

Kärnteknikens samhällsnytta

Kärnteknik förknippas i allmänhet med kraftproduktion. Det är dock inte lika väl känt att utvecklingen av kärnteknik även har resulterat i en rad betydelsefulla sidoeffekter. Det finns många tillämpningar av neutron- och gammastrålning inom vetenskap, teknik, medicin, jordbruk och miljöteknik.

Omfattningen av dessa nukleära metoder i ekonomiska och miljömässiga termer är större än kärnkraftsektorns. Och betydelsen när det gäller förbättrad livskvalité och sysselsättning, ekonomi, miljö och hälsa är stor.

Den här artikeln belyser omfattningen och betydelsen genom en beskrivning av flertalet tillämpningar. En fullständig förteckning skulle lätt fylla en bok, varför listan här blir mer översiktlig och även något godtycklig. Den intresserade läsaren hittar ytterligare detaljer i referenserna [1] - [3]. De båda första stod för en stor del av inspirationen för att beskriva dessa områden.

Indirekta användningsområden

I ref. [2] sammanfattas området icke-energi-relaterade kärntekniska tillämpningar under rubriken "radioaktiva material".

Hit räknar man inventarier från alla industrier som arbetar med framställning och/eller användning av radioaktiva ämnen. Omsättning och antal sysselsatta för dessa industrier samt motsvarande för kärnkraftindustrin enligt två undersökningar i USA (1991) sammanfattas i följande tabell.

Områden	Årsomsättning miljarder US\$	Antal sysselsatta i miljontal
Radioaktiva material	257	3.7
Elproduktion från kärnkraft	73	0.4

Omsättningen är fyra gånger större och antalet sysselsatta är mer än nio gånger fler inom icke-energi-relaterad kärnteknik jämfört med kärnkraftproduktion. Jämförelsen innehåller en viss grad av godtycke men indikerar ändå den icke-energi-relaterade kärnteknikens betydelse för samhället.

Grundforskning, materialvetenskap

De främsta tillämpningarna i grundforskning finns inom fysiken, närmare bestämt subatomär fysik, fasta tillståndets fysik och materialvetenskap.

I första hand används neutroner från reaktorer för att mäta nukleära reaktioner, tvärsnitt, fördröjda neutroner m.m. Inom materialvetenskap tillhör neutronspridning och neutron-diffraktion de mest kraftfulla metoderna för kartläggning av struktur och egenskaper av kondenserad materia.

Strukturbestämning av kristaller, kemiska föreningar, högttemperatursupraleddare, magnetisk struktur görs med elastiskt spridda neutroner, neutroindiffraktion och småvinkel-neutronspridning.

Samma teknik används även i mera tillämpningsorienterat syfte, t.ex. bestämning av integritet av mekaniska strukturer och fördelning av restspänning i svetsningar.

En viktig egenskap hos kärntekniska metoder är att de är beröringsfria eller icke-förstörande. Detta gäller alla tillämpningsområden.

Från sådana mätningar blir det möjligt att förklara eller förutsäga viktiga makroskopiska egenskaper hos olika material.

De här metoderna är baserade på användning av lågsamma, s.k. termiska neutroner och används därför vid forskningsreaktorer som R2-reaktorn i Studsvik.

Under senare tid har dock även acceleratorbaserade neutronkällor, såsom spallationskällan vid ISIS i England, kunnat framställa intensiva strålar av termiska neutroner.

En ny metod med stor potential för materialundersökning använder positroner och positron annihilation. Positroner erhålls vanligen från en radioaktiv källa som i sin tur framställs via bestrålning i en reaktor.

En del av de nämnda metoderna används som stöd för grundforskning inom andra områden, såsom åldersbestämning av geologiska formationer, arkeologi m fl.

Andra tillämpningar gäller grundläggande frågor i geofysik och allmänt i geovetenskap, exempelvis strukturbestämning av bergformationer, transport av grundvatten i urberg, rörelse av sediment i insjöar, hav och älvar.

Teknik och industri

En stor sektor är aktiveringsanalys och tillämpning av spårämnen (tracers). Aktiveringsanalys innebär bestrålning av ett ämne med neutroner som efter neutroninfångning i spårämnets atomer åstadkommer kortlivade isotoper.

Avklingningen av dessa kan mätas med gammadetektorer, och olika grundämnen kan urskiljas genom skillnader i deras karakteristiska gammaspektra.

Med aktiveringsanalys kan extremt små mängder av ett visst ämne påvisas. På det sättet kan närvaron av t.ex. miljögifter påvisas från ett mycket litet prov på ett icke-förstörande sätt.

Som ett kuriosum kan nämnas att metoden har använts även för att bestämma om en tavla är äkta eller förfalskad eller om en sedan länge död person hade blivit förgiftad. Metoden kan även användas för att övervaka utsläpp och transport av föroreningar.

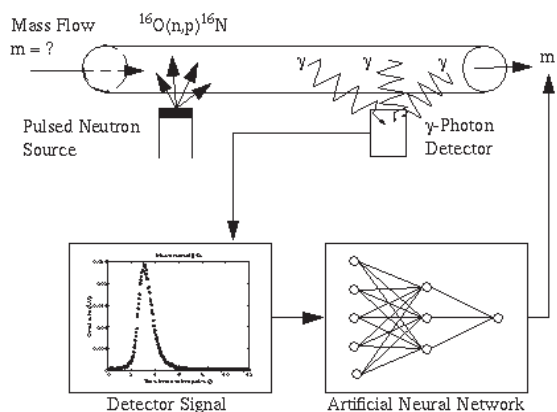
Vidare, med spårämnen kan materialflödet övervakas i en process både i liten skala (kemisk industri) och i stor skala (geosfär, världshav m.m.).

Processindustrin

Inom processindustrin finns otaliga tillämpningar: mätning av materialflöde, inklusive upptäckt av läckage; mätning och kontinuerlig övervakning av mått (tjocklek av skivor och plåt) samt täthet.

En annan tillämpning är mätning och övervakning av integritet av olika komponenter inklusive svetsningar.

En tillämpning av processövervakning som är baserad på en kombination av aktiveringsanalys och spårämnesmetod är mätning av massflöde av vatten i rör med pulserad neutronaktivering. Metoden har studerats på flera ställen och har nyligen vidareutvecklats avsevärt inom projektet FlowAct vid Chalmers, Avdelningen för reaktorfysik.



Figur 1. FlowAct-metodens princip

Mätningar och simuleringar pekar hittills på att beröringsfri mätning av vattenflöde med en noggrannhet bättre än 1 - 0,5 % kan uppnås. En mer detaljerad beskrivning av projektet, inkluderande en animering kan ses på www.nephy.chalmers.se/research/FlowAct/flowact.html.

Visualiseringsmetoder, främst dynamisk neutronradiografi, är på stark frammarsch med tillämpningar på många områden. Statisk neutronradiografi har använts länge för att ta "röntgenbilder" med neutroner av komponenter, utrustning och maskiner. Neutroner är mycket effektiva för att visualisera fördelning av vätehaltiga ämnen, såsom vatten och olja i olika material.

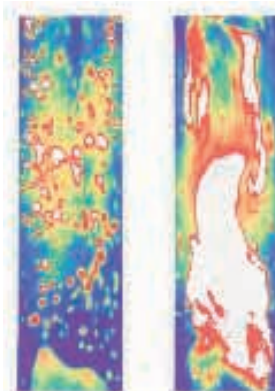
Med utveckling av effektiva konverteringsmaterial och tillgång till intensiva neutronkällor har dynamisk neutronradiografi fått en rejäl utveckling under senare tid. Man kan studera transport av vätehaltiga vätskor i turbulent tillstånd och i flerfasform. Studier av transport av kylmedel i kylskåp, i värmelement, smörjmedel etc. i motorer och olika apparater, har lett till avsevärda förbättringar av åtskilliga produkter.

Med nutidens teknik kan även ganska snabba förlopp studeras, såsom förbränning inne i en motor eller intensiv kokning. En fördel med neutroner är att de, till skillnad från röntgenstrålar, i väsentlig grad tränger genom metalldelar, vilket behövs i de flesta industritillämpningar.

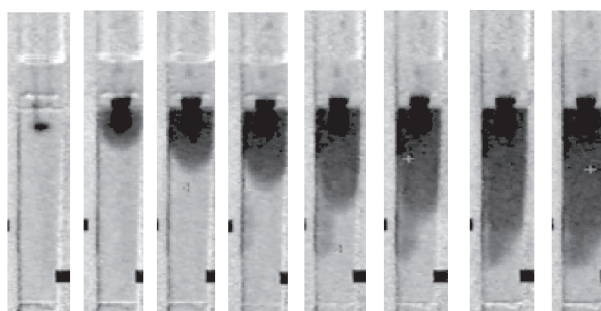
Som ett exempel visas neutronradiografibilder av olika former av tvåfasflöde, d v s intensivt kokande vatten under tryck i ett aluminiumrör (Fig. 2). Bilderna är tagna vid en pulserad forskningsreaktor.

En annan tillämpning gäller studium av långsamt intrång av vatten i geologiska prov. Ett samarbetsprojekt bedrivs inom området bl.a. vid Chalmers mellan avdelningarna Petrofysik och Reaktorfysik. Dynamisk neutronradiografi används för att visualisera flödet av vatten och olja i urberget.

Ett exempel visas i Fig. 3, tagen vid forskningsreaktorn i Budapest. Figuren visar intrång av vatten i ett prov från Visingsö. Sådana undersökningar ger värdefull information som kan utnyttjas i tex oljeprospektering, men även i samband med slutförvar av kärnavfall genom bättre förståelse av flödet av grundvatten i urberget.



Figur 2. Dynamisk neutronradiografi av tvåfasflöde. (Kyoto University Research Reactor Institute)



Figur 3. Dynamisk neutronradiografi av vattenintrång i geologiskt prov (sandsten från Visingsö)

Metoderna har en klar relevans inom andra miljörelaterade frågor såsom upptäckt av spillolja och kontroll av effektiviteten vid saneringsarbeten.

En helt annan tillämpning gäller modifiering av material. Kisel neutronbestrålas (kiseldopas) i syfte att uppnå specifika halvledaregenskaper inom kraftelektroniken. Detta är en mycket effektiv metod, till stor nytta för elektronikindustrin i Europa och Japan. Den processen sker bl a vid R2-reaktorn i Studsvik.

Medicinska tillämpningar

Kärntekniska metoder används inom medicinen både i diagnostik och terapi. Vad diagnostik beträffar utnyttjas både spårämnen och avbildningsmetoder. Spårämnen används för att studera omsättning av olika ämnen i kroppen i både friska och sjuka vävnader.

När det gäller avbildningsmetoder är konventionella röntgenbilder de första som har använts för visualisering. På senare tid har datorstyrd tomografi, d v s rekonstruktion av två- eller tredimensionella bilder av ben, vävnad och tumörer blivit mer effektiva.

Förutom röntgen används även gammastrålning, främst från positron-annihilation. Positron-emission-tomografi (PET) är en metod baserad på att tillföra preparat innehållande positronemitterande ämnen till kroppen. Genom att mäta på de två annihilations gammakvanta som utsänds strax efter varje positronemission kan rumsfördelning av tumörer m.m. i kroppen rekonstrueras.

Behandling av cancertumörer

När det gäller terapi har skadliga tumörer behandlats sedan länge genom direkt bestrålning med gammastrålning eller

neutroner. En ny och mycket lovande metod är *Boron Neutron Capture Therapy, BNCT*.

Metoden är baserad på att tumörer gärna binder upp vissa borhaltiga preparat som tillförs patienten. Därefter sker bestrålning med epitermiska neutroner, från en reaktor, som bromsas upp i kroppen och blir termiska nära tumören.

Då bors infångningstvärsnitt är högt för termiska neutroner, absorberas neutronerna med stor sannolikhet. Den nybildade isotopen sönderfaller sedan under utsändning av en alfapartikel. Eftersom denna är laddad, har den en mycket kort räckvidd och deponerar således all sin energi i närheten av boratomen, och därmed i tumören.

Alfastrålarna förstör i stort sett enbart tumörcellerna, medan skadan på övrig vävnad i kroppen blir minimal.

Denna metod har hittills prövats på ett fåtal ställen, där USA och Japan har lett utvecklingen och testerna. Nyligen beslöts att uppföra en BNCT-anläggning för rutinmässig klinisk verksamhet vid R2-0-reaktorn i Studsvik. De första patienterna planeras att tas emot under våren 2001.

Studsviksreaktors goda prestanda samt en unik, patenterad filterkonstruktion som åstadkommer optimalt neutronspektrum vid behandlingen gör att Sverige kommer att inta en mycket framstående plats inom BNCT-teknikens utveckling.

Tillämpningar i jordbruk och boskapskötsel

Användning av kärntekniska metoder minskar behovet av kemikalier (konstgödsel och bekämpningsmedel) men även av vatten. Man kan också utveckla arter både när det gäller växter och boskapsdjur, som är mer resistenta mot sjukdomar, infektioner och skadedjur, samt ger mer föda och bättre kvalitet.

En annan tillämpning, ovärderlig för många u-länder, har varit utrotning av vissa infektionsbärande skadedjur, t ex "screw worm", fruktflugor m.m. Genom bestrålning av mat kan man öka hållbarheten genom att döda bakterier, parasiter m.m.

Dessa tillämpningar får kanske inte samma publicitet som flertalet av ovan beskrivna vetenskapliga och högteknologiska metoder. Men deras betydelse för förbättring av livskvalitén hos befolkningen i tredje världen bör ej underskattas. En stor del av arbetet hos den internationella atomenergiorganisationen IAEA handlar därför om just sådana projekt.

Miljöteknik, naturvård, säkerhet

Inom miljöteknik och naturvård används kärntekniska metoder i tre olika syften: upptäckt av utsläpp av föroreningar, mätning av mängden och transport av föroreningar, samt utarbetande av förebyggande åtgärder. Man kan t ex kartlägga halter av konstgödsel och bekämpningsmedel i mark och vatten, samt identifiera källor av sådana föroreningar. Det går också att följa kretslopp av växthusgaser, inklusive produktion och upptag både i mark och vatten samt i växter.

Ett annat område som redan har nämnts är uppföljning av utsläpp och sanering av oljehaltigt material. Man kan dels göra mätningar i konkreta fall, dels studera transportegenskaper av olja i olika mark- och bergarter i syfte att öka förståelsen av transportprocesser. Därigenom kan bättre bedömningar göras vid utredning av miljökonsekvenser av olika utsläpp.

Röjning av landminor

Ett allvarligt problem, som inte har att göra med utsläpp av föroreningar, är detektering av landminor. Detta är ett enormt problem i vissa krigshärjade områden, även i vårt närområde.

Det finns t ex uppskattningsvis ungefär 1.2 miljoner landminor enbart i Kroatien. Moderna, s k antipersonella landminor, innehåller inga eller enbart ganska små metalldelar, varför detektering med klassiska metoder ej är möjlig.

Man kan dock använda neutronbaserade mätningar även här. Icke-metalliska minor innehåller i huvudsak väte, kol, kväve och syre. Dessa ämnen kan påvisas med aktiveringsanalys. Vätehalten i minorna möjliggör också detektering genom mätning av tidsförlopp och spektrum av reflekterade neutroner. Man får neutronreflektioner även från vattenhalten i marken, men dessa skiljer sig i tidsförlopp och spektrum från vad som erhålls från vätet i minorna.

Neutronmätningar kan användas som mycket effektiva komplement till andra metoder. IAEA har därför startat upp ett internationellt projekt även inom detta område där Sverige också deltar via FOI och vissa högskolor.

Till samma kategori hör upptäckt av vapen m.m. vid flygplatser. Neutronradiografi och aktivering är värdefulla komplement till den vanliga röntgenmetoden och kan utnyttjas för att avslöja olika typer av sprängmedel.

Slutsatser

Ovanstående beskrivning har förhoppningsvis demonstrerat bredden och betydelsen av de vetenskapliga, tekniska, medicinska och miljötekniska tillämpningar som möjliggjorts genom utvecklingen av kärntekniken.

Deras inverkan på vår livskvalitet är synnerligen omfattande, och vida större än vad som är allmänt känt. Utvecklingen av kärntekniken har lett till allt fler kvalificerade tillämpningar utanför kärnkraftområdet.

Vissa av dem är rent humanitära såsom minröjning och bekämpning av cancer. Dessa fakta bör man också ta hänsyn till för en samlad och balanserad bedömning av samhällsnyttan av kärntekniken.

Imre Pázsit

Professor och föreståndare för Avdelningen för reaktorfysik vid Chalmers Tekniska Högskola

Litteratur

[1] V. S. Crocker. "Nuclear Power - its indirect benefits". Progress in Nuclear Energy, 23, 109 (1990)

[2] Alan E. Waltar, "The invisible, but not imaginary numbers". Address given at the International Conference on Mathematics and Computations, Reactor Physics, and Environmental Analyses. April 30 - May 4, 1995, Portland, Oregon, USA. (1995)

[3] Hans Pedersen Dambo (red). "Kärnkraft i människans tjänst". Ett debattunderlag från Miljövännen för Kärnkraft. (1999)

Publikationerna Bakgrund och Faktaserien ges ut av analysgruppen vid Kärnkraftsäkerhet och utbildning AB (KSU).

Gruppens huvuduppgift är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Skriftserier och rapporter publiceras på analysgruppens hemsida. Den innehåller också ett omfattande länkbibliotek till nationella och internationella forskningsorganisationer, kärnkraftmyndigheter och kraftföretag.