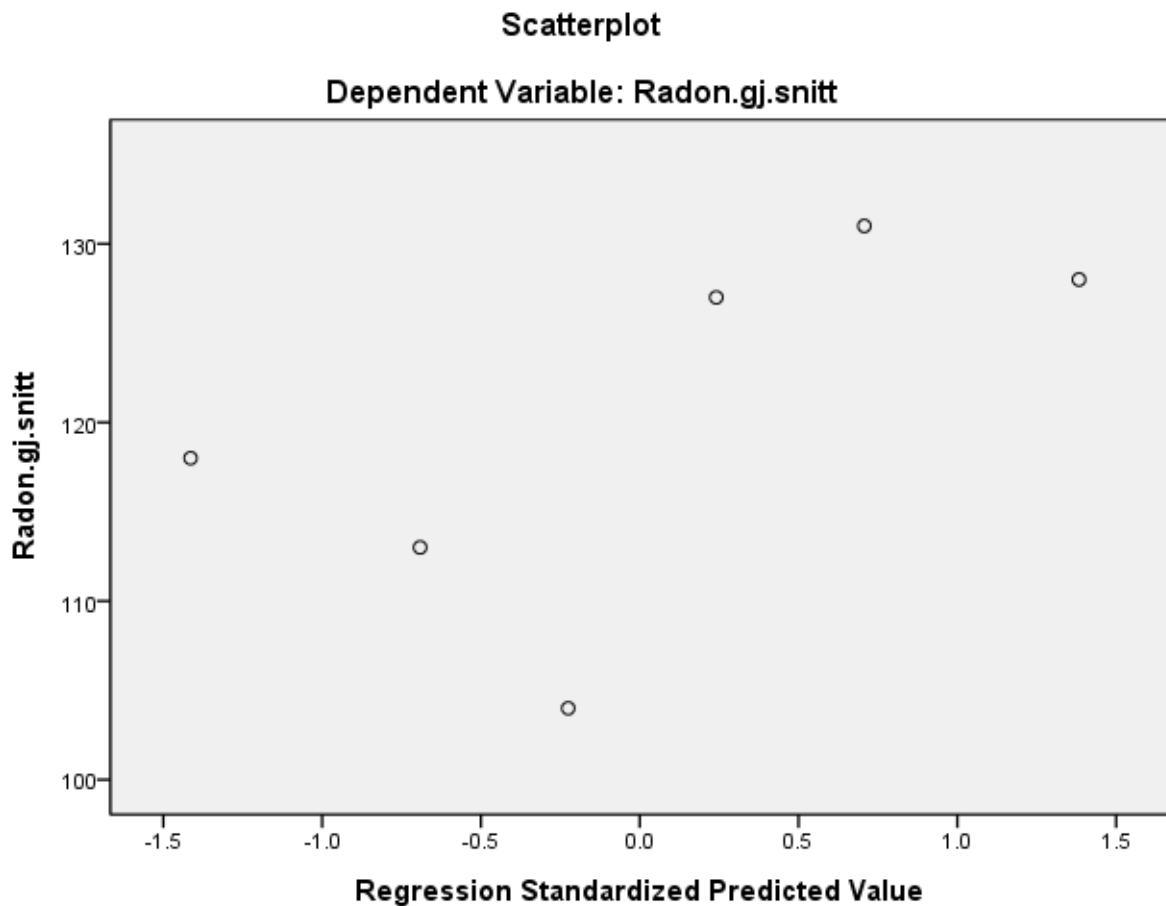
I Radon 2000/2001 prosjektet ble det utført 30 184 radonmålinger fordelt på de utvalgte kommunene. Disse målingene er delt inn i det geografiske området, herunder kommune som de tilhører, for så å dele kommunene inn i fylker. Se tabell 1 for radongjennomsnitt i fylker.

Fylke	N	Bq/m <sup>3</sup>	Std. avvik	% > 100
Østfold	2095	101	157.449	44,8
Akershus	4005	68	91.449	39,2
Oslo	1174	109	137.298	48,0
Hedmark	2825	161	377.701	48,4
Oppland	1361	131	230.714	47,8
Buskerud	2296	133	217.645	49,3
Vestfold	1133	79	103.125	42,8
Telemark	2226	159	290.144	48,6
Aust-Agder	838	39	75.290	31,0
Vest-Agder	812	92	135.148	45,4
Rogaland	2144	80	165.143	40,8
Hordaland	3072	90	331.921	36,7
Sogn og Fjordane	503	66	164.839	34,6
Møre og Romsdal	1296	38	40.748	25,2
Sør-Trøndelag	1161	65	96.201	38,3
Nord-Trøndelag	959	72	113.657	39,2
Nordland	1145	53	133.353	34,1
Tromsø	1002	72	139.472	41,0
Finmark	137	72	165.529	39,9
Totalt	30184	97	217.785	43,4

Tabell 1: Viser radonoversikt over fylker, antall målinger (N) i hvert fylke, gjennomsnittelig radonverdier (Bq/m<sup>3</sup>) i hvert fylke, standard avvik og andel boliger (% > 100) med radonverdier over 100 Bq/m<sup>3</sup>.

### Sammenheng mellom byggeår og radonverdier

Ettersom målingene er fra 2000/2001 og krefttilfellene fra 1953-63 undersøkte vi om det var en sammenheng mellom byggeår til boligene i 2000/2001 og radonverdier. Denne effekten var ikke signifikant ( $p = 0,198$ ) og vi justerte derfor ikke radonverdiene for byggeår. Se figur 1.



Figur 1: Scatterplot - Lineær regresjon for å se på sammenhengen mellom radonnivå og byggeår.

### Radon og lungekreft

I tabell 2 viser vi risiko for lungekreft blant kvinner i de to aldersstrata. For kvinner under 65 år er risiko for å utvikle sykdom 1.92 ganger større enn for de som bor i kommuner med gjennomsnittsverdi  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  i forhold til de med gjennomsnittsverdi  $< 100 \text{ Bq/m}^3$  (95 % KI: 1.41 - 2.59). Tilsvarende tall for kvinner over 65 år er 1.72 (95 % KI: 1.28 - 2.30).

I tabell 2 viser vi også tilskrivbar risiko og antall berørte personer for de to aldersgruppene. Fra disse beregningene har 14 kvinner i vårt studieområde utviklet lungekreft i gruppen over 100 Bq/m<sup>3</sup> på grunn av innendørs radon. For hele Norge og for begge kjønn blir den tilsvarende verdien 55 personer per år i perioden 1953 – 1963.

Alder	Eksponering	Tilfeller	Personår	RR	KI (95 %)	TA	Antall berørte
0 -65 år	< 100 Bq/m <sup>3</sup>	58	3469550	1 (-)			
	> 100 Bq/m <sup>3</sup>	166	5177448	1,92	(1,42-2,59)	0,48	7,2
Over 65 år	< 100 Bq/m <sup>3</sup>	61	450064	1 (-)			
	> 100 Bq/m <sup>3</sup>	174	746955	1,72	(1,28-2,30)	0,42	6,6

Tabell 2: Tabellen viser alderkategoriene og radonnivå over og under 100 Bq/m<sup>3</sup>. Relativ risiko og tilskrivbar andel for begge alderskategorier og radonnivåer over tiltaksgrensen på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Antall lungekreft tilfeller i perioden 1953-1963 for begge alderskategorier. Antall berørte er de tilfellene som antas å utvikle lungekreft tilskrevet radon eksponering over 100 Bq/m<sup>3</sup>.

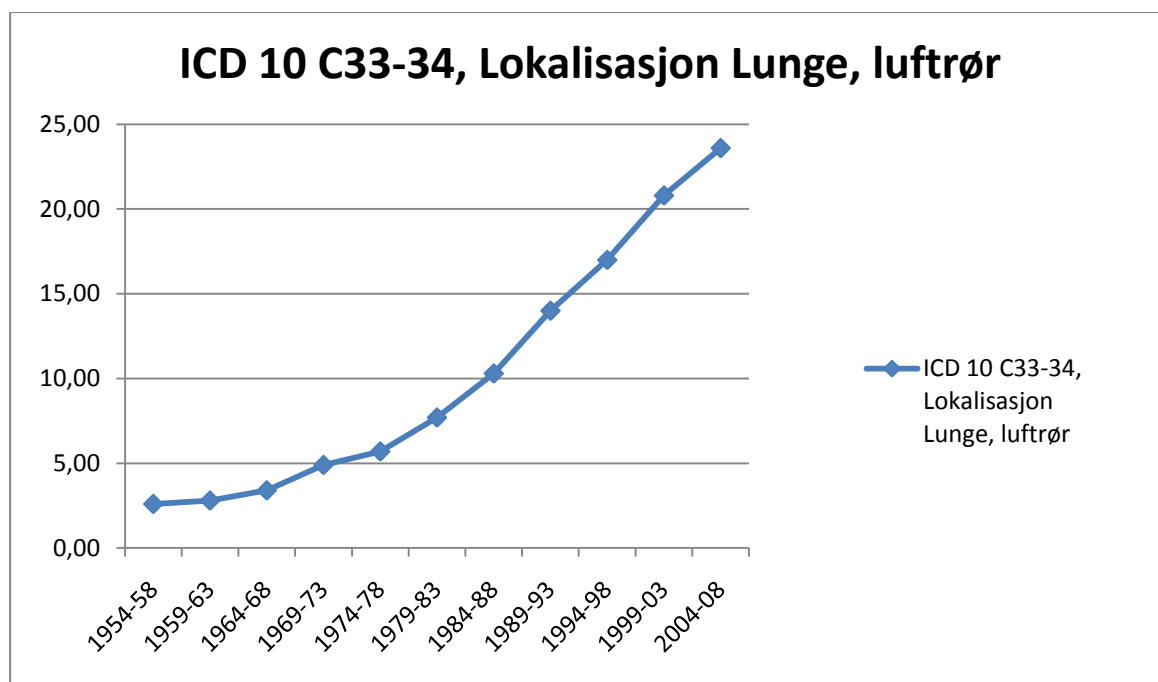
## Diskusjon

Resultatene i vår studie viser at det er en signifikant økning i antall lungekrefttilfeller for kvinner i begge alderskategorier ved radoneksponering > 100 Bq/m<sup>3</sup> i forhold til gjennomsnittsverdier under 100 Bq/m<sup>3</sup>. Videre er antall berørte personer for hele befolkningen omlag 55 per år.

### Radon og lungekreft

Radon er blitt klassifisert som et humant carcinogen av International Agency for Research on Cancer (IARC 2011). Committee on Health Risks of Exposure to Radon (NRC) dokumenterer at flere studier har slått fast at det er en sammenheng mellom radoneksponering og utvikling av lungekreft (NRC 1999). Studier fra underjordiske gruver har konstant demonstrert at det er en assosiasjon mellom radonkonsentrasjonen og risiko for lungekreft både blant røykere og ikke-røykere. Denne assosiasjonen har gjentatte ganger blitt demonstrert eksperimentelt på rotter og hunder (Darby et al. 2005; NRC 1999). En lineær – dose- respons

kurve viser best sammenhengen mellom radoneksponering og lungekreft (Darby et al. 2006). Se figur 2 for forekomst av lungekreft og tabell 3 for insidensrater.



Figur 2: Forekomst for kvinner: Aldersjusterte insidensrater pr. 100 000 fordelt på primær lokalisasjon og 5-års diagnoseperiode 1954-2008.

Periode	C33-34 Lunge, luftrør
1954-58	2,60
1959-63	2,80
1964-68	3,40
1969-73	4,90
1974-78	5,70
1979-83	7,70
1984-88	10,30
1989-93	14,00
1994-98	17,00
1999-03	20,80
2004-08	23,60

Tabell 3: Insidensraten for kvinner pr. 100 000

Resultatene fra vår studien samsvarer med hva andre studier har rapportert om sammenhengen mellom radoneksponering og utvikling av lungekreft.

En av de største studiene som har sett på denne sammenhengen er utført i Europa og er en meta-analysen av 13 kasus - kontrollstudier: Darby med flere (2006) kunne konkludere med at det finnes sterke bevis for at radon i boliger er en gjeldende årsak til lungekreft.

I en studie som ble utført i Kina fant forskerne at risikoen for lungekreft økte ved økte verdier av radon ( $p < 0.001$ ) (Wang et al. 2002). Det samme fant de i en stor studie i USA, der de slo sammen flere studier for så å utføre analyser. Resultatet var at oddsforholdet for lungekreft økte med økte radonkonsentrasjoner i boliger (Krewski et al. 2005).

Magnus med flere (1994) fant at insidensrater for lungekreft blant kvinner økte signifikant ved økte radonverdier, dette gjaldt småcellet anaplastisk lungekarsinom (small-cell anaplastic lung tumors).

I en kasus – kontrollstudie utført i Sverige av Pershagen med flere i 1992 fant han at relativ risiko for lungekreft blant kvinner var 1.7 (95 % konfidens intervall: 1.0-2.9) ved estimerte gjennomsnittelige radoneksponeringer over  $150 \text{ Bq/m}^3$  (Pershagen et al. 1992).

En engelsk studie fant at 3.3 % av alle lungekrefttilfellene er relatert til radon i hjem.

Gjennomsnittelig radonkonsentrasjon i engelske hjem var da beregnet til  $21 \text{ Bq/m}^3$ . I verden antas at 85 % av lungekrefttilfellene oppstår i hjem med radonverdier under  $100 \text{ Bq/m}^3$  og i kombinasjon med røyking (Gray et al. 2009).

Hvis vi tar i betraktning dagens befolkning i Norge, kan tilskrivbar andel vurderes til om lag 80 personer per år, da tatt hensyn til befolkningsvekst og økt levealder.

Det er stort avvik mellom våre anslag på antall berørte personer og Statens stråleverns anslag på omlag 300 personer (NRPA 2009). Etersom røyking er hovedårsak til utvikling av lungekreft og røykeandelen blant kvinner har steget til omkring 25 %, vil økningen i andel røykere gjenspeile seg i økningen nye antall lungekrefttilfeller blant kvinner (Lund et al. 2009). Etersom radon og

røyking har en synergieffekt (interaksjon), kan det tenkes at antall tilfeller lungekreft relatert til radon ville vært betraktelig mindre hvis antall røykere er liten og tilsvarende større når røykeandelen øker. Dette har vi ikke tatt hensyn til og en liten andel kvinner som røykte i tidsperioden 1933-1943, vil gi en lavere tilskrivbar andel lungekreft enn for en befolkning med relativt flere røykere. En viktig forskjell mellom vårt anslag og Statens stråleverns anslag er at vi har en referanse på  $100 \text{ Bq/m}^3$  noe Statens strålevern ikke har. Det er umulig å fjerne radon i bolighus, men vi kan ha som mål å redusere disse verdiene til  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Vårt anslag er da antall liv spart hvis dette målet overholdes.

### **Andre årsaker til lungekreft hos kvinner**

Andre årsaker som kan resultere i lungekreft er passiv røyking. Ikke - røykende kvinner som lever sammen med røykende menn har 24 % økt risiko for å utvikle lungekreft sammenliknet med ikke - røykende kvinner som ikke er eksponert for passiv røyking (Kligerman & White 2011). Selv om andelen kvinner som røykte i det aktuelle tidsrommet var lavt, så var andelen røykende menn relativt høyt omkring 65 % (Lund et al. 2009). Genetiske faktorer som både assosieres med og uten tobakksforbruk, passiv røyking, hormonelle faktorer, virusinfeksjoner spesielt Human Papillomavirus (HPV), miljøeksponeringer (innendørs luftforurensning, os/damp/røyk av matlaging og oppvarming) kan også spille en rolle i utviklingen av lungekreft blant kvinner. De overnevnte faktorene kan være med på å forklare hvorfor ca. 20 % av kvinner som utvikler lungekreft aldri har røkt. Flere studier i forskjellige land har sett på disse sammenhengene. I utviklingsland i Asia er kvinneandelen som røyker relativt liten. For eksempel har flere studier antydnet at den høye raten av lungekreft blant ikke- røykende kvinner i Taiwan og Kina assosieres med innhalasjon av damp fra matlaging ved høye temperaturer i dårlig ventilerte rom. Samme assosiasjoner knyttes til innendørs oppvarming med kull og biomasser i dårlig ventilerte rom. Et annet eksempel for genetiske faktorer er en signifikant høyere forekomst av ikke-røykende kvinner som utvikler bronchioloalveolar carcinomas enn



ikke - røykende menn. Et siste eksempel er en studie fra Taiwan der en høy rate av kvinner som fikk påvist lungekreft hadde testet positivt på Human Papilloma virus (HPV), dette var fem ganger høyere enn blant ikke røykende menn og signifikant høyere blant ikke-røykende kvinner som ikke hadde påvist HPV (Kligerman & White 2011).

### **Svakheter**

Det er flere svakheter med vår studie. For det første vil en epidemiologisk studie med økologisk design gi assosiasjoner mellom eksponering og sykdom på områdenivå som kan være ulike de som gjelder for individene (økologiske fallgruve).

For det andre er det målefeil knyttet til måling av eksponering (radon). Vi har tilfeldige feil knyttet til det at vi beregner gjennomsnitt for hver kommune, Dette vil dempe den risikoen som faktisk er mellom radon og lungekreft (Laake et al. 2007). Det kan forekomme målefeil ved bruk av sporfilm og ved registrering av resultatene ved radonmålingene. Det er utført målinger i enkeltboliger og radonverdiene kan være veldig forskjellig fra bolig til bolig og område til område. Ettersom vi ikke har data på individnivå, vet vi heller ikke om de som har utviklet lungekreft er de som har oppholdt seg mest i boliger med radonverdier  $> 100 \text{ Bq/m}^3$  eller hvor mye alfa – partikler som har avgitt stråling i lungevevet. Det mest optimale hadde vært og målt eksponeringen i lungene der helseeffekten oppstår, dette er ikke mulig, derfor brukes sporfilm i de rommene hvor folk flest oppholder seg mest. Det finnes også muligheter for feilklassifisering av kreftdiagnoser, men den ansees som svært liten. Eksponeringen av radongass kan variere over tid og sted, for eksempel er sommerhalvår er forskjellig fra vinterhalvår (Sundal, A. V. et al. 2004). Dette er det ikke tatt hensyn til.

For det tredje er det misklassifisering av gamle kommuner. Vi fikk lungekrefttilfeller med gamle kommunenummer. For kommuner som har slått seg sammen er dette uproblematisk, men for kommuner som har delt seg opp og endret grenser kan dette ha gitt en skjevhet.

For det fjerde kan miljøeksponeringer samvarierte (konfundere) med andre miljøeksponeringer, noe som kan resultere i at det er vanskelig å påpeke hva som er den opprinnelige effekten av radon (Laake et al. 2007). Den viktigste konfunderende variabelen er røyking og den største svakheten i vår studie er at vi ikke har kunnskap om røyking. På den annen side var røykeandelen for norske kvinner i perioden 1933 – 1943 lav, mellom 5 – 10 % (Lund et al. 2009; RØNNEBERG et al. 1994). I følge (NRC 1999) er risikoen for lungekreft relatert til røyking høyere enn risikoen for lungekreft relatert til innendørs radoneksponering. Det ville vært mindre dødsfall relatert til radon blant de som røyker hvis de ikke hadde røyket. Eventuelle synergieffekt mellom røyking og radon (Darby et al. 2006; NRC 1999) er det heller ikke tatt hensyn til. Det er også høyere forekomst av lungekreft blant de som røyker og utsettes for radoneksponering enn bare radoneksponering eller røyking alene (NRC 1999). Andre konfunderende faktorer er byggeteknikk, boligtype og klimatiske forhold,

For det femte har vi ikke kunnskap om eksponering på arbeidsplassen. I tidsperioden 1933 - 1943 var det relativt uvanlig at kvinner jobbet hjemmefra (SSB, 2011) slik at om de har blitt eksponert for karsinogener i arbeidslivet ansees denne som minimal.

### **Styrker**

Den største fordel er det store antall radonmålinger og et nasjonalt Kreftregister. Videre er korrelasjonen mellom byggeår og radonnivå ikke signifikant. Da vil byggeår og standard på husene ha minimal betydning for radonverdiene. I denne studien er målemetoden med sporfilm på radon objektiv og validert. I hver enkelt kommune er det gjort enkeltmålinger i 2-10 % av husstandene. Ideelt sett ønsker vi å finne eksponering for kvinnene der de bodde i perioden 1933 til 1943 på grunn av 20-års latenstid.

Det er positivt at vi har data for så mange forskjellige områder, med en slik fordeling vil det være mindre risiko for en skjevhet i fordelingen/utvalget.

## **Konklusjon**

Vi har vist at det er en øket risiko for lungekreft blant kvinner for de som bor i området med verdier av radon  $> 100 \text{ Bq/m}^3$ . Tiltaksgrensen til Statens strålevern ser ut til å være fornuftig basert på resultatene fra denne studien. Derimot har vi vist at antall berørte personer er lavere enn helsemyndighetenes verdier. I et folkehelseperspektiv er forebygging og helsefremming sentrale elementer. Radonkonsentrasjonen kan forebygges ved hjelp av enkle tiltak ved å redusere radoneksponering innendørs. Et høyt antall lungekrefttilfeller kan reduseres og liv spart ved hjelp av radonreduserende tiltak i alle typer boliger. Ikke minst er det viktig at nasjonale og regionale myndigheter involverer seg tilstrekkelig for å forebygge helseeffekter relatert til radoneksponering.

## Referanser

Adami, H.-O., Hunter, D. & Trichopoulos, D. (2002). Textbook of cancer epidemiology. I, s. 248-280. New York: Oxford University Press Inc.

Arvela, H. & Reisbacka, H. (2009). *Radonsanering av bostäder*, STUK-A237/JUNI 2009. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority.

Bissett, R. J. & McLaughlin, J. R. (2010). Radon. *Chronic Dis Can*, 29 Suppl 1: 38-50.

Brustugun, O. T. (2011). *oncolex*. Om Lungekreft. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://oncolex.no/Lunge.aspx>.

Chen, J. (2005). Canadian individual risks of radon-induced lung cancer for different exposure profiles. *Canadian journal of public health. Revue canadienne de sante publique*, 96 (5): 360-3.

Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 330 (7485): 223.

Darby, S., Hill, D., Deo, H., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Falk, R., Farchi, S., Figueiras, A., et al. (2006). Residential radon and lung cancer--detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 32 Suppl 1: 1-83.

Edling, C., et & al (red.). (2010). *Arbets - och miljömedicin*. Lund: Studentlitteratur AB.

Gray, A., Read, S., McGale, P. & Darby, S. (2009). Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. *BMJ*, 338: a3110.

Greenberg, M. & Selikoff, I. (1993). Lung cancer in the Schneeberg mines: a reappraisal of the data reported by Harting and Hesse in 1879. *Ann Occup Hyg*, Feb (37): 5-14.

H-Dir. (2010). *Folkehelsearbeidet – veien til god helse for alle*. Helsedirektoratet. Oslo:  
Helsedirektoratet v/helsedirektør Bjørn-Inge Larsen.

Haugen, T. B. (2009). Radonsikring av nye bygg er kostnadseffektivt. *Tidsskrift for Den norske legeforening* (9).

Henriksen, T., Ingebretsen, F., Storruste, A., Strand, T., Svendby, T. & Wethe, P. (2008).  
*Stråling og helse*, b. 12: EUREKA DIGITAL, HØGSKOLEN I TROMSØ. Lest  
10.05.2011. Tilgjengelig fra:  
[http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1010/v11/undervisningsmateriale/Dig\\_12-08.pdf](http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1010/v11/undervisningsmateriale/Dig_12-08.pdf).

IARC. (2008). *Lung Cancer Incidence and Mortality Worldwide in 2008*

*Summary*. GLOBOCAN 2008

CANCER FACT SHEET: International Agency for Research on Cancer. Lest 10.05.2011.  
Tilgjengelig fra: <http://globocan.iarc.fr/factsheets/cancers/lung.asp>.

IARC. (2011). *Man-made mineral fibres and radon*. IARC Monographs on the Evaluation of  
Carcinogenic Risks to Humans 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer.  
Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.iarc.fr/>.

ICD-10. (2011). *International Classification of Diseases (Den internasjonale statistiske  
klassifikasjonen av*

*sykdommer og beslektede helseproblemer)* Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra:  
<http://www.who.int/classifications/icd/en/>.

ICRP. (2011). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological  
Protection*. I: PROTECTION, I. C. O. R. (red.). ICRP Publication 103; Ann ICRP 37(2-  
4). Oxford: Pergamon Press. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra:  
<http://www.icrp.org/index.asp>.

- Jensen, C. L., Sundal, A. V. & Ånestad, K. (2006). Radon i uteluft. Presentasjon av resultater fra radonmålinger i uteluft i seks utvalgte områder i Norge. *Strålevern Rapport, 2006 (20)*.
- Kligerman, S. & White, C. (2011). Epidemiology of lung cancer in women: risk factors, survival, and screening. *AJR. American journal of roentgenology*, 196 (2): 287-95.
- Kreftregisteret. (2011). *Institutt for populasjonsbasert kreftforskning*. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.kreftregisteret.no>.
- Krewski, D., Lubin, J. H., Zielinski, J. M., Alavanja, M., Catalan, V. S., Field, R. W., Klotz, J. B., Letourneau, E. G., Lynch, C. F., Lyon, J. I., et al. (2005). Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology*, 16 (2): 137-45.
- Laake, P., Hjartåker, A., Thelle, D. S. & Veierød, M. B. (red.). (2007). *Epidemiologiske og kliniske forskningsmetoder*. 1 opplag 2007 utg., b. 1 utgave. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Liang, X., So, Y. H., Cui, J., Ma, K., Xu, X., Zhao, Y., Cai, L. & Li, W. (2011). The Low-dose Ionizing Radiation Stimulates Cell Proliferation via Activation of the MAPK/ERK Pathway in Rat Cultured Mesenchymal Stem Cells. *Journal of radiation research*.
- Lovdata. (2011). *Norges Lover*.
- Lubin, J. H., Wang, Z. Y., Wang, L. D., Boice, J. D., Jr., Cui, H. X., Zhang, S. R., Conrath, S., Xia, Y., Shang, B., Cao, J. S., et al. (2005). Adjusting lung cancer risks for temporal and spatial variations in radon concentration in dwellings in Gansu Province, China. *Radiation research*, 163 (5): 571-9.
- Lund, K. E., Lund, M. & Bryhni, A. (2009). Tobakksforbruket hos kvinner og menn 1927–2007. *Tidsskriftet den Norske legeforening* Nr. 18 (24. september 2009): 129: 1871-4.
- Løvø, G. (2006). *Ny oversikt over radonutsatte områder*. NGU - Norges geologiske undersøkelse. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/Aktuelt/2006/049/>.

- Magnus, K., Engeland, A., Green, B. M., Haldorsen, T., Muirhead, C. R. & Strand, T. (1994). Residential radon exposure and lung cancer--an epidemiological study of Norwegian municipalities. *International journal of cancer. Journal international du cancer*, 58 (1): 1-7.
- Mæland, J. G. (2005). *Forebyggende helsearbeid i teori og praksis*. 2. utgave utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- NCI. (2011). *National Cancer Institute at the National Institutes of Health*. Radon and Cancer. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/radon>.
- NRC. (1999). Health Effects Of Exposure To Radon: BEIR VI. I: Council, N. R. (red.). *Commission on Life Sciences*. Washington, DC: Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation.
- NRPA. (2009). *Radon, Helserisiko*. I: strålevern, S. (red.). Oslo: Statens strålevern. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no/radon/helserisiko> (lest 02.12).
- NRPA. (2011). *Norwegian Radiation Protection Authority*: Statens Strålevern. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no>.
- PBL. (2011). *Plan- og bygningsloven*. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/>.
- Pershagen, G., Liang, Z. H., Hrubec, Z., Svensson, C. & Boice, J. D., Jr. (1992). Residential radon exposure and lung cancer in Swedish women. *Health physics*, 63 (2): 179-86.
- Petrie, K. J., Sivertsen, B., Hysing, M., Broadbent, E., Moss-Morris, R., Eriksen, H. R. & Ursin, H. (2001). Thoroughly modern worries: the relationship of worries about modernity to reported symptoms, health and medical care utilization. *Journal of psychosomatic research*, 51 (1): 395-401.
- Rootwelt, K. (1988). [Radon and risk of cancer]. *Tidsskrift for den Norske laegeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, 108 (25): 2026-30.

Rothman, K. J. (red.). (2002). *Epidemiology An Introduction*. New York: Oxford University Press Inc.

RØNNEBERG, A., LUND, K. E. & HAFSTAD, A. (1994). Lifetime Smoking Habits among Norwegian Men and Women Born between 1890 and 1974. *International Journal of Epidemiology*, 23 (2): 267-276.

Sanner, T., Dybing, E. & Strandén, E. (1988). [Indoor radon exposure and risk of lung cancer]. *Tidsskrift for den Norske lægeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny række*, 108 (25): 2023-5.

Schmid, K., Kuwert, T. & Drexler, H. (2010). Radon in indoor spaces: an underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Arzteblatt international*, 107 (11): 181-6.

Smethurst, M. A., Strand, T., Sundal, A. V. & Rudjord, A. L. (2008). Large-scale radon hazard evaluation in the Oslofjord region of Norway utilizing indoor radon concentrations, airborne gamma ray spectrometry and geological mapping. *The Science of the total environment*, 407 (1): 379-93.

SSB. (2011). *Ola og Kari*: Statistisk Sentralbyrå. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: [http://www.ssb.no/ola\\_kari/kari\\_ola.pdf](http://www.ssb.no/ola_kari/kari_ola.pdf).

Strand, T., Ånestad, K., Rudén, L., Ramberg, G. B., Jensen, C. L., Wiig, A. H. & Thommesen, G. (2001). Kartlegging av radon i 114 kommuner. *StrålevernRapport 2001:6*, 2001 (6). Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no/dav/6970f488d4.pdf>.

Strandén, E. (1979). Radon in dwellings and lung cancer - a discussion. *Helath Pysics*, 38 (March): 301-306.

Strøm-Erichsen, A.-G. (2011). *Spørsmål nr. 1218 til skriftlig besvarelse*. omsorgsdepartementet, H.-o. Oslo: REGJERINGEN.

Sundal, A. V., Henriksen, H., Lauritzen, S. E., Soldal, O., Strand, T. & Valen, V. (2004). Geological and geochemical factors affecting radon concentrations in dwelling located on



- permeable glacial sediments-a case study from Kinsarvik, Norway. *Environmental Geology*, 45: 843-858.
- Sundal, A. V., Henriksen, H., Soldal, O. & Strand, T. (2004). The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *The Science of the total environment*, 328 (1-3): 41-53.
- Sundal, A. V., Valen, V., Soldal, O. & Strand, T. (2008). The influence of meteorological parameters on soil radon levels in permeable glacial sediments. *The Science of the total environment*, 389 (2-3): 418-28.
- Tahir, S. N. & Alaamer, A. S. (2008). PB-210 concentrations in cigarettes tobaccos and radiation doses to the smokers. *Radiation protection dosimetry*, 130 (3): 389-91.
- TAR. (1988). The Acheson Report 1988: Public Health in England.
- Thompson, R. E. (2011). Epidemiological Evidence for Possible Radiation Hormesis from Radon Exposure: A Case-Control Study Conducted in Worcester, MA. *Dose-response : a publication of International Hormesis Society*, 9 (1): 59-75.
- Toxnet. (2011). *radon, radioactive*. medicine, N. l. o. (red.). Hazardous Substances Data Bank.
- UNSCEAR. (2011). *Annex G. Biological effects at low radiation doses.*: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: <http://www.unscear.org/unscear/index.html>.
- Valen, V., Soldal, O. & Group-Kinsarvik, T. P. (2000). Variations in radon content in soil and dwellings in the Kinsarvik area, Norway, are strongly dependent on air temperature. *2000 International Radon Symposium*.
- Wang, Z., Lubin, J. H., Wang, L., Zhang, S., Boice, J. D., Jr., Cui, H., Conrath, S., Xia, Y., Shang, B., Brenner, A., et al. (2002). Residential radon and lung cancer risk in a high-exposure area of Gansu Province, China. *American journal of epidemiology*, 155 (6): 554-64.

- Weber, L. W. (2002). Georgius Agricola (1494-1555): scholar, physician, scientist, entrepreneur, diplomat. *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology*, 69 (2): 292-4.
- WHO. (2011). *International radon project*. Geneva: World Health Organization. Lest 10.05.2011. Tilgjengelig fra: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/env/radon/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/).
- Yassi, A., et & al (red.). (2001). *Basic environmental health*. Oxford New York.
- Zaga, V. & Gattavecchia, E. (2008). [Polonium: the radioactive killer from tobacco smoke]. *Pneumologia*, 57 (4): 249-54.
- Zielinski, J. M., Carr, Z., Krewski, D. & Repacholi, M. (2006). World Health Organization's International Radon Project. *Journal of toxicology and environmental health. Part A*, 69 (7): 759-69.
- Ånestad, K., Strand, T., Høgmo, T., Skjennem, M., Jensen, C. L. & Hoelsbrekken, S. (2006). Tiltak mot radon i privatboliger
- Oppsummering av tiltak under Nasjonal kreftplan 1999-2003. *Strålevernrapport*: Statens Strålevern.