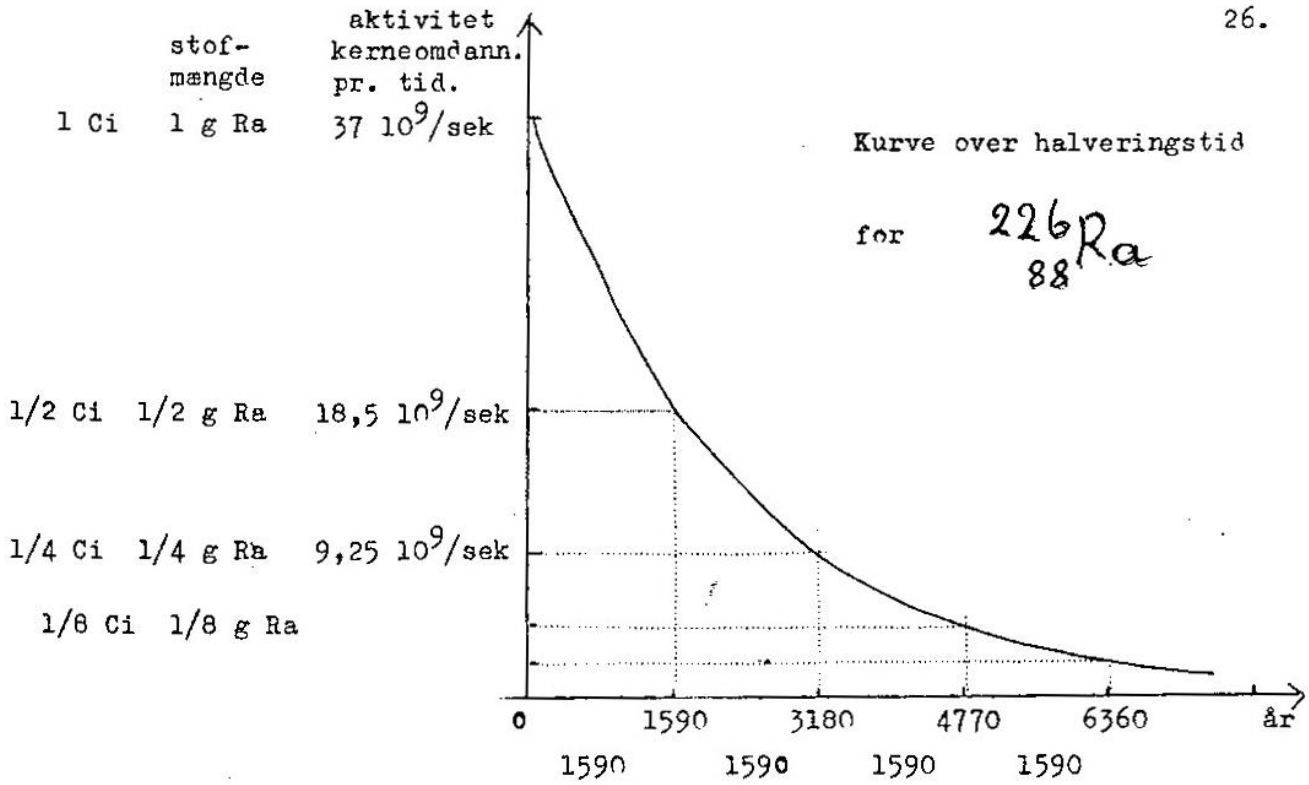


Radium-226 er som nævnt alfa-aktiv. Det er denne proces, der foregår med en halveringstid på 1590 år. Radium omdannes til Radon-222: $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He_{(\alpha)} + {}^{222}_{86}Rn$

Radon-222 er også alfa-altiv. Processen omdanner stoffet til Polonium-218. Halveringstiden er her kun på 3,8 dage:

$$^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{218}_{84}Po$$

Polonium-218 har selv en halveringstid på lidt over 3 minutter.

Dette blot for at illustrere hvor forskellige stofferne er også med hensyn til halveringstider. Der findes stoffer med så korte halveringstider som millisekunder og mikrosekunder. Disse stoffer er altså i allerhøjeste grad ustabile.(Dette er dog ikke det samme som farlighed.)

<u>Aktivitetens størrelse</u> i en klump stof er naturligvis afhængig af klumpens størrelse , altså af antallet af tilstedeværende atomer.
Men den afhænger også af en talstørrelse, der er karakteristisk for det enkelte stof. Talstørrelsen angiver <u>sandsynligheden</u> for kerneomdannelse i stoffet. Talstørrelsen er konstant for det pågældende stof. Det vil sige, at den ikke ændrer sig med tiden.

Det er den tilstedeværende stofmængde, der ændrer sig på den måde, der fremgår af kurven. Små halveringstider giver "stejle" kurver. Store halveringstider giver "flade" kurver.

1 Ci (1 curie) er i virkeligheden en ret stor måleenhed. I de fleste tilfælde vil det være passende at regne i mCi (millicurie = tusindedele curie) eller μ Ci (millionedele curie).
Mere om de forskellige måleenheder senere.

For en udnyttelse af kerne-energien til nyttige fredelige formål (såvel som til militære formål) er den kunstigt fremkaldte kernespaltning grundlaget.

Fission

Disse kernespaltninger fremkaldes ved beskydninger af kernerne. Som "projektiler" kan de forskellige elementarpartikler anvendes. Det drejer sig om elektroner, protoner, neutroner og alfapartikler (heliumkerner).

Projektiler til beskydning.

Der er fordele og ulemper ved dem alle.
De elektrisk ladede, elektroner, protoner og alfapartikler er nemme at styre og sætte fart på (accelerere). Dette foregår ved hjælp af elektriske felter i store acceleratorer, der er en slags videreudvikling af katodestrålerøret. Ulempen er, at elektronerne ikke har så stor en masse, og at de ikke når ind til kernen på grund af atomets elektronsky. Protonerne og alfakernerne er jo positivt ladede og frastødes af den positive kerne, som de skulle ramme ind i og splitte ad.

Acceleratorer anvendes til forskning.

Neutronen er i virkeligheden bedst egnet til at fremkalde en kernespaltning, idet den ikke frastødes elektrisk, men tværtimod tiltrækkes med kerne-kraften, når bare den kommer tæt nok på og ikke har for meget fart på. Ulempen ved den er altså blot, at den ikke kan styres med elektriske felter, fordi den ikke selv har en elektrisk ladning.

Man må derfor lave sig en neutronkilde og anbringe den i nærheden af de kerner, man vil have spaltet. Det er dog ikke alle kerner (stoffer), der kan spaltes på den måde. Som tidligere nævnt holder kernerne sammen, når kernekraften overstiger de elektriske frastødninger.

Neutronen må ikke have mere fart på,end at den kan optages i kernen ved hjælp af kernekraften. Er farten (energien) for stor, preller neutronen bare af. Neutronens energi (fart) skal alligevel være af en sådan størrelse, at den bringer så meget"uro" i kernen, at den sammenholdende kernekraft ikke længere kan udbalancere den elektriske frastødning i kernen. Ethvert stof har sådan en "tærskelværdi", som den indkommende energi skal overstige før kernen spaltes.

Termiske neutroner.

De fleste neutroner har dog, når de udsendes, meget større fart på (energiindhold). Man er derfor nødt til at bremse dem ned. En nedbremset neutron siges at være <u>termisk</u>. Nedbremsningen sker ved hjælp af sammenstød med kerner i stoffer, hvor neutronerne blot preller af.

Moderator.

Sådanne stoffer kaldes <u>moderatorer</u>. Moderator-stoffets smådele kommer ved sammenstødene i livligere bevægelser. Det vil sige,at varmeindholdet stiger. Jævnfør omtalen af varmebevægelserne på side 8 og 9. Varmen fra neutronnedbremsningen udgør dog kun ca. 2-3 % af den ved fissionen frigjorte energi.

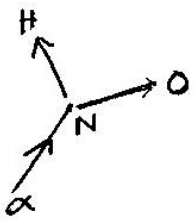
Lidt historie igen:

Den første kunstige kernespaltning siges at være gennemført af Rutherford allerede i 1919. Ved at bombardere kvælstofkerner med en masse alfa-partikler lykkedes det at få en enkelt kvælstofkerne til at spaltes i en iltkerne og en brintkerne:

$$\underset{(\alpha)}{{}^{4}_{2}He} + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{17}_{8}O + \underset{(p)}{{}^{1}_{1}H}$$

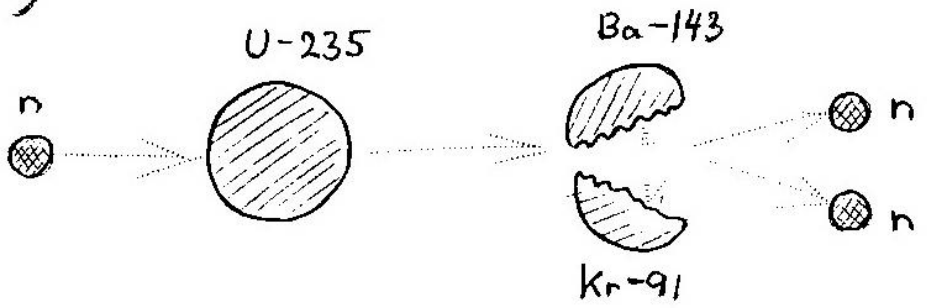
Ved sammenlægning af massetallene 4 og 14 fås 18,og ved sammenlægning af protontallene 2 og 7 fås 9. Dette stof er en Fluor-isotop, der ikke "får lov til" at eksistere, før den er blevet til Ilt ved at udsende en proton (brintkerne).

1911 Tågekammet



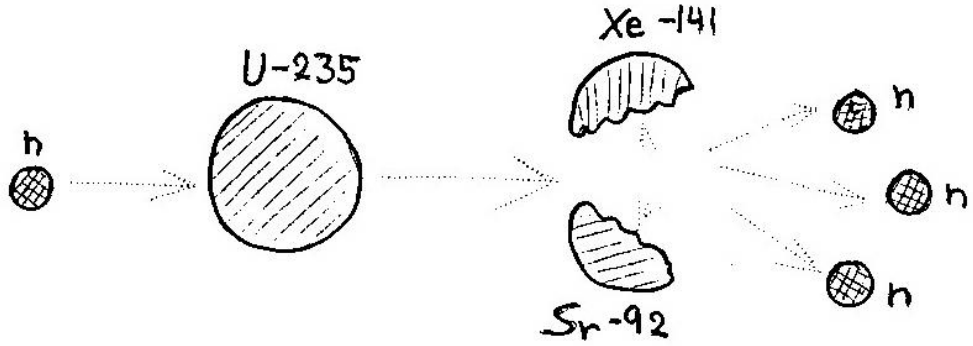
Et vigtigt hjælpemiddel var det såkaldte tågekammer, som Wilson kontruerede i 1911. Princippet: En beholder med mættede spritdampe afkøles, så fortætning (tågedannelse) kan ske, når en elektrisk ladet partikel farer gennem rummet. Langs partiklens bane sker en ionisering (elektrificereing) af luften. Fortætningen sker på disse elektrisk ladede ioner, så man ser et tågespor, hvor partiklen gik.

1)



$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{143}_{56}Ba + {}^{91}_{36}Kr + 2\,{}^{1}_{0}n $$

2)



$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{141}_{54}Xe + {}^{92}_{38}Sr + 3\,{}^{1}_{0}n $$

Ovenfor er skitseret to forskellige fissionsprocesser ud af mange mulige. Den ene 1) giver foruden de to fissionsprodukter også <u>to</u> neutroner. Den anden 2) giver foruden fissionsprodukterne <u>tre</u> neutroner. Sådanne kernespaltninger producerer gennemsnitligt <u>2,7</u> neutroner. Disse kan igen efter nedbremsning give anledning til flere kernespaltninger. Dette afhænger af hvor tæt det spaltelige materiale ligger og af om neutronerne forsvinder ud eller"opsuges"af andre stoffer. (Mere herom senere).

Størrelsen af spaltningsprodukterne (de to kernedele) Kan variere mellem massetallene 72 og 162. De fordeler sig dog ikke jævnt. De almindeligst forekommende (ca 6 %)

Spaltnings-produkternes størrelse.

har henholdsvist massetallene 95 og 139. Hovedparten, det vil sige 99 % af alle spaltningsprodukter har massetal, der ligger mellem 85 og 105 samt mellem 129 og 150. Kun i ca 0,1 promille af tilfældene er spaltningsprodukternes kernelige store.

Spaltningsprodukterne er som regel beta-aktive og giver anledning til "radioaktive kæder", indtil stoffet ender stabilt.

Energien.

Både ved selve fissionsprocessen og i forbindelse med disse kerneomdannelser ved "henfald" mod stabilitet udsendes energi i form af gamma-stråling.

Den største del af energien fordeler sig dog på spaltningsprodukterne, der presses fra hinanden med stor kraft. Nedbremsningen ved stød mod det omgivende materiale giver en kraftig varmeudvikling, der i bedste fald kan udnyttes.

Den totale energiudvikling stammer procentvist fra

nedbremsning af fissionsprodukterne	84 %
nedbremsning af neutronerne	2,5 %
beta-stråling	2,5 %
den samlede gammastråling	5 %
dannelsen af andre partikler	6 %

I virkeligheden er det kun cirka 1 promille af det tilstedeværende spaltelige stof, der ved spaltning frigøres som energi. når det drejer sig om uran.

På side 15 er gennemført et energiregnskab ved hjælp af Einsteins formel $E = mc^2$. Ifølge den giver 1 gram stof en energifrigørelse svarende til cirka 25 millioner kWh (kilowatt-timer). For at opnå dette må man altså spalte 1 kilogram stof (f.eks. Uran-235). De cirka 999 gram bliver til nedbremsede radioaktive spaltningsprodukter. Dette er årsagen til, at man med jævne mellemrum må udskifte brændselselementerne i en reaktor.

Hvad angår den frigjorte energi er der altså kun de cirka 87 %, der umiddelbart bliver til varme ved nedbremsning af spaltningsprodukter og neutroner, men resten frigøres ved forskellige former for stråling, der for en dels vedkommende først "klinger af" efter at materialet er taget ud af reaktoren. Vi kan nu bygge videre på energiregnskabet:

87 % af 25 000 000 kilowatt-timer er ca. 22 000 000 kWh. Da 1 h er 1 time er 3600 sekunder fås

1 kWsek = 1000 Wsek

22 000 000 kW·3600 sek. der er ca 80 000 mill. kWsek. Det kan skrives $8 \cdot 10^{13}$. Wsek. (otte med 13 nuller bag)

omregning til varme

1 watt-sekund (Wsek) er en energistørrelse, der svarer til 1 Joule, som kan omdannes til 0,24 calorier varme. Altså 1Wsek = 1 J, der omtrent giver 1/4 cal.
I praksis vil det sige at 1 Wsek. kan opvarme 1 gram vand 1/4 grad.

1 kcal = 1000 cal

Derfor $8 \cdot 10^{13}$ Wsek = $8 \cdot 10^{13} \cdot 1/4$ cal = $2 \cdot 10^{13}$ cal
= $2 \cdot 10^{10}$ kcal.

Da, der skal 100 kcal til at opvarme 1 liter vand fra 0 grader til 100 grader, ses altså, at vi ved at spalte 1 kilogram stof (hvorved 1 gram forsvinder) får varme nok til at opvarme cirka

200 000 000 liter vand fra 0 grader til 100 grader.

Den samme varmemængde kan også fås ved at brænde 3000 tons kul eller 2000 tons olie.

Det er derfor ikke så underligt, at man forskningsmæssigt har satset mest på atomkraft.

Omdannelsen til elektricitet.

I et anlæg, der ved hjælp af varmen skal producere elektrisk energi, må man først ved at opvarme vand lave et damptryk. Derefter må man bruge damptrykket til at trække en turbine, der jo er en slags mølle. Turbinen trækker en generator, der består af nogle magneter, der roteres forbi nogle spoler af kobberledninger. Derved dannes (induceres) en elektrisk spændingsforskel mellem spolens to ledningsender (poler). Spolen er da en elektrisk energikilde, hvorfra der kan tappes elektrisk strøm. (Der henvises til skitser af sådanne anlæg andetsteds. De er for komplicerede at tegne på en stencil)

Effektivitet og køling.

Denne omdannelse fra varme til mekanisk energi (rotation) og derfra videre til elektrisk energi er ikke særlig effektiv. Men man kan desværre ikke gøre det bedre. For at opnå maximal virkning på turbinerne må man køle ret kraftigt.

Energitab.

Den del af energien, der løber ud som opvarmet kølevand bliver ikke til elektricitet. Det er desværre cirka totrediedele af varmen, der forsvinder på den måde. Kun cirka én trediedel af varmen bliver til anvendeligt elektrisk energi.

Det vil altså sige, at de 25 mill. kilowatt-timer først blev reduceret til 22 mill. kilowatt-timer, hvoraf igen kun cirka 7 mill. kilowatt-timer bliver til rådighed på elektrisk form. Men det er nu heller ikke så tosset. Man er absolut ikke interesseret i at komme til at stå med så meget energi på een gang.

Elektrisk energi.

7 mill. kilowatt-timer er jo det samme som 7000 MWh (el) (megawatt-timer). Det er omtrentligt energien fra 8 store 900 MW (megawatt.el) atomkraftværker i en time.

Brændslet.

Spaltningen af det ene kilogram Uran, der var udgangspunktet for vor beregning må altså helst ikke gå hurtigere end cirka 125 gram i timen pr. atomkraftværk.

Dette er et teknisk problem vedrørende den nødvendige afstand mellem uranatomerne og den nødvendige bremsning af og evt. opsugning af neutroner. Alene afstanden mellem uran-atomerne i en brændselskerne udelukker muligheden for en atom(kraftværk)bombe-eksplosion. Som reaktorbrændsel anvendes Urandioxid (eller Urantveilte). (For at frembringe en kerne-eksplosion må de spaltelige U-235 atomer ligge tæt op ad hinanden. Det vil sige, at stoffet på det nærmeste skal være rent uranmetal.)

Hvis vi fortsætter beregningen over uranbrændslet fås ved almindelig forholdsregning:

ca. 125 gram i timen (pr. reaktor)
1 kg i 8 timer
3 kg i døgnet osv.

Den spaltede mængde Uran-235 i et år bliver til

365 døgn á 3 kg = 1095 kg.

(Forudsætningen er naturligvis fuld effekt hele tiden, hvilket sjældent vil være tilfældet).

Brændsels-
forbruget.

Brændslet er imidlertid i de fleste gangsø [illegible] reaktorer ([illegible]) beriget Uran. Det vil sige at U-235 udgør 3 %, mens de resterende 97 % er U-238, der ikke er spalteligt i samme grad.

Mængden af U-238 kan nu også beregnes:

$$\frac{1095 \text{ kg} \cdot 97\ \%}{3\ \%} = 35\ 338 \text{ kg}$$

Den totale brændselsmængde (U-235 + U-238), som på 1 år bliver "forbrugt" er derfor, da de to arter er blandet sammen, ca 1095 kg + 35338 kg = 36433 kg, altså cirka 36 ton.

Dette passer nogenlunde pænt med de officielle oplysninger om, at en reaktor indeholder ca 150 ton uranbrændsel og at cirka en femtedel må udskiftes hvert år.

En undskyldning:

(De foretagne beregninger er naturligvis meget grove og omtrentlige. En veluddannet atomfysiker vil formentligt"ta´sig til hovedet". Beregningerne skal her blot tjene til en belysning af de tal og oplysninger, som man i smarte pjecer og artikler er nødsaget til at "sluge råt".)

nogle
hovedproblemer:

Det er vigtigt for sagligheden at få slået fast

1) at et atomkraftværk ikke kan eksplodere som en atombombe,
2) at det naturligvis er et teknisk problem at holde temperaturen, så der ikke sker en nedsmeltning,
3) at skiftning af brændselselementer og opbevaring af det spaltede radioaktive "affald" indebærer et problem,
4) og at stoffet Plutonium i denne forbindelse er særligt problematisk, da det kan anvendes til atombomber, og da det har en umådelig lang halveringstid. Dannelsen af Plutonium skyldes i første række tilstedeværelsen af U-238 i brændslet.

Inden vi ser nærmere på plutonium-produktionen igen

lidt historie:

Den foran nævnte fissionsproces med de epokegørende muligheder blev fundet ved, at man efter neutronens opdagelse i 1932 udviklede metoder, hvor neutronen blev brugt til beskydning af andre stoffer. Målet var at lave nye grundstoffer. Helst nogle, der var tungere end de hidtil kendte. På det tidspunkt var grundstof nr. 92, Uran, det tungeste.

Det var derfor en overraskelse, da to tyske fysikere i 1939 (Hahn og Strassmann) opdagede, at de i stedet for et endnu tungere stof fik 2 lettere i forvejen kendte stoffer (Barium og Krypton) ud af deres beskydning af Uran. I stedet for at blive glade for deres opdagelse blev de dybt bekymrede og gik stille med dørene.

Årsagen var det nazistiske regime i Tyskland, der med Hitler som Führer påtvang nabolandene krigstruslen, og som indadtil på det tidspunkt havde foranstaltet forfølgelse af jødiske medborgere, hvortil ikke så få forskere hørte.

To af disse - Otto Frisch og Lise Meitner-, som allerede i 1938 flygtede til Sverige, var dem, der tidligst gjorde opmærksom på processens store energi-frigørelsesmuligheder og dermed farerne for misbrug i den givne politiske situation.

Da nazityskland og dets allierede Japan imidlertid fortsatte med at angribe det ene land efter det andet, gik en forskergruppe med store betænkeligheder med til at udvikle processen til krigsformål i USA. Og da Niels Bohr også måtte flygte til Sverige, blev han hentet til England og videre til USA, hvor han opholdt sig under navnet Nicholas Baker.

Det største tekniske problem var at skaffe sig tilstrækkeligt med Uran-235, der som nævnt kun udgør 0,7 % af alt naturligt forekommende. Det måtte altså udskilles fra Uran-238.

Både adskillelse ved brug af halvgennemtrængelige porøce vægge (diffusion) og masseadskillelse ved magnetisk afbøjning blev taget i anvendelse i stor stil under ledelse af den italienske fysiker Fermi.

En enkelt afprøvning blev foretaget 16. juli 1945 i en ørken i New Mexico og som bekendt fandt man det politisk nødvendigt allerede i begyndelse af august 1945 at kaste to bomber over Hiroshima og Nagasaki for at stoppe krigen med Japan.

Den efterfølgende tid blev præget af moralske skrupler og af tanker om , at intet enkelt land alene måtte besidde et så frygteligt våben, og at nu gjaldt det om at udnytte fissionsprocenne til fredelige formål.

De politiske spændinger,båret af indbyrdes mistillid til hinandens motiver samt ønsket om magt og indflydelse, har imidlertid frembragt en stedse større kernevåbenoprustning samtidigt med, at angsten for det radioaktive affalds skadevirkning har bremset en fredelig udnyttelse i betydelig grad.

Men alt det står vi stadig midt i.

En af de alvorligste problemstillinger er knyttet til stoffet Plutonium.

Det dannes når Uran-238 rammes af neutroner. Det sker i selv fredelige atomreaktorer.

Omdannelsen foregår i flere omgange:

$$^{1}_{0}n + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{239}_{92}U$$

Uran-239 er beta-aktiv:

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{239}_{93}Np$$

Dette stof kaldes Neptunium. Det er også beta-aktivt:

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{239}_{94}Pu$$

Hermed har vi fået Plutonium, der har en halveringstid på godt 24000 år. Det er selv alfa-aktivt og omdannes herved naturligt til Uran-235, hvilket jo ganske vist ikke sker særligt hurtigt.

Stoffet kan imidlertid bruges som kernevåbenladninger, ligesom det også vil kunne bruges som kernebrændsel i fredelige reaktorer.

Menneskeheden står altså her med et nyt mægtigt redskab i hænderne. Det kan, som så meget andet, bruges både til gavn og til ødelæggelse,

Om man kan holde balancen og gøre det rigtige,er ikke en selvfølge. Det må man arbejde for. Hver dag.

Povl-Otto Nissen, Ribe Statsseminarium.

Efterskrift:

Der er efterhånden gået mange år siden teksten blev forfattet i 1974, skrevet og tegnet på stencils, duplikeret/kopieret og nu i 2016 skannet ind og udgivet i pdf. I 1974 var tilskyndelsen til teksten og kurset på Ask Højskole, at ELSAM ville bygge et atomkraftværk på Gylling Næs. Det blev afværget med møder og protestmarcher.

Jeg mente, at folks baggrundsviden om problemstillingen var for lille, så derfor. I kurset deltog den gang folk fra egnen samt højskolens elever. Den lektor fra Aarhus Universitet, der skrev i avisen, at den slags kurser kunne man ikke holde på en højskole, fik materialet til gennemsyn og havde derefter ingen indvendinger. Det var jo heller ikke så lang tid efter mit 3 års fysikstudie i København, hvor vi havde rigtig mange lektioner i atom- og kernefysik.

Efter min pensionering fra Ribe Statsseminarium i år 2000, kom jeg med i gruppen omkring etablering af Poul la Cour Museet i Askov og formand for støtteforeningen. Mærkeligt i 2016 at erkende, at jeg allerede i 1974 brugte la Cours metode med en historisk indgangsvinkel. Hvor kom det fra?

I mellemtiden er fossile brændsler, herunder kernekraft, blevet nedtonet til fordel for bæredygtige og renere energiformer. Kernevåben har i perioden holdt under kontrol. Der er dog igen tilløb til oprustning i øst og vest, foruden fremfærden på området i Iran og Nordkorea.

Kan nogen bruge teksten i dag?
Nu lægger jeg den for fuldstændighedens skyld på min hjemmeside www.povlonis.dk.
Jeg har en intention om at lægge alle mine undervisningsnoter der. Der mangler stadig meget!

30. december 2016
Povl-Otto Nissen