

Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg – Miljømæssige aspekter

Per Hedemann Jensen, Forskningscenter Risø

Risø har efter mere end 40 års forskning med anvendelse af nukleare anlæg besluttet at lukke anlæggene og overføre denne del af sin forskning til udenlandske anlæg. De nukleare anlæg på Risø skal derfor dekommissioneres, hvilket betyder, at alle bygninger og anlæg, som ikke kan renses for forurening med radioaktive stoffer, skal fjernes.

Det er et velkendt og accepteret princip, at den ansvarlige for driften af anlæg, der indeholder stoffer med en vis miljø- og sikkerhedsmæssig risiko, rydder op efter sig, når driften ophører. Dette gælder ikke mindst nukleare og kemiske anlæg [1].

I givet fald det fra politisk side besluttes at dekommissionere Risøs nukleare anlæg, er målet set fra et fagligt synspunkt at opnå "grøn mark" (green field) i løbet af en 15–20 år. Ved "grøn mark" forstås, at alle bygninger og områder skal renses, så de frit kan bruges til andre formål uden restriktioner [2]. Det frembragte radioaktive affald fra dekommissioneringen skal mellemlagres på Risø-området, indtil der er bygget et slutdepot for radioaktivt affald et sted i Danmark.

Risø vil fortsætte sin forskningsvirksomhed, herunder nuklear sikkerhedsforskning, men med brug af nukleare reaktorer i udlandet.

Risøs nukleare anlæg

Risø-området omfatter halvøen Risø med tilstødende land på østsiden af Roskilde Fjord. De nukleare anlæg er placeret på Risø-halvøen, og de omfatter:

- Dansk Reaktor 1 (DR 1)
- Dansk Reaktor 2 (DR 2)
- Dansk Reaktor 3 (DR 3)
- Hot Cell anlægget
- Behandlingsstationen for radioaktivt affald og tilhørende affaldslagre

Den lille reaktor DR 1 er en laveffekt reaktor (maksimum effekt 2 kW). Reaktorkernen består af en kugleformet ståltank, som indeholder en vandig opløsning

af uranylsulfat med 20% beriget uran svarende til ca. 1 kg ^{235}U . Reaktoren har i de seneste mange år primært været anvendt til undervisning af studerende fra DTU og andre højere læreanstalter samt gymnasieklasser.



Figur 1. Reaktor DR 3.

DR 2 var en 5 MW letvandsreaktor af "pool-typen", dvs. åben opad til, således at man kunne se ned til reaktorkernen gennem nogle meter vand, som udgjorde dels kølemiddel, dels moderator og dels strålingsafskærmning. Reaktor DR 2 blev anvendt til fysikforskning og til fremstilling af radioaktive isotoper, inden reaktoren blev lukket i 1975.

DR 3 var en 10 MW tungtvandskølet reaktor. Reaktoren blev anvendt som neutronkilde til grundforskning, materialeforskning, herunder undersøgelser af brændselselementer, til produktion af radioaktive isotoper, blandt andet til medicinske og industrielle anvendelser, og til bestrålinger af bl.a. silicium til brug i halvlederindustrien. DR 3 blev lukket i 2000.

Fortsættes inde i bladet side 43.

Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

– Miljømæssige aspekter

Per Hedemann Jensen, Forskningscenter Risø

Artiklen er fortsat fra Bagsiden!

Hot Cell anlægget blev anvendt til undersøgelser af bestrålet reaktorbrændsel og til håndtering af stærke radioaktive kilder til medicinske bestrålingsanlæg. Arbejdet blev udført fjernbetjent bag tykke betonmure med blyglas-vinduer. Anlægget blev lukket i 1993.

Behandlingsstationen med tilhørende lagre for radioaktivt affald skal fortsat være i drift for at kunne behandle det radioaktive affald fra både nedbrydningen af de øvrige anlæg og fra institutioner uden for Risø (hospitalet, industrien mv.). Derfor er Behandlingsstationen det sidste anlæg, der skal dekommissioneres, efter en ny er opført et sted i Danmark.

Anlæggenes indhold af radioaktive stoffer

Indholdet af radioaktive stoffer i konstruktionsdelene i de tre reaktorer skyldes neutronaktivering, og reaktor DR 3 indeholder den største mængde. Hovedparten af de radioaktive stoffer sidder her i topafskærmning (21 tons), indre afskærmning (23 tons), betonaufskærmning (820 tons), reaktortank (1 ton), grafitblokke (26 tons), og ståltank med blyafskærmning (63 tons). De radioaktive stoffer i betoncellerne i Hot Cell anlægget hidrører fra eksperimenter med bestrålet reaktorbrændsel. Aktiviteten er her tilstede som små partikler på overflader af gulve, borde og vægge.

Aktivitetsindholdet¹ i Risøs nukleare anlæg i år 2000 er vist i tabel 1 [3].

Tabel 1. Indhold af radioaktive stoffer i de nukleare anlæg på Risø i år 2000.

Anlæg	β -/ γ -aktivitet [Bq]	α -aktivitet [Bq]
DR 1 (incl. brændsel)	$1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^9$
DR 2	$6 \cdot 10^{10}$	-
DR 3 (^3H i tungt vand)	$3 \cdot 10^{15}$	-
DR 3 (excl. brændsel)	$2 \cdot 10^{14}$	-
Hot Cell	$3 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{11}$
Behandlingsstation	$9 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{10}$
Lagerhal	$5 \cdot 10^{12}$	-
Centralvejslager	$7 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{13}$

Aktivitetsindholdet i konstruktionsdelene i reaktorerne DR 1 og DR 2 er relativt beskedent. De dominerende radionuklider i DR 3 er ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{152}Eu , ^{154}Eu og ^3H (tritium). De dominerende radionuklider i Hot Cell anlægget er ^{90}Sr og ^{137}Cs og aktinider (^{239}Pu , ^{241}Am etc.). De dominerende radionuklider i Behandlingsstationens affaldslagre er ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co og aktinider.

Den største aktivitetsmængde findes, som det fremgår af tabel 1, som tritium i DR 3's tunge vand, der er oplagret i 200 liter tromler. Det tunge vand har været brugt i det primære kølekredsløb på DR 3 under reaktorens drift.

Som følge af radioaktivt henfald vil aktiviteten formindskes med tiden. Aktivitetsindholdet i DR 3 og Hot Cell anlægget er vist på figur 3 og 4 som funktion af tiden. Det fremgår af figur 3, at hovedparten af aktiviteten i reaktor DR 3 befinder sig i topafskærmningen og i betonaufskærmningen. Figur 4 viser, at aktiviteten i Hot Cell anlægget aftager relativt langsomt med tiden, da de dominerende radioaktive stoffer har meget lange halveringstider [3].

Strålingsdoser

Alle mennesker udsættes for den "naturlige baggrundsstråling", der består af stråling fra verdensrummet samt fra radioaktive stoffer i undergrunden, i atmosfæren og i mennesket.

Fra rummet rammes Jorden af kosmisk stråling. I Jordens atmosfære vekselvirker de kosmiske partikler med atmosfærens molekyler, og ved vekselvirkningerne dannes sekundær stråling og radioaktive stoffer, der kan nå ned til jordoverfladen og optages i mennesker og fødemidler.

Radioaktive stoffer har også været på Jorden siden dens dannelse, og de findes i undergrunden, i vand, i luft, i byggematerialer, i fødemidler og i mennesker. Det er radioaktive stoffer med en meget lang halveringstid (op til flere milliarder år) samt deres radioaktive henfaldsprodukter. Den strålingsmæssigt mest betydningsfulde af de naturligt forekommende radioaktive stoffer er radon, der er en luftart, som kan trænge ind i huse fra undergrunden og fra byggematerialer.

¹ Enheden for aktivitet er Bq (1 Bq = 1 radioaktivt henfald pr. sekund). Hver dansker indeholder ca. 10^4 Bq, hovedsageligt som ^3H , ^{14}C og ^{40}K . Det årlige nedfald af radioaktive isotoper i Danmark dannet af den kosmiske stråling er omkring $2 \cdot 10^{14}$ Bq, primært i form af ^3H , ^7Be og ^{14}C .



Figur 2. Reaktor DR 2.

Tabel 2. Strålingsdoser fra røntgenundersøgelser af forskellige organer.

Undersøgelse	Dosis (mSv)
Arme/ben	0.01
Lunger	0.1
Ryg	1
Mave-tarmkanal	10
Hoved (CT-scanning)	1
Krop (CT-scanning)	10

Den årlige strålingsdosis til den danske befolkning fra baggrundsstrålingen varierer mellem ca. 2 og 20 mSv (millisievert)², afhængig af bopæl. Den gennemsnitlige årlige strålingsdosis udgør omkring 3 mSv, sammensat af 2 mSv fra radon i huse, 0.4 mSv fra fødemidler, 0.3 mSv fra jord og byggematerialer og 0.3 mSv fra den kosmiske stråling.

²Den absorberede strålingsdosis, D , der måles i enheden gray (Gy), defineres som middelværdien af den afsatte strålingsenergi, ε_a , pr. masseenhed i et punkt: $D = d\varepsilon_a/dm$ (1 Gy = 1 joule/kg). Ækvivalent dosis, H , der måles i enheden sievert (Sv), defineres som: $H = w_R \cdot D$. Strålingsvægtfaktoren, w_R , beskriver de forskellige strålingsarters, R , effektivitet til at fremkalde senskader (f.eks. $w_\gamma = 1$ og $w_\alpha = 20$). Ækvivalente doser fra forskellige strålingsarter er – til forskel fra absorberede doser – additive.

³Dosisgrænsen for helkropsbestråling er for erhvervsmæssigt strålingsudsatte 20 mSv pr. år.

Fra medicinsk bestråling modtager hver dansker i gennemsnit ca. 1 mSv pr. år. Tabel 2 viser typiske doser fra forskellige røntgenundersøgelser.

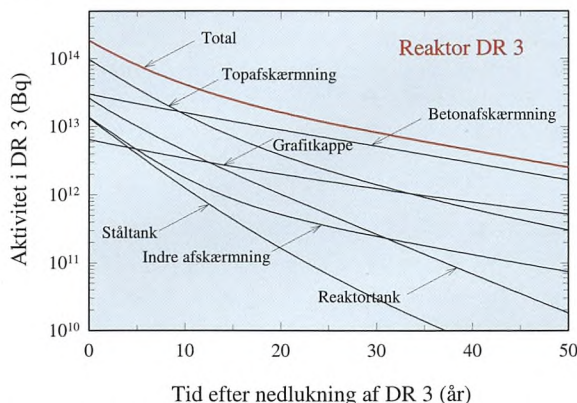
Miljømæssige påvirkninger

Arbejds miljømæssige påvirkninger

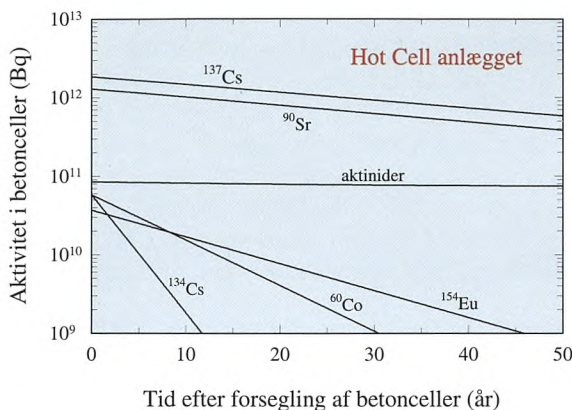
Under de forskellige arbejdsoperationer kræves en løbende overvågning og kontrol af den helsefysiske arbejdshygienie for at holde strålingsudsættelsen af personalet på et passende lavt niveau – normalt ikke mere end 10–20% af de af myndighederne fastsatte dosisgrænser³.

I de situationer, hvor der kan optræde høje strålings- og kontaminationsniveauer, vil der blive brugt specialudstyr for at nedsætte eksponeringen af personalet. Eksempelvis kan de stærkt radioaktive indre konstruktionsdele i reaktor DR 3 ikke uden afskærmning skæres i mindre stykker på grund af en meget høj

strålingsintensitet fra de dannede radionuklider. Det er imidlertid nødvendigt, at disse store komponenter bliver skåret i mindre dele, så de kan placeres i affaldscontainere uden samtidig at give personalet for store strålingsdoser. Herved opnås også, at der ikke bliver for høje strålingsniveauer uden på de enkelte affaldscontainere.



Figur 3. Aktivitetsindhold i DR 3 fordelt på konstruktionsdele som funktion af tiden efter lukningen af reaktoren i 2000.



Figur 4. Aktivitetsindhold i Hot Cell anlægget fordelt på isotoper som funktion af tiden efter forseglingen af betoncellerne i 1993.

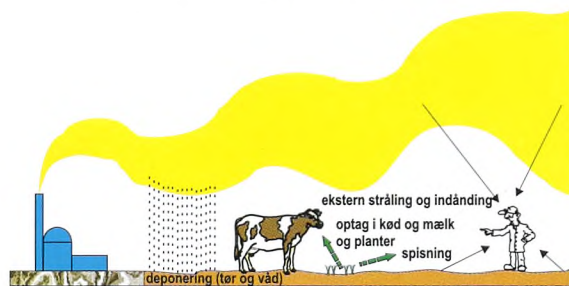
Fjernbetjent opskæring kan f.eks. foretages i et skærebassin med en vanddybde på 4–5 meter. Vand yder nemlig en god afskærmning mod gammastråling og muliggør ved sin gennemsigtighed, at skærende operationer kan udføres under flere meter vand. I et sådant bassin kan stærkt radioaktive konstruktionsdele skæres i mange mindre stykker ved hjælp af specialfremstillet undervandsværktøj. Herefter kan de tages op af bassinet og placeres i affaldscontainere uden større helsefysiske problemer.

Omegns miljømæssige påvirkninger

Udslip under drift.

Risø's nukleare anlæg har i løbet af deres driftsperiode på omkring 40 år kun haft en marginal påvirkning af omegnsmiljøet som følge af meget små udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne. I forbindelse med

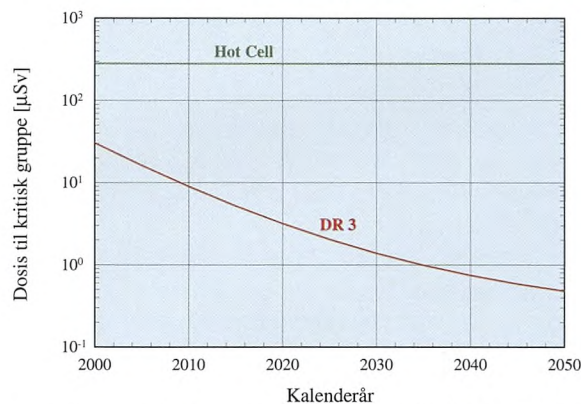
nedbrydningen af de nukleare anlæg er der mulighed for, at mindre mængder af de radioaktive stoffer i anlæggenes konstruktionsdele kan undslippe til omegnsmiljøet. Herved kan den omkringboende befolkning blive udsat for små strålingsdoser [3].



Figur 5. Eksponeringsveje fra et atmosfærisk udslip af radioaktive stoffer. De dominerende eksponeringsveje er normalt indånding af forurenede luft og spisning af forurenede fødevarer.

Det vil være usandsynligt, at udslip under dekommissioneringen vil blive større end de konstaterede udslip i driftsperioden. De maksimale årlige doser til den nærmestboende befolkning fra driftsudslippene fra DR 2 og DR 3 samt fra Behandlingsstationen har været nogle få μSv og ikke større end $10 \mu\text{Sv}$. Mens Hot Cell og DR 1 var i drift, var der tale om negligeable udslip af radioaktive stoffer fra disse anlæg.

Doser fra radioaktive stoffer, der frigøres til atmosfæren eller til Roskilde Fjord, kan beregnes på grundlag af atmosfæriske og akvatiske spredningsmodeller. I modellerne tages der hensyn til forskellige meteorologiske og hydrologiske forhold som f.eks. vindhastighed og atmosfæriske stabilitetsforhold. Eksponeringsvejene ved atmosfæriske udslip er vist på figur 5.



Figur 6. Dosis til den nærmestboende befolkning fra uheldsudslip i et givet kalenderår af radioaktive stoffer fra topafskærmningen på DR 3 og fra en betoncelle på Hot Cell anlægget.

For de hyppigst forekommende vejrforhold i Danmark (under hensyn til både skiftende vindretning, vindhastighed og atmosfærisk stabilitet) er der foretaget beregninger af doserne til den nærmestboende befolkning fra pessimistiske skøn af udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne under dekommissioneringen. De

maksimale doser er beregnet til at blive mindre end 1 μSv pr. år.

Udslip under uheld.

I løbet af de sidste 40 års drift af de nukleare anlæg er der kun forekommet få unormale hændelser med små udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne. Doserne fra disse udslip var mindre end 1 μSv til de mest udsatte personer i den omkringboende befolkning (kritisk gruppe) [3].

Under dekommissioneringen kan der forekomme uheld, som det er vanskeligt at forudse. For at vurdere risikoen for den omkringboende befolkning er der postuleret nogle meget pessimistisk vurderede uheld:

- Ved en operation på DR 3 med åben reaktorhal, hvor topafskærmningen løftes med en ekstern kran uden for reaktorhallen, tabes topafskærmningen ned på reaktorblokken og knuses delvist. De radioaktive stoffer sidder fordelt i en relativt lille del i bunden af topafskærmningen, og det antages, at 1% af aktivitetsindholdet frigøres som små partikler til atmosfæren fra den åbne reaktorhal.
- Under rengøringen af de indvendige overflader i en betoncelle på Hot Cell anlægget ved hjælp af 'shot blasting' teknik, ødelægges ventilationsfilteret af små metalstykker. I løbet af en arbejdsdag frigøres der nogle få procent af cellens overfladeforurening til omgivelserne, inden fejlen opdages. (Shot blasting er en teknik, hvor et stort antal små metalkugler under højt tryk bliver 'skudt' mod overfladen. Herved bliver de yderste millimeter af overfladen samt overfladeforureningen løsgjort.)

Selv om de postulerede uheld er usikre, men pessimistiske skøn, giver den anvendte metode mulighed for at skønne over de maksimale doser, der kan forekomme, svarende til at hele aktivitetsindholdet i topafskærmningen og i betoncellen blev frigjort under uheldet.

Strålingsdoserne til den kritiske gruppe fra disse uheld er beregnet for de hyppigst forekommende vejrforhold i Danmark, og resultaterne er vist på figur 6 for perioden indtil år 2050.

Det fremgår af figur 6, at hvis uheldet på DR 3 sker på nuværende tidspunkt, ville det kunne forårsage en dosis til de nærmestboende på omkring 30 μSv . Tilsvarende ville det beskrevne uheldsudslib fra Hot Cell kunne forårsage en dosis til de nærmestboende på omkring 300 μSv .

Det fremgår endvidere af figur 6, at uanset tidspunktet for uheldet på Hot Cell vil doserne ikke ændres, fordi de hovedsageligt stammer fra langlivede aktinider. Hvis det betragtede uheld på DR 3 derimod først sker i år 2020, ville dosis til de nærmestboende være reduceret til omkring 4 μSv på grund af radioaktivt henfald.

Der udføres et omfattende omegnskontrolprogram for Risø-området som et led i den generelle overvågning af den radioaktive forurening i Danmark. Denne kontrol er nødvendig for at kunne vurdere en eventuel radioaktiv forurening af omgivelserne fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg. Prøver indsamles dels fra Risø-området dels fra omegnen. Erfaringen fra de seneste 40 års overvågning af omegnen viser, at måleprogrammet har afsløret alle "unormale" udslip. I forbindelse med dekommissioneringen af de nukleare anlæg vil det rutinemæssige omegnskontrolprogram blive justeret, specielt tæt på de nukleare anlæg.

Radioaktivt affald

Affaldet fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø skal oplagres i større affaldsbeholdere end de tromler, der er godkendt til mellemlagring i Risøs lagerbygninger for radioaktivt affald. En kasseformet betonbeholder er for øjeblikket under udvikling. Hensigten er at kunne anvende disse standardbeholdere til mellemlagring af dekommissioneringsaffald, så nedtagning af de nukleare anlæg kan påbegyndes uden at skulle afvente, at et slutdepot er til rådighed. Der planlægges derfor med bygning af et nyt mellemlager til disse affaldsbeholdere. Hensigten er endvidere, at de nye affaldsbeholdere med indhold af affald på et senere tidspunkt – og forudsat myndighedernes godkendelse – direkte skal kunne overføres til et slutdepot. Beholderne skal også kunne bruges som ydre emballage omkring tromler og andre beholdere med allerede eksisterende affald. Det mest sandsynlige deponeringsbehov i et slutdepot er af størrelsesordenen 5000 m³ affald [4].

Tidlig eller udskudt dekommissionering

Set fra et miljømæssigt synspunkt er der ingen reelle alternativer til en tidlig dekommissionering af Risøs nukleare anlæg, hovedsagelig fordi:

- der kun er marginal forskel mellem strålingsudsættelsen af personalet ved en umiddelbar eller en udsat nedbrydning, da fjernbetjent nedbrydning i et vist omfang er nødvendig i begge tilfælde
- der ingen nævneværdig forskel er mellem potentielle doser fra drifts- eller uheldsudslib ved en umiddelbar eller en udsat nedbrydning, da langlivede radioaktive stoffer dominerer dosisbilledet
- mængden af radioaktivt affald ikke ændres ved en udskudt dekommissionering over nogle årtier, da koncentrationen af radionuklider fortsat vil være for stor til at karakterisere affaldet som ikke-radioaktivt affald

Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg bør derfor gennemføres over de næste 15–20 år, hvor der endnu er ekspertise tilstede på Risø-området, både hvad angår

de nukleare anlægs opbygning og funktion og de helsefysiske forhold af relevans for nedrivningen. Herved undgås overvågning og vedligeholdelse i en lang venteperiode.

Udskudt dekommissionering vil nemlig blive dyrere, jo længere man venter, fordi der i ventetiden fortsat skal anvendes ressourcer til overvågning af anlæggene, og fordi selve nedrivningen ikke vil blive væsentlig billigere ved en udskydelse eller give væsentlig mindre strålingsdoser til dekommissioneringspersonalet [2]. Udskudt nedrivning vil endvidere stride mod den almindelige opfattelse, at man ikke skal videregive sine problemer til de kommende generationer.

Myndighedsforhold

Nukleart Kontor i Beredskabsstyrelsen (NUC) og Statens Institut for Strålehygiejne i Indenrigs- og Sundhedsministeriet (SIS) har myndighedskompetencen vedrørende drift og nedlæggelse af nukleare anlæg. NUC og SIS er ansvarlige for udarbejdelsen af de regler og betingelser, under hvilken dekommissioneringen skal udføres, og for tilsyn med projektet.

Ifølge Miljø- og Energiministeriet skal dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø ledsages af en redegørelse, der indeholder en særlig vurdering af dekommissioneringens virkning på miljøet (VVM-redegørelse). Denne redegørelse udarbejdes af Hovedstadens Udviklingsråd (HUR). Efter to offentlige høringer, kan HUR give en VVM-tilladelse, hvorefter dekommissioneringen kan igangsættes.

Danmark (SIS) skal ifølge Euratom-traktatens artikel 37 forsyne EU-kommissionen med en redegørelse,

der indeholder vurderinger af strålingsdoserne til de nærmeste befolkningsgrupper i et naboland fra forventede udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne under dekommissioneringen. Efter en høring af en ekspertgruppe, afgiver Kommissionen en udtalelse inden for en frist på seks måneder.

Referencer:

- [1] P. Hedemann Jensen (2001) "Alternativer til dekommissionering af Risø's nukleare anlæg." Risø Dekommissionering.
- [2] K. Lauridsen (red.) (2001) "Decommissioning of the nuclear facilities at Risø National Laboratory. Descriptions and cost assessment." Risø-R-1250(EN).
- [3] P. Hedemann Jensen (2002) "Miljømæssige forskelle mellem tidsmæssige scenarier for dekommissionering af de nukleare anlæg på Risø-området." Risø Dekommissionering.
- [4] "Teoretisk udredning af de tekniske krav til et dansk slutdepot for radioaktive affald." Dansk Dekommissionering (2002).



Per Hedemann Jensen er helsefysiker på Forskningscenter Risø.

Kupon til bestilling af Kvant

Navn: _____

Stilling: _____

Adresse: _____

Postnr. og by: _____

Telefon: _____

E-mail: _____

Jeg er ☐ under uddannelse ☐ pensionist

Jeg ønsker

- ☐ abonnement på Kvant (135 kr. pr. år)
☐ medlemsskab af Astronomisk Selskab
☐ medlemsskab af Dansk Fysisk Selskab
☐ medlemsskab af Dansk Geofysisk Forening
☐ medlemsskab af Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Du modtager automatisk Kvant, hvis du er medlem af en af de fire foreninger.



POST

Sendes ufrankeret
Modtageren
betaler portoen

KVANT
Ørsted Laboratoriet
Universitetsparken 5
+++ 1385 +++
2100 København Ø