



Strålebruk i Norge

Nyttig bruk og godt strålevern for
samfunn, menneske og miljø



Referanse:

Saxeboel, Gunnar, Olerud Hilde M. (red) Strålebruk i Norge. Nyttig bruk og godt strålevern for samfunn, menneske og miljø. Delforfattere: Levernes, Sverre; Olerud Hilde M.; Unhjem, Jan F.; Øvergaard, Sindre; Sekse, Tonje; Wøhni, Tor; Hannevik, Merete; Paulsen, Gudrun U.; Saxeboel, Gunnar. StrålevernRapport 2014:2 Østerås: Statens strålevern, 2014.

Emneord:

Strålebruk, strålevern, stråledose, berettigelse, optimalisering, røntgendiagnostikk, stråleterapi, radioaktive kilder, forskning, ioniserende stråling, ikke-ioniserende stråling, yrkesdoser.

Resymé:

Rapporten beskriver hvordan ulike typer strålekilder brukes i ulike samfunnssektorer som helsevesen, industri, forskning, telekommunikasjon mv. Rapporten gir noe av historikk, beskrivelse av utviklingstrekk, trender og strålevernsmessige utfordringer.

Reference:

Saxeboel, Gunnar, Olerud Hilde M. (Eds.) Radiation use in Norway. Useful use and good radiation protection for society, humans and the environment. Contributing authors: Levernes, Sverre; Olerud Hilde M.; Unhjem, Jan F.; Øvergaard, Sindre; Sekse, Tonje; Wøhni, Tor; Hannevik, Merete; Paulsen, Gudrun U.; Saxeboel, Gunnar. StrålevernRapport 2014:2 Østerås: Statens strålevern, 2014.

Key words:

Radiation use, radiation protection, dose, justification, optimisation, x-ray diagnostics, radiation therapy, radioactive sources, research, ionising radiation, non-ionising radiation, occupational doses.

Abstract:

The report describes how different radiation sources are used in different sectors of the society such as the health services, industry, research, telecommunications etc. The report gives some historic background, developments, trends and challenges regarding radiation protection.

Prosjektleder: Gunnar Saxeboel.

Godkjent:



Ole Harbitz, direktør, Statens strålevern

96 sider.

Opplag: 500

Utgitt 2014-03-17.

Form, omslag: 07Media

Bestilles fra:

Statens strålevern, Postboks 55, No-1332 Østerås, Norge.

Telefon 67 16 25 00, faks 67 14 74 07.

E-post: nrpa@nrpa.no

www.nrpa.no

ISSN 0804-4910 (print)

ISSN 1891-5191 (online)

Strålebruk i Norge

Nyttig bruk og godt strålevern for samfunn, menneske og miljø

Gunnar Saxebøl og Hilde M. Olerud (red)

Statens strålevern

Norwegian Radiation
Protection Authority
Østerås, 2014

Forord

Statens strålevern har en hovedoppgave med å fremme godt strålevern i samfunnet, og innehar både direktorats- og tilsynsroller. Virkemidler for dette er utvikling av regelverk på strålevern- og atomsikkerhetsområdet og tilsyn med strålebruken. Stråleverket har i tillegg utstrakt samhandling med andre aktører nasjonalt og internasjonalt; deltar i nettverksbygging, utsteder faglige anbefalinger og deltar i forskning og overvåkningsprogrammer for utvikling av strålevernforvaltningen. Bruken av stråling i samfunnet er omfattende innen mange samfunnssektorer. Strålekilder av mange typer og utforminger brukes innen helsevesen, landbasert industri, offshore olje og gassvirksomhet, samferdsel, telekommunikasjon/kringkasting, forsvar og forskning mv. Regelverket på strålevernområdet er jevnlig revidert. I denne rapporten gir vi

en oversikt over den totale strålebruken i Norge underlagt strålevernforvaltningen

Vi omtaler de viktigste sektorer der strålekilder brukes og belyser både nytte og strålevernhensyn som må ivaretas ved bruken. Både hva kildene brukes til (nytte) samt risiko for uhell og stråledoser til befolkningen (kostnad) som bruken medfører.

Strålevernsforvaltningen favner alle eksponeringssituasjoner med stråling, som under atomulykker og eksponering grunnet naturlige strålekilder slike som sola, radongass og kosmisk stråling. Rapporten omhandler bare planlagt bruk av strålekilder.

Innen disse rammene har vi hatt som mål å tegne et bilde med de viktigste bruksområder og aktører som er involvert i strålebruken, og vi omtaler også ulike virkemidler for å avveie, ivareta strålevern samt kvalitetssikre strålebruken til beste for samfunn og individ.

Rapporten er utviklet med faglige bidrag fra medarbeidere med innsikt og erfaring fra de ulike bruksområder for stråling.

Innhold

1	Bruk av stråling i kost – nytte perspektiv	9
1.1	1895: Noe helt nytt oppdages – stråling	9
1.2	Strålevernprinsippene	9
1.3	Strålebruk og strålevern – utviklingstrekk i Norge	9
1.4	Rapportens formål og struktur	10
2	Medisinsk bildediagnostikk	12
2.1	Utviklingstrekk	13
2.2	Omfang og trender i dag	13
2.3	Tannrøntgen	16
2.4	Vanlig røntgenfotografering og gjennomlysning	18
2.5	Mammografi	21
2.7	Datatomografi (CT)	24
2.8	Stråledoser til operatør og tredje person	27
2.9	Virkemidler for å kvalitetssikre diagnostikken og hindre feil og skader	29
2.10	Virkemidler for å overvåke dose til pasient og yrkeseksponerte	29
3	Strålebehandling	33
3.1	Strålebehandling i Norge	34
3.2	Pasienten i fokus fra diagnose til behandling og oppfølging	34
3.3	Status og utviklingstrekk for planleggingsprosessen	35
3.4	Status og utviklingstrekk for ekstern strålebehandling	36
3.5	Hvorfor strålebehandling med protoner?	37
3.6	Status og utviklingstrekk i brachyterapi	38
3.7	Utfordringer ved strålebehandling	39
3.8	Stråledoser til operatør og tredje person	40
3.9	Virkemidler for å hindre uhell og kvalitetssikre strålebehandlingen	40
4	Nukleærmedisinsk undersøkelse og behandling	42
4.1	Nukleærmedisinsk undersøkelser – diagnostikk	42
4.2	Utviklingstrekk og omfang i nukleærmedisin	43
4.3	Bilediagnostikk med radionuklider, gammakamera	43
4.4	Positron emisjonstomografi, PET/CT	46
	4.4.1 <i>Forskjell fra vanlig nukleærmedisin</i>	46
	4.4.2 <i>Stråledoser til personale ved PET installasjoner</i>	48
	4.4.3 <i>Stråledose til pasient</i>	49
4.5	Nukleærmedisinsk strålebehandling – terapi	49

4.6	Virkemidler for å kvalitetssikre bruken og ha kontroll på arbeidsmiljø i nukleærmedisin	50
4.6.1	<i>Internasjonale anbefalinger</i>	50
4.6.2	<i>Kompetanse hos leger og teknikere</i>	50
4.6.3	<i>Skjerming</i>	51
4.6.4	<i>Kvalitetskontroller</i>	51
4.6.5	<i>Gode laboratorier</i>	51
4.6.6	<i>Gode rutiner og god arbeidsteknikk</i>	52
5	Bruk av ioniserende strålekilder i industrien	53
5.1	Historikk	54
5.2	Typer strålekilder i industrien	54
5.2.1	<i>Kapslede radioaktive kilder</i>	54
5.2.2	<i>Åpne radioaktive kilder</i>	56
5.2.3	<i>Industrirøntgen</i>	56
5.3	Ulike bruksområder for strålekilder i industrien	57
5.3.1	<i>Prosesskontroll</i>	57
5.3.2	<i>Tetthetsmåling</i>	58
5.3.3	<i>Nivåmåling</i>	59
5.3.4	<i>Tykkelsesmåling</i>	59
5.3.5	<i>Sporanalyser</i>	60
5.3.6	<i>Radiografi</i>	60
5.3.7	<i>Logging</i>	62
5.3.8	<i>Bestrålingsvirksomhet</i>	62
5.3.9	<i>Ymse radioaktive kilder i samfunnet</i>	62
5.4	Stråledoser til operatør i industriell radiografi	63
5.5	Virkemidler for å hindre uhell og sikre arbeidsmiljø	63
5.5.1	<i>Kompetanse</i>	63
5.5.2	<i>Måleinstrumenter</i>	64
5.5.3	<i>Oversikt og kontroll</i>	64
5.5.4	<i>Regelverk</i>	64
5.5.5	<i>Risikovurdering</i>	64
6	Forskningsmessig strålebruk	65
6.1	Hvorfor og hvor brukes strålekilder i forskning	65
6.2	Bruk av røntgenapparater	66
6.2.1	<i>Røntgendiffraksjon</i>	66
6.2.2	<i>Røntgenfluorescens</i>	66
6.2.3	<i>Røntgenavbildning</i>	67
6.3	Bruk av kapslede radioaktive kilder	67
6.4	Bruk av åpne radioaktive kilder	68
6.5	Nuklideproduksjon ved Oslo syklotronlaboratorium	69
6.6	Stråledoser til personale ved forskningsmessig strålebruk	69
6.7	Virkemidler for å hindre uhell og sikre arbeidsmiljø	70
7	Nukleære anlegg	71
7.1	Nukleære anlegg i Norge – historikk	71
7.2	Om anleggene	72

7.2.1	<i>JEEP II</i>	72
7.2.2	<i>Haldenreaktoren</i>	73
7.2.3	<i>Himdalen</i>	74
7.3	Drift	74
7.4	Lagring av brensel	75
7.5	Fysisk sikring	75
7.6	Synergieffekter til andre fagfelt	76
7.7	Persondoser	76
8	Bruk av ikke-ioniserende strålekilder	78
8.1	Kort om ikke-ioniserende stråling og biologiske virkninger	78
8.2	Utvikling av regelverk og normer	79
8.3	Bruk av sterke ikke-ioniserende kilder på mennesker	79
8.3.1	<i>Medisinsk bruk av IIS-kilder</i>	80
8.3.2	<i>Lysbehandling</i>	80
8.3.3	<i>Fotodynamisk terapi</i>	81
8.3.4	<i>Kirurgisk diatermi</i>	81
8.4	Kosmetisk bruk av IIS-kilder	82
8.4.1	<i>Solarier</i>	82
8.4.2	<i>Kosmetisk bruk av sterke optiske strålekilder.</i>	83
8.5	Tiltak for å redusere risiko	83
8.6	Industriell og forskningsmessig bruk av ikke-ioniserende kilder	85
8.7	Kommunikasjon og overvåkning	87
8.8	Spørsmål om helseeffekter	89
8.9	Annen bruk	90
9	Oppsummering	92
9.1	Strålebruken og prinsippene	92
9.2	Årsdose-statistikk for yrkeseksponerte	92
9.3	Stråledoser til den norske befolkningen	94

1 Bruk av stråling i kost – nytte perspektiv

1.1 1895: Noe helt nytt oppdages – stråling

Nyheten om Conrad Røntgens oppdagelse av «X-stråler» i november 1895 og publisert med tittelen «Über eine neue art von Strahlen» (W. C. Röntgen; 1895) spredte seg raskt i medisinske og tekniske fagmiljøer i hele verden. Det å kunne fremstille bilder av kroppens skjelett, organer og kunne påvise fremmedlegemer var noe revolusjonerende nytt. Røntgenteknologien ga helt nye muligheter til å stille medisinske diagnoser hos pasienter og tekniske/fysiske undersøkelser av materialer og objekter. Kort tid etter kom nye oppdagelser av Henri Becquerel og Marie Curie om strålingsegenskaper knyttet til bestemte grunnstoffer (H. Becquerel; 1896, P. Curie, M. Curie et.al.; 1898). I årtiene som fulgte var det intens forskning på å beskrive og forstå strålingens egenskaper, hvordan stråling vekselvirker med materie, hvordan stråling kan måles og hvilke fysiske kjemiske og biologiske effekter stråling fører til – en forskning som fortsatt har aktualitet.

Pionerene, leger og teknikere, erfarte etterhvert at bruk og omgang med strålekilder kunne føre til helseskade og det var viktig å kunne beskytte seg. Systematisk og organisert fokus på strålevern kom først i perioden 1920-1930 bl.a. med dannelsen av den internasjonale strålevernskommisjon (ICRP) i 1928 og i samme år etablering av internasjonal enhet for måling av stråling (ICRU). I Norge ble strålevern etablert som fag og forvaltningsområde i 1938 med vedtak av «Lov av 18. Juni 1938 Om bruk av røntgenstråler og radium mv.»

1.2 Strålevernprinsippene

Med økende kunnskap, erfaring og internasjonalt samarbeid gjennom mange tiår om hvilke biologiske og helsemessige effekter som kan inntre etter bestråling av mennesker i løpet av et kort eller lengre tidsperspektiv har prinsippene for strålevern utviklet seg og er nå nedfelt i tre grunnprinsipper: berettigelse, optimalisering og dosebegrensning.

Berettigelsesprinsippet innebærer at strålebruken skal vurderes med hensyn til fordeler og ulemper. Strålebruk er berettiget når fordelene er større enn ulempene – for samfunn, menneske og miljø.

Optimaliseringsprinsippet innebærer at stråleverket skal være innrettet slik at stråledoser blir lavest mulig, vurdert ut fra praktiske, tekniske, sosiale, økonomiske og andre forhold. Forkortelsen ALARA (As Low As Reasonably Achievable) brukes ofte i tilknytning til optimaliseringsprinsippet.

Prinsippet om dosebegrensning innebærer at dosegrenser er fastsatt for individ eller befolkning - som skal sikre mot akutte helseskader og at risiko for sene helseskader er akseptabelt lave.

Strålevernprinsippene er utviklet med grunnlag i ervervet kunnskap om virkninger av stråling på liv og helse, men også en vurdering og erkjennelse av hvilken risiko som kan vurderes som akseptabel.

1.3 Strålebruk og strålevern - utviklingstrekk i Norge

De nye oppdagelser om strålefenomener i Europa ble også tidlig kjent og demonstrert i Norge. I mars 1896 ble det holdt foredrag av fysiolog Sophus Torup om røntgenstråler i Det medisinske selskap med beretninger om mulighetene for å se frakturer, fremmedlegemer, kanskje også galle- og nyresten. De første røntgenbilder av skjelett ble vist av barnelegen Axel Johannessen tatt på Universitetets Fysiske Kabinett av stipendiat Kristian Birkeland – en pionerforsker på nordlys og meteorologi (T. Aakhus og E. Poppe; 1995). Noen få røntgenapparater ble anskaffet ved de største hospitalene i Oslo, Bergen og Trondheim, men det skulle gå flere tiår før røntgen-apparater og røntgenbasert diagnostikk ble vanlig ved norske sykehus, og strålebehandling var sporadisk og av begrenset omfang. Først på 1930-tallet ble strålebehandling av kreft et satsings-område bl.a. med etableringen av Det Norske Radiumhospital i 1932. Fra 1950-tallet har det blitt utviklet stadig ny teknologi og metoder for bruk av stråling i

medisin som har gjort det mulig å få bedre og mer sikker medisinsk diagnostikk og behandling. Medisinsk strålebruk er nå en vesentlig del av og forutsetning for dagens helsetjenester.

På samme måte som utviklingen innen medisinsk strålebruk har kunnskapen om ulike typer stråling og strålingens vekselvirkning med materie muliggjort en rekke industrielle og vitenskapelige oppdagelser og anvendelser. Særlig innen prosessindustrien og i olje og gass-virksomheten i Norge har bruk ulike typer strålekilder vært til stor nytte og bidratt til overvåkning av prosesser og gitt økt sikkerhet ved industrianlegg og installasjoner samt bedre produktkvalitet. En stor mengde ny kunnskap innen de fleste naturvitenskapelige fag er etablert med bruk av strålekilder og innsikt i strålingens egenskaper.

Til tross for tidlige observasjoner av skader etter bruk av stråling som håravfall, hudforbrenninger, øyeskader og sår som ikke ville gro, skulle det gå mange år før behovet for strålebeskyttelse ble erkjent og fikk nødvendig oppmerksomhet. Erfaringer med skader grunnet bruk av røntgenapparater i militære feltsykehus under 1. verdenskrig var medvirkende til at radiologer i flere land så behov for å utvikle kunnskap, teknikker og metoder for strålebeskyttelse. På den 2. internasjonale radiologikongress i Stockholm 1928, ble den internasjonale strålevernskommisjon (ICRP) etablert. På samme kongress ble det også erkjent behov for å utvikle metoder og kunnskap for måling av strålemengde kvantitativt. En internasjonal kommisjon for måling og fastsettelse av enheter for stråling (ICRU) ble etablert for dette. Både ICRP og ICRU er fortsatt aktive og har bidratt betydelig til ny kunnskap om stråling og effekter av stråling. De har også gitt anbefalinger som har ført til ganske lik vurdering av strålerisiko og harmonisert eller gjenkjennelig forvaltning i ulike land.

I Norge ble strålebehandling tatt i bruk utover i 1920-årene, men «dosimetrien» var meget mangelfull og usikker. Det var mest vanlig i starten å benytte en skjønsmessig vurdering av «rødhetsdannelsen» på hud etter bestrålingen som et mål på mengden stråling. Dette ble i det medisinske radiologimiljøet vurdert som et problem og Norsk Forening for Medisinsk Radiologi skrev brev til helsemyndighetene i 1934/1935 om at det måtte opprettes et nasjonalt laboratorium for å sikre måling av stråling i Norge i samsvar med internasjonale enheter. Det ble også påpekt at laboratoriet måtte ha kontrolloppgaver av apparatur samt kontrollere beskyttelsesanordninger for "pasienter, søstre og læger". Dette var forløperen til dagens Statens strålevern. Laboratoriet startet sin virksomhet 1. juli 1939 på Rikshospitalet med 3 ansatte og frem mot 1950-årene var måling av doseutbytte og utarbeidelse av doseringstabeller til røntgenterapiapparater første prioritet. Gjennom årene har institusjonen endret navn, lokalisering og arbeidsoppgaver mange ganger. Dagens Statens strålevern ble etablert i 1993 ved sammenslåing av tidligere Statens institutt for strålehygiene og Statens atomtilsyn.

Siden 1950-tallet har det vært en sterk økning av strålebruken innen så vel medisin som industri/forskning og behovet for mer strålevern ble åpenbart dels grunnet nye typer anvendelser og nye utfordringer. Eksempler er lungescreening med skjermbildefotografering for å bekjempe tuberkulose, strålebehandling med akseleratorer og med bruk av ulike typer radioaktive kilder, røntgenundersøkelser av hjerte/kar-sykdommer, industriell radiografi, forskning på atomenergi, sporundersøkelser med åpne radioaktive kilder i medisin, industri og forskning mv. Med de mange tilsyns- og kontrollbesøk i hele landet fikk man en god oversikt over bruken og hvilke utfordringer som ventet. Dette var viktig kunnskap å ha når en skulle utvikle regelverk for strålebruk og strålevern.

1.4 Rapportens formål og struktur

Rapporten gir en oversikt over de viktigste bruksområdene for strålekilder i Norge. For hvert område gis en kort beskrivelse av hvordan og hvorfor strålekilder brukes, utviklingstrekk, antall strålekilder og omfang av bruken per i dag, og hvordan strålebruken bidrar til befolkningens stråledose. Det omtales også relevante risikoforhold og strålevernaspekter ved bruken etter følgende mal:

Bruksområde (nytte)

... forklarer bruken og nytteverdi av ulike typer strålekilder i medisin, industri, forskning m.v...

Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)

... konsekvenser ved mulige uhell eller feilbruk for samfunn og individ, betydning for eksponering av befolkning eller miljø...

Noen bruksområder har vesentlig større omfang enn andre, for eksempel medisinsk strålebruk, og er derfor beskrevet med flere kapitler. Innen bruksområder der både ioniserende og ikke-ioniserende strålekilder benyttes omtales strålekilder og strålebruk som har relevans for strålevern.

For de ulike bruksområder diskuteres også hvilke virkemidler som kan være egnet til å tilnærme seg ytterligere visjonen om «Nyttig bruk og godt strålevern for samfunn, menneske og miljø».

Referanser til Kap.1:

Röntgen WC. Über eine neue art von Strahlen. Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft. Würzburg: Verlag der Stahel'schen K. Hof-u. Universitäts- Buch- u. Kunsthandlung, 1895

Becquerel H. Sur les radiations émises par phosphorescence. Comptes Rendus 1896; 122: 420-421.

Curie P, Curie M, Bémont G. Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende. Comptes Rendus 1898; 127: 1215-1217.

Aakhus T, Poppe E. Medisinsk radiologi i Norge: festskrift ved 100-års jubileet for oppdagelsen av røntgenstrålene. [Oslo]: Tano, 1995.

2 Medisinsk bildediagnostikk

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>Røntgen er i dag et uunnværlig hjelpemiddel i medisinsk bildediagnostikk ved at det kan fremstilles bilder av kroppens organer og funksjoner ved skader eller mistanke om sykdom. Det brukes mange typer apparatur og metoder for ulike formål, og det kan fremstilles både statisk og dynamisk bildeinformasjon. Man nyttiggjør seg den delen av strålingen som ikke absorberes i pasienten; dvs. mønsteret av stråling som slipper gjennom pasienten. Avbildningen kan gjøres i planet 2-dimensjonalt (eksempler: tannrøntgen, skjelettrøntgen, mammografi, avbildning av organer med hjelp av kontrastmidler samt dynamisk avbildning ved røntgengjennomlysning). Man kan også gjøre opptak mens røntgenrøret gjør en rotasjon eller bue rundt pasienten og beregner absorpsjonsegenskapene i kroppen, og fremstiller på dette grunnlag bilder i snitt og plan inne i pasienten ved hjelp av en datamaskin – kalt datatomografi (CT, CBCT, tomosyntese, mv.).</p> <p>Røntgenbaserte metoder gir høy oppløsning, og egner seg til avbildning av anatomi og patologi. Objekter med stor forskjell i atomnummer og tetthet gir best bildekontrast.</p> <p>Røntgengjennomlysning brukes for å vurdere anatomiske funksjoner, veilede ved operasjoner samt ved angiografi og intervensjonsundersøkelser. Det er også utviklet raske CT-opptak for spesialundersøkelser av hjertets og hjernens funksjon (perfusjonsundersøkelser).</p>	<p>Røntgen er ioniserende stråling med høy energi, og mesteparten av strålingen absorberes i pasienten og gir stråledose. Derfor er vi opptatt av at det brukes godt begrunnede henvisnings-kriterier for medisinsk bildediagnostikk (berettigelsen), og at det gjøres spesiell evaluering av screeningprogrammer (undersøkelser av symptomfrie grupper). Det utføres mer enn tre millioner røntgenundersøkelser hvert år (tannrøntgen unntatt), og samlet gir dette en betydelig samlet stråledose. CT gir gjennomgående høyere stråledoser til pasient enn vanlige røntgenbilder i to dimensjoner, og spesiell oppmerksomhet er knyttet til CT av barn og kronisk unge syke.</p> <p>Røntgenbaserte intervensjonsprosedyrer av hjerte og blodårer kan gi høye doser til pasientens hud og høye personaldoser. Ny oppmerksomhet er knyttet til undersøkelser som kan gi høye doser til øyelinsene grunnet risiko for stråleindusert katarakt.</p> <p>Det er mange forhold som vil ha betydning for hva de faktiske stråledoser blir – teknologi, kompetanse hos involvert personell i alle ledd, kvalitetssikring av metoder og prosesser og holdning til strålevern. Det kreves inngående kjennskap til apparatur og strålefysikk for å utvikle protokoller som gir adekvat bildekvalitet med lavest mulig dose (optimalisering – flerfaglig tilnærming) og alle involverte yrkesgrupper må ha en bevisst holdning til strålevern i det daglige arbeid.</p>
<p>I de senere tiår er det utviklet nye avbildningsmetoder som baserer seg på helt andre fysiske prinsipper – MR og ultralyd. Magnettomograf (MR) er basert på måling av hydrogenatomenes kjernespinntilstand i et sterkt statisk magnetfelt under påvirkning av radiofrekvent stråling. MR fremstiller spesielt bløtvevsdetaljer med høy oppløsning, men opptakene tar lengre tid.</p> <p>Ultralyd (UL) er basert på absorpsjon/refleksjon av lydølger i vevet med høy frekvens, og</p>	<p>Man kjenner ikke til spesielle skadelige virkninger av de feltene pasienten utsettes for ved MR-undersøkelser. Man vil derfor foretrekke MR framfor CT for sårbare pasientgrupper (kronisk unge syke). Når MR brukes til intervensjon vil man være opptatt av eksponeringen av operatøren. Feltene er sterke nok til å kunne forstyrre instrumenter og utstyr i nabo rom, noe som kan skape bekymring.</p> <p>Man kjenner ikke til skadelige effekter fra den</p>

<p>benyttes til funksjonsavbildning ved en lang rekke problemstillinger. Oppløsningen er dårligere enn røntgenbaserte metoder og MR, men UL er god på å skille vannholdige tumorer (cyster) fra kreftvev, og har fått stor utbredelse i hjerte- og fosterdiagnostikken</p>	<p>intensitet som benyttes for avbildning med ultralyd, men anbefaler en "føre var" holdning, spesielt med hensyn til at en ikke bør bruke UL uten klinisk begrunnelse (fosterfoto etc.)</p>
--	--

2.1 Utviklingstrekk

De første røntgenapparater i sykehus ble installert i Norge rett før og rett etter det forrige århundreskiftet, Diakonissesyekehuset i 1897, Rikshospitalet i 1898, Ullevål i 1903, Innherred i 1904 og Bergen og Trondheim i 1905. I perioden 1900 -1925 ble røntgenapparater og røntgenavdelinger bygd ut som en nødvendig del av infrastrukturen ved alle større sykehus og noe senere ved mindre sykehus. Radiologi som medisinsk spesialitet ble innført i 1917 (T. Aakhus og E. Poppe; 1995). Det skjedde en rask utvikling av utstyr og metoder som gjorde det mulig å gi diagnoser med bedre kvalitet og sikkerhet og som dekket flere typer sykdommer og patologiske tilstander, og antall gjennomførte undersøkelser økte raskt både ved sykehus og på legekontorer.

Fram til 1970-tallet ble bildediagnostikken gjort ved konvensjonelle metoder, basert på todimensjonal avbildning/gjennomlysning av anatomi og patologi med røntgen. Registreringen var basert på film eller fluoriserende skjermer. Utvikling av forsterkerfolier og bildeforsterkeren var et stort fremskritt, likeså introduksjon av ulike typer av kontrastmidler. Funksjonell avbildning med ultralyd eller nukleærmedisinske metoder (se kapittel 4) ble også tatt i bruk. Framveksten av datatomografi (CT) skjedde fra 1980-tallet og magnettomografi (MR) et ti-år senere. Parallelt med dette skjedde en overgang fra filmbasert til digital radiologi. Dette har betydd mye for kvaliteten på diagnostikken, men også påvirket stråledosene til den enkelte pasient og befolkningen som helhet.

Strålevernet har hatt lange tradisjoner i å kartlegge bruken av radiologi i Norge, og har også gjort undersøkelser av den samlede stråledosen til befolkningen siden 1960-tallet (K. Koren et.al.; 1967, G. Saxebøl; 1982, 1985, 1988, Olerud og Saxebøl; 1997, Børretzen et.al.; 2007, Almen et. al.; 2010). Vi har fra 1980-tallet fulgt overgangen fra filmbaserte systemer til digitalt utstyr, introduksjonen av datatomografi (CT) og magnettomografi (MR), utvikling av ultralyd-systemer (UL), samt innføringen av radiologiske informasjonssystemer (RIS) og bildelagring (PACS). Den teknologiske utviklingen har forbedret bildediagnostikken, og gitt muligheter for lagring og utveksling av digital informasjon om pasientenes røntgenundersøkelser.

Bildediagnostikken i Norge er per i dag organisert i 26 Helseforetak med til sammen 72 tilliggende sykehus (geografiske lokalisasjoner). Det er åtte private sykehus og fem private virksomheter som organiserer til sammen 24 røntgeninstitutter, hovedsakelig spredt sørøst i landet. Omkring 600 radiologer, 2700 radiografer og 30 diagnostikkfysikere er tilknyttet disse virksomhetene og skal sørge for forsvarlige og kvalitetssikrede radiologiske tjenester. Oversikt over radiologisk utstyr og anslag over årlig gjennomførte undersøkelser er gitt i Tabell 3.1. Det finnes ulike utforminger av radiologisk apparatur fra ulike internasjonale aktører i markedet. I Norge finnes ikke industri for dette, men de fleste store leverandører er representert ved norske forhandlere.

Tannrøntgen skjer overveiende i privat regi i Norge og er ikke underlagt de samme refusjonsordningene som annen radiologi. Disse undersøkelsene utgjør et stort omfang, men bidrar i liten grad til befolkningsdosen. Innen kjeve- og ansiktskirurgi er det kommet ny apparatur på markedet som gir romlig (3D) informasjon, såkalt "cone beam CT" (CBCT). Det finnes også et visst omfang av radiologisk utstyr til bruk i veterinærmedisin.

2.2 Omfang og trender i dag

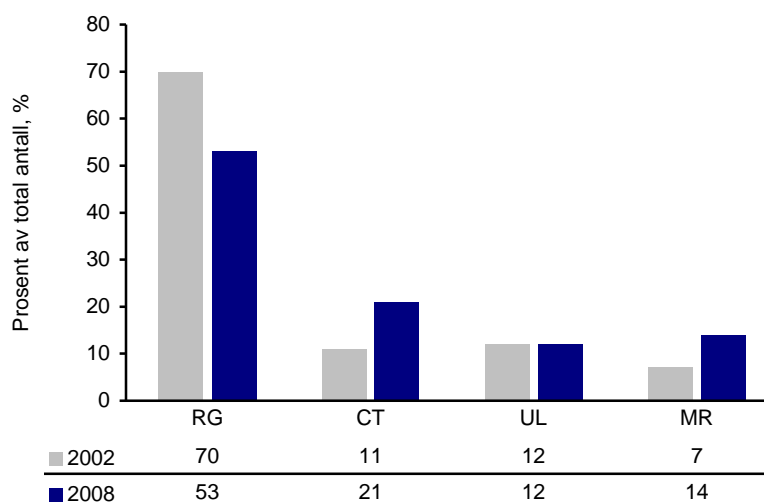
Det ble gjort nær 4.3 millioner undersøkelser i Norge i 2008, svarende til 900 undersøkelser per 1000 innbyggere (Almen et. al.; 2010). Vanlig røntgenfotografering og gjennomlysning (RG) er fremdeles mest brukte metode, men datatomografi (CT) utgjør nå 21 % av alle radiologiske undersøkelser

(Tabell 2.1). Sammenlignet med 2002 er bruken av vanlig røntgen på vei ned, CT og magnettomografi (MR) er doblet i antall, mens antall ultralydundersøkelser (UL) ligger på samme nivå (Figur 2.1). Privat sektor utførte 23 % av alle radiologiske undersøkelser i 2008. Bruken av RG, CT og UL er noe redusert i privat sektor siden 2002, mens MR gjøres i samme grad som før (Figur 2.2).

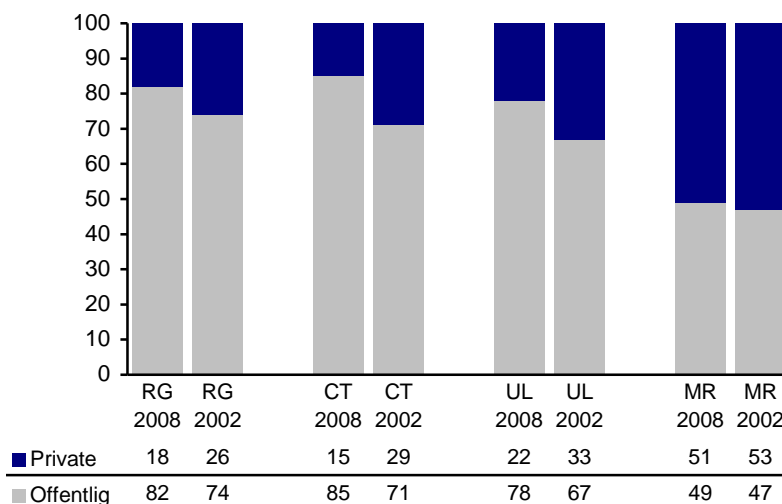
Tabell 2.1 Oversikt over radiologisk apparatur og bruken av dem per 2008

Modalitet	Antall apparater (~ estimert)	Antall undersøkelser (~ estimert)
RØNTGEN 2D	~ 850	2 253 262
MAMMOGRAFI	~ 100	340 700
ANGIO- OG INTERVENSJON	~ 90	~ 7100
CT	~ 150	918 361
MR	~ 130	595 832
ULTRALYD	N.A.	498 078
SUM		4 265 533 (unntatt dental)
DENTAL RØNTGEN ¹		
VANLIG	~3500	~5 550 000
CBCT	~ 30	
VETERINÆR RØNTGEN ²	~300	~200 000 (#bilder)

1) I.H.R.Hauge et.al. (2009) 2) M.Solberg (2010)

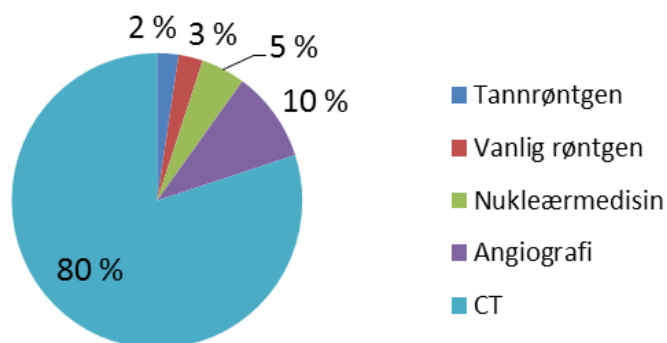


Figur 2.1 Trender i bruken av ulike radiologiske modaliteter 2002 - 2008



Figur 2.2 Utviklingen i valg av radiologiske modaliteter mellom offentlig og privat sektor

Det er grunn til å ha oppmerksomhet med den økte bruken av CT, som fører til høyere total dose til befolkningen (S_E). På den annen side vil bruken av avbildende metoder som baserer seg på ikke-ioniserende stråling, slik som ultralyd (UL) og magnettomografi (MR) trekke i motsatt retning. De røntgenbaserte undersøkelsene (vanlig røntgen fotografering og gjennomlysning, samt datatomografi) utgjorde 670 per 1000 innbygger i 2008 (unntatt tannrøntgen), og den tilsvarende befolkningsdosen ble beregnet til 1,1 mSv per innbygger. Den samlede befolkningsdosen har ikke endret seg siden 2002, men CT bruken bidrar nå med 80 % av befolkningsdosen fra medisinsk strålebruk (Figur 2.3).



Figur 2.3 Prosentvis bidrag til samlet befolkningsdose på 1.1 mSv per innbygger fra medisinsk diagnostisk strålebruk.

Strålevernet har deltatt i flere internasjonale studier for sammenligning av bruken av radiologi i Europa og hvordan det påvirker stråledosene til befolkningen. Resultatene viser store forskjeller, og det knyttes usikkerhet til om dette er reelt eller skyldes metodene for telling. Strålevernet har deltatt i EU prosjektet DDMED (2004 – 07) som munnet ut i en veiledning for gjennomføring av slike kartlegginger (EU RP 154, 2008). Prosjektet konkluderte med at forskjellene mellom ulike land er reelle og for en stor del kan forklares ved ulik nasjonal økonomi, tilgjengelighet av apparatur, helsepolitiske systemer, avlønning av radiologer, etc. Strålevernet deltok også i oppfølgeren DDMED2 (2011 – 2013) som skulle evaluere EU anbefalingen RP154 og kartlegge samlet befolkningsdose i hele Europa, se www.ddmed.eu. Datagrunnlaget og estimatene for Norge ble gjennomgått på nytt i lys av

tallmateriale i andre land vi kan sammenligne oss med. I utkast til sluttrapport fra DDMED prosjektet er samlet befolkningsdose fra medisinsk strålebruk i Norge anslått til 1.3 mSv per innbygger (EU DDMED2, 2013). Grunnen til oppjusteringen er mest sannsynlig at vi underestimerte bruken av radiologi utenfor radiologiske avdelinger i 2008-materialet. Dette vil kunne påvirke utseende av «dosekaka» i Figur 2.3, men ikke hovedinntrykket av CT som mest betydelig bidragsyter til befolkningsdosen.

2.3 Tannrøntgen

Tannrøntgen representerer den vanligste bruken av røntgen, det gjøres omkring 5,55 millioner årlige tannrøntgenundersøkelser i Norge (1173 per 1000 innbyggere), noe som representerer 64 % av alle røntgenundersøkelser. Stråledosene til pasient ved slike undersøkelser er imidlertid lave (Tabell 2.2), og bidrar til 26.2 μ Sv per innbygger, noe som representerer 2,3 % av befolkningsdosen fra medisinsk strålebruk (I.H.R. Hauge et.al.; 2009, Almen et. al.; 2010).



Figur 2.4 Tannrøntgenapparat som integrert del av tannlegestolen (t.v.). Til høyre; Øverst: Bite wing - Digitalt tannstatusbilde (Foto: Statens strålevern), Midt: OPG panoramarøntgen (Foto: C. Hol, Tannhelsetjenestens Kompetansesenter Sør.) Nederst: CBCT opptak av rest visdomstann. Foto: C. Hol, Tannhelsetjenestens Kompetansesenter Sør.

Tannleger bruker røntgenbilder av tennene i søken etter hull (karies), skader, tannstilling mv. og bildene inngår som dokumentasjon etter periodisk tannhelsekontroll. Vanlig tannrøntgenbilder (bite-wing teknikk) er i dag basert på digital teknologi. Innen kjeve- og ansiktsradiologi bruker man dessuten panoramarøntgen (OPG) basert på bildeopptak av tennene under røntgenrørets dreining rundt pasientens hode. En CT-teknikk er nylig introdusert i noen tannklinikker kalt "cone-beam CT" (CBCT) som gir rekonstruerte snitt basert på samme geometri, foruten at man ved odontologiske spesialavdelinger også bruker vanlig datatomografi (CT). Se også StrålevernInfo nr. 4 og 5, 2009 om dentalrøntgen.

Tabell 2.2 Typiske stråledoser ved tannrøntgen og røntgen i kjeve- og ansiktsområdet

Undersøkelse/modalitet	Typisk strådose til pasient (effektiv dose) ^{*)}
Bite-wing bilde /tannrøntgenapparat	0,005 mSv
Orthopantogram /OPG -apparat	0,010 mSv
Cone beam CT bilde/CBCT-apparat	0,1–1 mSv (avhengig av teknologi)
CT av kjeven (maxillaris- mandibula)	1 – 2 mSv (finnes også lavdose protokoller)

^{*)} Beregnet i henhold til ICRP (1991)

2.4 Vanlig røntgenfotografering og gjennomlysning

Den enkleste formen for røntgenavbildning gjøres ved å stille pasienten mellom røntgenrøret og et system som registrerer strålingen som slipper ut på baksiden av kroppen. Tidligere ble det brukt fotografisk film som ble lagt i spesielle kassetter med forsterkerfolier som omdannet røntgenstråling til lys som svartet filmen. Med forsterkerfolier trengtes mindre stråling for å oppnå kontrast i de fremkalte bildene. Lungefotografering er fremdeles en vanlig undersøkelse (Figur 2.5); et frontbilde med pasienten stilt med forsiden mot bildeplata (PA projeksjon), gjerne supplert av et sidebilde (LAT-projeksjon).



Figur 2.5 Et thorax laboratorium (t.v.) og et lungebilde (t.h.). Bilder fra OUS-Ullevål.

Det finnes et stort antall standardprosedyrer for røntgenundersøkelser med røntgenfotografering eller gjennomlysning som muliggjør å stille sikre diagnoser hos pasienter ved mistanke om sykdom eller skade. Tidligere var gjennomlysningssystemer basert på fluoriserende skjermer og senere sammen med bruk av kontrastmidler. I dag finnes ingen film- eller bildeforsterkerbaserte system igjen i Norge, alt er basert på direkte eller indirekte digitale registreringssystemer. Eksempler på TV/bildeforsterkere ble tidligere mye brukt under undersøkelser av mage- tarmsystemet, ofte røntgenbilder fra ulike typer vanlige røntgenundersøkelser er vist i Fig. 2.6 - 2.8.



Fig.2-6a Funksjonsundersøkelse av nyrebekken / urinledere med kontrastmiddel (urografi). Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF.



Fig. 2-6 b. Oversiktsbilde av bekken/urinblære 15 min. etter kontrastinjeksjon. Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF.



Fig. 2.7a. Rtg.bilde av tykktarm med enkeltkontrast. Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF.



Fig 2.7 b. Rtg.bilde av tykktarm med dobbelkontrast som viser en polypp (pil). Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF.



Fig. 2-8 a. Skjelettimage som viser lårbensbrudd. Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF.



Fig 2-8 b. Røntgen kontrollbilde av hånd etter arbeidsulykke med sag. Foto: Lars Borgen, Vestre Viken HF

Den teknologiske utviklingen har også gjort at stråledosene til pasientene ved vanlig røntgenfotografering og gjennomlysning nå er lavere enn på 90-tallet (Tabell 2.3).

Tabell 2.3 Utviklingen i stråledose ved vanlige røntgenfotografering og gjennomlysning

Undersøkelse	Effektiv dose (mSv) ^{*)}	
	90-tallet	Nå
Lunger	0,15	0,07
Nakke	0,2	0,07
Korsrygg	1,4	1,4
Magebilde	3,6	1,2
Bekken og hofte	0,6	0,4
Magesekk	5,1	5,2
Tykkertarm	12,5	7,3
Svelg og tynntarm	2,2	4,8
Intravenøs urografi	3,8	2,4

^{*)} Beregnet i henhold til ICRP (1991)

2.5 Mammografi

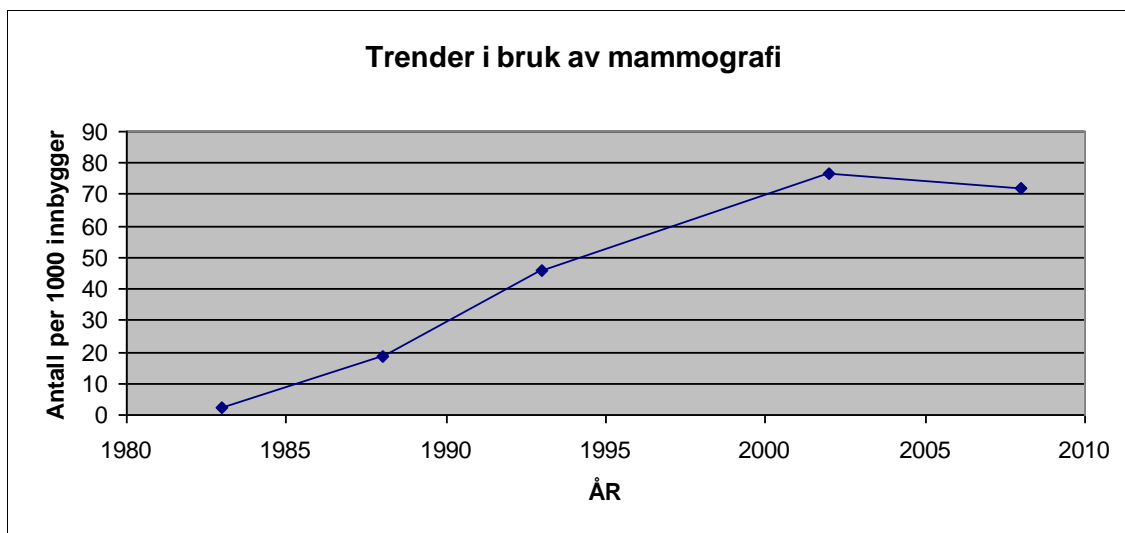
Mammografi er en spesiell røntgenundersøkelse av brystene for å diagnostisere kreft og andre sykelige forandringer. Brystene består av kjertelvev og fett, og sykt vev skiller seg lite tetthetsmessig fra friskt vev. Det kan være lavkontrast masser med subtile kjennetegn, samt opphopninger av karakteristiske mikroforkalkninger som kan være tegn på sykdom. Det er derfor utviklet røntgenapparater med lavere rørspenning (25 – 35 kV) og andre anode- og filtermateriale (Molybden, Rhodium), som gir bedre kontrast i bildene. Det har også vært arbeidet spesielt med detektorteknologi som skal gi høy oppløsning i bildene. Undersøkelsen foregår ved at brystet plasseres på en bordoverflate med bildeplate/detektor inni og komprimeres under eksponeringen. Ved vanlig mammografi tas et frontbilde (CC) og et skråbilde (MLO) av hvert bryst.



Figur 2.9 Et mammografiapparat (t.v.) for avbildning av brystkjertelvev (t.h.). Foto: Anita Studer, sykehuset i Vestfold. Bilde: OUS-Ullevål.

En skiller mellom screeningmammografi og mammografi utført på kliniske indikasjoner. Friske og symptomfrie kvinner inviteres til screening fordi man vil finne tidlige stadier av brystkreft, for gjennom det å bedre overlevelsen i den inviterte gruppen. Det norske mammografi-programmet (MP) er forankret i nasjonal kreftstrategi og har gjennom de siste 15 årene vokst fra prøveprosjekt i fire fylker til et landsdekkende program med tilbud til alle kvinner mellom 50 og 69 år. MP er ledet av Kreftregisteret i samarbeid med tidl. Statens helseundersøkelser og Strålevernet. En nasjonal rådgivningsgruppe for MP har representanter fra samarbeidspartnere og aktører (radiologer, radiografer, kirurger, patologer, etc.), og det ble utarbeidet en kvalitetsmanual for MP (Kreftregisteret 2003), der Strålevernet har hatt oppgaven å sikre den tekniske kvaliteten av apparater og utstyr i programmet.

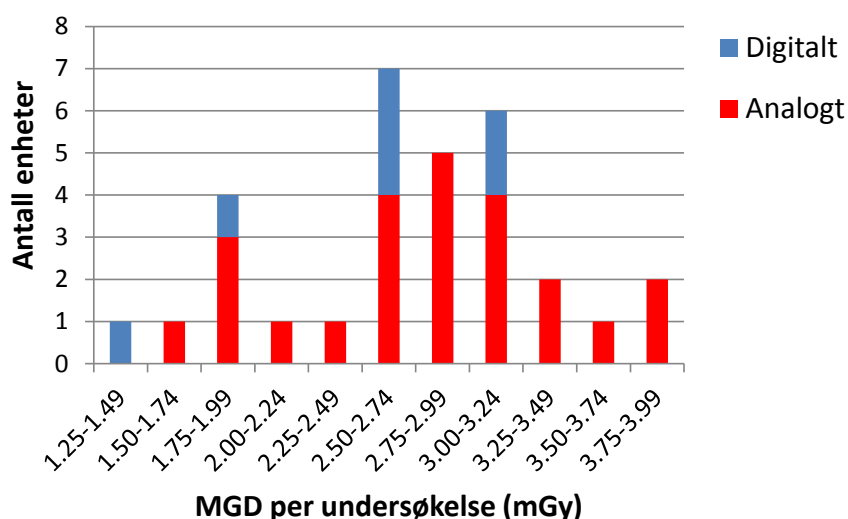
Introduksjon av mammografiprogrammet har naturlig nok ført til at det gjøres flere mammografi undersøkelser i Norge i dag enn for 20 år siden (Figur 2.10). Av ukjente grunner er det økende forekomst av brystkreft i befolkningen; brystkreft er hyppigste dødsårsak blant kvinner i aldersgruppen 25–69 år (Kreftregisteret; 2010). Dette fører også til et økende trykk fra kvinner i aldersgruppen under 50 og eldre enn 70 år som ønsker mammografi. Det finnes tilbud for kvinner utenfor mammografiprogrammet både ved private røntgeninstitutter og i offentlig regi, men det kreves da henvisning fra lege.



Figur 2.10 Utviklingen i totalt antall mammografiundersøkelser gjennom tjue år. En ser klart virkningen av oppbyggingen av det nasjonale mammografiprogrammet fra midten av 90-tallet.

* det er usikkerhet i tellingen; vi mener å telle antall kvinner og ikke antall bryst, men ulik kodepraksis gjør at tallene nok utgjør et overestimert (omkring 10.000 i 1983 og 240.000 i 2008)

Brystkjertelvev er vurdert å være spesielt følsomt for stråling. Stråledosene blir derfor overvåket som del av kvalitetskontrollen i MP, og kartlegges ved å estimere dosene til femti kvinner som er til mammografiscreening på hvert screeningsted. Dosekartleggingen fra 2006-2008, der både analoge (24 enheter) og digitale (7 enheter) var med viste variasjon i dose per undersøkelse for de ulike enhetene (Figur 2.11). Det var variasjon både mellom analoge og digitale enheter og for de ulike leverandørene/modellene. Det finnes ca. 30 mammografiapparat som benyttes til screening i MP. Gjennomsnittlig brystkjerteldose til kvinner i MP er 2.50 ± 0.05 mGy (CC: 1.18 ± 0.02 mGy, MLO: 1.31 ± 0.02 mGy MLO), noe som er vurdert å utgjøre en liten risiko sett i sammenheng med antatt bedret overlevelse i screenet gruppe (Hauge I.H.R. et. al.; 2014).

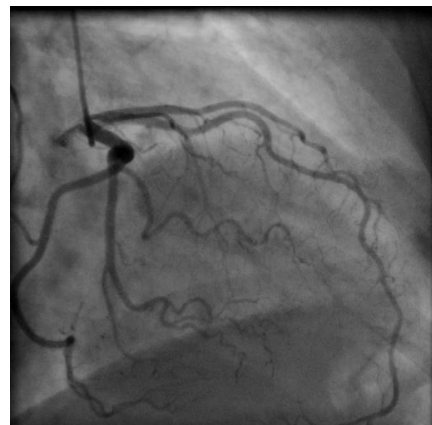


Figur 2.11 Stråledose (Mean Glandular Dose (MGD)) til brystkjertelvev per undersøkelse for de ulike screeningapparatene i Mammografiprogrammet (MP) beregnet i tidsrommet 2006 – 2008 (Hauge I.H.R. et. al. 2011).

2.6 Angiografi og intervensjon

Angiografi er fellesbetegnelsen på intravenøse kontrastundersøkelser for fremstilling av blodkar. Undersøkelsene deles opp i arteriografier og venografier, og har vært brukt lenge. Det har vært en betydelig teknologisk utvikling både mht. kontrastmidler, apparatur og metoder for bildebehandling. Røntgenbasert angiografi gjøres i dag på avanserte spesiallaboratorier, der røntgenrøret og bilderegistrerende system er montert på hver ende av en C-arm, med pasienten på et bord mellom, og alt kan beveges for å oppnå best mulig bildekvalitet og ulike grader av forstørrelse. Man kan gjennomlyse, filme eller ta røntgenbilder med apparatet. Digital subtraksjonsangiografi (DSA) er en teknikk der en tar bilder før og etter kontrastinjeksjon. Informasjonen i hvert element i bildet tatt uten kontrast subtraheres fra tilsvarende informasjon i kontrastbildet. En står da igjen med en ren fremstilling av karene (Figur 2.12).

Angiografilaboratorier er i økende grad fullt utstyrt som et operasjonsrom, spesialisert for formålet; angiografi av koronararteriene som gjerne utføres av hjertekardiologer, angiografier av storhjernens arterier og vener etter injeksjon av kontrastmiddel i indre hodearterier, venografier for å se på sirkulasjon i beina, etc. Under undersøkelsen vil en kunne se innsnevninger eller utposinger (aneurismer) i blodårene. Det er utviklet mye spesialutstyr for intervensjon, dvs. utstyr som kan føres inn i årene i form av små kirurgiske kniver, klyper, ballongkatetre, nett for å forsterke årevegg, etc.; En kan altså blokke ut årer og gjøre inngrep fra innsiden veiledet av røntgen, noe som har revolusjonert behandlingen med langt mindre kompliserte inngrep enn tradisjonell operasjon. PTCA (Percutaneous transluminal coronary angioplasty) er en vanlig prosedyre i dag for å åpne opp og utvide blokkerte koronararterier.



Figur 2.12 Et angio-intervensjonslaboratorium (t.v.) digital subtraksjonsteknikk (DSA) bilde (t.h.). Foto og bilde: Oslo universitetssykehus – Ullevål.

Gastroenterologi er annen gruppe av intervensjonsundersøkelser av mage-tarm systemet som involverer bruk av skop veiledet av røntgen. Ved sykelige funn (polypper, svulster mv.) kan en gjøre nødvendige inngrep direkte med spesialtilpasset verktøy festet til skopet. ERCP (Endoscopic retrograde cholangiopancreatography) brukes tilsvarende for å utrede og intervenere sykdomstilstander i bukspyttkjertel, lever, galle og galleganger.

Mange av disse prosedyrene skjer utenfor radiologisk avdeling, både på inneliggende og polikliniske pasienter. Totalt sett estimerte vi i 2008 at det utføres 1,2 – 1,7 intervensjonsprosedyrer per 1000 innbyggere i Norge, og at denne aktiviteten bidrar til 10 % av samlet befolkningsdose.

Mange av de angiografiske og intervensjonsundersøkelsene utføres i stedet for kirurgiske inngrep. Ofte kan det være svært syke pasienter og det kan oppstå komplikasjoner og forsinkelser i gjennomføringen av disse prosedyrene. Stråledoser kan derfor variere mye fra pasient til pasient for samme type undersøkelse. De utgjør altså ikke så mange i antall, men stråledosene knyttet til den enkelte pasient kan bli høye. Effektiv dose er rapportert til 7,6 (3,3 – 11,3) mSv ved angiografi av koronararteriene, mens PTCA gir 14,7 (6,6 – 29) mSv (landsgjennomsnitt i Europa) (EU DD MED2,

2013); for enkeltundersøkelser kan effektivdosen komme opp mot 100 mSv. Ved kompliserte og tidkrevende inngrep er det likevel stråledosene til gitte områder av huden som gir størst strålevernshbetyrning. Dersom en ikke er spesielt påpasselig under utførelsen av tidkrevende røntgenveiledelede inngrep, kan resultatet bli doser i størrelsesorden flere Sievert til huden. Dette kan gi rødhetsforbrenning og alvorlige skader; senskader som kan opptre flere uker etter intervensjon og derved er vanskelig å gjenkjenne for fastlegen dersom man ikke er gjort oppmerksom på forholdet. . Eksempel på hudskade etter røntgenveiledelede inngrep er vist i fig. 2.13.



Figur 2.13 Hudforbrenning/stråleskade på pasient etter intervensjonsinngrep. Foto: Photograph courtesy of T. Shope.

Arbeidstakere som utfører slike røntgenundersøkelser vil selv være utsatt for stråling grunnet spredt stråling fra pasient da de ofte står nær pasient. En ny utfordring blir at de må være påpasselige med å benytte beskyttelsesutstyr som blybriller, blyfrakker og apparatmonterte skjermer for å unngå at dosen til øyelinsen blir uakseptabelt høy. Dosegrensen til øyelinsen er nylig foreslått redusert fra 150 mSv til 20 mSv per år.

2.7 Datatomografi (CT)

Datatomografi (CT) er en røntgenbasert undersøkelse som gir beregnet bildeinformasjon i tverrsnitt eller volum i pasienten. Bildeopptaket skjer mens røntgenrøret roterer rundt pasienten som føres liggende på et bord gjennom sentrum av CT-maskinen (gantry). Basert på den andelen av røntgenstråling som slipper gjennom pasienten under rotasjon av røret, kan man få frem informasjon om "røntgentetthet" i små vevselementer inne i pasienten. Dagens CT'er har romlig oppløsning på mindre enn 0,3 mm.

Dagens CT-teknologi gir mulighet for rask beregning av mange tomografiske snitt per rør rotasjon. En CT-undersøkelse starter ofte med et 2D overblikksbilde (topogram) som radiografen bruker til å planlegge det videre forløp av undersøkelsen, dvs. hvilken del av kroppen som skal avbildes, fastsette eksponeringsparametere (rørspenning, rørstrøm og rotasjonstid), velge tykkelse en vil rekonstruere CT-snittene og tidsskjema for bruk av kontrastmidler. Pasienten kan føres gjennom gantry flere ganger, gjerne med og uten kontrastinjeksjon for å følge kontrastopplading og utlading, etc. Klinisk spørsmålstilling (indikasjon) bestemmer bruken av kontrast og behov for mer komplekse CT-opptak (flere CT- serier). En CT-maskin og noen typiske CT-bilder er vist i Fig.2.14 a-f.

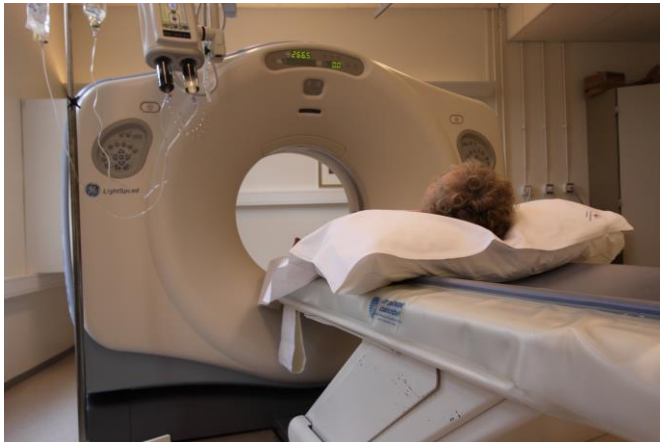


Fig. 2.14 a. En røntgen CT-maskin. Foto: Strålevernet.



Fig. 2.14 b. CT-snittbilde av hjerne



Fig. 2.14 c. CT-snittbilde av buk/mage



Fig. 2.14 d. CT-snittbilde av lunge/bryst



Fig. 2.14 e. CT-snittbilde av hjerne (hjerneblødning vises til høyre.)

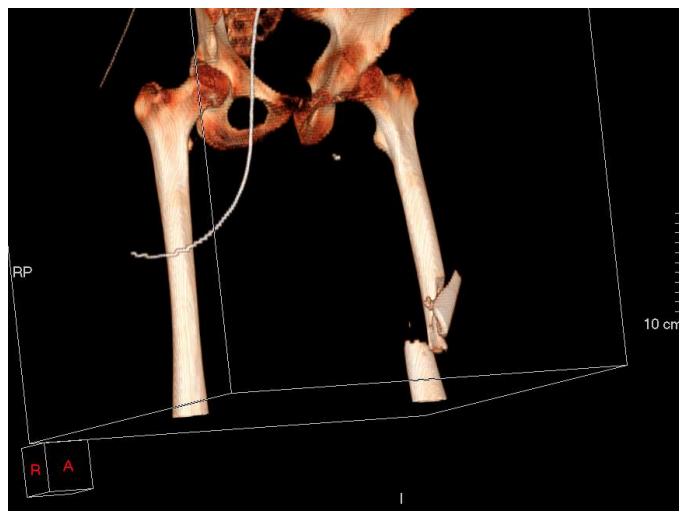


Fig. 2.14 f. CT-3D bilde rekonstruksjon av lårbensbrudd etter trafikkulykke. Foto Fig. 2.14 b-f: Lars Borgen, Vestre viken HF.

CT omfatter både enkle opptak og mer omfattende flerfase kontrastundersøkelser. Man benytter også CT til gjennomlysning for diagnostiske formål eller som del av intervensjonsprosedyrer (biopsi). Det er basert på at bordet står i ro under rørrotasjon; man rekonstruerer bilder fortløpende under rørrotasjon, slik at man kan få fram «live» informasjon fra kroppens indre.

Tabell 2.4 gir en oversikt over utviklingen i stråledosene til pasient ved vanlige typer av CT-undersøkelser gjennom de siste 20 årene. Det har vært en betydelig utvikling av CT-teknologien i dette tidsrommet, og dosene har gått noe ned. Dette kan forklares med mer følsomme detektor-materialer, bruk av åpen spiral (pitch>1) og systemer for modulering av røstrøm under opptak (optimalisert i h.h.t. anatomisk tetthet). I tillegg kan nytt regelverk (strålevernforskriften 2011) med godkjenningssystemer, tilsyn og kliniske revisjoner samt fokus på kvalitetskontroll, optimalisering, utvikling av bedre protokoller og prosedyrer, krav til flerfaglig kompetanse (radiolog, CT-radiograf, diagnostikkfysiker), krav til doseovervåking og innføring av diagnostiske referanseverdier (DRL's) ha hatt en effekt.

Tabell 2.4 Utviklingen i stråledose ved datatomografi (CT) undersøkelser i Norge

Undersøkelse	Effektiv dose (mSv)*	
	90-tallet	Nå
CT hode/hjerne	1,8	1,5
CT nakke	3,4	2,6
CT bryst/lunge	11,5	4,7
CT korsryggen	4,3	5,6
CT mage	12,6	10
CT bekken	9,3	7,3

*) Beregnet i henhold til ICRP (1991)

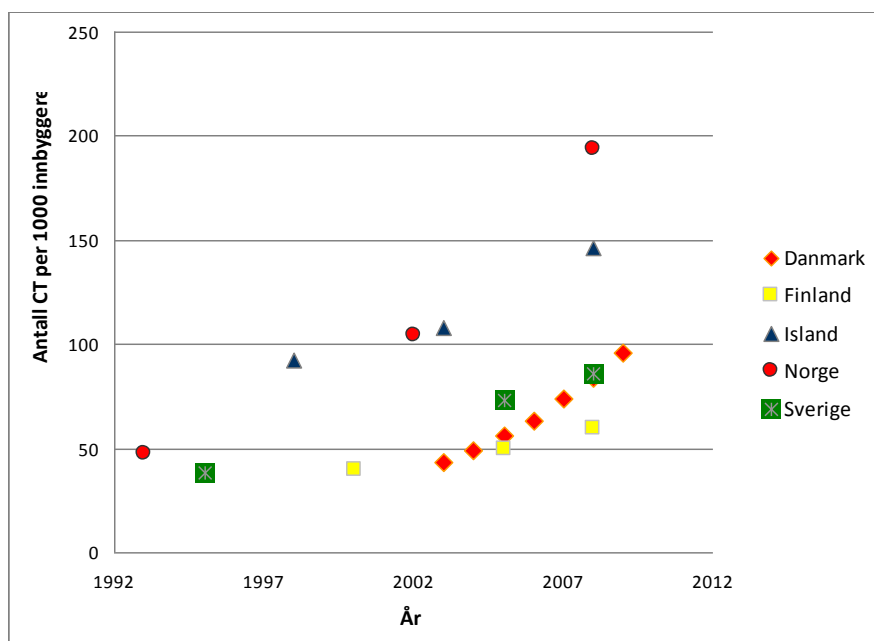
Tabell 2.5 gir oversikt over Strålevernets publiserte tall over utviklingen i totalt antall CT undersøkelser i Norge. CT utgjør omkring 29 % av totalt antall røntgenbaserte undersøkelser, men fordi stråledosene ved CT er høyere enn vanlige todimensjonale røntgen undersøkelser, bidrar CT til 80 % av samlet befolkningsdose fra medisinsk strålebruk i 2008.

Tabell 2.5 Antall datatomografi (CT) undersøkelser i Norge gjennom de siste 30 åra

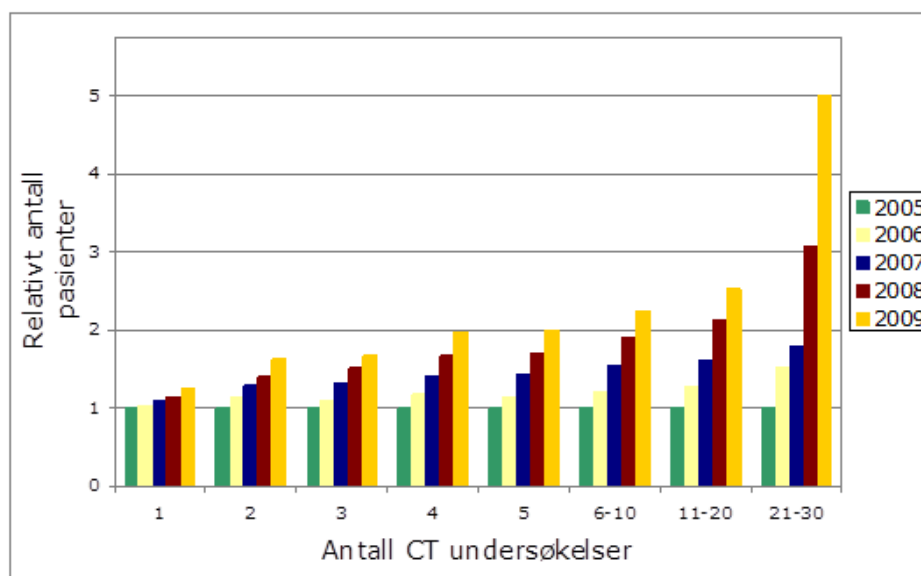
År for telling	Antall per 1000 innbyggere	Referanse
1983, 88 og 93	47.7	Olerud H.M., Saxebøl G. (1997)
2002	104.5	Borretzen I. et.al (2007)
2008	194	Almen A. et. al. (2010)

Nordiske strålevernsmyndigheter publiserte en felles pressemelding 16. januar 2012 med bakgrunn i den økte bruken av datatomografi i Europa generelt (The Nordic Radiation Protection co-operation. 2012). Det kan se ut som CT-bruken i Norge er blant den høyeste i Norden og Europa for øvrig (Figur 2.15). Tallene analyseres i EU prosjektet DDM2 (2011-13) med tanke på forskjeller og usikkerheter, se www.ddmed.eu. Det viktige å fokusere på er trendene over tid i alle land og så langt har det vært en dobling av CT-bruken omtrent hvert 10. år.

Et annet trekk i utviklingen av CT-bruken er at mange pasienter undersøkes med CT flere ganger årlig og at denne tendensen er stigende (Figur 2.15) (The Nordic Radiation Protection co-operation, 2012) Det er grunn til å følge denne utviklingen nærmere av hensyn til samlet dose for den enkelte pasient og kollektivdosen til befolkningen.



Figur 2.14 Utviklingen av antall CT-undersøkelser i Nordiske land de siste 20 år (The Nordic Radiation Protection co-operation, 2012)

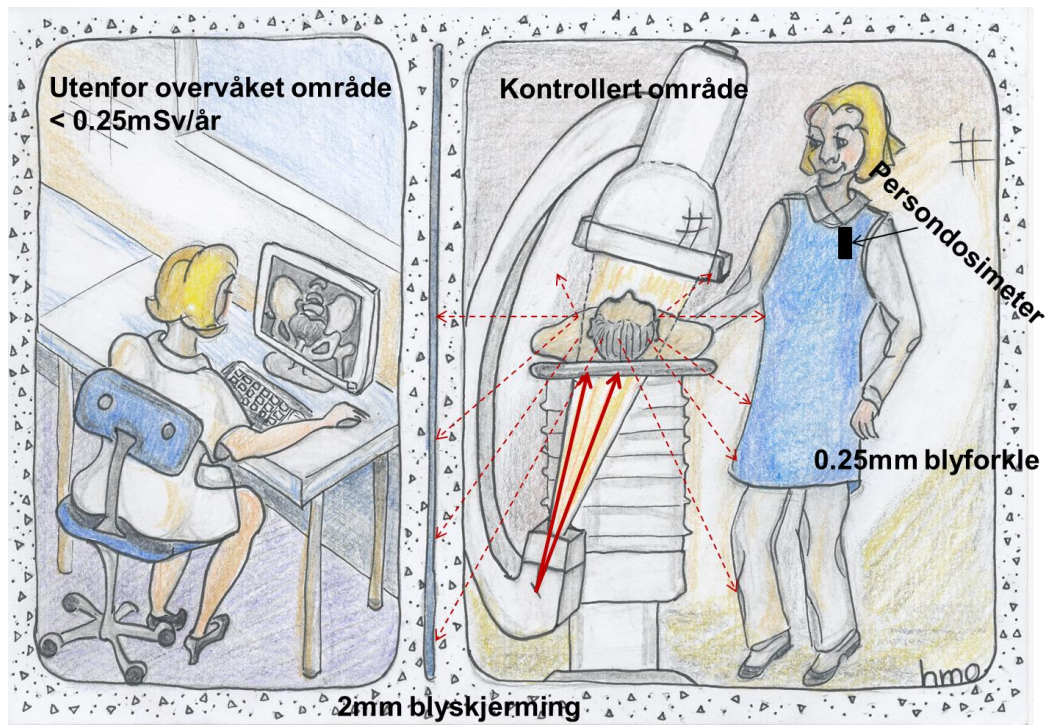


Figur 2.15 Data fra Danmark som viser at økende antall pasienter undergår multiple antall CT-undersøkelser i løpet av ett år (The Nordic Radiation Protection co-operation, 2012)

2.8 Stråledoser til operatør og tredje person

Stråledosene til de som arbeider på en røntgenavdeling og det vi kaller «tredje person», altså besøkende eller andre vilkårlige personer av ulike kategorier, skal i dag være helt ubetydelige. I røntgendiagnostikk er det pasienten på undersøkelsesbordet som er kilde for spredt stråling til

personalet og de som måtte befinne seg i røntgenrommet. Praktisk strålevern bygger på prinsippene om «Tid – Avstand – Skjerming». Ofte kan personale gjøre undersøkelsen fra skjermet posisjon utenfor røntgenrommet, og veggene mot tilgrensende oppholdsrom og kontorareal skal være skjermet mot stråling utover bakgrunnsnivå. Hvis man må oppholde seg i røntgenrommet når strålingen er på, skal man bruke blygummifrakk og eventuelt thyroidea-beskyttelse, hansker og briller.



Figur 2.12 Pasienten er kilden for spredt stråling til personalet i rommet, mest stråling spres tilbake mot rørsiden. Røntgenrom klassifiseres som overvåket område, der personalet skal bære persondosimeter og beskyttelsesutstyr (t.h.). Tilgrensende arbeidsplasser skjermes til $<0.25\text{mSv/år}$ typisk med 2mm bly i veggene (t.v.). Illustrasjon: Statens strålevern.

Dosegrenser for yrkeseksponerte og befolkningen for øvrig er regulert i strålevernforskriften. Det er krav til overvåkning med persondosimetri for yrkeseksponerte, som følger av oppgaver og klassifisering av rom og områder på arbeidsplassen. I tillegg er det dimensjonerende dosegrenser for bygningsmessig skjerming, med publisert veileder for hvordan dette kan oppnås på ulike bruksområder (Statens strålevern 2008).

For de aller fleste vil vanlig bruk og god arbeidsteknikk føre til at de mottatte yrkesdoser ligger trygt under dosegrensene. Basert på dosestatistikk fra de siste årene vet man hvilke grupper av norske arbeidstakere som er mest utsatt. Det gjelder først og fremst de som må stå tett innpå pasienten under lengre røntgenveilede intervensjonsprosedyrer (kardiologer, kirurger, ortopeder). Radiografer i normalt arbeid på f.eks. CT skal ikke motta nevneverdige doser utover bakgrunnsnivå, fordi de fleste prosedyrer kan foretas i skjermet posisjon i kontrollrommet. Strålevernet utarbeider årlig oversikt over doser til yrkeseksponerte som bruker Strålevernets persondosimetritjeneste.

I røntgendiagnostikk er beskyttelsesutstyr som blygummifrakk og thyroidea krage, ev. supplert med blyglassbriller og spesialhansker, svært effektiv til å stoppe spredt stråling. Dersom man som anbefalt bærer persondosimeteret utenpå frakken, vil verdien av effektiv dose typisk ligge på 10 – 30 % av dosimeteravlesningen.

2.9 Virkemidler for å kvalitetssikre diagnostikken og hindre feil og skader

Bildediagnostikk i Norge utføres både i offentlig og privat regi. Man disponerer gjennomgående moderne apparatur fra velrennomerte utstyrsleverandører. Krav fra den internasjonale elektrotekniske komite (IEC) ligger til grunn for CE merking, noe som i utgangspunktet ivaretar strålesikkerheten ved utstyret. Utfordringene ligger i den videre bruken av apparaturen; kyndig mottakskontroll, oppfølging med periodisk kvalitetskontroll for å overvåke utstyret over tid, adekvat vedlikehold, og skroting etter gitte kriterier for hva som er akseptabelt og hensiktsmessig for bruken av utstyret for ulike kliniske formål. Videre stilles det krav om kompetent personale for å etablere undersøkelsesprotokoller tilpasset ulike kliniske problemstillinger og hvert enkelt apparats tekniske forutsetninger. Det flerfaglige teamet rundt en røntgeninstallasjon vil typisk bestå av radiograf (apparatinstilling og pasienthåndtering), radiolog (lege for vurdering av henvisning og utførelse av undersøkelsen samt tolkning av bildene), samt ingeniør og diagnostikkfysiker (teknisk/fysisk kompetanse). Helsepersonelloven og strålevernloven regulerer kravene til dette personalet med hensyn til krav i grunnutdanning, spesialisering og apparatspesifikk opplæring, samt til en viss grad bemanning rundt installasjonene.

Det internasjonale atomenergibyrådet (IAEA) har formulert «the tripple A concept» som står for «Awareness, Appropriateness and Audit» (IAEA, 2001). Dette favner målsetninger og virkemidler som skal sørge for sikker og god strålebruk. Det handler om kunnskap og bevissthet om risikomomentene (Awareness-aktsomhet), utvikling av evidensbaserte henvisningskriterier og optimaliserte undersøkelsesprosedyrer (Appropriateness-hensiktsmessighet), samt at disse metodene må evalueres og oppdateres jevnlig (Audit-revisjon). Vi rår over to prinsipielt forskjellige virkemidler for å påvirke kvaliteten av radiologiske tjenester spesielt og helsetjenester generelt, og bruker disse i kombinasjon utfra hva som antas å gi størst mulig effekt for å skaffe oversikt, kontroll, kvalitetsforbedring eller endring av adferd:

- Utvikling av strålevernsregelverket i harmonisering med det som skjer internasjonalt; spesielt er det inspirert av IAEA «basic safety standards» (IAEA, 2011) og EU's EURATOM-direktiver på strålevernområdet. Relaterte veiledere for hvordan brukerne implementerer regelverket er tilgjengelig på Strålevernets nettsted ([www.nrpa.no /publikasjoner/veiledere](http://www.nrpa.no/publikasjoner/veiledere)). Strålevernet gjør tilsyn iht. strålevernforskriften, noe som kan inkludere intervjuer av linjeledelsen og fagfolk i organisasjonen, verifikasjoner ved dokumentgjennomgang og målinger. Avvik fra forskriftens bestemmelser kan føre til pålegg og sanksjoner for virksomheten som innehar godkjenning for bruken av stråling.
- Utvikling av teknisk-, fysiske-, eller klinisk faglige anbefalinger for hva som betraktes som «god faglig praksis», og da helst basert på vitenskapelig evidens. Sykehusene selv gjør interne revisjoner med basis i slike faglige anbefalinger som del av sitt kvalitetsarbeid. Strålevernet har også en viss erfaring med å arrangere eksterne kollegabaserte tekniske og kliniske revisjoner. Avvik fra faglige anbefalinger er gjenstand for kollegabaserte diskusjoner i fagmiljø og selvpålagte kvalitetsforbedringer i virksomheten. «God faglig praksis» er gjenstand for variasjoner og utvikling, og det finnes ikke nødvendigvis noen entydig fasit. Det følger imidlertid av helsearbeiders fagetiske normer å melde avvik som anses å gå utover pasientsikkerhet eller behandlingsutbytte til helsemyndighetene.

2.10 Virkemidler for å overvåke dose til pasient og yrkeseksponerte

Stråledosene pasienter mottar som del av moderne bildediagnostikk ligger godt under terskelverdiene for akutte skader og risikoen for stråleindusert kreft er liten i forhold til nytten av å få stilt nødvendig diagnose for valg av behandling. Stråledosene som arbeidstakere får som del av sin yrkesutøvelse ligger for de fleste under persondosimeterets deteksjonsgrense. Imidlertid, optimaliseringsprinsippet i strålevernregelverket krever at doser skal være så lave som praktisk mulig vurdert under hensyntagen til nytte og risiko, økonomi og sosiale forhold.

Bruk av avansert teknologi innebærer alltid en mulighet for uhell og unormale hendelser knyttet til apparatur eller menneskelige feil. Med overvåkning av stråledoser til pasienter og yrkeseksponerte vil en kunne finne ut om en hendelse resulterte i unormale stråledoser til pasient eller personale som krever medisinsk oppfølging. Med doseovervåkning vil en også kunne fange opp utviklingen over tid og det er da viktig å ha metoder og systemer for jevnlig å kunne sammenligne stråledoser og frekvensen av undersøkelser mellom ulike sykehus og regioner.

Tidligere innsamlinger av tallmateriale for å kartlegge frekvenser av røntgenundersøkelser og kartlegging av faktiske pasientdoser benyttet manuelle metoder for datainnsamling og måling. Med utviklingen av elektroniske pasientregistre som benyttes i helsesektoren nå, åpner det seg helt nye muligheter for effektiv overvåkning av antall pasientundersøkelser og de aktuelle pasientdoser.

Utviklingen av radiologiske informasjonssystemer (RIS), bildedokumenteringssystemer (PACS) og såkalte DICOM-standarder for hvilken informasjon en diagnostisk undersøkelse kan omfatte og hvordan den organiseres gjør det mulig at både typen av radiologisk undersøkelse og involverte stråledoser vil kunne høstes og knyttes opp i pasientjournalen (EPJ). I prinsippet finnes altså denne type informasjon nå digitalt, søkbar og anvendelig for strålevernformål.

Stråledoser til pasienter må i praksis måles og beregnes. Det har vært benyttet mange ulike størrelser og enheter til ulike tider for å angi stråledoser. Begreper som huddose, eksposisjon i luft, organdoser, genetisk signifikant dose og forskjellige enheter som gray, sievert, rad, rem og røntgen kan skape misforståelser og forvirring. I Norge ble SI-systemet innført for stråle-dosimetri i 1977 og da med enheten gray (Gy) for absorbert dose samt sievert (Sv) for enhetene doseekvivalent og effektiv dose som nå brukes innen strålevern. Innen bildediagnostikk er de faktiske pasientdoser i områdene mikrosievert ($1 \mu\text{Sv} = 10^{-6} \text{Sv}$) til noen millisievert ($1 \text{mSv} = 10^{-3} \text{Sv}$). Når det angis stråledoser for røntgenundersøkelser vil det som oftest være effektiv dose som er av interesse fordi denne dosestørrelsen er representativ for risikoen ved bestrålingen av pasienten. Men det finnes også unntak der en vil ha interesse av å måle/beregne stråledosen til et spesifikt organ.

Det er store forskjeller i stråledoser for ulike typer røntgenundersøkelser avhengig av anatomi, kroppsstørrelse, hvilke organer som skal avbildes, apparatinnstillinger og lokale prosedyrer og arbeidsvaner. For måling av pasientdoser er det utviklet mange forskjellige typer instrumenter som brukes for å registrere strålingen til pasienten. Slike måledata vil så brukes for deretter å beregne effektiv dose til pasient, eventuelt absorbert dose i et spesifikt organ. Innen røntgen-diagnostikk måles ofte det såkalte dosearealprodukt (DAP) ved «vanlige» røntgenundersøkelser og mange røntgenapparater har nå DAP-instrumenter fast montert og måledata kan registreres automatisk i pasientjournal. For CT-undersøkelser er andre målestørrelser mer aktuelle som doselengdeprodukt (DLP) og CT-doseindeks (CTDI_{vol}).

Med ny strålevernforskrift har fokus på pasientdoser blitt tydeligere og med klare krav til virksomheter som utfører medisinsk bildediagnostikk. Det er bl.a. krav om optimalisering av den medisinske strålebruken og at virksomheten skal ha oversikt over representative doser til pasienter for typiske undersøkelser (§ 38 og § 40 i strålevernforskriften). Dette er et viktig virkemiddel i overvåkingen av pasientdoser og for å fange opp trender i medisinsk bildediagnostikk.

Referanser til Kap. 2.

Aakhus T, Poppe E. Medisinsk radiologi i Norge: festskrift ved 100-års jubileet for oppdagelsen av røntgenstrålene. [Oslo]: Tano, 1995.

Koren K, Maudal S, Flatby J, Berteig L. Radiation load to the gonads in diagnostic and therapeutic procedures. Acta Radiologica 1967; 6(5): 385-403.

Saxebøl G (1982). Strålehygienisk analyse av medisinsk virksomhet i Norge: del 1: relativ alder og kjønnsfordeling av 459602 røntgenundersøkelser i 1980. SIS-rapport 1982:4. Østerås: Statens institutt for strålehygiene, 1982.

- Saxeboel G (1985). Røntgenundersøkelser i Norge i 1983: absolutt, relative og geografisk fordeling. SIS-rapport 1985:4. Østerås: Statens institutt for strålehygiene, 1985.
- Saxeboel G, Olerud HM, Lundgren LE (1988). Strålehygienisk analyse av medisinsk virksomhet i Norge: status 1/1 1988: stråledoser til pasienter i røntgendiagnostikk. SIS-rapport 1988:6. Østerås: Statens institutt for strålehygiene, 1988.
- Olerud HM, Saxeboel G. Diagnostic radiology in Norway from 1983-1993: examination frequency and collective effective dose to patients. Radiation Protection Dosimetry 1997; 74(4): 247-260.
- Børretzen I, Lysdahl KB, Olerud HM. Diagnostic radiology in Norway: trends in examination frequency and collective effective dose. Radiation Protection Dosimetry 2007; 124(4): 339-347.
- Almén A et al. Radiologiske undersøkelser i Norge per 2008: trender i undersøkelsesfrekvens og stråledoser til befolkningen. StrålevernRapport 2010:12. Østerås: Statens strålevern, 2010. <http://www.nrpa.no/dav/dc3ba89a7a.pdf> (07.02.2014)
- Hauge IHR, Widmark A, Bruzell E. Bruk av røntgendiagnostikk blant norske tannlegar. StrålevernRapport 2009:2. Østerås: Statens strålevern, 2009. <http://www.nrpa.no/dav/0ed90efa8d.pdf> (07.02.2014)
- Solberg M. Røntgenbruk blant veterinærer. StrålevernRapport 2010:11. Østerås: Statens strålevern, 2010. <http://www.nrpa.no/dav/ab5ddcada4.pdf> (07.02.2014)
- EU RP 154. European Commission. European guidance on estimating population doses from medical x-ray procedures. Radiation Protection 154. Luxemburg: The European Commission, 2008.
- ICRP 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 1991; 21(1-3). Oxford: Pergamon Press, 1991.
- Kreftregisteret 2003. Kvalitetsmanual for Mammografiprogrammet. Oslo: Kreftregisteret, 2003. http://www.kreftregisteret.no/Global/Kvalitetsmanualer/kvalitetsmanual_mammografiprogrammet.pdf (07.02.2014)
- Kreftregisteret 2010. Cancer Registry of Norway. Cancer in Norway 2010: cancer incidence, mortality, survival and prevalence in Norway. Oslo: Cancer Registry of Norway, 2012. http://www.kreftregisteret.no/Global/Cancer%20in%20Norway/2010/CIN_2010_with_Special_Issue_clustering_of_cancer_web.pdf (07.02.2014)
- Strålevernforskriften 2011. Forskrift 21. november 2003 nr. 1362 om Strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriften). Oslo 2003. <http://www.lovdata.no/for/sf/ho/ho-20101029-1380.html> (07.02.14)
- The Nordic Radiation Protection co-operation (2012). Statement concerning the increased use of computed tomography in the Nordic countries. Østerås: Statens strålevern, 2012. http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Pressmeddelanden/2012/justification_statement_nordic_2012.pdf (07.02.2014)
- Statens strålevern 2008. Veileder om medisinsk bruk av røntgen- og MR-apparatur underlagt godkjenning. Veileder 5. Østerås: Statens strålevern, 2008. <http://www.nrpa.no/dav/bac3c61794.pdf> (07.02.2014)
- IAEA 2001. Triple-A investment in patients health. IAEA promotes awareness, appropriateness, audit of ionizing radiation in medicine. <http://www.iaea.org/newscenter/news/2010/tripleinvestment.html> (07.02.2017)
- IAEA 2011. Radiation protection and safety on radiation sources: international basic safety standards: interim edition. Wien: International Atomic Energy Agency, 2011. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf (07.02.2011)
- Hauge IHR, Pedersen K, Sanderud A, Hofvind S, Olerud HM. Patient doses from screen-film and full-field digital mammography in a population based screening programme. Radiat Prot Dosimetry

(2011) doi: 10.1093/rpd/ncq598 First published online: February 17, 2011
<http://rpd.oxfordjournals.org/cgi/reprint/ncq598?ijkey=hMkHfGRICHsv1zw&keytype=ref>

Hauge IHR et al. 2012. Hauge IHR, Pedersen K, Sanderud A et al. Patient doses from screen-film and full-field digital mammography in a population based screening programme. Radiation Protection Dosimetry 2012; 148(1): 65–73.

Hauge IHR, Pedersen K, Olerud HM, Hole EO, Hofvind S. The risk of radiation-induced breast cancers due to biennial mammographic screening in women aged 50 – 69 years is minimal. Acta Radiologica (accepted for publication 2014)

(EU DDMED2, 2013). Study on European population doses from medical exposure. DDM2 project report on European population dose estimation. Contract ENER/2010/NUCL/SI2.581237. Brussels: European Commission, 2013.

http://ddmed.eu/media/news/ddm2_project_report_population_dose_estimation_final_draft_for_web_page_28_jan_2013.pdf (27.02.2013)

3 Strålebehandling

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>Strålebehandling er en av de tre viktigste behandlingsmetodene ved kreft, og brukes ofte i kombinasjon med kirurgi og medikamentell behandling. I 2010 ble 28.271 personer diagnostisert med kreft (Kreftregisteret; 2011) og ca. 11.850 fikk strålebehandling (Fig. 3.1). Ved strålebehandling brukes ioniserende stråling enten for å helbrede den kreftsyke (kurativ behandling) eller for symptomforebygging og lindring (palliativ behandling). Strålebehandling brukes i dag i liten utstrekning ved godartede sykdomstilstander. Det brukes store doser, som oftest i området 8-80 Gy, men i enkelte tilfeller kan doser til små volum komme godt over dette.</p> <p>Strålebehandling kan gis på to måter:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ekstern terapi (teleterapi) der strålekilden er plassert utenfor pasienten – intern terapi (brachyterapi) der strålekilden er plassert inne i pasienten ⁱ⁾  <p>Figur 3.1 Antall pasienter som har fått strålebehandling siste ti år (Strålevernrapport2012:7).</p> <p>ⁱ⁾ For åpne radioaktive kilder: se Kap.4 Nukleærmedisin</p>	<p>De høye stråledosene som brukes, krever høy presisjon ved planlegging og gjennomføring av behandlingen. Hele dosen kan gis i én fraksjon, men som oftest må den fordeles på 2-40 fraksjoner, og dette stiller store krav til reproduserbarhet. Det gis normalt en fraksjon pr dag, men for noen behandlingsopplegg brukes også to pr dag.</p> <p>For kurativ behandling er det ofte ønskelig å gi så høy dose som mulig til svulsten samtidig som doser til risikoorgan holdes under kritisk nivå. Det må gjøres en individuell optimalisering av behandlingen med hensyn til begge disse to kriteriene. En for høy dose til et friskt organ eller organsystem vil kunne gi alvorlige og plagsomme bivirkninger, og i verste fall medføre at pasienten dør. En for lav dose til svulsten, vil derimot føre til at pasienten ikke blir helbredet eller at sykdommen blomstrer opp igjen etter behandling (residiv). Det er også store forskjeller i strålefølsomhet mellom ulike individer. Derfor trengs både god diagnostikk og nøyaktig dosimetri og kvalitetskontroll av behandlingen, samt fokus på oppfølging og FoU.</p> <p>Konsekvenser av uhell og feil kan være fatale for pasienten. Det må derfor finnes prosedyrer som sikrer alle ledd i behandlingsprosessen fra rekvisisjon og start av planlegging til ferdig behandling. Sikkerhetssystemene må utbygges slik at potensielle avvik og feil i størst mulig grad oppdages før de får konsekvenser for pasient eller operatør. Dette krever gode prosedyrer, og operatørene må være trent i disse for å håndtere avvikssituasjoner og utstyrsproblem.</p>

3.1 Strålebehandling i Norge

Det tilbys strålebehandling på ti ulike steder i Norge i dag (Fig. 3.2). Av dem som får kreft i Norge (kreftinsidens) blir 40 % behandlet med stråling. Pr 100.000 innbyggere er det ca. 225 i året som gis slik behandling. Omtrent 97 % av pasientene får ekstern strålebehandling, og alle sentrene tilbyr slik behandling, mens bare fem kan tilby brachyterapi.

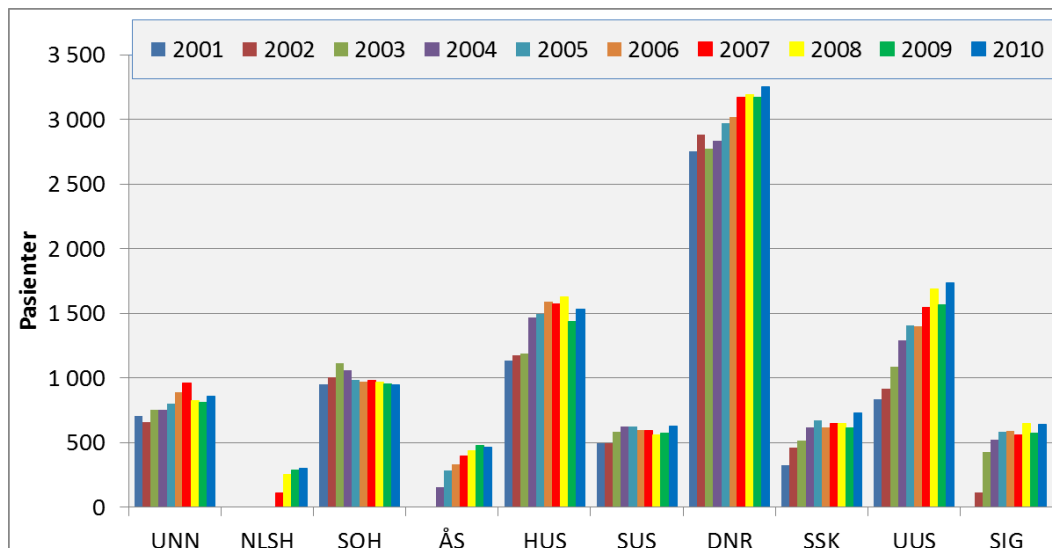


Fig.3.2. Fordeling av stråleterapipasienter på ulike sykehus* siste ti år. (Strålevernrapport2012:7).

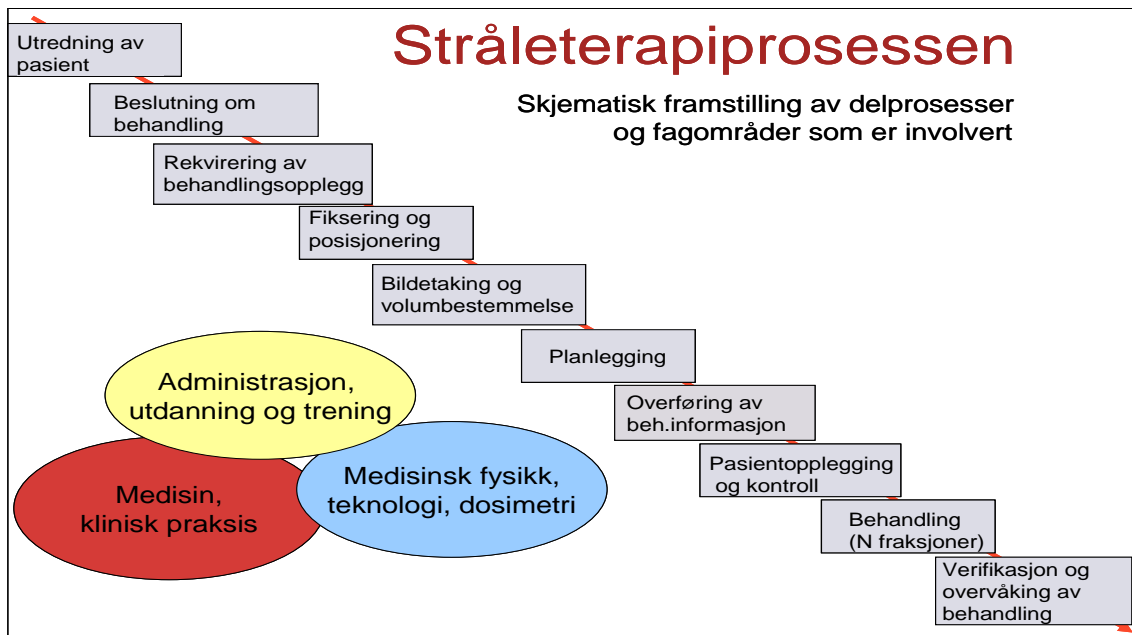
*Forkortelse : Sykehus, helseforetak

UNN:	Universitetssykehuset i Nord-Norge HF	NLSH:	Nordlandssykehuset HF, Bodø
SOH:	St. Olavs Hospital HF	ÅS:	Ålesund sjukehus, Helse Møre og Romsdal HF
HUS:	Haukeland universitetssykehus, Helse Bergen HF	SUS:	Stavanger universitetssjukehus, Helse Stavanger HF
SSK:	Sørlandet sykehus HF, Kristiansand	DNR:	Radiumhospitalet, Oslo universitetssykehus HF
UUS:	Ullevål sykehus, Oslo universitetssykehus HF	SIG:	Sykehuset innlandet HF, Gjøvik

3.2 Pasienten i fokus fra diagnose til behandling og oppfølging

Strålebehandling kan ses på som en prosess inndelt i ulike elementer / aktiviteter. Hver aktivitet bygger på den foregående og leder frem mot neste. (Fig. 3.3) Det er viktig å kvalitetssikre hver enkelt aktivitet i tillegg til å se hele prosessen under ett. Oppfølging av pasienten etter behandling, både med tanke på behandlingseffekt og for å se etter eventuelle uønskete effekter, er viktig for kvalitetssikring av strålebehandling. Lavterskel avviksrapporing må derfor være en integrert del av prosessen for å kunne fungere som læringssystem og sikring mot alvorlig uhell. Stadig flere som overlever kreftsykdom har i det siste hatt stort behov for å få vurdert seneffekter etter behandling. God dokumentasjon av gitt behandling og oppfølging over mange år er derfor viktig.

Mye ny kunnskap om kreftsykdommer, sykdomsmekanismer og behandling har kommet de senere år. Med bildegivende utstyr som CT, MR og nå også PET, er det blitt mulig å planlegge og optimalisere behandlingen på en helt annen og bedre måte enn før. Stråleterapiavdelingene har derfor egne CT-skannere, to har også MR-skanner, mens man ellers anvender sykehusenes diagnostiske skannere. Parallelt med dette har det foregått en omfattende utvikling av doseplanleggingssystem og behandlingsapparater som gir mulighet for å øke stråledosen til det området i pasienten som ønskes behandlet uten at risikoen for bivirkninger økes tilsvarende (Fig.3.4).



Figur 3.3 Illustrasjon av pasientens flyt gjennom stråleterapiprosessen fra utredning gjennom planlegging til behandling.

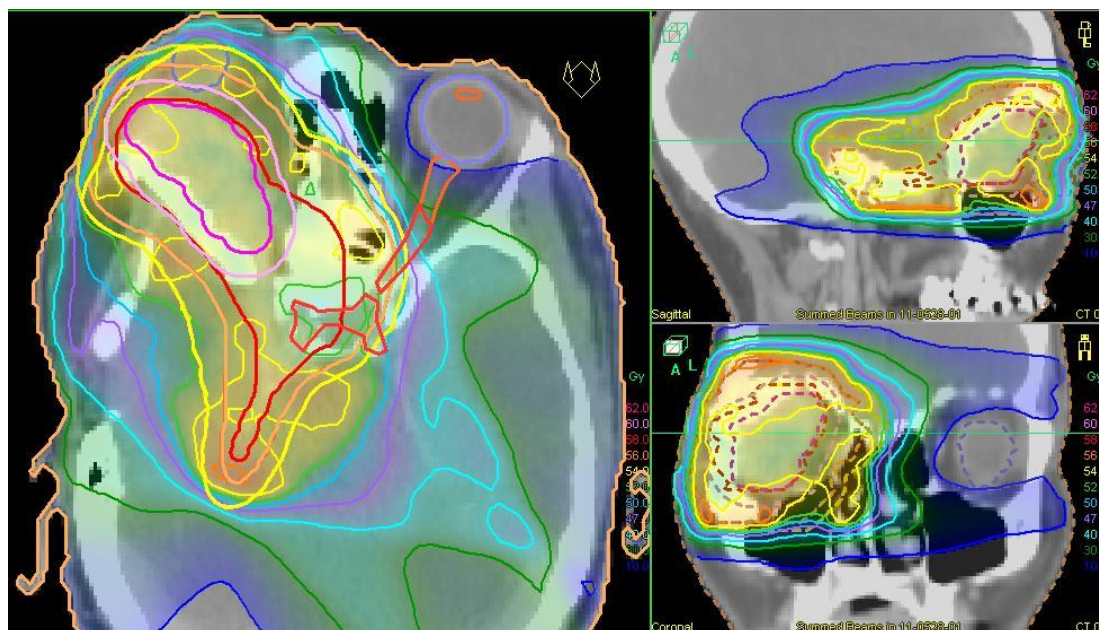
3.3 Status og utviklingstrekk for planleggingsprosessen

For å kunne gi optimalisert stråleterapi er det viktig å kunne avgrense området som skal bestråles (målvolumet) mest mulig samtidig som man må kjenne nøyaktig posisjon på risiko-organer i forhold til dette. Bruk av 3D anatomi ved hjelp av CT-skanner pluss avansert dose-planleggingsystem har i dag nesten helt overtatt i planleggingen fra tidligere bruk av konvensjonell simulator (røntgenapparat med gjennomlysning og innstilling som på behandlingsapparat). I tillegg gir bilder fra MR, UL og PET verdifull informasjon om utbredelse av svulsten, dette kan være helt avgjørende for bestemmelse av målvolumet slik at rett volum blir bestrålt. Avanserte doseplanleggingsystem er i dag blitt planleggingsystem som kan nyttiggjøre seg all denne informasjonen sammen med nøyaktige doseberegningssystemer for å optimalisere behandlingsplanen.

God anatomisk kunnskap og bildediagnostikk med pasient i behandlingsleie er derfor en viktig forutsetning for moderne stråleterapi. For å utnytte disse mulighetene settes det store krav til kompetanse hos leger, stråleterapeuter og medisinske fysikere. Nye behandlingsteknikker krever spesialiserte planleggingsystem (Fig.3.4) og gjør at planleggingsprosessen blir mer omfattende for å oppnå et godt resultat. Det krever dessuten at man kjenner og kan redusere pasient-bevegelser og innstillingsusikkerheter for å kunne operere med små geometriske innstillings-marginer.

Planleggingsprosessen krever derfor stadig mer ressurser og den er i dag like krevende og omfattende som hele behandlingsforløpet. Dette har ført til et økende personalbehov, særlig når det gjelder onkologer.

Selve doseplanleggingsystemene krever omfattende testinger før de tas i bruk. Dette går både på at rette spesifikasjoner for de ulike behandlingsapparatene er lagt inn og på riktig bruk av systemet. Feil i innlagte spesifikasjoner eller feil bruk kan gi systematisk feil i behandlingen.



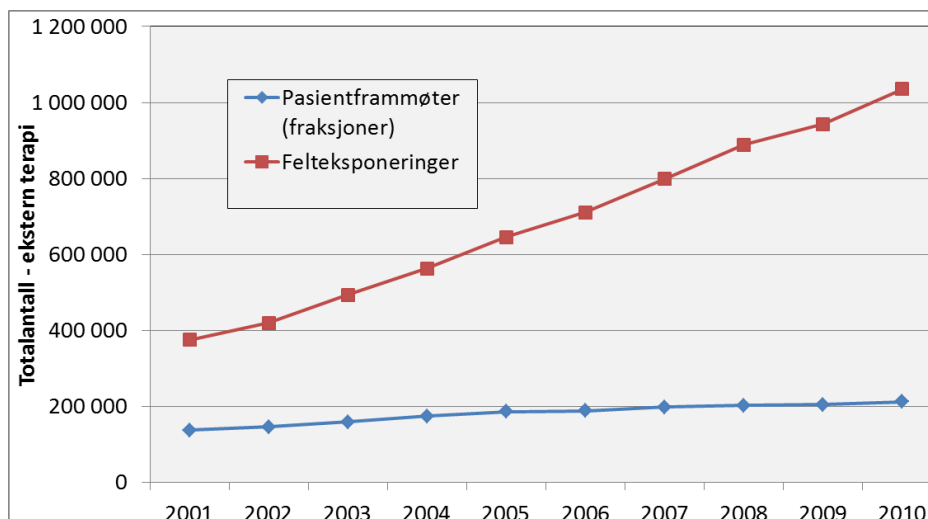
Figur 3.4 Pasient med inntegnet målvolum og risikoorgan (snitt i tre retninger). Isodoser i ulike farger viser dosenivå i snittene. Med avansert doseplanlegging unngår man bestråling av det ene øyet og store doser til hjernen (StrålevernRapport 2012:9)

3.4 Status og utviklingstrekk for ekstern strålebehandling

Ekstern stråleterapi gis med apparater plassert utenfor pasienten, disse kan roteres rundt pasienten slik at strålingen kan gis fra mange retninger mot behandlingsområdet (målvolumet). Dette gjør det mulig å benytte en ”kryssildteknikk” der målvolumet får høy dose med strålingsbidrag fra mange retninger, mens friskt vev utenfor kan få lite eller moderat med stråling. I dag brukes hovedsakelig lineærakseleratorer (linacer) til ekstern stråleterapi, da disse kan produsere både fotoner (elektromagnetisk stråling) og elektroner (partikkelstråling) med høy energi (4-20 MV/MeV). Noe lavenergetisk stråling med konvensjonelt røntgenutstyr brukes fortsatt til bestråling av hudkreft og godartede lidelser, men omfanget av dette er i dag lite. Det finnes i Norge også en ”strålekniv” bestående av en hjelm med ca. 200 radioaktive kobolt-kilder (^{60}Co , gammastråling, totalaktivitet opptil 210 TBq) som kan brukes på små hjernesvulster.

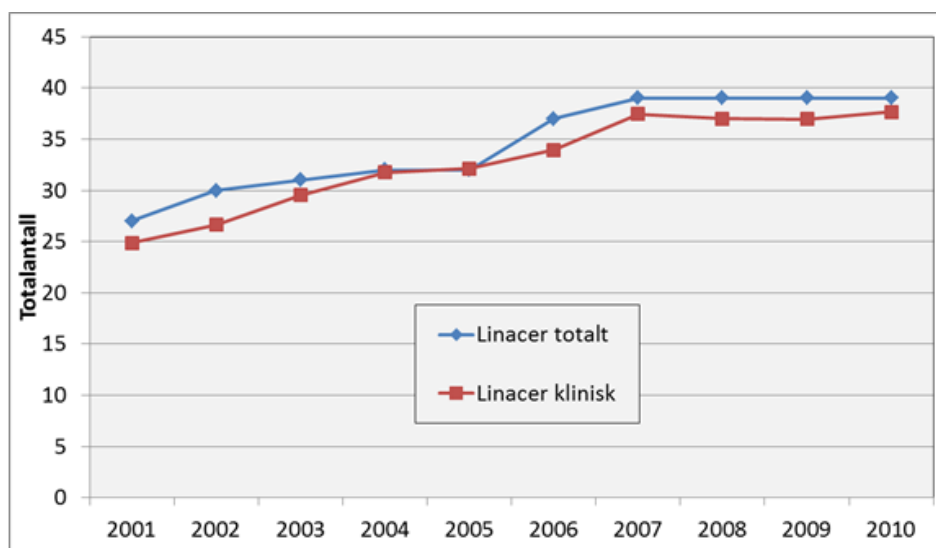
Dagens linacer er utstyrt med mangebladskollimatorer (mlc) som automatisk kan forme strålefeltet, mens man tidligere måtte benytte manuelle metoder som blyblokker eller lignende. Dette har gjort det mulig å lage avanserte behandlingsopplegg som datastyres slik at den enkelte behandling (fraksjon) ikke tar lengre tid enn tidligere. Datastyringen av linacene har gjort at man kan automatisk intensitetsmodulere strålingen ved å bruke strålefelter fra mange retninger og dele opp strålefeltene i mange små segmenter. Økingen i antall felteksponeringer har derfor vært langt større enn antall fraksjoner (pasientframmøter), se Fig.3.5.

Det optimaliserte forholdet mellom høy dose til målvolumet og lav/moderat dose til risikoorgan (Fig.3.4) krever stor presisjon til behandlingsutstyret og omfattende kontrolltiltak før og under hver behandling. Den store økingen i antall felt og feltsegment ved hver fraksjon har øket kompleksiteten betydelig (Fig.3.5). Dynamiske behandlinger med kontinuerlig endring av apparatvinkler, felter og dose er også på vei inn. For å kunne gi disse avanserte behandlingene er man helt avhengig av å ha verifikasjonssystem som samhandler godt med alt utstyr som brukes, både planleggingssystem og behandlingsapparater. Denne tekniske utviklingen har skapt mange utfordringer, noe som krever hyppigere oppgraderinger og utskifting av utstyr.



Figur 3.5 Endring av antall felteksporer og pasientframmøter (fraksjoner) på linacene siste ti år (StrålevernRapport 2012:7).

Med Norsk kreftplan ble det i 1998 vedtatt en stor utbygging av stråleterapien i Norge (St.prp.nr. 61. 1997-98), og antall stråleterapiavdelinger og behandlingsapparater for ekstern stråleterapi er fordoblet siden den gang (Fig. 3.6). Hensikten var å bringe stråleterapikapasiteten opp på et ønsket nivå ut fra forventet befolkningsutvikling og kreftinsidens i 2010. Nå har det vist seg at befolkningsveksten og kreftinsidensen nådde dette nivået allerede i 2008, og en videre utbygging er aktuell.



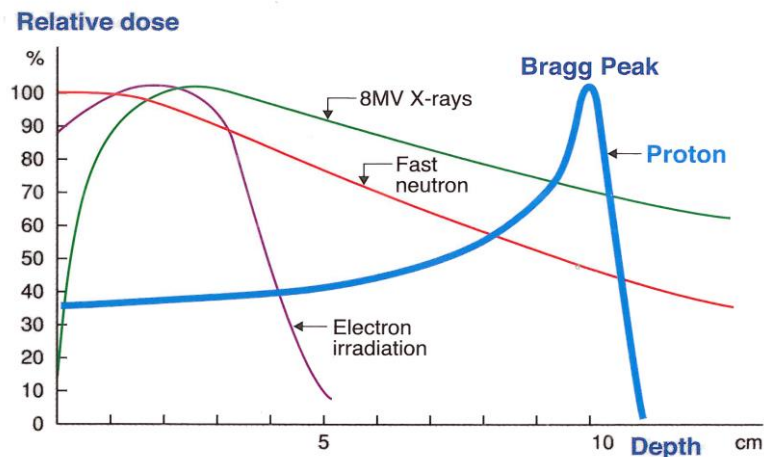
Figur 3.6. Endring i antall linacer siste ti år (StrålevernRapport 2012:7).

Internasjonalt er det stor interesse for protonterapi (partikkelstråling) og i Norge er det nå planer for oppstart av strålebehandling med partikler ved 3-4 sentra innen 2018.

3.5 Hvorfor strålebehandling med protoner?

Bakgrunnen for at strålebehandling med protoner er av interesse i kreftbehandling kan leses ut fra figur 3.7 under som viser hvordan energiavsetningen skjer i vevslignende materiale. De strålekvaliteter som er vanlige i Norge er fotoner (vist i figur som f.eks. 8 MV X-rays) og elektroner (noen MeV) og energiavsetningen er størst (dvs. høyest stråledose) i overflate eller nær overflate i vev. For protoner (typisk energi 230 MeV) så er energiavsetningen helt forskjellig med lavere stråledose på inngangssiden og slik at stråledosen øker med økende dybde til et maksimum et stykke inn i vevet for deretter å avta raskt – den såkalte Bragg-topp. Dette doseforløpet vil kunne ha interesse for å kunne gi

optimal dose til kreftvev, redusere dose til friskt vev og derved å gi bedre og mer presis strålebehandling av det aktuelle tumorvolum. Idéen er ikke ny – de første forsøk på å realisere strålebehandling ved slike anlegg ble gjennomført i 1954 (Berkeley Res. Labs. USA) og 1957 (Uppsala, Sverige).



Figur 3.7 Energiavsetning av forskjellig type stråling i vevslignende materialer ved ulike tykkelser

Når det skal satses på dette også i Norge må det også bygges opp kompetanse på området.

3.6 Status og utviklingstrekk i brachyterapi

Brachy betyr nær, og med brachyterapi menes stråleterapi der en radioaktiv kilde eller bestrålingsapparat plasseres i svulstområdet i pasienten. Det er et raskt dosefall utover fra kilden, dette benyttes til å få høy dose i svulsten og lavere dose utenfor. Dosefordelingen blir derfor også noe mer inhomogen til målområdet enn for ekstern terapi. Brachyterapi kan gis som eneste strålebehandling, men ofte gis den som et tillegg (boost) til ekstern terapi for å få så høy dose som mulig i svulsten.

Først legges kateter inn i hulrom (intrakavitær terapi), stikkes inn i vevet (interstitiell terapi) eller spesialapplikatorer legges på det aktuelle området (brukes mest for øye). Deretter gjøres avbildning og doseplanlegging før selve kildene føres inn. Mesteparten av den intrakavitære og interstitielle behandlingen gjøres i dag med etterladningsapparater der kilden automatisk føres inn i katetre i pasienten. Dosefordelingen til den enkelte pasient kan da optimaliseres ved at kilden har ulike oppholdstider i valgte posisjoner inne i katetrene. For å kunne gjøre denne optimaliseringen er bruk av CT, MR og doseplanleggingssystem blitt rutine også ved brachyterapi. Kildene brukes vanligvis innenfor en halveringstid for at behandlingstidene ikke skal bli for lange.

Ved operasjon kan små behandlingsapparat plasseres inn i sårhulen (IORT), det finnes i dag ett slikt apparat i Norge.

Det store dosefallet rundt kildene krever svært nøyaktig posisjonering av dem i svulsten. Det må derfor være tilgang på CT/MR og egnet doseplanleggingssystem ved selve innleggingen av katetre og kilder. Siden det er et lite pasientvolum - ofte nær risikoorgan - som behandles med brachyterapi, krever dette spesialkompetanse i de ulike faggruppene som er involvert.

Det er også utfordringer knyttet til den stadige utskiftingen av kilder, lagringen og dosimetrien til disse. For etterladningsapparatene er det også viktig å sikre seg mot at kildene kiler seg fast i pasient og ha nødprosedyrer for dette. Ved manuell brachyterapi er derimot skjerming av operatør et vesentlig moment.

Tabell 3.1 Brachyterapi kilder i rutinemessig bruk i Norge i dag.

Type brachyterapi	Antall sentre	Isotop	Halverings- tid	Maksimal kildestyrke	Stråle- kvalitet	Antall pasienter/år
Etterladning	5	192Ir	74 dager	370 GBq		300
Øye- applikatorer	2	125I	56 dager	16 GBq		40
	2	106Ru	ett år	90 MBq		
IORT	1				50 kV	15

Da det er små pasientgrupper kan antall pasienter i hver av dem variere en del fra år til år. I tillegg har ett sykehus startet opp med utprøvende behandling av en benign øyelidelse (aldersrelatert makula degenerasjon, AMD) med strontium/yttrium kilder.

I de senere år har også den internasjonale situasjonen vist at det er viktig med sikring av kildene. Strålekildene brukt til brachyterapi har høy aktivitet og kan derfor være et yndet mål for de som ønsker å lage såkalte skitne bomber.

3.7 Utfordringer ved strålebehandling

Da stråleterapi er en teknisk krevende behandlingsform med høye doser gir dette en rekke utfordringer med spesielle krav til selve behandlingsutstyret, kontrollutstyr og programmer samt behov for kompetanse og opplæring.

Behandlingsutstyr

Utstyret er i dag i stor grad datastyrt, og kommunikasjonen mellom de ulike enhetene er også digital. Dette gir gode muligheter til å bygge inn sikkerhetskontroller, men den kompliserte teknikken gjør også at her kan det være fallgruver man ikke er klar over. Omfattende testing av utstyret og opplæring av operatørene er derfor viktig.

Doseutbyttet og geometrisk stabilitet på linacene må regelmessig kontrolleres og kalibreres med stor presisjon for å sikre god kvalitet på behandlingen. I tillegg gjøres daglig en enkel morgenkontroll av strålingen for å sikre seg mot store variasjoner.

Tilleggsutstyr

Pasienten plasseres ofte i individuelt tilpassete former og masker for å sikre reproduserbarhet fra planlegging og gjennom hele behandlingsforløpet. Behandlingsrommene må også være utstyrt med posisjoneringslasere for linacenes isosenter for å kunne legge opp pasienten nøyaktig på behandlingsbordet, og det kreves jevnlig kontroll av disse laserne.

Dose til pasient sjekkes på mange avdelinger ved å plassere dosimeter i strålefeltet ved de første fraksjonene og senere i behandlingsforløpet. For en del avanserte behandlingsteknikker må dosekontrollen gjøres på fantom som en del av planleggingen før behandlingen starter. Disse behandlingsteknikkene krever også vesentlig større presisjon enn tidligere av posisjonen for mlc-bladene til kollimatoren.

Tidligere ble film brukt til å kontrollere strålefeltens posisjon mot pasient, disse er nå erstattet av elektronisk bildetaking (EPID) som muliggjør kontroll og justering av strålefeltene før behandling gis. Sammen med egnete analyseprogram gir dette mulighet til å sikre seg mot feilposisjonering og overvåking av om endringer skjer fra fraksjon til fraksjon.

På de nyeste linacene kan også dette utstyret (EPID) brukes til å ta CT-bilder (Cone Beam CT, CBCT) som gir 3D anatomisk informasjon for nøyaktig posisjonering av strålefelt mot svulsten og ikke bare mot nærliggende beinstrukturer. Disse linacene har også mulighet til tilleggsutstyr for pustestyrt, slik at strålingen bare er på bare en del av pustesyklusen. Det finnes også andre metoder i bruk for å "fryse" posisjonen til svulsten i lungene under behandling slik at det kan brukes mindre marginer på målvolumene og normalvev spares.

Da det er mange parametre å holde styr på for å sikre rett behandling brukes i dag egne verifikasjonssystem som inneholder planlagte data og fortløpende informasjon om behandlingen, slik at innstillingen kan verifiseres fortløpende. Tidligere var dette rene kontrollsystem for behandlingsapparatene, nå har de utviklet seg til å bli informasjonssystem for hele planleggings- og behandlingsprosessen. Mye av den avanserte behandlingen kan ikke gjennomføres uten styringen fra disse programmene.

3.8 Stråledoser til operatør og tredje person

Da det gis store doser til pasientene krever dette god skjerming av behandlingsrommene gjennom vegger, tak/gulv og dører. Før bygging må det derfor gjøres en beregning av dimensjoneringen av disse for det aktuelle rommet og behandlingsutstyret. Dimensjoneringen vil også avhenge av okkupasjonsfrekvensen de ulike stedene. Etter byggingen og installering må det dessuten gjøres dosimetrisk målinger før klinisk bruk rundt behandlingsapparat og rom for å sikre at dosenivået ikke har blitt for høyt ut fra krav til kontrollert og overvåket område. Utskifting av utstyr kan kreve nye beregninger og målinger for å se om skjermingen er tilpasset dette utstyret og bruken av det.

Ved normal bruk vil ikke stråledoser til operatører og tredje person være noe problem når behandlingsrom er forsvarlig sikret. Operatørene går dessuten med dosimetre for å overvåke dosene. Uhell kan skje, og det er viktig at det finnes prosedyrer for håndtering av disse og at personell jevnlig trener på uhellssituasjoner, dette gjelder særlig for brachyterapi. Gravide er i en spesiell situasjon, og det må finnes gode rutiner, og eventuell egnet omplassering, for å sikre at dose til foster er så lav som mulig.

3.9 Virkemidler for å hindre uhell og kvalitetssikre strålebehandlingen

- Strålevernregelverket inneholder krav til kvalitetssystem, herunder at stråle-behandlingen skjer etter faglig forsvarlige og dokumenterte prosedyrer for pasient-behandling, avvikhåndteringssystemer og dosimetri. Ved myndighetstilsyn kan en kontrollere at slike prosedyrer er på plass, men det krever spesiell faglig kompetanse for å kunne evaluere innholdet i prosedyrer og faglige retningslinjer og at disse følges dvs. klinisk revisjon.
- Et annet virkemiddel er nettverksbygging og dialog med fagmiljø. Som del av Norsk kreftplan (1998) fikk Strålevernet et mandat for kvalitetssikring i stråleterapi (KVIST). Oppgaven ble løst ved etablering av en gruppe fagfolk i delte stillinger mellom Strålevernet og stråleterapiavdeling, etablering av nasjonal referansegruppe og diverse løpende arbeidsgrupper; alt basert på flerfaglighet (stråleterapeut, stråleterapifysiker og onkolog) og nasjonal konsensus ved utarbeidelse av faglige råd i stråleterapi. Siktemålet var å identifisere *kliniske, tekniske og administrative problemstillinger* i stråleterapi (Fig.3.3) som kan løses på et nasjonalt plan. KVIST initiativet er i dag et løpende kvalitetssikringsprogram som er videreført gjennom den nasjonale kreftstrategien (Aarseth-rapporten 2004, StrålevernInfo 9. 2012).
- KVIST-programmet har resultert i en lang rekke faglige anbefalinger for å sikre enhetlig og god behandling og hindre uhell og avvik. Faglige anbefalinger brukes som referanse både for utarbeidelse av lokale retningslinjer og ved kliniske revisjoner. Et nasjonalt avviks- og læringssystem gir stråleterapisentrene mulighet til å lære av hverandres avvik og problem.
- Et overordnet virkemiddel er internasjonalt samarbeid og koordinering med andre helsemyndigheter for å legge en helhetlig strategi. Strålevernet samarbeider med Helse-direktoratet for å sikre at kvalitetssikring av medisinsk strålebruk ved diagnostikk og behandling harmoniseres med og knyttes opp mot de nasjonale handlingsprogrammene for kreft.

Referanser til Kap. 3.

Kreftregisteret 2011. Cancer in Norway 2009. Halvosen T (ed.) Special issue: Cancer screening in Norway. Oslo: Cancer registry of Norway, 2011.

Levernes S. Stråleterapi i Norge – generelle trender 2001-2010. StrålevernRapport 2012:7. Østerås, Statens strålevern, 2012. <http://www.nrpa.no/dav/8fa4fd09a0.pdf> (13.02.2014)

Levernes S. Volum og doser i ekstern stråleterapi – definisjoner og anbefalinger. StrålevernRapport 2012:9. Østerås, Statens strålevern, 2012. <http://www.nrpa.no/dav/e856934ee3.pdf> (13.02.2014)

St.prp. nr.61 (1997-1998). Om Nasjonal kreftplan og plan for utstyrsinvesteringer ved norske sykehus. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/hod/dok/regpubl/stprp/19971998/stprp-nr-61-1997-98-.html?id=201900> (8.8.2012) (13.02.2014)

Kvalitetssikring i Stråleterapi – KVISt– initiativet. Stråleverninfo 9:2012. Østerås, Statens Strålevern, 2012. <http://www.nrpa.no/dav/3b9d982432.pdf> (13.02.2014)

Aarsethrapporten 2004. Nasjonal strategi for arbeid innenfor kreftomsorgen: kvalitet, kompetanse og kapasitet. Rapport til Helsedepartementet, juni 2004. http://www.regjeringen.no/nb/dep/hod/dok/rapporter_planer/rapporter/2004/nasjonal-strategi-for-arbeid-innenfor-kr.html?id=106140 (14.02.2014)

4 Nukleærmedisinsk undersøkelse og behandling

4.1 Nukleærmedisinsk undersøkelse - diagnostikk

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>Nukleærmedisin¹⁾ er bruk av små mengder radioaktivt materiale (radiofarmaka) som tilføres pasienten for å diagnostisere og behandle sykdommer på en sikker og smertefri måte. Pasienten får tilført små mengder radioaktivt stoff som er bundet til et bærestoff eller sporstoff, og som da dirigeres til det organ som ønskes undersøkt (hjerter, hjerne, nyrer, skjelett osv.). Etter en stund kan en ved hjelp av et spesielt kamera (gammakamera) fotografere fordelingen av det radioaktive stoffet i organet. Denne fordelingen kan være endret ved sykelige prosesser i organet. Et bildeopptak tar noen minutter, ofte tas bilder fra flere sider. Prosedyrene kan identifisere avvik fra det normale tidlig i en sykdomsutvikling – lenge før noen medisinske problemer blir synlige med andre diagnostiske tester. Dette tillater at en sykdom behandles tidligere i sykdomsutviklingen med en mulig mer vellykket prognose.</p> <p>Gammakamera (scintillasjonskamera eller Anger kamera) er et kamera som kan avbilde fordelingen av gammastråling fra et radioaktivt stoff i kroppen eller et organ. Gammakameraene kan være mobile eller stasjonære (kan ha inntil 4 detektorer).</p> <p>SPECT (single photon emission tomography) er en nukleærmedisinsk tomografisk avbildnings-teknikk med bruk av gammastråler. Ved SPECT avbildning brukes gammakameraer, med ett eller flere detektorer, som roterer sakte rundt pasienten. Dataene fra multiple projeksjoner behandles videre i en datamaskin for å gi bilder av kroppen i ulike plan. Sporstoffet som brukes ved SPECT sender ut gammastråling som måles direkte.</p> <p>SPECT/CT er en avbildningsteknikk kjent som hybridteknikk. I praksis betyr dette at to forskjellige avbildningsteknikker, SPECT og CT, er kombinert i én anordning. Et slikt kombinasjonskamera med integrert CT for attenuasjonskorreksjon. CT-delen kan også være en fullverdig multislice CT.</p>	<p>Nukleærmedisinske undersøkelser er sikre og innebærer liten helserisiko. Det brukes små mengder radioaktivt stoff, og stråledosen vil variere med hvilken undersøkelse som gjøres. Vanligvis vil stråledosen være av noenlunde samme størrelse som fra en tilsvarende vanlig røntgenundersøkelse eller noe mindre enn stråledosen en får i løpet av et år fra den naturlige bakgrunnsstrålingen</p> <p>En kort periode vil radioaktiviteten befinne seg i kroppen, og pasienten vil være en strålekilde som det kommer noe stråling fra. Ved de fleste undersøkelser vil imidlertid det aller meste av radioaktiviteten forsvinne fra kroppen i løpet av det første døgnet. Erfaringsmessig anses ikke diagnostiske NM pasienter å representere noe stort eksponeringspotensial for annet personell. Strålebelastningen for andre personer en omgås vil og være ubetydelig.</p> <p>Menneskelige feil og sviktende kontrollrutiner kan føre til feil på preparatetiketter, preparatforveksling, feil aktivitetmålinger, pasientforvekslinger og feiladministreringer. Dette kan gi pasient en ekstra stråledose med lokal stråleskade på injeksjonssted og i verste fall alvorlige bivirkninger. Dekontamineringsarbeid etter eventuelt søl med radiofarmaka må utføres slik at radioaktiviteten ikke spres.</p> <p>^{99m}Tc-merkede forbindelser er mest brukt i nukleærmedisinen. ^{99m}Tc er en ren gammaemitter (ubetydelig intern konversjon) med energi 140 keV og halveringstid 6 timer (gir lav intern stråledose). Det er en relativt lett tilgjengelig radionuklide til en rimelig pris som er enkel å inkorporere i et egnet radiofarmakon. Radiojodmerkede forbindelser blir og mye brukt.</p>

i) Nukleærmedisin basert på positronemisjon (PET) er beskrevet i Kap. 4.3, og behandlinger i Kap.4.4

4.2 Utviklingstrekk og omfang i nukleærmedisin

Nukleærmedisinsk teknikk ble introdusert i Norge av Oddvar E. Skaug, og den første kliniske bruken startet i 1950 ved Universitetets Psykiatriske klinikk i Oslo (Store norske leksikon, SML-artikkel, nukleærmedisin). I dag drives det nukleærmedisinsk virksomhet i alle fylker unntatt Finnmark.

Gammakameraet har vært det viktigste instrumentet ved all nukleærmedisinsk diagnostikk. Med integrering av datamaskin i gammakameraet på 1970-tallet ble det mulig å foreta dynamiske registreringer - en forutsetning for nukleærmedisinske funksjonsundersøkelser.

Med integrert datamaskin i gammakameraet kunne det konstrueres tredimensjonale bilder, SPECT (single photon emission tomography). Dette ble viktig ved f.eks. hjertemuskel-undersøkelser og etter hvert for bruk av flerhodete gammakameraer. SPECT kameraer brukes til å bestemme den tredimensjonale fordelingen av radiofarmakonet.

Positron emisjonstomografi (PET), påbegynt på 1980-tallet, er en nyere teknikk. Størst utvikling hadde denne teknikken mot slutten av 1990-tallet. Med PET kunne bilder av metabolske prosesser fremstilles med større skarphet og med mer medisinsk informasjon enn med vanlige nukleærmedisinske teknikker. Metoden er svært nyttig i blant annet onkologien. Nå går utviklingen innen diagnostisk avbildning mer og mer i retning hybrid avbildning på mange anvendelsesområder med bruk av SPECT/CT, PET/CT og PET/MR. - nå også PET/SPECT/CT. Den supplerende anatomiske, funksjonelle og molekylære informasjonen som disse hybrid teknikkene gir, og som alle letter kvantitativ avbildning, har vist stor klinisk betydning.

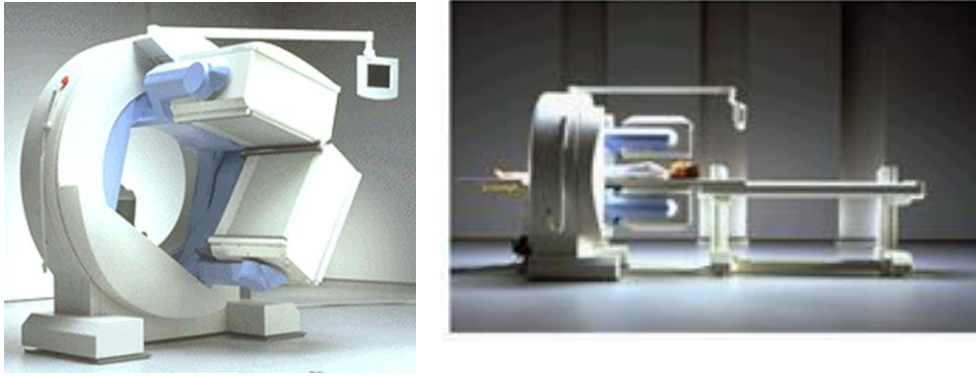
Det er nå 24 avdelinger med totalt 52 gammakameraer og 6 PET/CT installasjoner (ved OUS-RH, OUS-DNR, OUS-UUS, HUS, UNN og Aleris). En oversikt over antall avbildnings-apparatur ved nukleærmedisinsk virksomhet i Norge er vist i Tabell 4.1.

Tabell 4.1. Avbildningsapparatur ved nukleærmedisinske laboratorier i Norge.

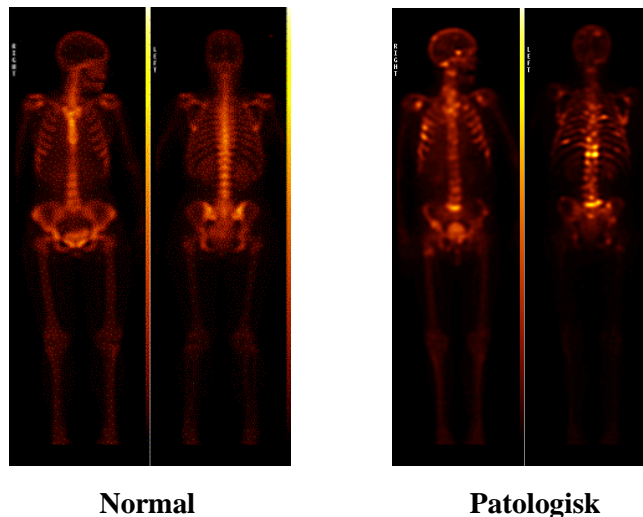
	PET/CT	Gamma kamera	SPECT og SPECT/CT	Diagnostisk CT
NM apparatur i Norge (Antall)	6	52	23	11

4.3 Bildediagnostikk med radionuklider, gammakamera

Ved nukleærmedisinsk diagnostikk gis pasienten en liten mengde radioaktivt stoff, bundet til et bærestoff, intravenøst eller oralt i form av en oppløsning eller kapsel som skal svelges eller i form av en gass som skal pustes inn. Bærestoffet styrer radioaktiviteten til det organet som skal undersøkes, f.eks. til skjelett, lunger, hjerte osv. Det tas så bilder av det aktuelle organet, dvs. av den romlige og tidsmessige fordelingen av det radioaktive legemiddelet, med et gammakamera. Gammakameraer kan registrere planare scintigrammer, helkroppsscintigrammer og tomogrammer (jf. Fig. 4.1 og 4.2.).



Figur 4.1 Bilde av et to-hodet gammakamera til venstre og et SPECT/CT kamera til høyre. Foto: IAEA approved training package.



Normal

Patologisk

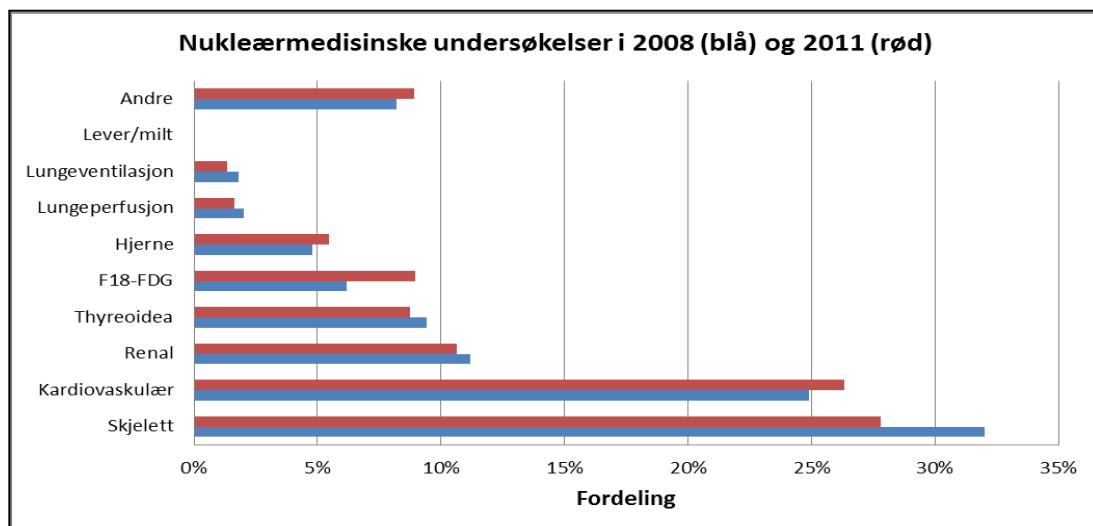
Figur 4.2. Bildene viser et normalt og et patologisk nukleærmedisinsk helkropp skjelett scintigrafi. Et helkropp skjelett scintigrafi brukes som oftest i evaluering av ulike skjelettrelaterte patologier, som f.eks. ved skjelett smerter, stressfrakturer, benskader eller spredning av kreft til skjelettet. Foto: IAEA approved training package.

Ulike radioaktive isotoper brukes, men den mest brukte radioaktive isotopen i diagnostikk har vært, og er ^{99m}Tc . I tillegg brukes ulike forbindelser med ^{14}C , ^{51}Cr , ^{75}Se , ^{111}In , ^{123}I og ^{131}I .

SPECT kameraer roterer rundt pasienten for å bestemme den tredimensjonale fordelingen av radiofarmakonnet i pasienten.

SPECT/CT skannere har en CT-skanner helt inntil SPECT-kameraet i én anordning som muliggjør en presis registrering av et SPECT-skan med et CT-skan. Dette muliggjør attenuasjonskorreksjon av SPECT skannet med CT-skannet og anatomisk lokalisering av områder med spesielt høy aktivitet avslørt av SPECT-skannet.

I 2008 og 2011 ble det rapportert henholdsvis totalt ca. 47000 og ca. 46000 undersøkelser utført med radionuklider i Norge. Dette tilsvarer henholdsvis 9,7 og 9,2 nukleærmedisinske undersøkelser per 1000 innbyggere. Fordelingen mellom ulike undersøkelsestypene er vist i Figur 4.3, mens Tabell 4.2 gir noen nøkkeltall over administrert aktivitet og resultat av stråledose til pasient i 2008. Nukleærmedisinsk virksomhet i Norge bidrar totalt til en befolkningsdose på 0,054 mSv per innbygger, altså ganske lite sammenlignet med røntgendiagnostikk.



Figur 4. 3 Fordeling av nukleærmedisinske undersøkelser i Norge i 2008 og 2011.

Tabell 4.2 Nukleærmedisinske undersøkelser av voksne (>16 år) og deres bidrag til befolkningsdosen i Norge i 2008.

Undersøkelse	Radionuklide	Kjemisk form	Antall administreringer (> 16 år)	Gjennomsnittlig aktivitet pr. administrering (MBq)	Effektiv dose pr administrering (mSv)	Kollektiv effektiv dose (manSv)
Skjelett scintigrafi	^{99m}Tc	Phosphates og fosfonates	14816	697	3,97	58,86
Myocard perfusjon (PET)	^{18}F	FDG	2851	331	6,29	17,93
Myocard perfusjon, hvile	^{99m}Tc	Tetrofosmin	1432	710	5,40	7,73
Myocard perfusjon, arbeid	^{99m}Tc	Tetrofosmin	2025	470	3,29	6,66
Neuroendocrine tumors/somatostatin receptors imaging	^{111}In	Pentetreotide (Octreoscan)	380	138	16,56	6,29
Thyroid scintigrafi (oralt, ingen blokkering)	^{99m}Tc	Pertechnetate	2838	135	1,89	5,36
MUGA, cardiac blood pool, cardiac blood flow (likevekt)	^{99m}Tc	Tc-merkede erytrocytter	793	804	5,63	4,46
Parathyroid imaging	^{99m}Tc	MIBI	607	753	6,78	4,11
Cerebral blood flow	^{99m}Tc	Exametazime (HMPAO, Ceretec)	525	749	6,97	3,66
Dopamine transporter imaging (parkinsonisme)	^{123}I	Ioflupane (DatScan)	668	184	4,42	2,95
Lung perfusion	^{99m}Tc	MAA	885	219	2,41	2,13
Myocard perfusjon, hvile	^{99m}Tc	MIBI	441	480	4,32	1,91
Cerebral blood flow	^{99m}Tc	ECD (NeuroLite)	940	876	1,93	1,81
Myocard perfusjon, arbeid	^{99m}Tc	MIBI	436	506	4,00	1,74
Renal imaging	^{99m}Tc	MAG3	2189	98	0,69	1,50
Renal imaging	^{99m}Tc	DTPA	1693	77	0,38	0,64
Dopamine transportør scintigrafi	^{123}I	β -CIT	37	185	9,25	0,34
Infection/inflammation imaging	^{99m}Tc	Tc-labelled white blood cells (leucocytes)	81	264	2,90	0,24
Infection/inflammation imaging	^{67}Ga	Gallium citrate	9	113	11,30	0,10
Renal imaging	^{99m}Tc	DMSA	147	61	0,54	0,08
Thyroid scintigrafi (thyroidea opptak 35 %)	^{123}I	Iodide	7	165	3,63	0,025

4.4 Positron emisjonstomografi, PET/CT

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>PET (Positron emisjonstomografi) er en nukleærmedisinsk avbildningsteknikk som lager tredimensjonale bilder av funksjonelle prosesser i kroppen. PET bruker koinsidens deteksjon for å avbilde funksjonelle prosesser. PET traceren sender ut positroner som annihilerer med elektroner, som fører til at to gammafotoner sendes ut i motsatte retninger og detekteres samtidig i tid (koinsidens) av en PET-skanner.</p> <p>PET/CT (Positron emisjons tomografi -computer tomografi) er en medisinsk avbildningsapparat som i ett enkelt system kombinerer både PET og CT (røntgenstråling). Bilder fra begge anordningene kan tas sekvensielt samtidig fra en pasient og settes sammen til et separat sammensatt bilde. Dermed kan fordelingen av metabolsk eller biokjemisk aktivitet lokaliseres mer presist med anatomisk avbildning fra CT.</p>	<p>Det er særlig positronemittere fra ^{18}F i form av ^{18}F-FDG som er i klinisk bruk (halveringstid 110 minutter). Nukleærmedisinsk virksomhet er høyspesialisert og kostnadskrevenne.</p> <p>Positroner vekselvirker i vev gjennom såkalt annihilasjon, hvor det sendes ut to fotoner med energi 511 keV i motsatte retninger. Det er disse som brukes ved avbildning. Siden de har relativt høy energi utgjør PET en utfordring med hensyn til arbeidsmiljø. De som arbeider tett innpå pasientene må øve i arbeidsteknikk som gir lavest mulig doser, og rommet med PET eller PET/CT skannere krever ekstra skjerming.</p>

4.4.1 Forskjell fra vanlig nukleærmedisin

PET/CT har blitt et viktig diagnostisk hjelpemiddel for å oppdage og overvåke mange krefttyper og andre sykdommer.

Fordi 511 keV fotonene er mer gjennomtrengende enn 140 keV fotonene fra $^{99\text{mTc}}$, trengs strengere vernetiltak i en PET fasilitet enn i en vanlig nukleærmedisin fasilitet (se tabell 4.3). For eksempel er halvverdilataget (HVL) for 511-keV fotoner i bly ca. 4 mm for «narrow beam» geometri sammenlignet med halvverdilatag på ca. 0,3 mm for 140 keV fotoner. Halvverdilataget i en pasient er ca. 7,2 cm for «broad beam» geometri for 511 keV fotonene. Vekt og kostnad med blyskjerming mot ukontrollerte områder kan derfor bli høye. Ved å øke avstanden fra den radioaktive kilden kan stråleeksponeringen begrenses.

Tabell 4.3 Halvverdilatag (HVL)ⁱ⁾ og tiverdilag (TVL)ⁱ⁾ i bly for 140 keV og 511 keV fotoner.

	Halvverdilatag (HVL) bly	Tiverdilag (TVL) bly
99mTc 140 keV fotoner	ca. 0.3mm	ca. 0,99 mm
PET radionuklider 511 keV fotoner	4 mm («narrow beam») 5 mm («broad beam»)	13,2 mm («narrow beam») 16,5 mm («broad beam»)

i) Den mengden bly som skal til for å redusere strålingen til hhv det halve og en tiende del

Innføring av PET/CT-teknikk og økt bruk av positron emittere bidrar til å øke stråledosen både for pasient og sykehuspersonale. For å redusere stråledosen fra PET/CT og SPECT/CT- undersøkelser må det tas hensyn til dosebidraget fra hver av de to avbildningsmetodene.

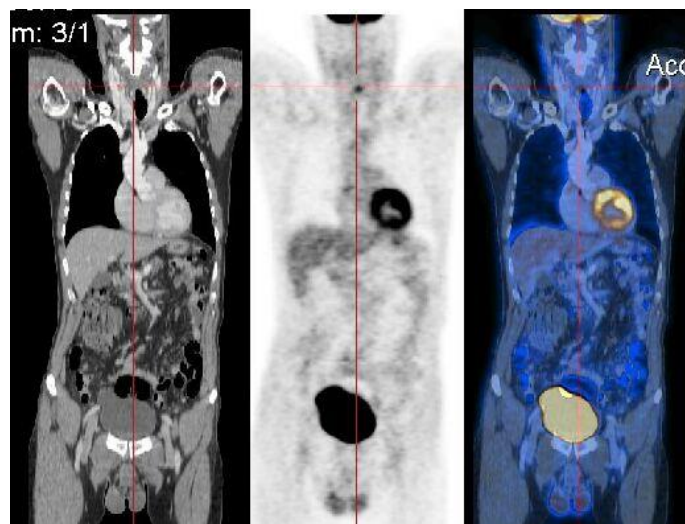
Rask teknologisk utvikling har ført til økte kliniske anvendelsesmuligheter for CT. Og med økende bruk av CT-undersøkelser har dette ført til økende befolkningsdoser. Reduksjon av CT-doser har imidlertid vært betydelige, og kan i stor grad tilskrives forbedret teknologi og økt fokus på viktigheten av optimale apparatinnstillinger.

For PET og SPECT kan dosereduksjon bl.a. oppnås ved å benytte tracere med kortere fysisk og biologisk halveringstid, ved å skalere injisert aktivitet etter pasientens vekt og ved å bruke høysensitive PET-skannere eller høysensitive SPECT-kollimatorer. En reduksjon i anbefalte aktiviteter av ulike radiofarmaka kan og være mulig.

Figur 4.4 viser et bilde av en typisk PET/CT-installasjon og figur 4.5 viser eksempel på bildeinformasjon fra et PET/CT-opptak.



Figur 4.4 En PET/CT-installasjon, der PET-scanneren og datatomografen (CT) er to selvstendige avbildningsmodaliteter plassert inntil hverandre, slik at tverrsnitt av pasienten avbildet med PET og CT kan vises i samme bilde. Foto: IAEA approved training package.



Figur 4.5 Eksempel på at informasjon CT and PET bilder kan vises i samme bilde. CT bildet er til venstre, PET bildet i midten og det fusjonerte CT/PET bildet til høyre. Foto: Wikipedia Commons.

4.4.2 Stråledoser til personale ved PET installasjoner

Absorpsjon og spredning av 511 keV fotoner fra en pasients kropp (pasient-attenuasjon) vil variere, men fører til en redusert stråleeksponering. Dette har betydning ved bestemmelse av nødvendig avstand og skjerming av en PET/CT installasjon. For eksempel vil publikumsarealer vegg i vegg med klargjøringsrom dermed kunne trenge litt mindre skjerming.

Avstand, skjerming og pasient-attenuasjon til tross, stråledosene til «tekniker» kan forbli høye. Den alt vesentligste stråledosen til «tekniker» kommer fra nærkontakt med pasient ved injeksjon, ledsaging og posisjonering på skanner bord og ved tilberedning av radiofarmaka (se Fig. 4.6), når skjerming er spesielt vanskelig. FDG administrasjon gir størst stråledose til «tekniker», og kan være opptil ca. 4-5 μSv /pasient. Dersom kun én «tekniker» utfører alle oppgavene i forbindelse med en PET undersøkelse, vil den kumulative stråledosen typisk kunne være i størrelsesorden 8 – 12 μSv /undersøkelse. Eksponeringen kan reduseres ved god utforming av lokaler, god arbeidsteknikk, pasient instruksjon/samarbeid og ved å ha fokus på tid, avstand og skjerming.



Figur 4.6 Tilberedning, opptrekk og injeksjon av radiofarmaka i pasient. «Tekniker» kommer svært nær radiofarmaka og pasient. Foto: IAEA approved training package.

4.4.3 Stråledose til pasient

Stråleeksponering ved PET/CT undersøkelser kommer fra både interne og eksterne kilder. Målbare størrelser er mengde administrert radioaktivitet og inngangseksponering (kerma i luft). Stråleeksponeringen av pasient fra intravenøs administrasjon av radiofarmaka er proporsjonal med injisert radioaktivitet.

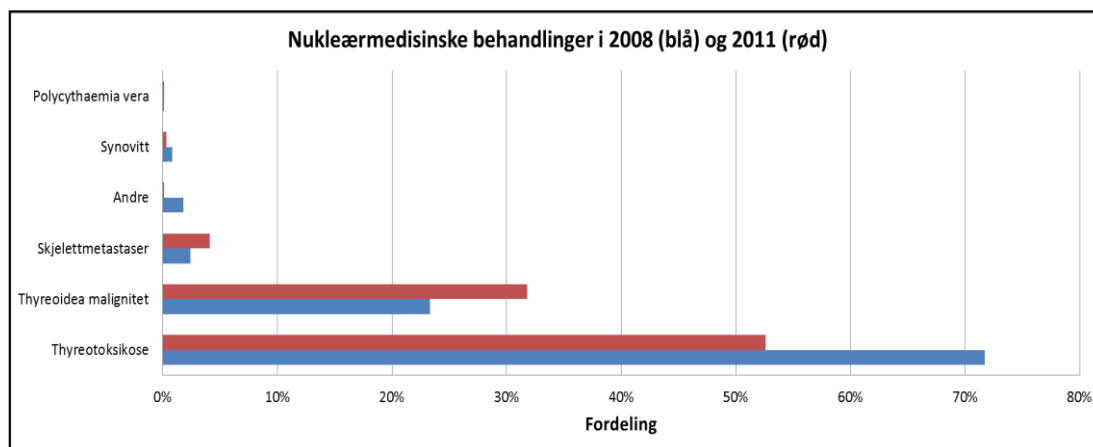
Total effektiv dose for en FDG-PET/CT helkroppundersøkelse er i størrelsesorden 20-30 mSv.

4.5 Nukleærmedisinsk strålebehandling - terapi

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
Ved strålebehandling med åpne radioaktive kilder brukes oppløselige radioaktive stoffer som tilføres kroppen ved injeksjon (intravenøst) eller svelging (oralt). Radiofarmaka som brukes ved behandling sender ut ioniserende stråling som har en kort rekkevidde. Dermed reduseres uønskede sideeffekter og skade på organer som ikke er involvert eller nærliggende strukturer.	De fleste nukleærmedisinske behandlingene kan gjennomføres poliklinisk, siden det er få bivirkninger fra behandlingen og stråleeksponeringen til tredjeperson kan holdes innenfor trygge grenser. Noen behandlingsformer krever imidlertid at pasienten blir innlagt i et skjermet rom (isolat) et par døgn, enten pga. selve prosedyren eller for å beskytte publikum mens pasienten er mest radioaktiv (for eksempel ved behandling av kreft i skjoldbruskkjertelen med ¹³¹ I).

Terapi med radionuklider har vært en viktig del av norsk nukleærmedisin siden starten i 1950. Den mest brukte radioaktive isotopen i terapi har vært, og er, I-131 til behandling av hyper-thyreoidisme og kreft i thyreoidea. I tillegg brukes nå også ulike forbindelser med 89-Sr, 153-Sm, 223-Ra, 90-Y og 186-Re i behandling av andre sykdommer. Det er økt interesse for spesifikt målsøkende radioaktive legemidler, som f.eks. for Lu-177 og Y-90 merkede forbindelser for peptid reseptor radionuklide terapi.

I 2008 og 2011 ble det rapportert henholdsvis totalt ca. 800 og ca. 760 behandlinger utført med radionuklider i Norge. Dette tilsvarer henholdsvis 0,17 og 0,15 behandlinger pr 1000 innbyggere. Figur 4.7 viser fordelingen av rapporterte nukleærmedisinske behandlinger i 2008 og 2011.



Figur 4.7 Nukleærmedisinske behandlinger i Norge i 2008 og 2011.

4.6 Virkemidler for å kvalitetssikre bruken og ha kontroll på arbeidsmiljø i nukleærmedisin

Strålevernforskriften stiller krav til virksomheter om å ha et kvalitetssystem som bl.a. omfatter internkontrollkompetanse, kvalitetskontroll av apparatur og skriftlige instruksjoner og arbeidsprosedyrer som sikrer et forsvarlig strålevern. Instruksene og arbeidsprosedyrene skal hindre eksponering for nivåer som overskrider grenseverdier etter forskriften, gjeldende standarder eller internasjonale retningslinjer. Kontroll med at slike prosedyrer finnes kan gjøres i forbindelse med tilsyn ved virksomhetene.

I Veileder 10 om nukleærmedisin utdypes en del av forskriftens relevante paragrafer, med generell informasjon og forslag til detaljerte løsninger der forskriften stiller generelle funksjonskrav.

4.6.1 Internasjonale anbefalinger

Det finnes en rekke internasjonale publikasjoner som omhandler nukleærmedisinsk virksomhet. Nedenfor er listet opp noen få aktuelle publikasjoner.

- Nuclear Medicine Resources Manual (IAEA 2006). Boken er en omfattende veileder med praktiske forslag basert på internasjonale fagmessige erfaringer. Den omhandler forutsetninger for å starte nukleærmedisinsk virksomhet inkludert grunnleggende infrastruktur, informasjon om egnede lokaler, kompetanse til ulike grupper personell, krav til sikker fremstilling og kvalitetskontroll av radiofarmaka og krav for optimalisering av nukleærmedisinsk virksomhet.
- Safety Reports Series No. 40. Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine (IAEA 2005).
- Safety Reports Series No. 58. Radiation Protection in Newer Medical Imaging Techniques: PET/CT (IAEA 2008).
- Safety Reports Series No. 63. Release of Patients after Radionuclide Therapy (IAEA 2009).
- Technical Reports Series No. 454. Quality Assurance for Radioactivity Measurement in Nuclear Medicine (IAEA 2006).
- Operational Guidance on Hospital Radiopharmacy.
- PIC/S Guide to Good Practices for the Preparation of Medicinal Products in Healthcare Establishments, PE 010-3, 2008000. Denne veilederen gir veiledning om god praksis ved tilberedning av medisinske produkter til menneskelig bruk.
- WHO/IAEA Manual on Radiation Protection in Hospital and General Practices. Volume 1: Basic requirements & Volume 4: Nuclear medicine.
- NEMA Standards Publication NU 1-2007 omhandler ytelsesmålinger av gammakameraer, blant annet av både enkelt - og multidetektor planare og tomografiske gammakameraer. Formålet med standarden er å gi et ensartet kriterium for måling og rapportering av ytelsesparametere til gammakamera som leverandører kan spesifisere utstyret sitt etter.

4.6.2 Kompetanse hos leger og teknikere

Strålevernforskriften § 42 og § 45 setter krav til kompetanse og opplæring hos både leger og teknikere som skal drive nukleærmedisinsk virksomhet. Blant annet skal det inngå leger med spesialistgodkjenning i nukleærmedisin og/eller onkologi og ved flermodalitetsapparat i visse tilfeller også godkjent spesialist i radiologi. For å få spesialistgodkjenning i nukleærmedisin kreves det et obligatorisk kurs i strålevern tilsvarende 70 timer.

Personale som skal betjene nukleærmedisinsk apparatur må ha helsefaglig utdanning på bachelornivå med videreutdanning i nukleærmedisin og strålevern tilsvarende minst 15 studie-poeng i høyskolesystemet. Videre krever betjening av flermodalitetsapparat kompetanse i både nukleærmedisin og radiografi. Personell under utdanning kan likevel betjene nukleærmedisinsk

apparaturler som ledd i utdannelsen. Ved Høgskolen i Oslo og Akershus tilbys nå vidareutdanning i nukleærmedisin (15 studiepoeng) bl.a. som valgbart emne i masterstudiet i biomedisin.

4.6.3 Skjerming

Ved arbeid med åpne radioaktive kilder er behovet for stråleskjerming avhengig av hvilke nuklider og aktivitetsmengder det arbeides med. Virksomheten må selv vurdere behovet for skjerming av f.eks. isotoplaboratorium (hot-lab), injeksjonsrom, hvilerom, γ -kamerarom, pasientventerom og toalett mot tilgrensende rom/arealer, slik at dosekravene gitt i strålevernforskriften ikke overskrides i de ulike områdene. Ved bruk av store aktivitetsmengder kan det være aktuelt å bygge inn skjerming i inventar som f.eks. avtrekkskap, LAF-benker og biohazard benker.

Selv om det utføres detaljerte skjermingsberegninger i forkant, må man alltid ved ferdigstilling kontrollere at innebygd skjerming fungerer som forutsatt. Dette kan gjøres ved bruk av håndmonitor når kildene tas i bruk.

I forbindelse med nukleærmedisinsk behandling med radionuklider vil pasienten utgjøre en ekstern strålekilde for omgivelsene og være en kilde til kontaminering. Det kan da være nødvendig at pasienter som behandles med gamma-strålende radionuklider som f.eks. I-131 og Sm-153 skal oppholde seg på sykehuset i 2-3 døgn, til mesteparten av aktiviteten er utskilt. I denne tiden skal pasienten oppholde seg i eget rom ("isolat") med eget bad/toalett. I den forbindelse må virksomheten kontrollere skjerming mot naborom og eventuelt skjerme, slik at ingen i naborom kan eksponeres for mer enn 0,25 mSv/år.

4.6.4 Kvalitetskontroller

I nukleærmedisinsk virksomhet er kvaliteten og påliteligheten til det billeddannende utstyret kritisk. Nukleærmedisinsk apparatur trenger nøyaktig kontroll av temperatur og fuktighet så vel som en kontinuerlig og stabil strømforsyning. Regelmessige kontroller ved bruk av praktisk tilgjengelig kvalitetskontrolltester er nødvendig for å tilpasse stabil drift.

Kvalitetskontroller brukes på alt nukleærmedisinsk utstyr for strålevern, tilberedning av radiofarmaka, avbildning og lagring av kliniske data. Hybrid apparatur som PET/CT, PET/MR og SPECT/CT kan påvirke samlet ytelse til flermodalitetsavbildningen. Hvert system må derfor kvalitetskontrolleres hver for seg uavhengig av hverandre så vel som sammen for sammensmeltingsnøyaktighet og stabilitet. Et program for kvalitetskontroller tar sikte på å oppdage langsomme endringer som normalt ikke oppdages i daglig bruk.

Kvalitetskontroll betraktes ofte, men galt, som vanskelig og tidkrevende rutinearbeid, og blir dermed ofte forsømt. Selv om brukerstedene har service kontrakter med utstyrsleverandør for forbyggende vedlikehold og kalibrering, bør hvert brukersted jevnlig utføre kvalitetskontroller. For å sikre normal dag til dag funksjon av utstyret kan derfor færre og enklere tester brukes. Rutinemessig kvalitetskontroll er et vesentlig krav i nukleærmedisinsk virksomhet for å sikre at utstyret fungerer optimalt.

4.6.5 Gode laboratorier

Arbeid i isotoplaboratorier bør tilrettelegges slik at det settes av tilstrekkelig med plass for arbeidet med åpne radioaktive kilder. Arbeidet bør også tilrettelegges slik at behovet for intern transport av radioaktive stoffer er minst mulig. Transportruten fra lager, til laboratorium, innen laboratoriet, til målerom og til avfallsrom bør gjøres så kort som praktisk mulig.

Type B laboratorium er hovedtypen ved sykehus med nukleærmedisin. I mange tilfeller er type B synonymt med det som kalles hot-lab, der hoveddelen av isotoparbeidet utføres og hvor radioaktivt materiale også kan mellomlagres. Nye laboratorier for nukleærmedisin på et sykehus bør planlegges som type B laboratorium.

Generelt er hovedkravet til type B laboratorium at det skal være reservert for arbeid med radioaktive stoffer. Dette kravet innebærer blant annet at lokalene for arbeid med radioaktive stoffer må være tilstrekkelig store og hensiktsmessig utformet for påtenkt arbeid og lette å vedlikeholde i god tilstand. Generelt bør det totale arealet av hot-lab være stort nok til å sikre en sikker håndtering av både fyllings-/utdelingsoperasjonene og medfølgende nødvendig papirarbeid. Røropplegg, lys, ventilasjon og andre installasjoner bør utføres og plasseres slik at en unngår å lage utilgjengelige steder som er vanskelige å rengjøre.

Laboratoriet (hot-lab) skal være atskilt fra tilstøtende rom med en gang (sluse) som er avsatt til skifte av frakk og sko og som skal inneholde et minimum av inventar.

4.6.6 Gode rutiner og god arbeidsteknikk

Gode arbeidsrutiner og regelmessig renhold er viktige elementer i arbeidet med å holde et lavt forurensningsnivå på arbeidsplassen. Rengjøring av lokalitetene bør gjøres etter detaljerte skrevne prosedyrer og av personale som har fått informasjon/opplæring om radioaktive stoffer. Dekontaminering kan imidlertid være nødvendig, for eksempel ved uhell eller når en arbeidsplass omdisponeres til andre formål. Hvis utstyr eller arbeidsplass er blitt forurenset, må dekontaminering gjennomføres. Dekontamineringen bør fortsette så lenge den gir effektiv aktivitetsreduksjon.

I noen laboratorier er det nødvendig å arbeide i spesielt sterilt miljø, for eksempel i forbindelse med fremstilling og tilberedning av sterile radiofarmaka. Videre, i forbindelse med utførelse av spesielle merkeprosedyrer av radioaktive legemidler, kan det være nødvendig med en spesiell laboratorieinnredning, slik at både hensynet til strålebeskyttelse av personalet og kvaliteten av legemiddelet (sterilitet o.s.v.) tilgodeses. I praksis vil dette blant annet innebære at strålingsfaren må kontrolleres på en slik måte at det kan vies full oppmerksomhet mot problemer som sterilitet, toksisitet og renhet av de radiofarmaka som benyttes. I forbindelse med tilberedning av radiofarmaka anbefales å følge «PIC/S Guide to Good Practices for the preparation of Medicinal Products in Healthcare establishments» se opplistingen over om internasjonale anbefalinger.

Kravene til lokaliteter og kompetanse vil bli strengere jo større mengder radioaktivitet som skal håndteres i lokalitetene og jo mer komplekse arbeidsoperasjonene er. I den forbindelse anser Strålevernet det som viktig med lokaler, utstyr, planløsninger, arbeidsrutiner og kvalitetskontrollrutiner som på en best mulig måte ivaretar både strålevernskrav og et høyt nivå av radiofarmasøytisk hygiene.

5 Bruk av ioniserende strålekilder i industrien

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>Strålingens egenskaper kan utnytted i mange industrielle prosesser, der måling av strålingen er en nøkkelfaktor. Ett eksempel er <i>nivåmåling</i>, der gammastrålingen fra radioaktive kilder brukes til å overvåke og styre fylling av tanker, rør, bokser eller flasker.</p> <p>Et annet bruksområde for radioaktive stoffer er såkalte <i>sporanalyser</i> eller tracer-studier. Det er vanligvis mest aktuelt å benytte åpne radioaktive kilder i væske eller gassform. Disse injiseres i det objektet eller strukturen en vil undersøke, deretter foretas det målinger for å kartlegge hvordan og hvor sporstoffene har tatt veien etter en viss tid.</p> <p><i>Radiografi</i> er et stort område for bruk av ioniserende stråling i industrien. Metoden ligner medisinsk bruk av røntgen for å oppdage benbrudd. Radiografi blir mye benyttet til kvalitetssikring av maskindeler, konstruksjoner og industrianlegg, blant annet av sveiseskjøter.</p> <p>Ved <i>bestråling</i> er som oftest hensikten å påvirke et stoff, materiale eller vev på en slik måte at man får en bestemt virkning under kontrollerte betingelser. Eksempler på bestrålingsvirksomhet er sterilisering av medisinsk engangsutstyr, emballasje og krydder. Bestråling av blod gjøres i forbindelse med blodoverføring.</p>	<p>Utfordringene er sikre <i>kontroll</i> med strålekilder og <i>forsvarlig håndtering</i> for å forhindre <i>uhell</i>.</p> <p>For all strålebruk i industrien finnes det klare regler som omfatter alt fra rutiner ved anskaffelse, håndtering, lagring og avhending. Flere av bruksområdene har lange tradisjoner - teknikkene, prosedyrer og regler er godt kjent og innarbeidet. Likevel mottar Strålevernet årlig en håndfull rapporter om uhell med bruk av strålekilder og kilder som har kommet på avveier pga. mangelfull kontroll.</p> <p>Det er vanskelig å forsikre seg helt mot at uhell skal skje. I Norge har vi et tydelig regelverk, det føres tilsyn med strålebruken og vi har en rådgivnings- og informasjonstjeneste som brukerne kan benytte seg av. Dette er faktorer som bidrar til å holde stråledosene til brukerne nede. Vi ser likevel noen ganger tilløp til alvorlige hendelser i Norge, og det har skjedd alvorlige uhell i utlandet som har ført til helseskader og i verste fall til død.</p> <p>Mangelfull kontroll eller uforsvarlig håndtering av strålekilder kan føre til uønskede og noen ganger farlige eksponeringssituasjoner. Dersom en radioaktiv kilde f.eks. kommer på avveier og ikke blir oppdaget i tide, kan kilden havne sammen med returmetall og smeltes ned. Nedsmelting kan føre til kontaminering av smelteprodukter og av smelteverk.</p> <p>Sikring av radioaktive strålekilder mot tyveri og sabotasje er i økende grad et tema både nasjonalt og internasjonalt, og kommer som en følge av at terrortrusselen stadig oppleves som mer reell. Bruk av radioaktivt materiale i terrorøyemed, som f.eks. bruk av såkalte «skitne bomber», kan få alvorlige samfunnsmessige konsekvenser.</p>

5.1 Historikk

Strålekilder ble først tatt i bruk mot slutten av 1940-årene da norsk industri var i oppsving etter krigsårene. Under krigen økte behovet for å bygge nye skip kraftig, samtidig som stål som konstruksjonsmateriale ble mangelvare. Da man ikke kunne forvente erstatning for utslitte maskiner og deler, måtte man i stedet reparere. Sveising ble en løsning som åpnet muligheten for rask skipsbygging og gjenbruk av materialer (NDT-foreningen; 1997). Siden sveiseskjøter kan være av ulik kvalitet og utgjøre en sikkerhetsrisiko, ble kvalitetssikring av sveiseskjøter etter hvert mer sentralt. Også støperiene som laget skipspropeller, skipsstevner, skipsror og turbindeler hadde behov for kvalitetssikring. Med gammakilder, spesielt Co-60 kilder, kunne man utføre radiografi av skjøter og gods og på den måten avsløre feil og sikre konkurransedyktig kvalitet. De første strålekildene som ble tatt i bruk var små kapsler som ble håndtert med tang og plassert for lange eksponeringer, uten nærmere tanker om risiko og strålevern. I begynnelsen var det bare Framnæs mek. Verksted og Røntgenkontrollen som tok i bruk kilder (SIS; 1989), men i dag er antallet virksomheter som utøver denne type aktivitet vokst betraktelig, til nærmere 100.

Et annet bruksområde for radioaktive kilder var også under utvikling på 50-tallet – bruken av såkalte kontrollkilder. Gammakilder ble brukt til nivåvakter og nivåmålere i lukkede kjeler og tanker, og til å måle tetthet i løsninger inne i rør. Betakilder ble tatt i bruk for tykkelsesmålinger, blant annet i papirindustrien (SIS; 1989). Bruken tok seg raskt opp, og i dag er antallet kontrollkilder ca. 3000 fordelt på ca. 350 bedrifter - mange med tilknytning til olje- og gass- virksomheten i Norge.

Bruken av ioniserende strålekilder har utviklet seg og har i dag mange anvendelsesområder i industrien, blant annet til prosesskontroll, sporundersøkelser, radiografi, logging og bestrålingsvirksomhet - områder som omtales nærmere nedenfor.

5.2 Typer strålekilder i industrien

Det finnes et stort utvalg av ulike typer strålekilder som skiller seg fra hverandre ved at de har ulik fysisk form, type stråling, energi, kildestyrke, halveringstid, kjemisk form, farepotensiale, pris og tilgjengelighet. Strålekilder finnes i mange varianter som passer til de ulike bruksområdene.

5.2.1 Kapslede radioaktive kilder

Radioaktive kilder deles vanligvis inn to underkategorier – åpne radioaktive kilder og kapslede radioaktive kilder. De aller fleste radioaktive kilder tilhører kategorien kapslede radioaktive kilder, der det radioaktive materialet er innkapslet i bestandige beholdere som sikrer at det radioaktive stoffet ikke slipper ut. I Norge har vi noen tusen slike kilder, vanlige typer er listet opp i tabell 5.1, og figur 5.1 viser hvordan en kapslet radioaktiv kilde kan se ut. I mange tilfeller plasseres kapslede kilder i skjermingsbeholdere som veier 20 – 30 kg eller mer, og som har til hensikt å skjerme mot skadelig stråling. I figur 5.1 er en liten del av en slik beholder synlig i bakgrunnen. En annen variant som er kjent for mange og som finnes både i industrianlegg og i mange boliger, er røykvarsleren. Denne er konstruert med en liten radioaktiv kilde som varsler dersom tettheten av røykpartikler i luften går over visse verdier.

Kapslede radioaktive kilder er i henhold til internasjonal anbefaling inndelt i ulike farekategorier fra 1 – 5, der 1 er høyeste farekategori (IAEA-2005).

Tabell 5.1 Internasjonal standard for fareklassifisering av kapslede radioaktive kilder, der kategori 1 karakteriserer de farligste kildene.

Farekategori	Beskrivelse
Kategori 1	Slike kilder kan forårsake varige helseskader i løpet av minutter dersom de ikke behandles korrekt.
Kategori 2	Slike kilder kan forårsake varige skader på personer i løpet av minutter til timer, dersom de ikke behandles korrekt.
Kategori 3	Slike kilder kan forårsake varige skader på personer som omgås dem, eller på annen måte er i kontakt med kildene over mange timer. Under særlig uheldige omstendigheter kan kildene forårsake dødsfall ved eksponering over dager og uker.
Kategori 4	Det er lite sannsynlig at noen kan få varige skader av slike kilder.
Kategori 5	Ingen kan få varige skader av slike kilder.

Tabell 5.2 Eksempler på kapslede radioaktive kilder som benyttes til industrielle formål (Johansen & Jackson; 2005).

Isotop	Halveringstid	Strålingstype	Bruksområde /måling av
²⁴¹ Am	433 år	γ - stråling	Tetthet/flerfase
¹³³ Ba	10.5 år	γ - stråling	Tetthet/flerfase
¹³⁷ Cs	30.2 år	γ - stråling	Tetthet/nivå/bestråling
⁶⁰ Co	5.3 år	γ - stråling	Nivå/bestråling
¹⁹² Ir	74 dager	γ - stråling	Radiografi
⁹⁰ Sr(⁹⁰ Y)	28.6 år	β ⁻ - partikler	Tykkelse
⁸⁵ Kr	10.4 år	β ⁻ - partikler	Tykkelse
¹⁴⁷ Pm	2.6 år	β ⁻ - partikler	Tykkelse
²⁴¹ Am/Be	433 år	Nøytroner	Nivå/logging
²⁵² Cf	2.7 år	Nøytroner	Nivå/logging



Figur 5.1 Bildet viser en hvordan en kildekapsel kan se ut. Kilden på bildet er en illustrasjonskilde, en «dummy», dvs. at kapselen ikke inneholder radioaktivt stoff. Foto: Statens strålevern.

5.2.2 Åpne radioaktive kilder

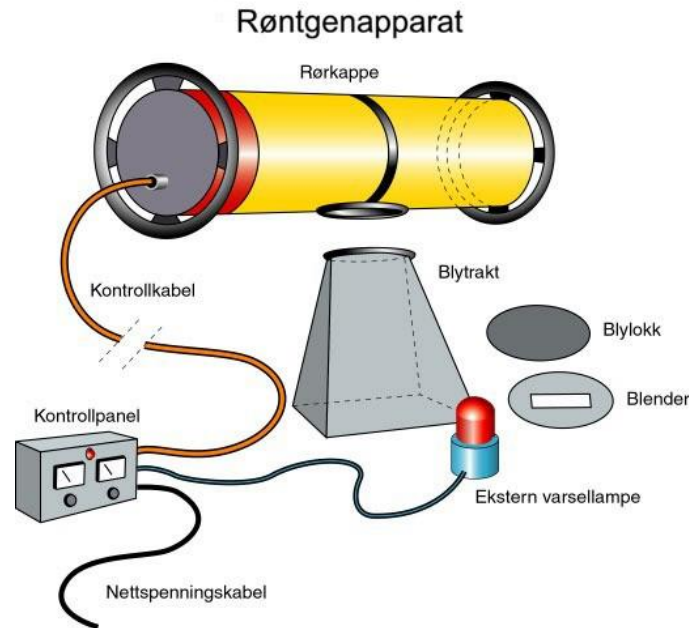
Åpne radioaktive kilder er radioaktivt materiale som ikke er innkapslet. Dette er en nødvendighet ved f.eks. sporundersøkelser, da det radioaktive materialet skal kunne blandes ut eller binde seg til andre molekyler og følge med i en strøm eller prosess. Følgelig må også kildenes kjemiske form være riktig ved sporundersøkelser. Tabell 5.2 viser eksempler på noen vanlige kildetyper. Ofte benyttes strålekilder med kort halveringstid, slik at den radioaktiviteten raskt dør ut og dermed reduserer eller unngår utslipp til miljøet.

Tabell 5.3 Tabellen viser eksempler på kildetyper som kan benyttes for sporanalyser (Johansen & Jackson 2005).

Isotop	Halveringstid	Strålingstype	Fysisk form
^{24}Na	15 timer	γ – stråling	Væske
^{82}Br	35.3 timer	γ – stråling	Væske/organisk
^{85}Kr	10.8 år	γ – stråling	Gass
^{79}Kr	36 timer	γ – stråling	Gass
^3He	12 år	β^- - partikler	Væske/organisk
$^{113\text{m}}\text{In}$	99 min	γ – stråling	Væske/organisk
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	2.5 minutter	γ – stråling	Væske
^{140}La	2.4 dager	γ – stråling	Fast form
^{14}C	5760 år	β^- - partikler	Væske/fast/gass

5.2.3 Industrirøntgen

Røntgenapparatene har også sine bruksområder, spesielt til radiografi, dvs. gjennomlysning av objekter. Det finnes et stort og variert utvalg av apparater - alt fra lukkede røntgenkabinetter i ulike størrelser som f.eks. brukes til kvalitetskontroll av bilfelger, kabler og matvarer, til små håndholdte apparater som kan foreta elementanalyser av materialer – f.eks. legeringer. Figur 5.2 viser et typisk røntgenapparat som vanligvis brukes til å kontrollere sveiseskjøter på rør. Til det portable apparatet følger det med en del sikkerhetsutstyr, som varsellampe som lyser når stråling genereres og blendere som skjermer bort en del av strålefeltet.



Figur 5.2 En type portabelt røntgenapparat som ofte blir benyttet for kvalitets-kontroll av f.eks. sveisekjøter. Sikkerhetsutstyr som varselamper, blylokk og blendere er standard. Blylokket har som funksjon å skjerme vekk stråling når apparatet er påslått, men ikke i bruk. Blenderen (og evt. blytrakt) brukes for å skjerme bort deler av strålefeltet. Røntgenapparatet opereres fra et kontrollpanel. Figur: Statens strålevern.

5.3 Ulike bruksområder for strålekilder i industrien

Strålingens egenskaper kan utnyttes i mange industrielle prosesser, der måling av strålingen er en nøkkelfaktor. De viktigste bruksområdene er prosesskontroll, sporanalyser, radiografi, sporundersøkelser, logging og bestrålingsvirksomhet, men det finnes også annen ymse strålebruk som ikke naturlig faller under noen av disse kategoriene.

5.3.1 Prosesskontroll

I prosesskontroll brukes som oftest kapslede radioaktive kilder, vanligvis svake kilder, som er fast montert. Vanligvis kalles denne typen strålekilder *nivåvakter*, *tetthetsmålere* eller *tykkelsesmålere*, der navnene gir en god indikasjon på bruksområdene. Strålekildene kan brukes til å overvåke og styre f.eks. fylling i tanker og rør, massetransport, kvalitetskontroll i produksjon av papir, plastfolier, gummi og tekstiler. Det kan være mange fordeler med denne typen kilder, de kan operere automatisk og plasseres i ekstreme industrimiljøer og trenger ikke å være i kontakt med det materiale som skal overvåkes. Det finnes noen tusen slike kilder i ulike former for næringsvirksomhet som f.eks. olje- og gassinallasjoner, verkstedindustri, smelteverk, pukkverk, kraftverk, fiskeforedling, papirindustri, sagbruk, hermetikkindustri, bryggerier og gruvedrift. Figur 5.3 viser en offshore installasjon i dårlig vær, og illustrerer at strålekilder plassert offshore blir utsatt for store påkjenninger i det røffe miljøet.



Figur 5.3 Mange radioaktive kilder er montert offshore. Disse kan stå relativt ubeskyttet og må være konstruert for å tåle store påkjenninger. Foto: Statoil.

5.3.2 Tetthetsmåling

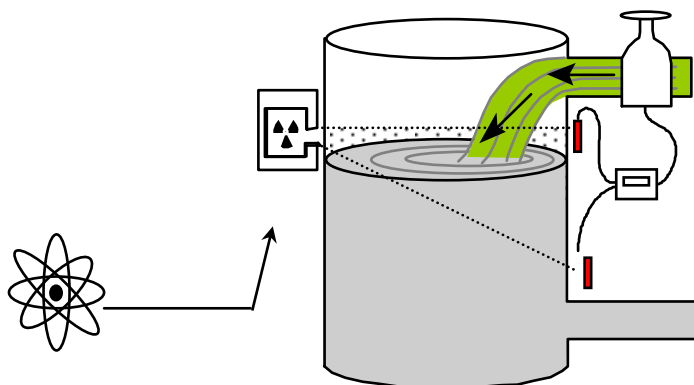
Tetthetsmåling i sin enkleste form går ut på å måle tettheten i massestrømmen gjennom rør. Vanligvis monteres tetthetsmåleren på røret med radioaktiv gammakilde på den ene siden og detektor på motsatt side, som vist på figur 5.4. Fordi strålingen ved detektoren svekkes når tettheten øker, kan endringer i tetthet registreres kontinuerlig mens massen strømmer forbi måleren. Slike målere kan også settes opp til å utføre mer kompliserte målinger, som f.eks. måling av andel tørrstoff i væske, sammensetningen av fast stoff og gass, fraksjoner av ulike typer væsker eller blandinger av væske og gass. Måleren på figuren 5.4 er satt opp til å måle andelen tørrstoff i væske.



Figur 5.4 En tetthetsmåler som er satt fast med klemmer om røret der målingene skal utføres. Den radioaktive kilden befinner seg i beholderen til høyre, og detektoren til venstre. Måleinstrumentet brukes til kontinuerlige målinger av andel tørrstoff i forhold til væske i massen som strømmer i røret. Foto: Statens strålevern.

5.3.3 Nivåmåling

Ved nivåmåling brukes gammastrålingen fra radioaktive kilder til å overvåke og styre fylling av tanker, bokser eller flasker. Figur 5.5 viser hvordan nivåmålere kan settes opp for å måle fyllhøyden i en tank. Figuren viser at detektoren fanger opp endringer i strålenivået som er forårsaket av endringer i væsknivået. Et signal utløses dersom væsknivået er for lavt eller for høyt. Ventiler vil automatisk åpnes eller lukkes slik at væsknivået kan reguleres til rett nivå. På figuren er den radioaktive kilden plassert på den ene siden av en tank og to detektorer er plassert på motsatt side. Prinsippet er det samme enten det er brusbokser eller store tanker som skal nivåmåles, men valg av nuklide og kildestyrke vil være forskjellig. I noen tilfeller er det aktuelt å bruke røntgen, spesielt innen bryggerinæringen der det måles på flasker og bokser.



Figur 5.5 Figuren skisserer hvordan en radioaktiv kilde kan brukes til å kontrollere nivået i en tank. Nivået skal være mellom de to detektorene til høyre. Dersom nivået blir høyere eller lavere enn dette, vil nivået justeres ved hjelp av ventilen.

5.3.4 Tykkelsesmåling

Tykkelsesmålinger brukes i ulike industrier for å overvåke og kontrollere tykkelsen av materialer som produseres i tynne sjikt, som papir, plastikk og blikk. Målingene foregår ved at det aktuelle materialet beveger seg kontinuerlig mellom strålekilde og detektoren, som gir utslag om materialet er for tykt eller tynt. Såkalte beta-emittere, strålekilder som sender ut beta-partikler, blir ofte foretrukket fordi denne strålingen ofte gir størst nøyaktighet i målingene. Figur 5.6 viser et bilde av en tykkelsesmåler som benyttes i papirindustrien.



Figur 5.6 I papirindustrien benyttes bl.a. promethium-147, en beta-emitter, som kilde for å måle tykkelsen på papiret. I slike apparater går papiret fritt mellom enhetene og målingen blir utført kontinuerlig. Foto: Statens strålevern.

5.3.5 Sporanalyser

Et bruksområde for radioaktive kilder er såkalte sporanalyser eller tracer-studier. Analysene som utføres i industrien har klare paralleller til nukleærmedisinske undersøkelser. Det er vanligvis mest aktuelt med åpne radioaktive kilder i væske eller gassform. Disse injiseres i objektet eller strukturen som skal undersøkes. Det foretas så målinger for å kartlegge hvordan og hvor disse sporstoffene har tatt veien etter en viss tid. Utfra måledata kan man skaffe seg verdifull informasjon som en ofte ikke kan få på annen måte.

Anvendelsene favner et vidt område som kartlegging av olje- og gassforekomster, dynamisk prosesskontroll i industrien (cellulosefabrikker, biodestruksjonsanlegg), hydrologi (kraftverk), kartlegging av avrenning - drenering og erosjonsproblematikk ved omfattende geotekniske inngrep og søppeldeponier. En variant av dette bruksområde er bruk av kapslede kilder som markører. Dette foregår i olje- og gasssektoren der nivåer blir markert i borehull, eller ved at robotinstrumenter som sendes gjennom rørledninger merkes med kapslede radioaktive kilder, såkalt «pig-tracking».

5.3.6 Radiografi

Radiografi er et stort bruksområde for ioniserende stråling også i industriell sammenheng. Totalt utføres nær en million radiografioppdrag årlig med dominerende tilknytning til olje- og gassproduksjonen, både offshore og på land. Metoden ligner medisinsk bruk av røntgen for å oppdage benbrudd. På samme måte som i medisinsk røntgendiagnostikk kan f.eks. sprekk i en sveiseskjøt, tretthetsbrudd i en flyvinge, feil i en støpeprosess, kontroll av flybagasje og fremmedlegemer i næringsmidler, vises på et bilde fremstilt ved hjelp av en strålekilde. Det må som oftest benyttes noe høyere energi i industriell radiografi sammenlignet med medisinsk røntgendiagnostikk, da materialet som oftest består av metaller og er mer massivt enn biologisk vev. Ved radiografi er det viktigste å kunne fremstille bilder som kan tydes.

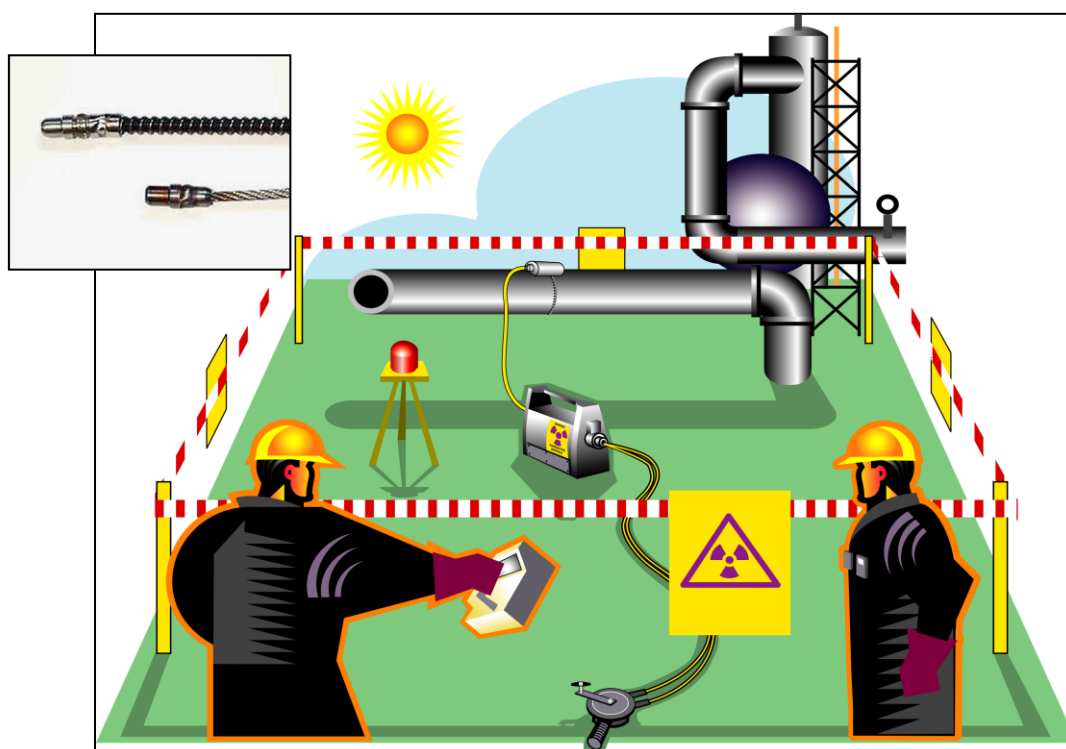
Objekt og materiale som skal avbildes, bestemmer hva slags strålekilde som er best egnet. I industriell radiografi brukes både røntgenapparater og kapslede radioaktive kilder. Radiografi med bruk av kapslede radioaktive kilder kalles **gammaradiografi**, fordi det er nettopp gammastrålingens egenskaper som utnyttes. Kilder for gammaradiografi er kapslet i et bestandig materiale, slik at de radioaktive stoffer beskyttes mot sterke ytre fysiske og kjemiske påvirkninger. Den kapslede

strålekilden er videre oppbevart i en stråleskjermet beholder, og strålekilden kontrolleres via mekaniske systemer.

Bruk av røntgen er også utbredt, med utstyr som ofte ser ut som vist på figur 5.2. Den prinsipielle strålevernsmessige fordelene med et røntgenapparat sammenlignet med utstyr for gammaradiografi er at strålingen i et røntgenapparat bare dannes når man skrur på apparatet. Et røntgenapparat uten strømforsyning stråler ikke. En radioaktiv kilde derimot, stråler hele tiden. Følgelig må det tas hensyn til dette når kilden ikke brukes, f.eks. under lagring, transport og avhending.

Selv om begrepet **industriell radiografi** favner bredt, brukes det som regel i en noe mer snever forstand i forvaltningen der man foretar en inndeling av radiografiområdene etter risiko. I forvaltningssammenheng brukes begrepet industriell radiografi mer spesifikt om bruk av radioaktive kilder, røntgenapparater og akseleratorer til ikke-destruktiv materialkontroll (NDT), som er den type industriell radiografi som innebærer høyest risiko. Begrepet omfatter f.eks. ikke bruk av strålegivende utstyr for analyse av innhold, struktur eller atomsammensetning av prøver, og heller ikke materialkontroll i lukket apparatur. Dette betyr at arbeid med røntgen til bagasje kontroll, røntgenspektroskopi og røntgen for identifisering av fremmedlegemer ikke betraktes som industriell radiografi i forvaltningssammenheng.

Utførelsen av industriell radiografi er forholdsvis enkel. Metoden går ut på at objektet som skal undersøkes plasseres mellom en strålekilde og en film/detektor. Hvis det er sprekke dannelser eller luftbobler i godset, dvs. områder hvor godset er mindre massivt enn ellers, vil mer stråling gå gjennom objektet. Filmen/bildet blir følgelig tilsvarende mer svartet. Figur 5.7 illustrerer hvordan arbeidet ofte utføres i praksis. Sperrebånd, varsellampe, måleinstrument og varselskilt er utstyr som alltid skal benyttes ved utførelse av industriell radiografi utendørs, slik det framgår av figuren.



Figur 5.7 Illustrasjon av gammaradiografi; En radioaktiv kilde (vist på lite bilde)sveives ut av skjermingsbeholderen og legges over en sveiseskjøt. Kilden stråler gjennom røret mot en film, alt for å sjekke kvaliteten på skjøten.

5.3.7 Logging

I offshorevirksomheten er leting etter nye olje og gassforekomster viktig. Det er også av stor betydning å kunne karakterisere berggrunnen ved målinger. Til dette har strålekilder vist seg formålstjenlige og det er utviklet en egen teknologi for dette - logging. Til logging brukes utstyr der strålekilder er montert i en wire eller i borestreng nær borekronen, og måleinstrumenter monteres i nærheten av strålekildene. Måledataene kan så tolkes til informasjon om blant annet hydrokarboninnhold, tetthet, temperatur, trykk, porøsitet og viskositet. Dette er data som er av stor betydning for å vurdere om funn er drivverdige eller ikke.

Til logging brukes ofte både strålekilder som sender ut gammastråling og kilder som sender ut nøytroner. Gammastrålingen gir informasjon om tettheten i berggrunnen rundt borehullet, mens nøytronene gir informasjon om bl.a. hydrokarboninnholdet. Det er kapslede radioaktive kilder som benyttes. Håndteringen av de radioaktive kildene skjer bl.a. på boredekk på offshore installasjoner. Det benyttes langskaftet redskap for å oppnå trygg avstand til strålekilden som skal skrues inn i boreverktøyet som en skrue. Når kildene ikke er i bruk, lagres de i egnede skjermingsbeholdere. Disse kan være overraskende store, spesielt skjermingsbeholderne for nøytronkildene, pga. nøytronenes store gjennomtrengningsevne.

5.3.8 Bestrålingsvirksomhet

Ved bestråling er som oftest hensikten å påvirke et stoff, materiale eller vev på en slik måte at man får en bestemt virkning under kontrollerte betingelser. Eksempler på bestrålingsvirksomhet er sterilisering av medisinsk engangsutstyr, emballasje, krydder, elektronisk utstyr og bestråling av blod i forbindelse med blodoverføring. Stråledosene det er snakk om er ofte svært høye og strålekilden er sterk. Til tross for de store stråledosene er det ingen fare for at de bestrålte produktene i seg selv blir radioaktive eller på annen måte bærer med seg stråling etter bestråling, fordi fotonenergien er for lav. Tradisjonelt brukes radioaktive strålekilder, men alternativ teknologi basert på røntgen er også tatt i bruk den senere tid.

Hensikten med **blodbestråling** er å svekke immunstoffer i blodet slik at faren for potensielt livstruende immunreaksjoner som følge av blodoverføring reduseres. Bestrålingsanleggene kan på en enkel og kontrollert måte gi blodet den stråledosen som er nødvendig for å svekke immunstoffene, uten å ødelegge andre nyttige blodkomponenter. Blodoverføring med bestrålt blod er aktuelt for pasienter med dårlig immunforsvar som f.eks. beinmargstransplanterte, for tidlig fødte barn og pasienter med annen alvorlig immunsvikt.

Bestrålingen av **næringsmidler** som f.eks. krydder, reduserer forekomsten av bakterier som kan følge med næringsmidlene. Strålingens virkning er at den ødelegger sykdomsfremkallende organismer, som f.eks. salmonella og e-coli. Det stilles krav til at bestrålt krydder skal merkes med betegnelsen «bestrålt» eller «behandlet med ioniserende stråling», slik at forbrukeren selv kan avgjøre om den ønsker å bruke krydder som er bestrålt eller ikke. Forbrukernes valg vil dermed ha stor innvirkning på mengden krydder som blir bestrålt.

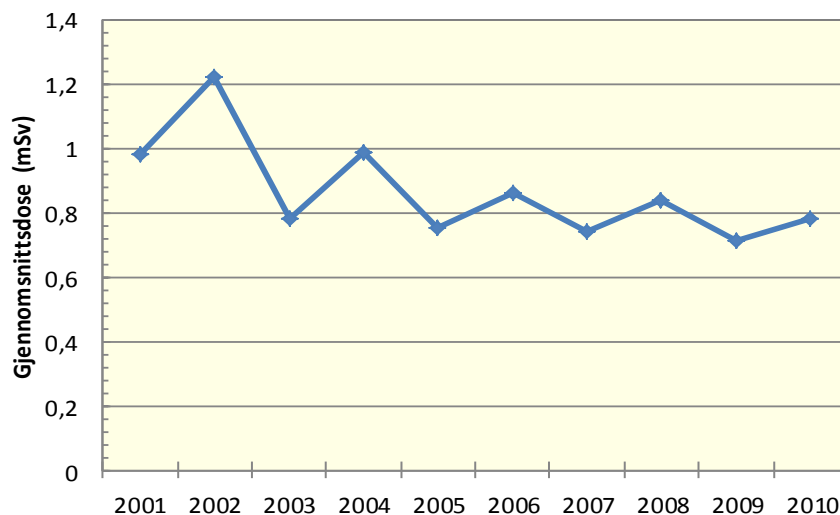
5.3.9 Ymse radioaktive kilder i samfunnet

Det finnes diverse bruksområder for radioaktive materialer som ikke er industriell strålebruk, men der det radioaktive materialet tilsettes ulike produkter i industriell skala. Et eksempel er tilsetning av radioaktive materialer i lamper. Det kan være lamper som benyttes til gatebelysning, belysning i industrilokaler, i billykter etc. Små mengder av radioaktivt materiale tilsettes lampene for at disse skal tenne lettere. Det er verdt å merke seg at lyset som kommer fra lampene er vanlig lys, slik vi kjenner det fra andre typer lamper som ikke inneholder radioaktive stoffer. Hver for seg utgjør ikke det radioaktive materialet i lamper noe strålevernsmessig problem, men ved håndtering og avhending av tusenvis av slike lamper, øker strålenivåene og strålevernspromatikken blir tydeligere.

Et annet bruksområde for radioaktive materialer er tilsetning som aktivatorer til fosforer, slik at disse sender ut lys. Et eksempel som tidligere var veldig populært, var bruk av radiumholdig maling - selvlysende maling som i stort omfang ble benyttet på merkeskilt, instrumentpaneler og klokker. Fra rundt 1910 og en del tiår framover ble urvisere malt med radiummaling, noe som førte til sykdom av varierende alvorlighetsgrad blant de yrkeseksponerte som følge av stråleeksponering over lang tid. I dag produseres klokker med selvlysende visere etter samme prinsipp, men nå er gjerne radiumet byttet ut med tritium, som er langt mindre skadelig (P. Frame, 1999). I begge tilfeller gir slike klokker beskjedne stråledoser til personen som bærer klokken.

5.4 Stråledoser til operatør i industriell radiografi

Bruk av strålekilder innebærer risiko for at arbeidstakere og andre kan bli utsatt for stråling. Dersom arbeidstagerne kan bli utsatt for mer enn 1 mSv/år skal det benyttes persondosimetre som registrere stråledosene. Ved utøvelse av industriell radiografi og loggevirksomhet er operatørene spesielt utsatt og stråledosene skal følgelig registreres. Figur 5.8 viser doseutviklingen for industrielle radiografioperatører, dvs. gjennomsnittet av årsdosene til operatører som har mottatt en reell stråledose, for hvert år i perioden 2001 – 2010. Vi ser av figuren at den gjennomsnittlige årsdosen de fleste år er i underkant av 1 mSv/år, og at det er nedadgående tendens i stråledoser med årene.



Figur 5.8 Figuren viser doseutvikling for industriell radiografioperatører i Norge i perioden 2001-2010. Gjennomsnittet er beregnet ut fra alle med årsdose over null. Figuren viser at stråledosene de fleste år er i underkant av 1 mSv/år og figuren indikerer videre en nedadgående tendens i stråledoser med årene.

Mulige forklaringer på den positive tendensen med nedadgående stråledoser over tid er at virksomhetene i økende grad tar HMS-aspekter rundt strålingsproblematikken på arbeidsplassen på alvor, som kan være et resultat av høy kompetanse og god kommunikasjon mellom bransje, myndighet og relevante private aktører.

5.5 Virkemidler for å hindre uhell og sikre arbeidsmiljø

5.5.1 Kompetanse

Kompetanse er avgjørende for sikker håndtering av strålekilder. Innenfor noen områder, som industriell radiografi, er kravene til kompetanse ekstra strenge. Her krever Strålevernet at brukerne skal kunne dokumentere en bestemt strålevernkompetanse – de skal være sertifiserte. Brukerne skal blant annet kunne måle stråling, vite når og hvordan man setter opp sperregrenser, kunne håndtere beredskapssituasjoner og ha generell kunnskap om strålingens egenskaper og hvordan man kan

skjerme seg mot den eller på andre måter redusere stråledoser. På andre bruksområder er kravene mindre spesifikke, men likevel står kompetanse sentralt og er vanligvis et tema ved tilsyn.

Norske myndigheter var tidlig ute med å stille kompetansekrav. Kompetanse har vært en forutsetning for å håndtere radioaktive kilder helt siden 1960-tallet da de første retningslinjene for strålevern ved industriell radiografi og industrielle kontrollkilder kom. Den gang het det at den som skulle forestå arbeidet med strålekildene skulle ha autorisasjon på bakgrunn av erfaring og strålevernskunnskaper. Det første strålevernskurs for industriell strålebruk kom på plass etter et samarbeid mellom med Den Nederlandsk-Norske Reaktorskolen ved Institutt for atomenergi og Statens institutt for strålehygiene i 1965 (SIS; 1989).

5.5.2 Måleinstrumenter

Siden riktig bruk av måleinstrumenter er den eneste måten for brukeren å kunne kartlegge strålenivåer på arbeidsplassen, er det viktig at brukerne har egnet måleutstyr tilgjengelig og har kunnskaper om hvordan måleinstrumentene skal brukes og hva de gir av informasjon. Overvåking av stråledoser må også gjøres for at den enkelte person skal få kjennskap til den faktiske strålebelastningen over tid.

5.5.3 Oversikt og kontroll

Oversikt og kontroll over strålekilder er viktig innenfor alle bruksområder. Det finnes en lang rekke eksempler på at kilder har kommet på avveier eller har blitt stjålet. I 2006 ble det for eksempel funnet en stjålet radioaktiv strålekilde i et lekeskur på Eiksmarka i Bærum (Statens strålevern, 2007). I slike tilfeller skyldes det ofte bare flaks hvis ingen får skadelige stråledoser.

5.5.4 Regelverk

I Norge er det utarbeidet retningslinjer og regelverk som skal bidra til godt strålevern. Regelverket er moderne og i tråd med internasjonale retningslinjer, som EU-regelverket og det Internasjonale atomenergibyråets anbefalinger. På noen områder er det i tillegg utarbeidet veiledere til strålevernforskriften som gir brukerne større innsikt i hvordan hver enkelte paragraf kan forstås og hvordan regelverket kan etterleves.

5.5.5 Risikovurdering

I alt HMS-arbeid står risikovurderingene sentralt. Dette innebærer at hver enkelt virksomhet må kartlegge og dokumentere risiko, og ved behov iverksette tiltak som reduserer risikoen. Det kan f.eks. være nødvendig med spesiell kompetanse, prosedyrer, måleutstyr og beredskapsutstyr.

Referanser til Kap. 5.

SIS. SIS 50 år: 1939-1989. Østerås, Statens institutt for Strålehygiene, 1989.

NDT-foreningen. Øystå Ø. For sikkerhets skyld: NDT-foreningen i Norge 25 år. Billingstad: Norsk forening for ikke-destruktiv prøving, 1997.

Johansen & Jackson 2005. Johansen GA, Jackson P. Radioisotope gauges for industrial process measurements. Chichester : John Wiley, 2004.

IAEA 2005. Categorization of radioactive sources: safety guide. Safety standards series RS-G-1.9. Wien: International Atomic Energy Agency, 2005.

Frame P 1999. Radioluminescent Paint. Oak Ridge Associated Universities. <http://www.ornl.gov/ptp/collection/radioluminescent/radioluminescentinfo.htm> (14.02.2014)

Statens strålevern 2007. Beredskapshendingar i 2006. StrålevernInfo 2:2007. Østerås: Statens strålevern, 2007. <http://www.nrpa.no/dav/311877700a.pdf> (13.02.2014)

6 Forskningsmessig strålebruk

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>Forskningsmessig strålebruk omfatter et vidt spekter av ulike typer ioniserende strålekilder, dvs. åpne og kapslede radioaktive kilder, røntgenapparater, partikkel-akseleratorer m.m. Åpne radioaktive kilder kan brukes som sporelementer, dvs. merke ikke-radioaktive stoffer med et radioaktivt sporelement for å kunne følge disse og dermed kartlegge kjemisk og fysiologiske prosesser innen biologiske systemer. Dette kan gi ny kunnskap om næringsopptak, metabolisme og utskillelsesmekanismer m.m. i menneske, dyr og planter. Røntgenapparater brukes typisk til å kartlegge materialeegenskaper, dvs. struktur og elementinnhold m.m. Analyse av struktur krever ofte røntgenapparater med lavenergetisk stråling, dvs. apparater med lav eller ingen egenfiltrering, og dermed svært høyt stråleutbytte.</p> <p>Bruk av strålekilder er et viktig hjelpemiddel i forskning og analyse, og på mange områder finnes ingen realistiske alternativer til denne strålebruken.</p>	<p>Forskningsmessig strålebruk kjennetegnes ikke først og fremst av sterke strålekilder (med unntak av syklotronen), men snarere av variert og ikke-standardisert strålebruk. Arbeid med åpne radioaktive kilder innebærer risiko for internbestråling pga. inntak av radioaktive stoffer gjennom nese og munn. Radioaktivitet i væskeform innebærer også risiko for radioaktiv forurensning i form av søl (kontaminering). Dette stiller store krav til brukerne i den forstand at man må kunne vurdere faremomenter og foreta risikoanalyser når nye forskningsprosjekter skal igangsettes.</p> <p>Bruk av åpne kilder medfører også et avfallsproblem, og krever gode rutiner for behandling og klassifisering av radioaktivt avfall.</p> <p>Kompetanse hos strålebrukerne mhp. på egen beskyttelse er viktig, spesielt fordi strålebruken er variert og ikke-standardisert. I tillegg kreves også kunnskaper om egenskapene til ulike nuklidetyper for å finne den mest egnede type for det aktuelle forskningsprosjektet.</p>

6.1 Hvorfor og hvor brukes strålekilder i forskning

Bruk av forskjellige typer strålekilder har hatt en sentral plass innen naturvitenskapelig og medisinsk forskning helt siden oppdagelsen av stråling. Det er særlig det forhold at stråling enkelt kan måles og detekteres som gjør at strålekilder har en stor betydning i forskningen. Med økende kunnskap om hvordan stråling vekselvirker med materie har en kunnet få detaljert innsikt i mange grunnleggende egenskaper, sammensetning og struktur i stoffer og materie enten det er uorganisk materiale eller levende liv som studeres. En av de største oppdagelser i forrige århundre var uten tvil beskrivelsen av arvemolekylets (DNA) struktur og egenskaper av Watson og Crick i 1953 basert studier av DNA med bruk av røntgendiffraksjon. Målinger og karakterisering av strålingen som går igjennom studieobjektet vil kunne gi informasjon om det studerte objekt både på det makroskopiske nivå og helt ned til det atomære nivå. Ofte vil strålekilden være plassert utenfor det aktuelle forskningsobjekt og det er måledata om strålingen som absorberes, transmitteres eller spres i objektet som er bærer av informasjon om objektet – og derved skaper ny kunnskap.

Det er også utbredt i forskning å ha strålekilden inne i forskningsobjektet. Ved bruk av åpne radioaktive kilder kan ulike typer biomolekyler eller andre forbindelser «merkes» med et radioaktivt stoff, og man kan følge biomolekylets bevegelse ved å måle strålingen fra det radioaktive stoffet. Avhengig av hvilken type deteksjonsutstyr som brukes kan man bestemme tilstedeværelse av selv ørsmå konsentrasjoner av de radioaktive stoffene (spormengder), og dermed av det aktuelle molekylet/stoffet som skal studeres. Deteksjonsgrensen ved bruk av radioaktiv merking vil generelt

være langt lavere enn ved tradisjonelle kjemiske analyser, og dette vil derfor være den fortrukne metode og på mange områder det eneste alternativet. Med dagens avanserte analyseapparat kan man typisk detektere beta-emittere som H-3 i konsentrasjon på 1 Bq/l, mens deteksjonsgrensen for gammaemitterende radionuklider er enda lavere.

Ikke-medisinsk forskningsmessig strålebruk bedrives først og fremst ved universiteter og høyskoler, samt ved noen store private virksomheter. Totalt er det gitt ca. 20 godkjenninger til ikke-medisinsk forskningsmessig strålebruk i Norge. Medisinsk forskning med bruk av strålekilder er også utbredt men da primært i tilknytning til universitetssykehus. Typer strålekilder og metoder for medisinsk forskning er som beskrevet i kapitlene 2-4 om medisinsk bildediagnostikk og strålebehandling og omtales ikke nærmere her.

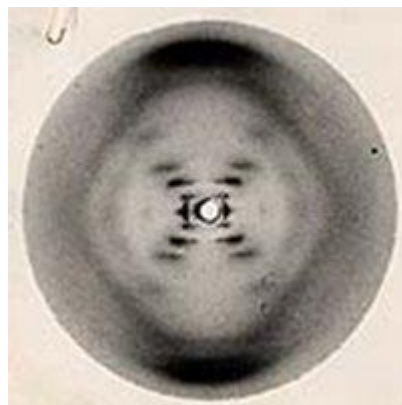
Syklotronen ved universitetet i Oslo står i en særstilling når det gjelder strålekilder og strålebruk ved universiteter. Denne er kort omtalt under kap. 6.5, mens produksjon og bruk av såkalte PET-nuklider er nærmere beskrevet under kap. 4.3.

6.2 Bruk av røntgenapparater

Bruk av røntgenapparat innen forskning kan grovt sett inndeles i 3 ulike grupper etter apparatspesifikasjon og bruksområde.

6.2.1 Røntgendiffraksjon

Et klassisk bruksområde er apparater konstruert for røntgendiffraksjon der en ved å måle intensitetsvariasjoner i ulike retninger av røntgenstråling som trenger igjennom et stoff kan få kunnskap om sammensetning og struktur. Røntgendiffraksjon har vært blant de viktigste metoder for forskning på strukturer i molekyler - også kompliserte biomolekyler. En innføring i fagområdet krystallografi kan anbefales via lenken: www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/index-en.html (18.02.2013). Betydningen av metoden røntgendiffraksjon fikk raskt den høyeste vitenskapelige anerkjennelse ved at pionerene Max von Laue fikk Nobels fysikkpris i 1914 og William Henry Bragg og hans sønn William Lawrence Bragg delte Nobels fysikkpris i året etter, 1915. Et av de mest berømte røntgendiffraksjonsbilder er utvilsomt Rosalind Franklins røntgendiffraksjonsbilde av en DNA – fiber fra 1951, se fig. 6.1 og som ledet til at James Watson og Francis Crick i 1953 publiserte i det anerkjente tidsskriftet Nature at strukturen til DNA molekylet var en dobbel spiral.



Figur 6.1 Røntgendiffraksjonsbilde av en DNA fiber. Foto: Rosalind Franklin.

I apparatur for røntgendiffraksjon plasseres prøven inne i apparatet, og mønsteret av spredt stråling fra prøven analyseres og gir informasjon om gitterstruktur m.m.

6.2.2 Røntgenfluorescens

En annen vanlig ikke-destruktiv metode er såkalt røntgenfluorescens. Her blir den aktuelle materialprøven bestrålt med røntgenstråling med passende energi og materialet vil da sende ut såkalt

«karakteristisk stråling» ved en fluorescens prosess. Ved å måle på denne karakteristiske strålingen vil en kunne få kunnskap om hvilke grunnstoffer en materialprøve er sammensatt av. Metoden er mye bruk innen geologi og mineralogi samt kvantifisering av ønskede og uønskede grunnstoffer f. eks miljøgifter. Metoden har god følsomhet (på ppm - nivå), god presisjon og er enkel. I nyere tid har håndholdte røntgenfluorescens instrumenter blitt mer vanlige. Disse likner på store pistoler som rettes mot objektet som skal analyseres, og brukes typisk for å bestemme hva slags metaller som inngår i objektet, se fig 6.2



Fig. 6.2 Håndholdt instrument for materialidentifikasjon. (Bilder gjengitt med tillatelse fra brosjyre fra Holger Hartmann AS.)

6.2.3 Røntgenavbildning

Røntgenavbildning brukes også i forskningsøyemed og er basert på de samme prinsipper som brukes innen medisinsk diagnostikk og industriell radiografi. Apparattype og bruksområde tilpasses de aktuelle objekter og kan variere mye fra analyse av malerier og oldtidsfunn til fettfordeling i husdyr.

	Bruksområde	Ca. antall anlegg
Røntgendiffraksjon; Fastmontert og innelukket røntgenapparat; 30 – 60 kV	Material- og strukturanalyse	45
Røntgenfluorescens; Håndholdte og fastmonterte instrumenter; 50 kV	Materialidentifikasjon	10
Røntgenapparat for avbildning i spesialskjermede rom, inkludert industrielle CT- maskiner; 100- 200 kV	Identifikasjon og analyse av gjenstander, prøver og oldtidsfunn.	15

6.3 Bruk av kapslede radioaktive kilder

Kapslede radioaktive kilder ved universiteter og høyskoler brukes typisk til undervisning /demonstrasjon og til kalibrering av måleapparat mm. Kapslede radioaktive kilder er i henhold til internasjonal anbefaling inndelt i ulike farekategorier fra 1 – 5, der 1 er høyeste farekategori. (IAEA-Tecdoc - 1344 «Categorization of radioactive sources. IAEA 2003). Beskrivelse av de ulike farekategoriene er gitt i tabell 5.1.

Oversikt over totalt antall kapslede kilder innmeldt fra universiteter med godkjenning for ikke-medisinsk forskningsmessig strålebruk er angitt i tabell 6,1.

Som det sees av tabell 6.1 hører langt de fleste kapslede kildene hjemme i de laveste farekategoriene, og innen forskningsmessig strålebruk brukes det ikke kilder i de to farligste kategoriene.

Tabell 6.1 Innrapportert samlet beholdning av kapslede radioaktive kilder ved universitetene. Farekategori 5 omfatter de minst farlige kildene, mens de farligste kildene tilhører kategori 1.

Kildetyper	Bruksområde	Typisk aktivitet	Fare-kategori	Ca. antall
Gamma og betakilder	Kalibrering og undervisning/demonstrasjon	37 – 1000 kBq	5	200
Alfa og nøytronkilder. Po-210 Am/Be, Pu/Be	Fuktighetsmålere, eliminering av statisk elektrisitet.	Opptil 60 GBq	4 - 5	15
Am/Be, Pu/Be		Over 60 GBq	3	4
Gammakilde	Bestrålingsvirksomhet	185 GBq (2003)	3	1

6.4 Bruk av åpne radioaktive kilder

Åpne radioaktive kilder betyr at det radioaktive materialet ikke er innkapslet, men kan typisk foreligge som væske eller gass. Det finnes et stort antall radioaktive nuklider som aktivt brukes som åpne radioaktive kilder innen ulike bruksområder, og forhold som kjemisk element, strålingstype (alfa, beta eller gamma), halveringstid etc. vil spille inn ved valg av kildetype.

Typiske eksempler på denne type bruk kan være merking av proteiner, hormoner, enzymer mv. for å følge omsetning av næringsstoffer og andre kjemiske og fysiologiske prosesser i biologiske systemer. Som sporstoff benyttes mye rene beta-emitterende radionuklider, slik som H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, men også gamma-emittere som Tc-99m, I-125, I-131 blir benyttet.

For å følge relativt hurtige prosesser med tidsskala på timer og dager bør man av strålevernshensyn bruke nuklider med kort halveringstid (timer og dager), og fordi kilden ikke skal kapsles inn kan man likeledes av strålevernshensyn tillate seg å bruke radioaktive stoffer med lite gjennomtrengelig beta-stråling som f.eks. H-3. I forhold til bruk av kapslede radioaktive kilder vil det blant åpne kilder være en overvekt av kortlivede isotoper og isotoper med lite gjennomtrengelig stråling. Pr forsøk brukes typiske aktivitetsmengder i området kBq til noen få MBq. Som det sees av tabell 6.2 er det størst forbruk i de minst farlige klassene (klasse 5 og 4).

Uranylacetat brukes for preparering av biologiske materiale for undersøkelse i elektronmikroskop. I denne prepareringen gjør man bruk av stoffets kjemiske egenskaper. Stoffet inneholder imidlertid uran, og er dermed svakt radioaktivt.

I tabell 6.2 er angitt samlet innrapportert forbruk av ulike typer åpne radioaktive kilder fra universiteter, vitenskapelige høyskoler og store private virksomheter med godkjenning for forskningsmessig strålebruk. Åpne radioaktive kilder er generelt inndelt i ulike fareklasser, der gruppe 1 (rødt) er høyeste fareklasse og gruppe 5 (blått) er laveste. Tabellen inkluderer ikke F-18 produsert ved syklotronen ved UiO.

Tabell 6.2 Innrapportert forbruk av åpne radioaktive kilder - 2010.

Nuklide	Total aktivitet MBq	Fargekode og fareklasse
H-3	3000	5
C-14	280	4
Na-22	74	3
P-32	390	2
P-33	88	5
S-35	8053	5
Cr-51	107	4
Co-57	0,44	3
Co-60	74	2
Zn-65	0,04	3
Cd-109	0,14	3
I-125	248	3
I-131	2020	3
Sb-125	1,6	3
Cs-137	0,06	1
Uranylacetat	0,18	

Rødt representerer høyeste fareklasse (fareklasse 1), mens blått er laveste klasse (fareklasse5).

Arbeide med åpne radioaktive stoffer foregår i egnede laboratorier. Disse er klassifisert i klasse A, B og C etter mengden radioaktivitet som brukes. Arbeide med store mengder radioaktivitet skal foregå i klasse A laboratorium, med strenge krav til sikkerhetssystemer m.m. Med unntak av klasse A laboratoriene ved Oslo syklotronsenter, foregår forskningsmessig arbeide med åpne radioaktive kilder i laboratorieklassene B og C.

6.5 Nuklideproduksjon ved Oslo syklotronlaboratorium

Syklotronen ved UiO ble åpnet 1 1979, og brukes til studier av nukleære prosesser og produksjon av radioaktive nuklider til forskning, medisin og industri. Under produksjon avgir syklotronen nøytron og gammastråling i et vidt energispekter, og det stilles omfattende krav til skjerming og til fysiske og administrative sikkerhetssystemer rundt bruken av denne. Selve syklotronen er skjermet med 1,7 m tykke betongvegger, og sikkerhetssystemene som er installert omfatter ulike varslingsystemer og interlocksystemer. Hovedproduktet fra syklotrondriften er i dag F-18. Dette er en såkalt PET-nuklide (se kap. 4.3) som brukes i nukleærmedisinske undersøkelser. Daglig produseres 140 GBq av denne nukliden, og videre bearbeiding og behandling av denne for produksjon av legemiddelet ¹⁸F-FDG foregår inne i hotceller i klasse A laboratorier ved Norsk medisinsk syklotronsenter.

6.6 Stråledoser til personale ved forskningsmessig strålebruk

Forskningsmessig strålebruk involverer sjelden sterke strålekilder, og på mange områder som strukturrøntgen i lukkede systemer, enkle analyser med beta-emittere vil det ikke være behov for

persondosimetri. Innen strålevernets persondosimetritjeneste var det i 2010 registrert 488 personer som «forskningspersonell». Av disse hadde 477 ingen registrert dose, mens gjennomsnittsdosen for de resterende 11 personer var 0,55 mSv. I fig. 6.2 er vist utviklingen i gjennomsnittsdoser for forskningspersonell for perioden 2001-2010. Bemerk at arbeidstakere innen visse medisinske grupperinger som bioingeniører m.m. også kan drive forskning.

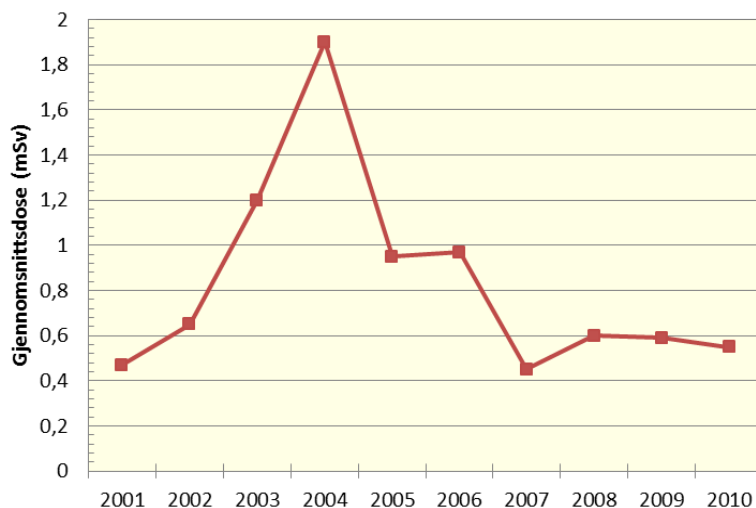


Fig.6.2 Gjennomsnittsdoser for forskningspersonell, for personer som har fått minst én registrerbar dose i løpet av angjeldende år.

6.7 Virkemidler for å hindre uhell og sikre arbeidsmiljø

Røntgenapparater for strukturanalyse må ha svært lav filtrering, og har dermed svært høyt stråleutbytte. Hudskader (forbrenningsliknende skader) kan oppstå i løpet av sekunder dersom hånd eller fingre kommer inn i primærstrålen i forbindelse med skifte av materialprøve. Bruk av tekniske beskyttelsestiltak som interlocksystemer som bryter strålen ved skifte av materialprøver etc. er derfor viktig ved denne apparattypen.

Ved start av nye forskningsprosjekter som krever bruk av åpne kilder er risikoanalyser et viktig verktøy for å identifisere faremomenter og forhindre stråleuhell. For kritiske arbeidsoperasjoner skal det utarbeides prosedyrer som beskriver sikker utførelse og korrekt bruk av måleutstyr for kontroll av mulig søl med radioaktive stoffer.

Bruk av åpne radioaktive kilder ved universitetene varierer over tid, avhengig av hvilke forskningsprosjekter som pågår. Prosjektene foregår ved mange ulike avdelinger og institutter, og i store og komplekse organisasjoner det kan være vanskelig å ha en samlet oversikt over denne strålebruken. Gode interne rutiner for innkjøpskontroll av åpne radioaktive stoffer er et viktig virkemiddel for å forhindre at disse kommer på avveier, og for å sikre at eventuelt avfall tas hånd om på forsvarlig måte

Strålevernopplæring av personale er et viktig virkemiddel, og mange universiteter har etablert interne kurs og sertifiseringssystemer for bruk av ulike strålekilder. Ved sporstoffundersøkelser er det viktig med kompetanse om så vel stråleegenskaper som kjemiske egenskaper ved de ulike alternative stoffene som kan brukes. Fra et strålevernssynspunkt bør man i størst mulig grad velge kortlivede nuklider framfor langlivede, og rene beta-emittere framfor gamma-emittere der dette er mulig.

7 Nukleære anlegg

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
<p>I Norge har vi i dag to forskningsreaktorer i drift ved Institutt for Energiteknikk. Disse benyttes til mange ulike formål. Det er også et anlegg for deponering eller lagring av lavt og middelaktivt radioaktivt avfall.</p> <p>Forskningsreaktoren på Kjeller benyttes som nøytronkilde for forskning innen materialvitenskap, produksjon av radioaktive isotoper og doping av silisium.</p> <p>Forskningsreaktoren i Halden benyttes til forskning på reaktorbrensel, kapslingsmateriale- og andre typer materialer. Forskningen skal føre til sikrere bruk av kjernekraft i hele verden. Anlegget inngår i et stort internasjonalt forskningssamarbeid, OECD Halden Reactor Project, med 19 medlemsland.</p> <p>I det nasjonale anlegget for lav- og mellomaktivt avfall i Himdalen (Aurskog – Høland) deponeres radioaktive kilder brukt i industri og medisin, og resten driftsavfall fra de nukleære anleggene på Kjeller og i Halden</p>	<p>Regjeringen gir konsesjon til drift av de to norske forskningsreaktorene. Nåværende konsesjoner gjelder ut 2014 for Haldenreaktoren og ut 2018 for øvrige anlegg. Reaktorer designes normalt for lang tids bruk, opp til 60 år. Det gir utfordringer blant annet når det gjelder sikkerhet ved drift, vedlikehold, aldring, lagring av brensel, dekommisjonering mm. Det internasjonale atomenergibyrået (IAEA) publiserer standarder, retningslinjer og veiledere som tar for seg disse utfordringene. Norge følger internasjonale standarder.</p>

7.1 Nukleære anlegg i Norge - historikk

Norge var blant de første land i verden, etter de 5 atomvåpenstatene (USA, Sovjetunionen, Kina, Storbritannia og Frankrike) og Canada, til å konstruere og få en fisjonsreaktor i drift. Forskningsreaktoren JEEP I på Kjeller kom i drift 1951 og var resultat av et samarbeid med FOM¹, en forskningsstiftelse for undersøkelse av materie i Nederland. Det var Institutt for atomenergi (IFA) som designet og driftet JEEP I, mens FOM sto for anskaffelse av uran.

Senere kom Haldenreaktoren i 1959, NORA i 1961, og JEEP II i 1966. Norge hadde også planer om sivil bruk av reaktorer i skip, men dette ble aldri realisert. Etter Granliutvalget sin rapport i 1978 konkluderte Stortinget med at det ikke var aktuelt for Norge å utvikle atomenergi. Etter hvert ble IFA sine aktiviteter endret mer mot annen energirelatert forskning, og IFA skiftet i 1980 navn til Institutt for energiteknikk (IFE).

Det ble tidlig tydelig at det var behov for å ha kontroll med den nukleære teknologien, og særlig nukleært materiale for å unngå at det ble spredt til grupper eller stater som kunne tenkes å misbruke dette. I 1953 holdt den amerikanske presidenten Dwight D. Eisenhower den kjente «Atoms for peace» talen. Talen ble en utløsende faktor for bruk av kjernekraft til fredelige formål i hele verden.

1. ¹ Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie

Det Internasjonale atomenergibyrådet (IAEA) ble opprettet i 1957 for å fremme fredelig bruk av atomenergi og tilsvarende hindre misbruk. Ikke-spredningsavtalen trådte i kraft i 1970, og i Norge kom Atomenergilooven i 1972. Statens Atomtilsyn ble opprettet samme år.

I dag er JEEP II og Haldenreaktoren fortsatt i drift. Det er Institutt for energiteknikk (IFE) som eier og driver de norske forskningsreaktorene. IFE administrerer også det nasjonale anlegget for lav- og mellomaktivt avfall i Himdalen.

Fakta

I 1932 oppdaget den britiske forskeren James Chadwick en ny partikkel, nøytronet, og allerede året etter ble konseptet om en nukleær kjedereaksjon foreslått av den ungarske forskeren Leó Szilárd. Han søkte i 1934 patent på sin ide om en enkel kjernereaktor.

Noen år senere, i 1939, oppdaget Leo Szilárd og Enrico Fermi nøytronmultiplikasjon i uran, noe som beviste at en kjedereaksjon var mulig. Denne oppdagelsen førte til et brev til president Franklin D. Roosevelt, der det ble advart om muligheten for at Tyskland kunne forsøke å bygge en atombombe for bruk under 2. verdenskrig.

2. desember 1942 gikk den første kunstige selvdrevne nukleære kjedereaksjon, kalt Chicago Pile-1, kritisk. Dette skjedde på en racketsbane nedenfor Stagg Field Stadion ved University of Chicago. Det var Enrico Fermi som sto for designen. Enrico Fermi var også involvert i Manhattanprosjektet, som utviklet de første atombombene som ble sluppet over Japan under 2. verdenskrig.

Etter 2. verdenskrig har det vært en utvikling med bruk av kjernekraft i mange land, hovedsakelig til strømproduksjon. I tillegg har det, særlig under den kalde krigen, vært stor produksjon av atomstridshoder.

7.2 Om anleggene

7.2.1 JEEP II

JEEP II er en 2 MW forskningsreaktor som kom i drift i 1966. Reaktoren er lokalisert på Kjeller, ca. 20 km nordøst for Oslo sentrum.

JEEP II er en tanktype reaktor (tungtvann) som opereres på 55° C og atmosfærisk trykk. Standardbrensel er 3,5 % anrikete UO₂ pelleter, med kapsling av aluminium. Reaktoren er i drift rundt 265 dager/år.



Figur 7.1. JEEP II på Kjeller. Foto: Statens strålevern.

JEEP II har flere bruksområder. Den brukes blant annet til:

- Grunnforskning i faste stoffers fysikk. Med nøytronene kan man ”se” små strukturer og studere atomer og molekyler på et nivå som ingen andre forskningsinstrumenter gir mulighet for. Per i dag er JEEP II-reaktoren på Kjeller den eneste vitenskapelige nøytronkilden i Norden.
- Produksjon av isotoper for medisinsk og teknisk bruk.
 - Industrielt brukes isotoper til kontrollkilder for tetthets- og mengdemålinger, industriell radiografi mm.
 - Medisinsk brukes isotoper i stor grad til diagnostisering og behandling av kreft. Det er IFE som har ansvar for distribusjon av radioaktive legemidler til sykehus rundt om i Norge. Noen isotoper produseres i JEEP II, syklotroner ved universiteter og sykehus produserer F-18, og en del isotoper mottas fra utlandet og distribueres videre. Mange av disse legemidlene har kort halveringstid, derfor er det viktig med en effektiv logistikk og distribusjon.
- Doping av silisium med fosfor fra nøytroninnfangning for produksjon av halvledere. Hovedsakelig til bruk i kraftelektronikk, blant annet i el- og hybridbiler.

7.2.2 Haldenreaktoren

Halden Boiling Water Reactor (HBWR) er en 25 MW forskningsreaktor som kom i drift i juni i 1959. HBWR er lokalisert inne i Månefjellet, like utenfor Halden sentrum.

Reaktoren er en kokvannsreaktor (tungtvann) som opereres på 235° C og 33 bar. Standardbrensel er 6 % anrikete UO₂ pelleter, med kapsling av zircaloy. For eksperimentalbrensel brukes anriking opp til 19,9 %.

Reaktoren er i drift rundt 200 dager/år. Når reaktoren er i drift leveres damp til nabobedriften Norske skog for bruk i produksjonen.



Figur 7.2. Reaktorhallen til HBWR. I midten vises reaktorlokket. Foto: IFE.

Haldenprosjektet er et internasjonalt forskningsprosjekt under OECD-organisasjonen Nuclear Energy Agency (NEA) der statlige sikkerhetsorganisasjoner, nasjonale forskningsstiftelser og industribedrifter fra 19 land samarbeider. Haldenprosjektet administreres av Institutt for energiteknikk. Haldenprosjektet ble startet i 1959 og er i dag Norges største internasjonale forskningsprosjekt.

Eksperimentene som utføres i HBWR gir grunnleggende kunnskap om reaktorbrensel og ulike materialers egenskaper ved langtidsbruk i reaktoranlegg.

HBWR har flere bruksområder. Den brukes hovedsakelig til:

- Undersøkelse av nukleært brensel. HBWR kan simulere forhold i ulike typer reaktorer for å teste egenskapene til brensel.
- Undersøkelse av materialer, hovedsakelig kapslingsmateriale eller konstruksjonsmateriale til reaktortank. Mange av forsøkene gjennomføres med bestrålte prøvestykker, noe som gir nødvendig realisme når det måles brenselstemperatur, pinnetrykk, dimensjonsstabilitet, korrosjon og sprekkvekst under representative termo - hydrauliske betingelser.
- Utvikling av nye målemetoder og instrumenter ved undersøkelse av brensel og materialer.

7.2.3 Himdalen

Det finnes ett nasjonalt avfallsdeponi i Himdalen (Akershus) for sluttlagring av radioaktivt lav- og mellomaktivt avfall. Det er Statsbygg som er eier av lageret, mens IFE er ansvarlig for driften av anlegget i Himdalen.

Ved Stortingsvedtak 28. April 1994 ble det besluttet at et deponi for lav- og mellomaktivt avfall skulle bygges. Himdalen ble åpnet i 1998. Anlegget er bygget i fjell, som fire separate fjellhaller med felles atkomsttunnel. Kapasiteten i deponiet er dimensjonert for behovet frem til rundt år 2030.

Avfallet i Himdalen er driftsavfall fra de nukleære anleggene på Kjeller og i Halden og radioaktive kilder brukt i industri og medisin. Det er også planer om å lagre radioaktivt forurensede komponenter fra de to norske forskningsreaktorene i Himdalen etter at disse har blitt dekommisjonert.

7.3 Drift

Drift av reaktorene fører med seg flere anlegg. Ved Kjeller produseres det brenselspelleter og brenselspinner for bruk i både HBWR og JEEP II. I Halden finnes et eget eksperimentalverksted hvor testbrensel for Haldenreaktoren blir instrumentert.



Figur 7.3. Brenselspelleter klare til å monteres til brenselspinner. Foto: Statens strålevern.

I tillegg er det flere lagre for både ubestrålt og bestrålt (brukt) brensel inne på IFEs område både på Kjeller og i Halden



Figur 7.4. Et av lagrene for bestrålt brensel. Foto: Statens strålevern.

Etter invitasjon fra Norge evaluerte et team fra IAEA i 2007 og 2010 sikkerheten ved HBWR. De kom med flere anbefalinger til forbedringer, som IFE og Strålevernet har fulgt opp. Hovedkonklusjonen deres er at reaktoren drives på en sikker måte, selv om reaktoren er over 50 år.

7.4 Lagring av brensel

Siden oppstarten av de norske forskningsreaktorene har brukt brensel blitt lagret ved anleggene på Kjeller og i Halden. Per i dag finnes det ikke noe deponi for brukt brensel i Norge.

Flere utvalg nedsatt av regjeringen har kommet med sine anbefalinger. Det seneste var Strandenutvalget som kom med sin rapport i 2011 om «Mellomlagerløsning for brukt reaktorbrensel og langlivet mellomaktivt avfall». Det er opp til regjeringen å foreslå og Stortinget å vedta hvordan og hvor det brukte brensel skal behandles og mellomlagres.

7.5 Fysisk sikring

Den fysiske sikringen rundt de norske forskningsreaktorene følger retningslinjer gitt fra IAEA i «Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities» IAEA Nuclear Security Series No. 13.

I 2003 ble det av IAEA foretatt en International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) av anleggene i Norge. Resultatene av denne evalueringen resulterte i at den fysiske sikringen av anleggene i årene etterpå har blitt kraftig forbedret. Det er planlagt ny IPPAS gjennomgang i 2015.

Det pågår også en prosess for å styrke den fysiske sikringen ytterligere på bakgrunn av hendelsene den 22. juli 2011.

7.6 Synergieffekter til andre fagfelt

Siden Norge har forskningsreaktorene finnes det nukleær kompetanse i landet. Dette er blant annet til stor nytte for den nasjonale atomberedskapen. IFE er faglig rådgiver for Kriseutvalget for atomberedskap, og innkalles ved behov når det er hendelser av nasjonal og internasjonal betydning.

IFE bidrar også med kompetanse til mange prosjekter for å øke internasjonal atomsikkerhet. Her kan blant annet nevnes prosjekter under Regjeringens handlingsplan for atomvirksomhet og miljø i nordområdene (atomhandlingsplanen) som er norske myndigheters viktigste virkemiddel for samarbeid om atomsikkerhet i Nordvest-Russland. Handlingsplanen ledes og finansieres av Utenriksdepartementet. Det overordnede målet med handlingsplanen er å bidra til å redusere risikoen for alvorlige ulykker og radioaktiv forurensning, og å hindre at radioaktivt og spaltbart materiale kommer på avveier. Siden atomhandlingsplanen ble etablert i 1995 og fram til og med 2013, er det over statsbudsjettet blitt bevilget om lag 1,8 milliarder kroner. IFE har særlig arbeidet med å bedre sikkerheten ved Kola og Leningrad kjernekraftverk i Russland.

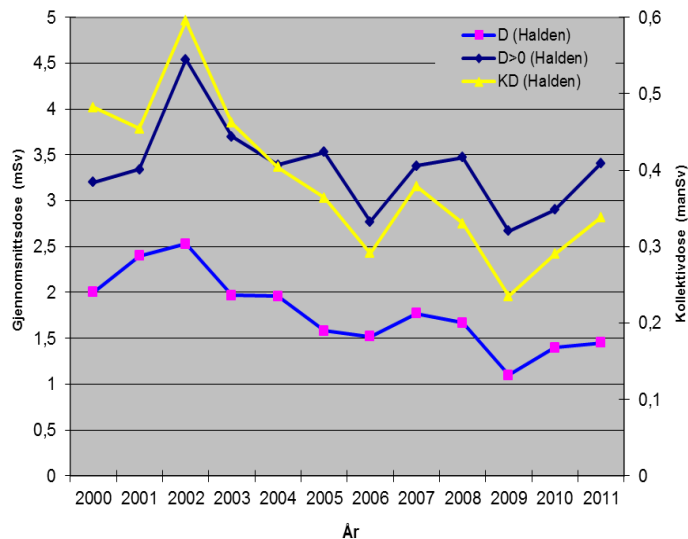
Simulatorforskningen i Halden har vist seg å ha verdi for sikkerhet også i annen industriell virksomhet.

7.7 Persondoser

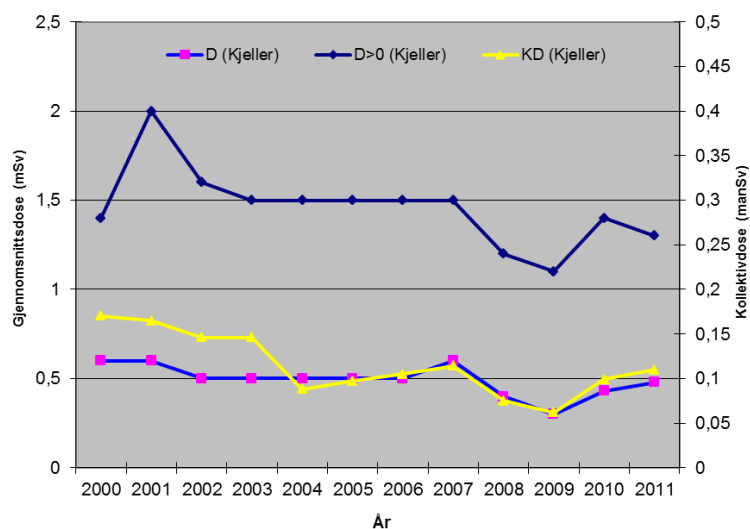
Den årlige dosegrensen til yrkeseksponerte i Norge er satt til 20 mSv/år. Dette er i samsvar med internasjonale anbefalinger gitt av ICRP. ICRP har også en anbefaling om maksimalt 100 mSv i løpet av 5 sammenhengende år, og maksimalt 50 mSv i et år. IFE har tillatelse fra Statens strålevern til å følge dette, så lenge de bestreber seg på å holde dosene så lave som mulig.

IFE har sin egen persondosimetritjeneste som måler persondosene til de yrkeseksponerte ved IFE. En oversikt over dosene innrapporteres jevnlig til Statens strålevern.

Figur 7.5 og 7.6 gir en illustrasjon av doser til yrkeseksponerte ved IFE Halden og ved IFE Kjeller siden år 2000 (IFE årsrapporter 2000-2012). Av figurene ser man at persondosene ved IFE Halden er en del høyere enn ved IFE Kjeller. Hovedårsaken til dette er håndtering av brukt brensel og eksperimenter ved HBWR.



Figur 7.5. Gjennomsnittsdoser for nukleært personell ved IFE Halden. For alle (D), for personer som har fått minst én registrerbar dose i løpet av gjeldende år (D>0,1), og kollektivdosen (KD).



Figur 7.6. Gjennomsnittsdoser for nukleært personell ved IFE Kjeller. Gjennomsnittsdosen for alle (D), for personer som har fått minst én registrerbar dose i løpet av gjeldende år ($D > 0,1$), og kollektivdosen (KD).

Referanser til kap. 7

Njølstad O. Strålende forskning: Institutt for energiteknikk 1948-98. Oslo: Tano Aschehoug, 1999.

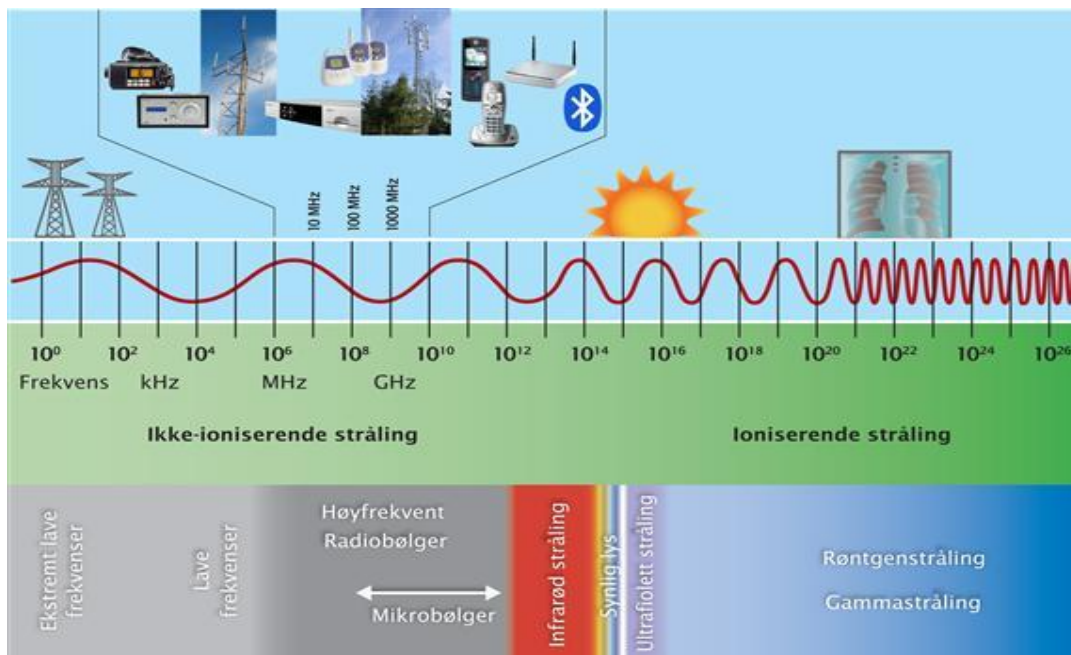
Haldenprosjektet. Kjeller, Institutt for energiteknikk (IFE). <http://www.ife.no/no/ife/halden/haldenprosjektet/hrp-no> (14.02.2014)

IFE årsrapporter 2000-2012. Årsrapporter fra IFE til Strålevernet vedrørende persondoser ved Kjeller/Halden.

8 Bruk av ikke-ioniserende strålekilder

8.1 Kort om ikke-ioniserende stråling og biologiske virkninger

Det skilles mellom ioniserende og ikke-ioniserende stråling fordi virkningen på bestrålt medium er ulik. Ikke-ioniserende stråling (IIS) har ikke høy nok strålingsenergi til å ionisere atomene i et materiale, derav navnet. IIS deles i to hovedområder, optisk stråling og elektromagnetiske felt. Optisk stråling dekker infrarød stråling, synlig lys og ultrafiolett stråling (UV) som er i grenseområdet til den ioniserende delen av det elektromagnetiske spekteret. Det vi gjerne omtaler som elektromagnetiske felt er fra statiske felt, opp til radiofrekvente felt eller også populært kalt radiobølger. Figur 8.1 illustrer de ulike typer elektromagnetisk stråling og felt.



Figur 8.1 Det elektromagnetiske spekteret, der ikke-ioniserende stråling defineres fra UV/synlig lys gjennom høy- og lavfrekvente felt til statiske felt.

Solen er vår viktigste naturlige energikilde på jorden, og forutsetning for alt liv. Solen gir det meste av sin stråling i det optiske området. Bruken av menneskeskapt IIS-kilder er svært omfattende i hele samfunnet etter at elektrisitet ble innført for mer enn 100 år tilbake - den andre industrielle revolusjon. Det finnes et stort antall ulike typer og anvendelser av IIS-kilder for å dekke behov i alle samfunnssektorer – helsevesen, industri, samferdsel, kommunikasjon, forsvar, overvåking, energiforsyning/distribusjon og innen det private konsummarked. Beskrivelsen av bruksområder vil begrense seg til anvendelser der strålevern er et hensyn som må ivaretas spesielt. Bruksområdene er svært forskjellige og det er naturlig med noen hovedinndelinger.

Optisk stråling har kort rekkevidde i biologisk vev og hovedvirkningen er termisk oppvarming i vevet. Det er noen viktige unntak som gjelder UV der fotokjemiske effekter i tillegg kan føre til helseskader som kreftutvikling i hud, skader på øyets hornhinne, allergiske reaksjoner og raskere elding av hud. UV-området er spesielt viktig for flere biologiske effekter og er inndelt i underområder etter en bølgelengdeskala kalt UV-C (100-280 nm), UV-B (280-315 nm) og UV-A (315-400 nm). Øyet er et spesielt organ da det har evne til å slippe synlig lys helt inn til netthinnen og øyets linse kan forsterke irradiansen på retina opptil en faktor 100 000 i forhold til innkommende irradians til hornhinnen. Øyet har mange mekanismer for å regulere hvor mye lys som kan tolereres. Dersom bestrålingen av netthinnen blir for sterk kan permanente øyeskader inntre. Dette er særlig viktig å ta hensyn til med bruk av laser-kilder. Skadelige fotokjemiske effekter i øyet kan også skje med kilder som har mye

blått lys. For optiske kilder er det vanlig å karakterisere strålingen med irradiansen som er innfallende effekt pr. flateenhet, W/m^2 . For virkninger som er sterkt bølglengdeavhengig beregnes ofte en vektet irradians for den aktuelle virkning f.eks. rødhetsreaksjonen i hud etter UV bestråling.

Biologiske effekter av elektromagnetiske felt er avhengig av frekvens. Utsettes kroppen for felt i det høyfrekvente området over 10 MHz kan det gi energiabsorpsjon i kroppen og føre til oppvarming av kroppsvevet. Dette skyldes elektrisk motstand i vevet og overført energi til molekyler med elektrisk ladning og dipolmoment. Temperaturøkningen bestemmes av hvor mye energi som absorberes i kroppen, og størrelsen benevnes spesifikk absorpsjonsrate, SAR, som uttrykker energi overført til vev per tidsenhet og masse og angis i watt per kilo (W/kg). Kjente biologiske effekter skyldes denne oppvarmingseffekten og dosebegrepet er knyttet til SAR. Etablerte biologiske og helseeffekter sammenfaller med kroppens respons på en temperaturøkning på mer enn $1^\circ C$. Det er ikke påvist skadelige effekter ved temperaturøkninger under $1^\circ C$. En slik temperaturøkning vil kunne oppnås når hele kroppen eksponeres for en SAR-verdi på ca. $4 W/kg$ i 30 minutter. Man har satt en sikkerhetsfaktor på 10 for yrkeseksponerte, dvs. at grenseverdien for helkroppseksponering er $0,4 W/kg$. Tilsvarende for befolkningen generelt er det ytterligere en sikkerhetsfaktor på 5, slik at grenseverdi for befolkning generelt gjelder en SAR-verdi på $0,08 W/kg$.

For frekvenser under 10 MHz vil induert elektrisk strøm i vev være den begrensende virkning når det gjelder beskyttelse mot skadelige effekter. Dersom induert strøm blir for høy vil det utløse ukontrollerte nerve- og muskelreaksjoner som kan være helsefarlige. Det er innebygget tilsvarende sikkerhetsfaktorer for de etablerte grenseverdier for induert strøm som for SAR.

8.2 Utvikling av regelverk og normer

Den første norske strålevernlovgivingen omfattet i utgangspunktet kun ioniserende stråling. Imidlertid sto det i lov om bruk av røntgenstråler og radium mv. fra 1938 i § 6 at (Kongen) «Han kan også gjøre loven gjeldende for stoffer og apparater som frambringer andre slags elektriske stråler, så som ultrafiolette stråler (høyfjellssol), lys, varmestråler (diatermi), kortbølger, høyfrekvente strømmer og lignende». Det var først i 1983 at den første norske forskriften innen IIS ble fastsatt ved forskrift for solarier/høyfjellssoler. Med ny strålevernlov fra 2000 kom en ny generell forskrift om strålevern og bruk av stråling i 2004, sist revidert i 2010, der IIS er omfattet med et eget kapittel.

Et EU-direktiv for eksponering av arbeidstakere for optisk stråling er nylig implementert av Arbeidstilsynet. Et tilsvarende EU-direktiv for elektromagnetiske felt er på trappene. Begge er til dels i tråd med anbefalingene fra den internasjonale kommisjonen for beskyttelse mot ikke-ioniserende stråling, ICNIRP, (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) når det gjelder grenseverdier og i hovedsak sammenfallende med strålevernforskriften.

Det har i mange år vært arbeidet internasjonalt med sikkerhet med IIS-kilder og produkter både med hensyn til helse og annen påvirkning. Sentrale organisasjoner er IEC (International Electrotechnical Commission) så vel som regionale og nasjonale parallellorganisasjoner som CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) og NEK (Norsk Elektroteknisk Komite). Disse organisasjonene har mange hundre underkomiteer som arbeider med utvikling av harmoniserte standarder for ulike produkttyper og anvendelser i ulike typer miljøer (medisinsk, industri, marint, luftfart, energiforsyningsanlegg (høyspent og lavspent) forbrukerprodukter mv.) Standarder som er spesielt viktige vedrørende strålevern med IIS-kilder er de som omhandler laser-produkter, radiosendere, husholdningsprodukter (solarier), kommunikasjonsutstyr mv.

Det er ingen doseovervåking for arbeidstakere som eksponeres for IIS, derfor har vi liten kjennskap til yrkeseksponering utover den informasjonen tilsyn gir oss.

8.3 Bruk av sterke ikke-ioniserende kilder på mennesker

Anvendelse av IIS på mennesker kan ha enten rene medisinske eller mer kosmetiske formål. Kosmetiske anvendelser omfatter tilsiktet eksponering der hensikten er mer å korrigere utseende enn å lindre sykdommer eller symptomer. De omfatter også solarier til bruningsformål.

Tilsyn gjennomført i 2010 og 2011 av yrkeseksponering ved noen utvalgte representative hudavdelinger der UV brukes, viste at grenseverdier ikke overskrides ved normale arbeidsprosedyrer.

8.3.1 Medisinsk bruk av IIS-kilder

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
Rundt 5 % av alle nyfødte har så høyt nivå av bilirubin ved fødselen (gulsott) at de får lysbehandling (hyperbilirubinbehandling). Blått og grønt lys brukes til slik behandling på alle barselavdelinger. Mange barn behandles derfor hvert år og behandlingen varer fra ett til fire døgn.	Barna må ha tildekket øyne, ellers kan lyset skade øynene. Det er for øvrig liten risiko både for pasient og ansatte. Utfordring kan være dosimetri og god nok kontroll på lyskildens effekt.
På hudavdelinger brukes synlig lys og UV til behandling av forskjellige hudlidelser som psoriasis, acne, atopisk eksem, i noen situasjoner sammen med medikamenter som øker hudens følsomhet for UV. Ca. 120 000 nordmenn har psoriasis. Det behandles enten med sterke UV-B kilder, eller med UV-A sammen med medikamenter som inneholder psoralener. Effekten er å dempe celledelingen lokalt.	Tilsyn viser at det er liten risiko for ansatte. For pasienten er det viktig å beskytte frisk hud mot solforbrenning. Dosimetrien for pasienten er i betydelig grad erfaringsbasert.
Ved behandling av noen typer hudkreft og enkelte andre hudlidelser brukes synlig lys i kombinasjon med fotosensibiliserende krem som gjør svulstområdet spesielt lysfølsomt. (PDT). Teknikken er under utvikling også for andre kreftformer ved hjelp av lysledere.	En del pasienter opplever behandlingen som smertefull avhengig av hvor sterk hudreaksjonen blir. Det kan i sjeldne tilfeller oppstå infeksjon.
Laser klasse 4 brukes mer og mer som kirurgisk verktøy, som ved korreksjon av syn, ved netthinnelesning, i munnhulen og innen annen type kirurgi.	Ved gode prosedyrer, og riktig beskyttelse er det liten risiko for skade. En alvorlig skade som kan oppstå er arrdannelse på netthinnen som kan gi helt eller delvis synstap.
I tannklinikker brukes UV og blått lys til herding av dentale biomaterialer i tannfyllinger. Anslagsvis er det 3-4 millioner fyllinger per år som blir lysherdet. (Bruzell EM, 2010)	Det kan i løpet av kort eksponeringstid (noen få minutter) gi øyeskader hos tannlegen, men bruk av øyebeskyttelse hindrer dette. Informasjon er et viktig virkemiddel.
Radiofrekvente felt (høyfrekvent strøm) brukes både til kirurgisk diatermi som kniv, og innen fysioterapi der varmeutvikling i vev utnyttes	Det er en viss risiko for forbrenningsskader på pasient.

MR og ultralyd er omtalt i kapittel 2 og omtales derfor ikke her.

8.3.2 Lysbehandling

Lysbehandling av nyfødte med gulsott ble tatt i bruk rundt 1960. Erfaringsmessig så man at nyfødte som lå nær vindu ble raskere kvitt gulsotten og fant at lys hadde en positiv virkning. Man begynte å bruke blått lys, i dag tas LED i bruk.

UV brukes ved behandling av en rekke hudlidelser. Behandlingen skjer på legekontorer, hudavdelinger, men også ved selv-administrering privat med ulike kilder og etter avtale med lege.

Hovedgruppene av disse pasientene er psoriatikere (ca. 120 000 pasienter i Norge) og pasienter med atopisk eksem (1-2 % av befolkningen har det vedvarende, 15 – 20 % har hatt det i perioder av livet). UV-behandling er et av mange behandlingstilbud. UV-behandlingen skjer ved gjentatte eksponeringer over lang tid, typisk 15 – 40 enkeltbehandlinger med gradvis økende dose. Anslagsvis gir dette i størrelsesorden en million behandlinger pr år.

8.3.3 Fotodynamisk terapi

Fotodynamisk terapi (PDT) er en metode for behandling av hudlidelser som basalcellekarsinom, aktinisk keratose og Bowens sykdom. Behandlingen skjer ved at det påføres en lyssensibiliserende krem på tumoren. Deretter bestråles området med rødt lys. Det aktive stoffet i kremen er metylaminolevulinat (MAL). Det opptas selektivt i kreftcellene og omdannes til et stoff som ikke tåler lys (protoporfyrin). Når disse eksponeres for det røde lyset, dannes reaktivt oksygen, som medfører at tumorcellene dør.

Ved Rikshospitalet-Radiumhospitalet, har det siden 2000 vært tilbudt PDT som alternativ til kirurgisk eksisjon av basalcellekarsinomer i ansiktet, nå kan hudleger gjøre behandlingen lokalt og anvendelsen er utvidet. Et grovt anslag er at det ble gjort rundt 12 000 lysbehandlinger knyttet til topikal PDT av og forstadier til- hudkreft i 2011.

8.3.4 Kirurgisk diatermi

Kirurgisk diatermi er en utbredt teknikk der høyfrekvent strøm benyttes for skjæring og koagulering av vev. Dette er vanlig teknikk ved mange typer kirurgiske inngrep med den store fordel at en unngår blødninger i sårflaten og at vev utenfor snittet ikke skades. Mekanismen er sterk oppvarming/fordamping av vevet i kontakt med eller svært nær diatermielektroden. Oppvarmingen oppstår på grunn av den høye elektriske strømtettheten i det aktuelle vevsområdet. Typisk frekvens som anvendes er opp mot 0,5 MHz og effekter i området 30-200 Watt. Metoden har vært benyttet lenge og det er utviklet internasjonale standarder for sikkerhet ved slikt utstyr. Det er risiko for pasientskader og skader på operatører ved bruk av slikt utstyr. Kompetanse og påpasselighet er viktig for å unngå skader. I skade og uhellsrapportering fra sykehusene har diatermi til tider spilt en dominerende rolle (Grimnes & Martinsen, 2010).

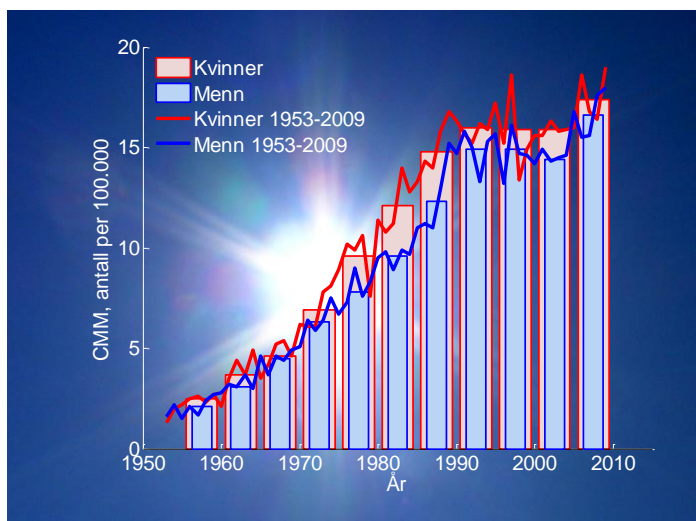
8.4 Kosmetisk bruk av IIS-kilder

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
Bruk av «høyfjellssol» og solarier har vært populært i mange år og en stor del av befolkningen har brukt slike for å oppnå en brunfarge. Omfanget er i dag anslagsvis 2000 solstudio med 10 000 solarier tilgjengelige for publikum hvorav ca. 90 % er helt eller delvis ubetjente. De tidlige «høyfjellssolene» er nå ute av markedet fordi de lett ga forbrenninger på grunn av høyt innhold av UV-C og UV-B. Dagens solarier har mest UV-A og litt UV-B og det er spesifikke forskriftskrav til slike apparater.	Solarier er klassifisert som kreftfremkallende av WHO, og særlig er solforbrenninger en risikofaktor. En større tilsynsrunde i 2008 viste at 77 % ikke oppfylte alle forskriftskrav og over halvparten hadde UV-nivåer over de tillatte grenseverdiene. Spørreundersøkelser viser at ca. 4 % rapporterer at de i løpet av et år er blitt så solbrent at de flasket etter solariebesøk mens ca. 35 % har blitt røde. (Kreftforeningen, 2011). Selv om overlevelsen for hudkreft er betydelig høyere enn tidligere, er sykdommen alvorlig for de som rammes og det er store behandlingskostnader for samfunnet.
I kosmetiske klinikker benyttes laser klasse 3B, 4 og intenst pulset lys (IPL) til behandlinger som hårfjerning, glatting av rynker etc. Vi kjenner til rundt 140 slike klinikker som anvender slike kilder.	Omfanget av private kosmetiske klinikker er økende. Apparatene er så kraftige at de kan gi skader ved feilbruk. Mangelfull kompetanse hos den som utfører behandlingen øker risikoen for skader som varige arrdannelse og i verste fall synstap dersom behandlingen skjer nær øynene.
Anvendelse av radiofrekvente kilder innen kosmetisk virksomhet begynner å få innpass innen kosmetisk virksomhet, blant annet til rynkebehandling.	Ny forskrift stiller kompetansekrav til sterke ikke-ioniserende kilder, dvs. der grenseverdier kan overskrides. Det er ukjent omfang og ukjent skadepotensiale utover risiko for brannskader og arrdannelse

8.4.1 Solarier

Innendørs soling er utbredt i Norge. De første kunstige kildene, høyfjellssolene, ble solgt i Norge fra 1937 og det første apparatet for å sole hele kroppen kom i 1972 (Statens strålevern, 2008). Kosmetiske solarier ble vanlige i Norge fra ca. 1980, og de fleste solariene har siden da vært utstyrt med fluorescerende lamper.

Hudkreft antas i stor grad å være solfremkalt. I 2010 fikk 1518 nordmenn diagnosen føflekkreft og 338 døde av føflekkreft i følge tall fra Kreftregisteret. Figur 8.2 viser tidsutviklingen i forekomsten av ondartet føflekkreft i Norge både for kvinner og menn. Dette er den nest hyppigste kreftformen blant kvinner i aldersgruppene 15-54 år og blant menn i aldersgruppen 30-54 år. Dødsfall som skyldtes ikke-melanom kreftformer (hovedsakelig kreft i keratinocytene) var 50 i 2010. De nordiske kreftregistrene anslo i 1997 at 95 % av ondartede føflekktilfeller kunne vært unngått dersom ingen var eksponert for sol. Danske hudeksperter tilskriver at 85 % av alle hudkreftformer, skyldes soling (Bispebjerg Hospital, 2010). Vi kjenner ikke hvor stor andel av hudkrefttilfellene som skyldes solariebruk, men den største andelen skyldes naturlig sol.



Figur 8.2 Alders-standardisert rate av ondartet føflekkreft (CMM) per 100.000, hos menn og kvinner i Norge. Stolpediagrammene er 5-årsmidler. Tall fra Krefregisteret, 2011.

Kombinerte analyser av mer enn 20 epidemiologiske studier konkluderte med at risikoen for føflekkreft økte med 75 % når solariebruken startet før fylte 30 år (IARC, 2006). Det er også vist at personer med lys hudtype har høyere risiko enn personer med mørkere hudtyper. UV-eksponering fører til at huden eldes raskere, noe som antas at kan være forstadium til hudkreft. Dette, sammen med at unge tenker mindre på langsiktige konsekvenser, er grunnlaget for at det er innført 18 års aldersgrense for bruk av solarium fra 2014.

Det er mye debatt om positiv effekt av solariebruk for vitamin D-produksjon og forebyggingseffekten av enkelte kreftformer. En rapport fra Strålsäkerhetsmyndigheten i Sverige (SSM, 2012) sitt vitenskapelige råd gir ingen støtte for dette. De er tydelige på at man ikke skal blande diskusjonen om D-vitamin med strategier for hudkreftforebygging. Strålevernet mener det i dag ikke er forskningsmessig støtte for å anbefale bruk av solarier for vitamin D-produksjon.

Nylige målinger Statens strålevern har gjennomført av 194 solarier i 78 norske virksomheter viste at solarier i gjennomsnitt avgir dobbelt så mye UVB-stråling og rundt seks ganger mer UVA-stråling enn sommersonne i Oslo. Det var stor variasjon mellom solarierne; UVA-strålingen fra solarierne var 3 - 26 ganger sterkere enn fra sommersonne i Oslo. I tillegg til økt risiko for hudkreft gir soling i solarium økt risiko for andre senskader, slik som for tidlig aldring og pigmentforandringer i huden og malignt melanom i øyet.

8.4.2 Kosmetisk bruk av sterke optiske strålekilder.

Ny strålevernforskrift av 2011 stiller strengere kompetansekrav til den som bruker sterke ikke-ioniserende kilder som laser klasse 4 og IPL, på mennesker. Bruk av sterke ikke-ioniserende kilder, kan kun gjøres av helsepersonell, og enhver slik virksomhet skal ha en lege som står ansvarlig for virksomheten. Tilsyn har avdekket at mange klinikker ikke er klar over dette og heller ikke oppfyller kravene.

8.5 Tiltak for å redusere risiko

Eksposeringen for UV-stråling, enten ved soling eller bruk av solarier, innebærer en betydelig helsefare. Det viktigste tiltak for å få ned hudkreftforekomsten er at befolkningens solingsvaner endres og informasjon er det viktigste virkemiddel. Den må være målrettet til særlig utsatte grupper og spesielt tilrettelagt for unge, småbarnsforeldre og sydenturister. Solingsvaneundersøkelser er

nødvendig for å kunne tilpasse informasjonsmaterieil til spesielle målgrupper. Unge vet mye om soling og risiko, men er likevel begrenset flinke til å beskytte seg. Kreftforeningen har i samarbeid med Strålevernet gjennomført spørreundersøkelser blant unge i aldersgruppen, den siste i april 2012. 1000 intervjuobjekter i alder 18 år +. De viktigste funn var:

- Over halvparten av de spurte har blitt solbrent i Norge i løpet av siste året.
- Folk er stort sett flinke til å bruke solkrem, flinkere til å passe på barna enn seg selv
- 1 av 3 er på sydenferie minst en gang i året
- De som har vært på sydenferie tar oftere solarium enn andre.
- Ca. 20 % tar solarium
- 3 av 4 har hørt om UV-indeks, men færre har sjekket den.

Informasjon virker, folk beskytter seg bedre, men det gjenstår fortsatt mye. Vi må få ut bedre og mer informasjon til unge. Vi må videreutvikle informasjonen om UV-varslingen via www.yr.no og andre media så folk vet hva UV-indeks betyr og kan gjøre tiltak i forhold til UV-nivået, særlig turister. Strålevernet har et godt samarbeid med Meteorologisk institutt og det er igangsatt spesialvarsler når det kan forventes høy UV-stråling fra sola i daglige værvarsel på radio og TV-sendinger, særlig i ferieperioder som påske og sommer.

For solarier er målsettingen at barn og unge ikke tar solarium og at andre personer som har høyere risiko for hudkreft, som de med lysest hudtype, får informasjon som forebygger. Samtidig er det en målsetting med styrket tilsyn fra kommunene slik at solariene oppfyller gjeldende krav både til bruksanvisning, merking og strålingsintensitet.

8.6 Industriell og forskningsmessig bruk av ikke-ioniserende kilder

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
UV benyttes blant annet til herding av materialer, til steriliseringsformål, insektkontroll i f.eks. produksjonslokaler for matvarer og medisinsk utstyr. Omfanget av bruk til steriliseringsformål er relativt stort fra operasjonsstuer, dentale og medisinske instrumenter, dyrestaller, laboratorier til ventilasjonssystemer og vannrensing. En annen anvendelse er ikke-destruktiv kontroll av materialer og produkter som pengesedler, industrikomponenter, elektronikk mv.	Det har forekommet episoder med forbrenningsskader, særlig øyeskader forårsaket av UVC til steriliseringsformål. Bedre prosedyrer (tidsbegrensning), sikkerhetsinnretninger og innkapsling av kilden gjør at det har vært få slike episoder de senere år. Vi anser risikoen derfor som begrenset da de fleste UVC-kildene er innkapslet.
I industrien brukes radiofrekvente felt til oppvarming av materialer som plast (ved sveising av presenninger, oljelenser, permer og lignende) trevirke (for herding av lim ved laminering og tørking av materialet), tørking av matvarer (suppeposer) o.l.	Operatører kan oppleve eksponering for felt som overskrider grenseverdi, særlig tett ved elektrodene. Omfanget er begrenset, vi kjenner til rundt 10 bedrifter i Norge som anvender slik teknologi innen trevirke og omtrent samme antall med plastsveising.
Ved noen industrielle prosesser, som metallurgi og glassproduksjon, må infrarød stråling (IR) tas hensyn til som en mulig risikofaktor.	Risikoen med IR er fortrinnsvis knyttet til øyeskader som utvikling av grå stær dersom ikke nødvendig verneutstyr benyttes.
Energiforsyningen i samfunnet er i stor grad basert på elektrisitet som energibærer. Strømforsyningsanlegg er en vital del av samfunnets infrastruktur og består av kraftstasjoner, transformatorstasjoner, nettverk av ulike høyspentledninger og tilslutt lavspenningsnettverk. Energiforsyningen er derfor et viktig bruksområde med elektromagnetiske felt.	Det er et begrenset antall personer i Norge som arbeider på høyspenningsnettet med spenning tilkople, men de det gjelder kan oppholde seg i master svært nær ledningene. Eksponering over referanseverdi forekommer. Vurderinger basert på beregninger i forhold til basisbegrensninger danner grunnlag for arbeidet. Grenseverdiene for elektrisk felt kan overskrides enkelte steder under de største overføringslinjene. Dette er en utfordring for netteierne, særlig ved oppgradering av eksisterende ledninger.
Smelteverksindustrien bruker sterke magnetfelt, enten statiske eller lavfrekvente til å smelte masse for å utvinne metaller.	For de fleste er eksponeringen langt under grenseverdi, men ved arbeid inne i smeltehallen kan grenseverdier overskrides.

<p>Lasere brukes til mange ulike industrielle og forskningsmessige formål. Stikkord er avstandsmåling, nivellering, lesing av strekkoder, skjæring, boring, sveising, gravering, merking, måling og diverse former for bearbeiding av materialer. Fordelen med mange av de laserbaserte industriprosesser er høy presisjon, høy produktkvalitet, hurtige prosesser, høy grad av automatisering og lavere kostnader. Innen forskning er lasere ofte en vital del i avanserte måleinstrumenter innen spektroskopi og måleteknikk og brukes innen mange naturvitenskapelige og tekniske forskningsområder.</p>	<p>Det kan være sterke lasere som benyttes, men vi kjenner ikke til alvorlige skader ved industribruk da laserens enten er innebygget eller virksomhetene har gode sikkerhetsprosedyrer som forhindrer at noen utsettes for direkte laserstråle. Internasjonale standarder ble tidlig utviklet basert på militær forskning og erfaring i forkant av de industrielle anvendelser. I sjeldne tilfeller har øyeskade forekommet ved forskningsmessig bruk av lasere. Slike skader kan være permanente. Bruk av riktig øyebeskyttelse er svært viktig og fjerner risiko for øyeskader.</p>
<p>Innen atmosfæreforskning brukes kraftige radio/radar sendere til å studere elektriske egenskaper i bl.a. ionosfæren (EISCAT).</p>	<p>Disse er plassert i tynt befolkede områder. De representerer sjelden risiko for overeksponering, men det kan forekomme ved passering nær enkelte av antennene. Det forekommer sporadisk henvendelser fra publikum med spørsmål om strålefare.</p>

Innen industri og forskning er det mange former for anvendelser av IIS-kilder. Et eksempel er sveising av plastmaterialer til ulike produkter som presenninger, oljelenser, ventilasjonskanaler, plastpermer/lommer osv. Det er visse frekvenser i det radiofrekvente området som er frigitt til slike formål. Plastsveisemaskiner som opererer på 27,12 MHz er vanlig og med effekter på mange kilowatt. Ved mange produksjoner er sveiseprosessen automatiserte og arbeidstakere kan oppholde seg i trygg avstand fra de aktive elektrodene. Enkelte prosesser krever imidlertid manuell håndtering av materialer og elektroder og dette krever oppmerksomhet på eksponeringssituasjonene for arbeidstakere. Figur 8.3 viser en plastsveisemaskin som brukes i produksjon av oljelenser.



Fig. 8.3 Plastsveisemaskin for produksjon av oljelenser (Foto: Statens Strålevern)

En grunn til at industriell bruk av IIS-kilder foregår med liten/begrenset risiko for helseskader er at sikkerhetstiltak er innebygget i selve apparaturen. Eksempelvis for lasere ble det tidlig utviklet internasjonale standarder som innførte klassifisering av lasere avhengig av risikograd, med krav til merking, verneutstyr, brukerveiledning mv. (IEC, 2007). En annen organisasjon bør også nevnes; ACGIH (American Conference of Governmental Hygienists) som i mer enn 75 år har fokusert på sikkerhet for arbeidere i industrien grunnet fysiske og kjemiske påvirkninger i arbeidsmiljøet (<http://www.acgih.org/>).

For elektromagnetiske felt har anbefalingene fra ICNIRP vært viktige som kunnskapskilde for å vurdere risiko og sikre trygg bruk av radiofrekvente kilder.

Et stort forskningsanlegg som bruker mange ulike og kraftige radiofrekvente kilder er EISCAT anlegget i Tromsø. Denne linken viser bilder og annen informasjon om dette anlegget <http://palver.eiscat.uit.no/pubweb/> (24.05.2013)

8.7 Kommunikasjon og overvåkning

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
Kommunikasjon er i hovedsak basert på bruk av radiofrekvente kilder, typisk er radio/ TV-sendere, radiosamband, mobiltelefoner/ basestasjoner, trådløst nettverk, det nye nødnettet, etc. Utvikling av kabler med optiske fibre der lasere brukes som signalgivere har gjort det mulig å bygge ut signaldistribusjons-system med stor kapasitet (bredbånd).	For arbeidstakere som monterer/vedlikeholder sterke radiofrekvente strålekilder er det viktig å kjenne til eksponeringsnivået i ulike oppholds-områder da opphold nær aktive antenner kan føre til at grenseverdier overskrides. I noen tilfeller vil det være aktuelt å redusere effekt på eller stenge av f.eks. radio/TV/radarsendere under f.eks. vedlikeholds-/montasje arbeid. Mobilbruk har et stort omfang og har i perioder skapt usikkerhet og bekymring.
IIS-kilder har bred anvendelse innen ulike typer overvåkning, f.eks. radionavigasjon (GPS/LORAN/DECCA) og radarovervåkning av skips- og flytrafikk samt for å trygge ferdse (skips/flyradarer). Observasjon av nedbør gjøres presist med radar (nedbørradar). Avanserte radarer brukes både operativt og for overvåkning innen alle forsvarsgrener. I Norge er det også kraftige radaranlegg som inngår i et globalt nettverk for overvåkning av verdensrommet bl.a. for å overvåke banene til en økende mengde «romskrot» - som Globus- II radaren i Vardø.	Når større anlegg planlegges er det viktig å ta hensyn til plassering og operative begrensinger for å sikre at eksponering av publikum ikke er i strid med gjeldende regelverk.

Elektromagnetiske felt har i mer enn hundre år vært brukt for å kunne kommunisere over store avstander. Den italienske ingeniør G. Marconi lyktes i 1901 å sende trådløse signaler over Atlanterhavet mellom en sendestasjon i Cornwall (England) og en mottakerstasjon i Canada (Signal Hill, Newfoundland) – en avstand på ca. 3500 km. Dette ble starten på utviklingen av radiotelefon, radio/TV- sender, mobiltelefoni mv. Det er mange ulike frekvenser og effekter som benyttes avhengig av ønsket kommunikasjonstjeneste, dekningsområde, ulike operatører og krav til

støybeskyttelse. Det er et stort antall, både fastmonterte og mobile plattformer, for denne type tjenester.- fra enkle faste eller håndholdte radiosendere (walkie-talkie) til satellitt-baserte stasjoner for å oppnå global dekning. Nasjonale radio - og TV- sendere er ofte et nettverk av kraftige regionale sendere plassert slik at personer ikke blir eksponert over de aktuelle grenseverdier. For arbeidstakere som arbeider med slike systemer i aktive antenner må strålevern iakttas. I de senere år har det vært en omlegging fra analoge sendere til digitale bakkebaserte sendernett for lyd og bilde (DAB og DTT).

Anslagsvis er det ca. 2700 sendere for radio/TV. Bruk av mobiltelefoner er mulig de fleste steder med ca.10 000 basestasjoner som dekker alle operatørene. Figur 8.4 viser typiske master med baseantenner for mobiltelefoni (vestre) og mast med flere tjenester (høyre), mobiltelefoni øverst, nødnett i midten samt linksendere nederst.



Figur 8.4 Basestasjoner for mobiltelefoni (t.v.) og mast med flere tjenester(t.h.). Foto: Statens strålevern.

I 2010 var det rundt 5,7 millioner mobilabonnenter i Norge. I 2009 snakket norske mobilbrukere i gjennomsnitt 180 minutter per måned og sendte totalt 7 milliarder tekstmeldinger, dvs. 103 meldinger per måned per abonnent.

Nødnett er et nytt digitalt samband for politi, brannvesen, helsetjenesten og andre viktige samfunnsfunksjoner. I juni 2011 besluttet Stortinget at de tre nødnettene, helse, brann og politi, sine sambandsnett skal erstattes av et samlet nett som benytter TETRA-teknologi. Det sentrale Østlandet er utbygget med rundt 240 basestasjoner og med ca. 8000 brukere. Det er planlagt ca. 2000 basestasjoner for nødnettet totalt i Norge.

Figur 8.5 viser en typisk værradarstasjon og typisk lokalisering. En slik stasjon opererer kontinuerlig og leverer data som blir vist på værtjenesten www.yr.no som drives av Meteorologisk institutt og NRK.



Fig. 8.5 Værradarstajonen på Stad. (Foto Meteorologisk Institutt).

På dette nettstedet kan de siste radarobservasjoner fra hele nettverket av værradarer i Norge og Norden vises i animert form (<http://www.yr.no/radar/sør-noreg.html>, 23.05.2013)

Figur 8.6 viser Globus II radaren i Vardø som ligger bynært og det er gitt noen begrensninger så radaren ikke kan sende signaler mot bebyggelsen. Det finnes også andre radaranlegg og RF-sendere på samme sted.



Figur 8.6 Globus II i Vardø (Foto: Statens strålevern)

8.8 Spørsmål om helseeffekter

Kunnskapen om biologiske virkninger av RF-eksponering har vært grundig vurdert av nasjonale og internasjonale vitenskapelige komiteer ettersom ny kunnskap og nye forskningsresultater har kommet. Konklusjonene er at den lave eksponering publikum eksponeres for gir liten risiko. For en del situasjoner er det enkelt å gjøre tiltak som reduserer eksponering ved å gi råd om adferd samt gi informasjon.

I perioder har det i media og fra publikum vært uttrykt bekymring for den omfattende bruk av radiofrekvente kilder i samfunnet. Det har særlig vært fokusert på at bruk av mobiltelefon og trådløse nett kan være helsefarlig og at det er usikkerhet om de biologiske virkninger på lang sikt. Dette har kommet til uttrykk i mange land og har vedvart i mange år. I Norge ble en ekspertgruppe oppnevnt i 2010 av Folkehelseinstituttet etter oppdrag fra Helse- og Omsorgsdepartementet og Samferdselsdepartementet med mandat:"oppsummere den kunnskap som finnes vedrørende eksponering for svake høyfrekvente felt.... – vurdere forvaltningspraksis i Norge sammenlignet med

andre land....- gjennomgangen skal omfatte grenseverdier og begrunnelse for disse....". Ekspertgruppen avla rapport 2012 og konkluderte bl.a. med:

"Fordi eksponeringen til daglig ligger langt under ICNIRPs anbefalte grenseverdier, og siden det samlet sett ikke er sannsynliggjort at det opptrer skadelige helseeffekter ved eksponering under ICNIRPs referanseverdier, er det ikke grunn til å anta at den lave eksponering vi er utsatt for i dagliglivet i Norge er forbundet med helseisiko. På dette grunnlaget anser ekspertgruppen at befolkningen generelt er godt beskyttet mot uønskete helseeffekter fra RF-eksponering". (Folkehelseinstituttet, 2012).

8.9 Annen bruk

Bruksområde (nytte)	Risiko og strålevernutfordringer (kostnad)
IIS-kilder har bred anvendelse i ulike typer produkter beregnet for konsumentmarkedet for ikke-profesjonelle brukere som leketøy, mikrobølgeovner, induksjonskomfyrer, amatør radiosendere, laserverktøy, fritidsutstyr, mv. Det er de siste årene kommet laserpekere som tilhører klasse 3B på markedet. Normal bruk krever ikke mer enn klasse 2, disse sterkere typene er kun egnet til spesielle formål som å peke på stjernebilder.	Det er viktig at forbrukerprodukter oppfyller de gjeldende apparatstandarder, synliggjort ved CE-merking. Kraftige laserpekere har blitt et problem både direkte ved at barn bruker for sterke laserpekere som leketøy og skader synet og indirekte ved blinding av piloter, der det ikke er direkte risiko for synet. Vi har fått rapporter om flere episoder der barn har fått skadet syn. Utfordringen er å forhindre uvettig bruk på offentlig plass.

For slike produkter er det viktig at det finnes internasjonale apparatstandarder som skal sikre at forbrukere kan bruke slike produkter uten risiko. I praksis betyr det at sikkerhet må være innebygget i produktets egenskaper og ytelse. I EU/EFTA-sonen blir dette tilkjennegitt med at produktet er CE – merket. Men det hender at produkter kommer på markedet uten at de tilfredsstiller kravene, og det er derfor et europeisk samarbeid for markeds kontroll, det såkalte RAPEX – nettverket. http://ec.europa.eu/consumers/safety/rapex/index_en.htm. I Norge koordineres dette nasjonalt av Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) og de fleste tilsynsmyndigheter deltar. Produkter som kan representere en risiko for forbrukere blir omtalt på nettstedet «farlige produkter» - <http://www.dsb.no/no/Ansvarsomrader/Produkter-og-tjenester/Farlige-produkter1/>. For «farlige produkter» som er relatert til strålekilder legger Strålevernet også ut informasjon på sitt nettsted: <http://www.nrpa.no/farlige-produkter>

Ny strålevernforskrift krever tillatelse fra Statens strålevern til å ha og bruke sterke laserpekere på offentlige steder for å forhindre skader og blinding. Det ble i 2010 rapportert 152 episoder av blinding ved norske flyplasser, ingen har forårsaket ulykker så langt.

Referanser til kap. 8

Bispebjerg Hospital. Solens virkning på huden. Håndeksemer, hudkreft, psoriasis, tatoveringer. ForskningTema#3. København: Bispebjerg Hospital, 2010.

Bruzell EM. Strålende forhold i tannklinikken? Yrkeshygienikeren 2010: (1): 21-23.

Grimnes S, Martinsen T. Kirurgisk diatermi. Oslo : Medinnova, 2010

IARC 2006. Exposure to artificial UV radiation and skin cancer : views and expert opinions of an IARC Working Group that met in Lyon, France 27-29 June 2005. IARC Working Group on risk of skin cancer and exposure to artificial ultraviolet light 2005 Lyon, France. Lyon : IARC, 2006

ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields. (Up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics 1998; 74(4): 494-522.

Folkehelseinstituttet. Svake hørfrekvente elektromagnetiske felt – en vurdering av helserisiko og forvaltningspraksis. Rapport 2012:3. Oslo: Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2012. <http://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fhi.no%2Fdokumenter%2F6563fe9a33.pdf&ei=9Kb8UvfJPKSl4gTT34HYCw&usg=AFQjCNEpoUOP0UyFEvxz4A6W-FLILopQJg&bvm=bv.61190604,d.bGE> (13.02.2014)

IEC. Safety of laser products – part 1: equipment classification and requirements. NEK IEC 60825-1, 2nd ed. Geneve, International Electrotechnical Commission (IEC), 2007.

Kreftforeningen, 2011. Undersøkelse blant ungdom 15-24 år, april 2011: solingsvaner og solariumsbruk. Oslo: Kreftforeningen, 2011.

https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=https%3A%2F%2Fkreftforeningen.no%2FGlobal%2FOm%2520Kreftforeningen%2FRessurser%2520presserom%2FRapport%2C%2520ungdomsunders%25C3%25B8kelse%2520solingsvaner2011.pdf%3Fepslanguage%3Dno&ei=Ja38Us2dCqrw4gSsr4HwCw&usg=AFQjCNGJ-4H14tVzXNHnhtd-FkqFjix_w&bvm=bv.61190604,d.bGE (13.02.2014)

Sjømoen T-M et al. Radiofrekvente felt i våre omgivelser: målinger i frekvensområdet 80 MHz - 3 GHz. StrålevernRapport 2011:6. Østerås: Statens strålevern, 2011. <http://www.nrpa.no/dav/388936eecd.pdf> (13.02.2014)

SSM 2012. Rapport från SSM:s vetenskapliga råd om ultraviolet strålning 2011. Rapport 2012:14. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten, 2012. <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2012/SSM-Rapport-2012-14.pdf> (13.02.2014)

Tønne A, Meberg A, Hager HB. Endring i diagnostikk og behandling av hyperbilirubinemi hos nyfødte. Tidsskrift for den norske legeforening 2010; 130(1):18-20. <http://tidsskriftet.no/article/1932579> (13.02.2014)

9 Oppsummering

9.1 Strålebruken og prinsippene

Vi har i denne rapporten belyst mange ulike former for strålebruk i samfunnet. Bruk av strålekilder er som oftest svært nyttig og bruken er omfattende og dekker mange behov i forskjellige samfunnssektorer som medisin, industri og næringsliv, infrastruktur og forskning. Bruken har vært i kontinuerlig utvikling helt siden oppdagelsen av stråling og med økende innsikt i strålingens egenskaper.

Fra erfaring og forskning vet vi at bruk av strålekilder kan innebære en risiko for helseskade på personer eller miljøskade på kort eller lang sikt. Bevisstheten om mulig fare knyttet til strålebruk ble tidlig etablert. Det oppsto tidlig nye profesjoner både innen medisin og industri knyttet til anvendelse av strålekilder og internasjonal faglig utveksling av erfaring og ideer oppsto. Nye anvendelser av strålekilder spredte seg raskt fra land til land og internasjonalt faglig samarbeid oppsto tidlig om både strålebruk og strålevern. Dette samarbeidet har gjennom årene blitt utvidet og blitt mer forpliktende både faglig og politisk. Via internasjonale faglige organisasjoner og nettverk har regelverk for strålebruk blitt mer likeartet og harmonisert over landegrensene og det er felles kunnskap for vurdering av risikofaktorer knyttet til strålebruken. Det er viktig at dette internasjonale samarbeid videreføres og at søken etter ny kunnskap eller etterprøving av etablert kunnskap om stråling og dens virkninger fortsetter.

Prinsippene for strålevern; berettigelse, optimalisering og dosebegrensning, som utviklet seg i 1950-årene og de neste par tiårene har vist seg bærekraftige og solide gjennom en lang periode med nye anvendelser av strålekilder og nye problemstillinger. Prinsippene er utviklet med basis i erfaring og kunnskap, internasjonalt samarbeid om hvilke biologiske og helsemessige effekter som kan inntre etter bestråling, men også en vurdering og erkjennelse av hvilken risiko som kan vurderes som akseptabel og formulert slik:

- *Berettigelsesprinsippet* innebærer at strålebruken skal vurderes med hensyn til fordeler og ulemper. Strålebruk er berettiget når fordelene er større enn ulempene – for samfunn, menneske og miljø.
- *Optimaliseringsprinsippet* innebærer at strålevernet skal være innrettet slik at stråledoser blir lavest mulig, vurdert ut fra praktiske, tekniske, sosiale, økonomiske og andre forhold. Begrepet ALARA (As Low As Reasonably Achievable) brukes ofte i tilknytning til optimaliseringsprinsippet.
- *Prinsippet om dosebegrensning* innebærer at dosegrenser er fastsatt for individ eller befolkning - som skal sikre mot akutte helseskader og at risiko for sene helseskader er akseptabelt lave.

En nødvendig forutsetning for forsvarlig strålebruk og godt strålevern er god kompetanse i alle ledd og profesjoner knyttet til strålebruken. I de senere års utvikling av regelverk for strålebruk både nasjonalt og internasjonalt har krav til kompetanse for brukere av strålekilder blitt tydeligere og mer vektlagt.

9.2 Årsdose-statistikk for yrkeseksponerte

Med bruk av strålekilder vil det være arbeidstakere som kan bli eksponert for stråling. Dosene til yrkeseksponerte og befolkning for øvrig er regulert med dosegrenser fastsatt i strålevernforskriften. Dosegrensene er satt for å beskytte mot mulige skadelige effekter av ioniserende stråling, og er langt under terskelverdiene for alle kjente deterministiske effekter, og slik at risikoen for stokastiske effekter skal være ubetydelig.

Tabell 9.1 Dosegrensene for yrkeseksponerte og befolkningen

	Yrkeseksponerte	Generell befolkning
Helkropp (Effektiv dose)	20 mSv/år	1 mSv
Hud	500 mSv	50 mSv
Øyelinse	150 mSv/år	15mSv/år
Gravide	1 mSv (resterende del av svangerskap)	

Basert på dosestatistikk fra de siste årene vet man hvilke grupper av norske arbeidstakere som er mest utsatt. Det gjelder først og fremst de som må stå tett innpå pasienten under lengre intervensjonsprosedyrer (kardiologer, etc.), samt for enkelte tilknyttet spesielt vedlikeholdsarbeid i industri, offshore, og på atomanlegg. Radiografer i normalt arbeid på CT- laboratorier skal egentlig ikke kunne motta noe tilleggsdose utover bakgrunnsnivå, fordi de fleste prosedyrer kan foretas fra kontrollrommet. Figur 9.1-9.2 viser resultater fra Strålevernets persondosimetritjeneste både for tidstrender og fordeling av stråledoser til de forskjellige yrkeskategorier. Totalt var det 8500 personer som hadde persondosimeter fra Strålevernets persondosimetritjeneste i 2012.

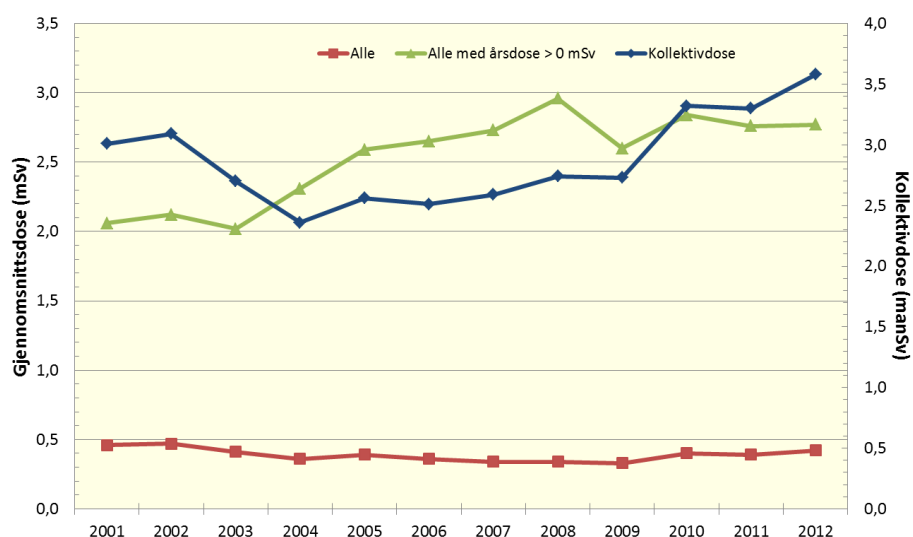


Fig. 9.1 Gjennomsnittlig avlest persondose til yrkeseksponerte i perioden 2001-2012.

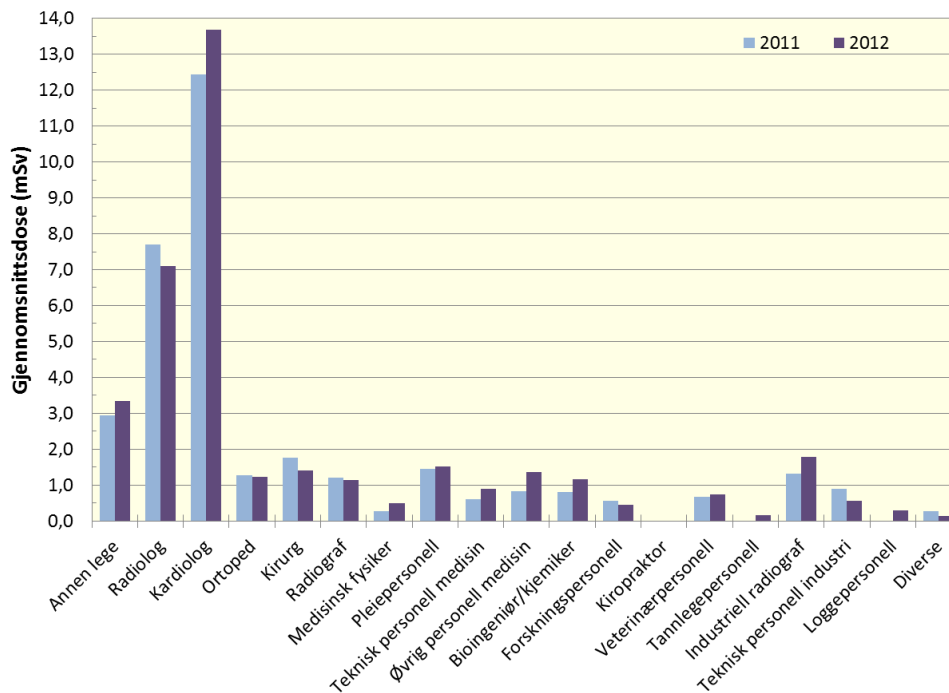
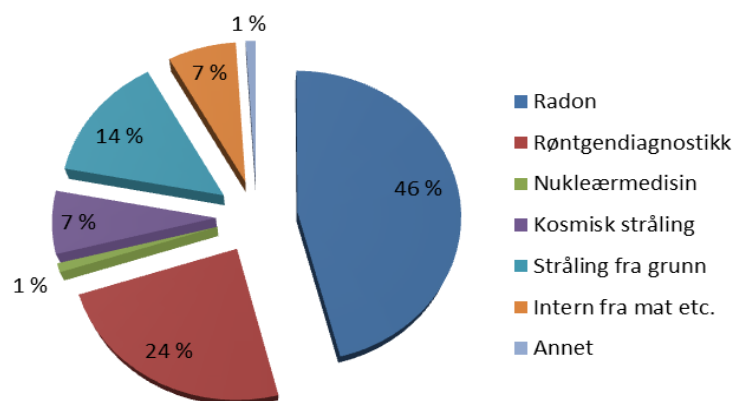


Fig. 9.2 Gjennomsnittlig dose til ulike kategorier av yrkeseksponerte som hadde påvist dose i 2011 og 2012.

9.3 Stråledoser til den norske befolkningen

Bruk av strålekilder vil medføre at noen får en viss stråledose enten i rollen som yrkeseksponert, som pasient eller som person i befolkningen generelt. Stråledose angis gjerne som effektiv dose med enheten sievert (Sv) eller kollektiv effektiv dose i enheten manSv. Gjennomsnittlig stråledose per innbygger er gitt i Figur 9.3 med bidrag fra både kunstige og naturlige ioniserende strålekilder. Oversikten er basert på kartlegginger i 2008 og 2010. Det er verd å merke seg at stråledosene gitt under stråleterapi *ikke* er regnet med i befolkningsdosen, samt at røntgendiagnostikk er den helt dominerende bidragsyteren til befolkningsdosen fra kunstige strålekilder.



Figur 9.3 Stråledose til den norske befolkning i %-andel av 4,4 mSv per innbygger (2008 og 2010)



Statens strålevern
Norwegian Radiation Protection Authority

StrålevernRapport 2014:1
Virksomhetsplan 2014

StrålevernRapport 2014:2
Strålebruk i Norge