

Energi

1. Innledning

Vi mennesker må leve i samfunn med andre for å få et verdifullt liv. Vi er ikke ensomme streifdyr som kan leve alene. Vi må leve i samfunn med andre og dra nytte av en god infrastruktur for at vi skal kunne ha det godt og verdi liv.

Tilgang til energi, og spesielt elektrisk energi, er avgjørende for å skape en utvikling til et bedre liv for mennesker. Andre infrastrukturfaktorer som tilgang til rent vann, ren forurensningsfri luft og systemer for avløps- og søppelhåndtering kreves også i et godt urbant samfunn.

1.1. Den Industrielle revolusjon

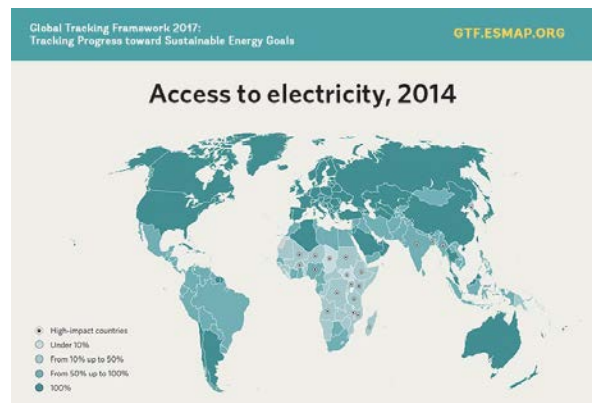
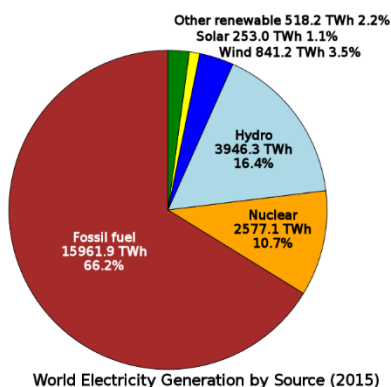
Det var den industrielle revolusjon og opplysningstiden i Europa som skulle innlede en ny æra i teknisk innovasjon og som førte til tilgang på ulike energiformer som bedret livet for de fleste. Spesielt betydde utvikling av elektrisk energi enormt mye for å få et bedre og verdi liv.

Det startet med oppfinnelsen av dampmaskinen. James Watt bygde i 1776 en maskin som ble brukt til å pumpe vann ut fra gruvene i England. Bruk av dampmaskinen skjøt fart da Stephenson oppfant lokomotivet Rocket. Store dampmaskinen ble installert i tekstilindustrien som overførte kraft via belter til ulike spinne- og vevemaskiner. Siden skulle dampmaskiner brukes i stor grad i hele industrien i ulike sammenhenger. Men maskinene var store. Da Titanic ble bygget i 1911 utgjorde maskinene nesten halvparten av skipets rom og vekt.



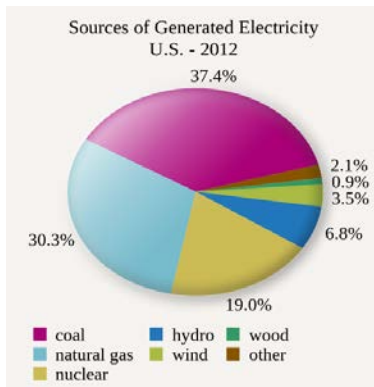
2. Elektrisitetsproduksjon i verden

Det er likevel tilgangen på elektrisk energi som Det er ulike måter å produsere elektrisitet på. Mesteparten av strømmen produseres av generatorer, drevet av ulike former for turbiner. De fleste drives av dampturbiner drevet av en varmekilde som varmer opp vann slik at det koker og blir til damp. Den vanligste varmekilden er kull. 66% av verdens strømproduksjon skjer med kull. Det er 2,425



kullkraftverk i verden i dag som produserer omkring 2,000 GW årlig og slipper ut røft regnet 15 milliarder tonn CO₂ gasser. 10% drives av 156 atomkraftstasjoner som har til sammen 448 reaktorer. Vannkraftverk med vantturbiner tar 16% av markedet. De 341.000 vindmøllene i verden dekker bare 3.5% av verdensbehovet. Solenergi dekker 3.2% av behovet. Andre energikilder som biomasse, olje og gas, dekker bare 3.2%.

Ulike land har svært ulik dekningsgrad av brenselskilder.

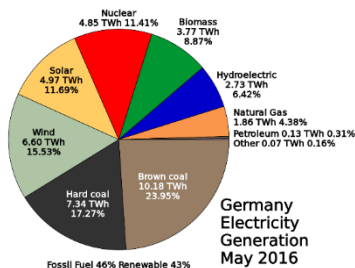
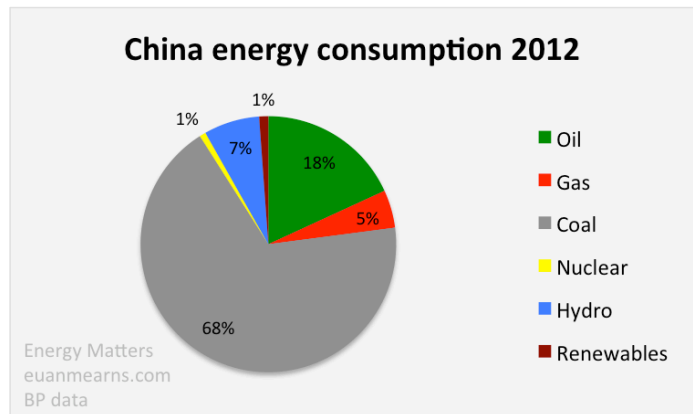


USA bruker kull i 37% av sin strømproduksjon. Landet har verdens største reserver av kull. Det er 587 kullkraftverk i USA. Hver dag får hvert kraftverk ny forsyning med gjennomsnittlig 90.000 tonn kull i 90-100 åpne kullvogner, trukket av et stort antall forurensende diesellokomotiver. Det er nok kull i USA for 150 års drift på dagens nivå. 293 kg kull forsvinner fra hver åpne kullvogn for hver tur, med 125 vogner i et togsett blir det 109 tonn per dag.

20% av strømmen produseres fra kjernekraftanlegg. Det har blitt bygd 100 kjernekraftverk i USA. Mange av disse er gamle og er i ferd med å fases ut. Det er for tiden stor diskusjon i ulike fora i USA

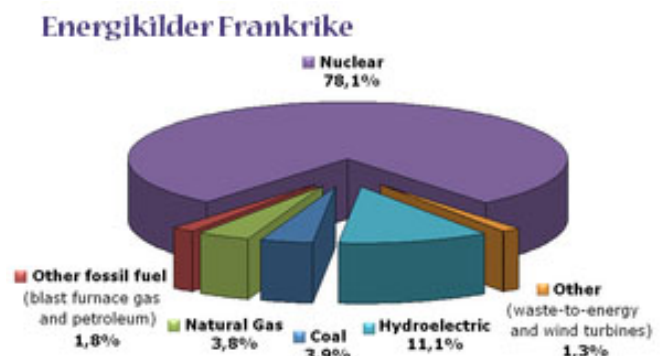
hvilken teknologi man skal velge for å erstatte gamle kjernekraftanlegg.

68% av elektrisk energi i **Kina** produseres fra kull. 18% fra olje og bare 1% fra kjernekraft. Kina satser nå stort på kjernekraftverk og fornybare energikilder. Strømproduksjonen med kull foregår i de nordlige deler av Kina er kraftverkene er lagt i nærheten av kullfeltene. Transportavstanden mellom kullgruvene og kraftanleggene er dermed kort. I stedet blir strømmen overført med 1.1 Mkv høyspentledninger til byene. Dette er en bedre løsning enn hva amerikanerne har gjort som transporterer kull på jernbane fra gruvene i nordlige delene av Midtvesten til kraftverkene på østkysten.

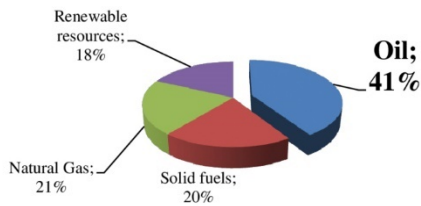


Tyskland har faset ut sine kjernekraftverk etter Fukushima-ulykken og satser stort på sol- og vindkraft. Men Tyskland er en stor forurensere fra kullkraftverk der det fyres med brunkull og annen hardkull. Vindkraft er svært utbygd i Tyskland og er verdens tredje største vindkraftverksnasjon etter USA og Kina. Vindmøllene preger landskapet overalt. Landet har også importert en del strøm fra Frankrike.

Frankrike har satset stort på kjernekraftverk. 78% av strømmen produseres fra kjernekraftverk som har gitt Frankrike billig forurensingsfri strømtilførsel. Men mange av kraftverkene er gamle og er i ferd med å fases ut. Mange blir også bygget om etter Fukushimaulykken for å gjøre de mer sikre.



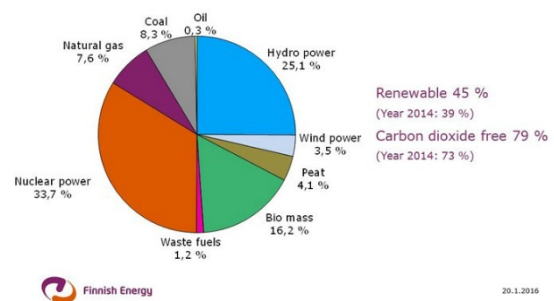
Denmark: 2008 Share of Total Primary Energy Supply



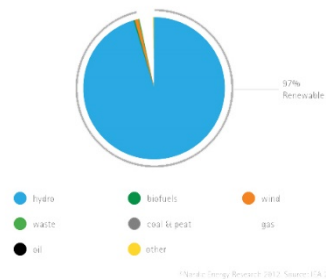
Denmark er kjent for sin vindkraftindustri. Vindmøller og kraftledninger preger det danske landskapet. Men mesteparten av strømproduksjonen skjer likevel fra olje og gass. Det er vedtatt et program for å redusere antall vindmøller i Danmark.

Finland har satsset stort på kjernekraft basert på Fransk teknologi. I tillegg er andelen vannkraftverk stort og bruk av biomasse fra skogsindustrien for strømproduksjon. Finland importerer en del strøm fra Sverige, Estland og Russland.

Energikilder i Finland (2015)



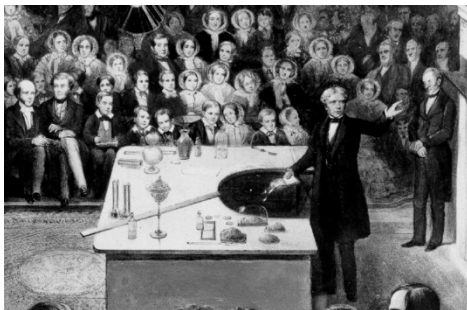
Norwegian electricity production 2011



Norge står i en særstilling der mesteparten av strømmen produseres med vannkraft. Ingen nasjon i verden har en tilsvarende andel av ren forurensningsfri strømproduksjon som Norge. Men etter at strøm i 1991 gikk over fra å være en del av infrastrukturen til å bli en salgsvare, har strømmen i perioder blitt solgt til utlandet. Det har i andre perioder ført til strømmangel slik at vi har måttet importere tilbake strøm fra forurensende kullkraftverk på kontinentet eller fra kjernekraftverk fra Sverige.

3. Elektrisiteten

Den ultimate energiformen ble likevel elektrisiteten.

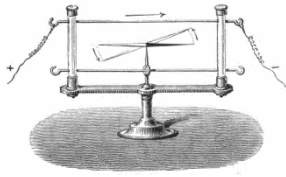


En stor rolle for denne utviklingen spilte forelesningsalen i Royal Society i London, - i tillegg til virksomhetene på universitetene i Cambridge og Oxford. 15 vitenskapsmenn som har vært knyttet til selskapet, har fått Nobelprisen i forskjellige vitenskaper. Her finnes et berømt kateter med en karakteristisk bue som i flere hundre år har formidlet viktige oppdagelser i ulike vitenskaper. Universitetet i Cambridge og Oxford – som regnes fortsatt som et av verdens fremste – spilte også en fremtredende rolle i utviklingen av den industrielle revolusjon.

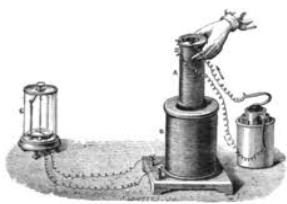
Den første elektriske lyskilden var Alessandro Voltas batteri-søyle,¹ oppfunnet i 1799. Han sendte et brev til Royal Society i 1800 der han fortalte om oppfinnelsen. Det var den første innretningen som kunne levere kontinuerlig elektrisk strøm. I kjelleren i Londons Royal Institution bygde Humphry Davy verdens største batteri i 1808 som bestod av over 800 Volta-søylar. To



ledninger fra batteriet ble ført opp til kateteret i Royal Society og koblet til to karbonstaver. Når disse kom nær hverandre, gav det en konstant gnist over stavene som gav en sterkt, konstant intens hvitt lys. Dette var verdens første buelampe som ble vist i 1808. Buelampene ble senere brukt en del til utendørs belysning. Ulempen var at de brukte 3000 volt driftsspenning, krevde mye vedlikehold og gav en ujevn flikkene belysning.



Hans Cristian Ørsted² oppdaget sammenhengen mellom elektrisk strøm og magnetisme. Han viste i 1820 at en kompassnål beveget seg når den var parallell med en elektrisk leder. Dermed ble det oppdaget en sammenheng mellom elektrisk strøm og magnetisme som skulle bli den grunnleggende oppdagelsen for den senere utviklingen av elektrisk energi. Magnetismen ble brukt til å utføre et arbeid, - det ble et utslag på kompassnåla.



En banebrytende oppdagelse og oppfinnelse ble gjort av Michael Faraday³ da han demonstrerte induksjon i 1831. Han førte en stavmagnet i en ledningsspole og påviste at det gikk strøm i ledningen når han tok magneten ut og inn av spolen. Dette skjedde på det berømte kateteret i



Royal Society i London. Dette ble starten til å bruke *endring i strømmen*, vekselstrøm, der strømmen i kretsen endrer retning kontinuerlig, som det bærekraftige grunnlaget for den senere utbygging av strømnettet. Senere skulle James Clerk Maxwell føre dette inn i matematiske fomler.

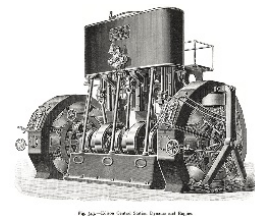
Ottó Bláthy, Miksa Déri, Károly Zipernowsky of the Austro- i Hungarian Empire (Ganz Works) fant opp transformatoren.^{4,5} Dette ble demonstrert på en nasjonal utstilling i Budapest i 1885 der hele utstillingen ble opplyst med elektrisk lys fra Ganz Works. En linje på 1350 volt og 70 Hertz vekselstrøm ble overført til 75 små manteltransformatorer som de hadde funnet opp, opplyste 1067 glødelamper på 100 volt. Bláthy besøkte Edison i New York i 1886. Han bidro også til elektrifiseringen av Roma i 1886 og senere Wien.



Károly Zipernowsky, Ottó Bláthy og Miksa Déri ble kjent som ZBD-gruppen.

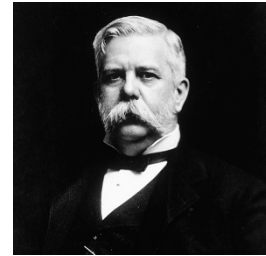
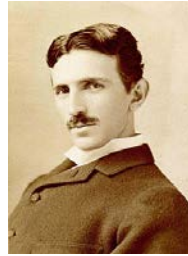


Thomas Edison⁶ oppfant lyspæren i 1879. Den erstattet parafinlampen og gasslampen som lyskilde. Edison tok ut hundrevis av patenter i virksomheten sin. I 1882 laget han en likestrømsdynamo, drevet av en dampmaskin som gav 110 volt likestrøm til belysning for 59 brukere på Manhattan. Deretter ble den omvendte



dynamoen introdusert, likestrømsmotoren, som satt fart i undergrunnsbanene i storbyene i USA. Edison brukte likestrøm og førte en heftig kampanje mot sin rival Westinghouse som brukte vekselstrøm.

Det var først med vekselstrømmen og transformatoren at det ble fart på utbyggingen av strømforsyningen. Fordelen med vekselstrøm var at det kunne transporteres over lange avstander. Det ble mulig ved hjelp av transformatorer der elektrisiteten kunne transformeres opp til høye spenninger som dermed krevde lave strømmer. Dobling av spenningen halverte strømmen i lederen som førte til vesentlig mindre



tap i overføringen. Westinghouse fikk kontrakten med å levere generatorer i kraftverkene i Niagarafallene.

Westinghouse



Ferraris Pionerer

Vekselstrøm ble utviklet i Europa. Italieneren Galileo Ferraris regnes som far for trefase vekselstrøm. Han var ingen entreprenør, men vitenskapsmann som publiserte resultatene sine fortløpende og tok ikke ut patenter. Westinghouse og Tesla brukte det amerikanske rettssystemet for å sikre seg patentene som opprinnelig burde innehas av Ferraris.

Ganz Works⁷ i Ungarn (1845-1949) var pionerer i utviklingen og salg av vekselstrømsprodukter. Her var et stort innovativt miljø der mange bidro til en betydelig utvikling av vekselstrømmaskiner basert på trefase vekselstrøm. Selskapet AEG fanget fort opp trefasestrøms-teknologien i Tyskland og ble de første som ble ledende på dette området der. Etter hvert kom også svensk/sveitsiske ABB og Siemens med i løpet.



Werner von Siemens



Johann Georg Halske

Siemens⁸ ble etablert i Tyskland i 1884 av Werner von Siemens og Johann Georg Halske. Westinghouse plukket opp impulser fra Tyskland og kjøpte en enfase vekselstrøm-generator fra Siemens. Westinghouse var en stor personlighet som greide å samle mange flinke folk rundt seg. Han tillot også at medarbeiderne tok ut egne patenter, noe som Edison ikke gjorde. Han beholdt patentene selv og

lot ikke medarbeiderne sine ta ut noen. Det utviklet seg en

konseptkrig mellom Edison som satset på likestrøm og Westinghouse som satset på vekselstrøm. Edison engasjerte seg sterkt i denne krigen, ofte på ufine måter. Han sa at høyspent vekselstrøm var farlig og kunne føre til ulykker. Den elektriske stolen ble brukt som et av argumentene om hvor farlig vekselspenningen var. Edison kalte avretting med den elektriske stolen for å 'Westinghouse' dødsdømte forbrytere. Men etter hvert tapte Edison konseptkrigen. Han ble tvunget ut av sitt eget selskap av investoren J.P Morgan, som slo selskapet hans sammen med andre og dannet General Electric.



Det store gjennombruddet med vekselstrøm i USA skjedde på verdensutstillingen i 1883 der Westinghouse vant konkurransen om å levere belysning til utstillingen. Han tenkte opprinnelig å bruke Edisons patenterte lyspærer til belysningen, men på grunn av striden mellom dem måtte han i stedet produsere sine egne noe dårligere pærer som måtte skiftes ut ofte. Han etablerte en egen fabrikk for dette til dette og greide å produsere 250 000 pærer til

verdensutstillingen. Den ble en braksuksess for Westinghouse og ført til store salg av vekselstrømsystemer, både generatorer, transformatorer og lysutstyr. Etter hvert produserte Westinghouse også annet elektrisk utstyr. Fram til etter andre verdenskrig leverte selskapet over 55% av alle hvitevarer på det amerikanske markedet. I 1892-1895 leverte han med hjelp fra Tesla og

Stanley de første generatorene i Niagara Falls med tre store generatorer, hver på 5000 hk. Strømmen ble overført som 20kV/25Hz tofase høyspentledning med fire kabler til Buffalo. Senere ble det skiftet ut til trefase treleders ledningsnett. Generatorene virket helt fram til 1961. Strømmen ble først brukt til belysning. Senere ble elektromotorer brukt som gjorde at elektrisitet ble en avgjørende kraftkilde for industriutviklingen.

Et stort gjennombrudd kom også med trefase vekselstrøm i forhold til den opprinnelige toleders enfasestrømmen. Med en ekstra kabel i strømnettet kunne man overføre tre ganger så mye energi som med bare med to kabler enfase vekselstrøm. Fasene ble forskjøvet 120 grader i forhold til hverandre. På den måten hindret man at motorene ikke startet på grunn av dødpunkter i nullpunktene i enkeltfase vekselstrøm. I Europa ble det eksperimentert med multifase vekselstrøm. I tofase vekselstrøm ble den ene fasen forskjøvet 90 grader i forhold til den første for å hindre dødgang i oppstart av motorer. Da brukte man fire ledere.



William Standley

Transformatoren ble videreutviklet av William Standley i USA, Lucien Gaulard (Frankrike) og Sebastian Ziani de Ferranti (England). Det brukes til å bringe spenningen opp eller ned i strømnettet.

3.1. Elektrisitet i Norge

I sin spede begynnelse ble elektrisiteten hovedsakelig brukt til belysning, og det første elektriske lysanlegget i Norge ble installert ved sagbruket Lisleby Brug ved Fredrikstad i 1877. Kristiania fulgte hakk i hæl, og i 1878-79 ble lysanlegg installert ved Bentse Brug Papirfabrik og Christiania Seildugsfabrik. Disse anleggene hadde en egen dynamo som produserte den elektriske energien.

I Norge kom elektrisiteten tidlig på slutten av 1800-tallet. I starten var det dampdrevne likestrøms-dynamoer som ble installert i byene. Etter hvert kom også vekselstrømmen. Det første vannkraftverket – kanskje i hele verden og iallfall før Niagara Falls - ble bygget i Hammerfest som i 1891 fikk det første kommunale kraftverket i Norge. Men det manglet standarder, og både frekvens og spenning varierte rundt om i landet. Hammerfest var den første byen som fikk vekselstrøm.

Trondheim fikk elektrisk strøm i 1901 da Øvre Leirfoss ble bygget ut. Turbinene ble levert av Kverner mens generatorene ble levert av tyske Schuckert & Co. Siemens Halske leverte trikker som kom samtidig til byen. Kraftverket leverte trefase vekselstrøm på 9KV som ble levert direkte fra generatorene over en høyspentlinje til en trafostasjon på Valøya. Slik sparte man utgiftene til egen trafo på kraftstasjonen. 31



transformatorstasjoner rundt om i byen leverte spenning på 150 volt til forbrukerne. Glødelampene den gangen tålte ikke høyere spenning. Først i 1906 kom glødelamper som tålte 220 volt. Det var først etter krigen at omleggingen skjedde til 220 volt i Trondheim. Det ble ikke fullført før i 1981. Nedre Leirfoss kom i 1910. Etter hvert fikk vi en omfattende utbygging av kraftanlegg langsetter Nidelva og Nea-vassdraget.

Elektrisk energi var opprinnelig en del av samfunnets infrastruktur. Nå har det blitt et salgsprodukt som eksporteres fra Norge til Europa. Energiprisen bestemmes ikke lenger av reelle kostnader strømselskapene har med produksjonen, men av markedsprisen for strømmen som en vare. Den kan bli mye høyere enn de reelle kostnadene selskapene har for å produsere den. Energi har blitt et av verdens største markeder.

4. Kulldrift

Kull er den største bidragsyteren til den menneskeskapte økningen av CO₂ i atmosfæren sammen med bil- og båttrafikken. Det er alvorlige helseeffekter forårsaket av å brenne kull. I følge en rapport fra Verdens helseorganisasjon i 2008 anslås forurensning av kullpartikler å forkorte cirka 10 000 liv årlig over hele verden.

I 2019 er det anslagsvis 2.425 kullkraftverk i verden, som gir en driftskapasitet på rundt 2000 GW og omtrent 15 milliarder tonn CO₂-utslipp.

I USA har 86 kulldrevne anlegg en kapasitet på 107,1 GW, eller 9,9% av den totale amerikanske elektriske kapasiteten, de ga ut 5 389 592 tonn CO₂ i 2006 - som utgjør 28,6% av amerikanske CO₂-utslipp fra alle kilder.

De største kraftprodusentene i Kina har bedt regjeringen om å tillate utbygging av mellom 300 og 500 nye kullkraftverk innen 2030 som alene kan sette de globale klimamålene i fare.

Kina dekker etterspørselen etter til sin egen produksjon og kjøper i tillegg fra regionale naboer. I 2017 kom kullimporten, hovedsakelig fra Australia (79,9 millioner tonn), Indonesia (35,2 millioner tonn), Mongolia (33,5 millioner tonn) og Russland (25,3 millioner tonn).

I hele verden er det over 600 kullkraftverk i 25 land under bygging for øyeblikket.

Kina bygger eller planlegger mer enn 300 kullanlegg utenfor Kina, i Tyrkia, Vietnam, Indonesia, Bangladesh, Egypt og Filippinene.

Det er anslagsvis 1,1 billioner tonn påviste kullreserver over hele verden. Dette betyr at det er nok kull til rundt 150 år med dagens produksjonshastighet. I kontrast tilsvarer påviste olje- og gassreserver til rundt 50 og 52 år drift på dagens produksjonsnivå.

Det er 1600 nye kullkraftverk som blir bygget over hele verden i 2019. Da var det anslagsvis 2.425 kullkraftverk i verden med en driftskapasitet på rundt 2000 GW strøm og fører til omtrent 15 milliarder tonn CO₂-utslipp.

Etter Fukushima-ulykken i Japan har landet stengt alle sine kjernekraftverkanlegg og skal bygge 22 nye kullkraftverk i stedet. Japan må importere alt kull til sine kraftverk.

2019 estimate of total coal production	
Country	Production ^[14]
China	3,692 Mt
India	745 Mt
United States	640 Mt

Indonesia	585 Mt
Australia	500 Mt
Russia	425 Mt
South Africa	264 Mt
Germany	132 Mt
Kazakhstan	117 Mt
Poland	112 Mt

5. Alternative energikilder

5.1. Vindkraft

Vindturbiner er krevende mekaniske konstruksjoner som utsettes for store krefter. En vindmølle har en levetid på omkring 20 år og krever mye vedlikehold. Da må den demonteres, noe som er like ressurskrevende som å montere dem. Det har skjedd en rekke ulykker med vindmøller som konstruktørene ikke kan forklare. Mange ønsker derfor ikke å bo i nærheten av dem. I tillegg kan de også støye. I dag finnes 341.000 vindmøllene i verden som dekker bare 3.6% av strømbehovet i verden. Dersom verdens energibehov skulle dekkes bare med vindkraft, må det installeres 3.995.434 vindturbiner som dekker et areal tilsvarer halve Alaska (859.000 km²).

I Danmark dekkes 39% av energiproduksjonen (2014) med 6100 vindmøller. Det er vedtatt (2017) at dette antallet skal ned til 1850 innen 2030.

I Tyskland er det 26.772 vindturbiner i 2015 som produserer 55,6 GW strøm. Tyskland er verdens tredje største vindkraftnasjon. Vindmøllene preger landskapet i store deler av Tyskland.

USA har 57.000 vindturbiner som genererer 286,6 TW i 2019. Dette dekker 6,9% av behovet i USA og landet er verdens nest største vindparknasjon.

Kina har over 92.000 vindturbiner som leverer 145 GW strøm. Verdens største vindturbinpark er i Kina og har 7000 turbiner. Men på grunn av manglende etterspørsel utnyttes bare 40% av kapasiteten. Manglende nettverk er også en av årsakene til den lave utnyttelsesgraden.

Norge har i 2018 36 vindkraftverk med 610 turbiner.

Norge har engasjert seg sterkt i bygging av vindmøller til havs. Equinor har fått kontrakt på et vindmølleanlegg til havs utenfor New York som er blant verdens største. I tillegg har selskapet fått konsesjon på verdens største anlegg til havs i Nordsjøen. Men slike anlegg til havs er enda mer krevende enn anlegg på land. I tillegg på man han overføringskabler til land fra anleggene.

5.2. Solkraft

Solenergi krever bruk av store arealer som ikke kan brukes til noe annet. Kina har funnet ut at 40% av byarealet er veier. De kan dekkes med solpanel. Men det har vist seg at det er en utfordringer med at veidekket ikke tåler den tunge vegtrafikken, da kan panelene skades. Det kan imidlertid være en

glimrende ide at veibanen dekkes med solceller som samler energi som kan overføres til elektriske biler med induksjon når de kjører på dem.

Dersom verdens energibehov skal dekkes med solpanel alene, må et areal på 496.805 km² dekkes med solenergipanel. Norge er på 385.203 km². Dette arealet kan da ikke brukes til noe annet. Dette viser at det er urealistisk at solpanel kan bidra vesentlig til å dekke urbane strømbehov. Dessuten gir ikke panelene strøm når det er mørkt slik at man i tillegg må ha en form for et lagringssystem av energien for senere bruk. En slik teknologi har iv ikke i dag. Men solpanel kan gjerne dekke mindre lokale behov der de legges på hustak. Virkningsgraden på solceller ligger på omkring 30%.

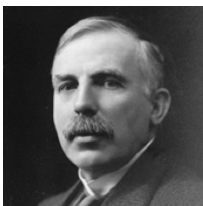
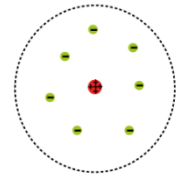
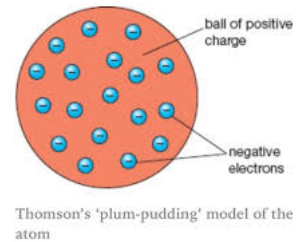
6. Atomfysikk

I begynnelsen mente man (Demokrit) at ble universet bestod av atomer som det minste, udelelige elementet. Det var et 70-talls ulike typer atomer, et for hvert grunnstoff.



John Thompson

I 1897 oppdaget og identifiserte Joseph John Thompson⁹ elektronet som en del av atomet. Han mente at elektronene var fordelt i atomet som rosiner i en deig der deigen var positiv og elektronene var negative. Ernst Rutherford, student av Thomson, kartla hva alfastråler var og i 1919 brukte de til å bombardere gullfolie. Han oppdaget at noen få ble reflektert mens mesteparten passerte rett gjennom. Han konkluderte at atomet måtte bestå av en liten positiv kjerne. Senere fant han ut at den bestod av positive protoner. James Chadwick som også jobbet med Rutherford og oppdaget nøytronet.



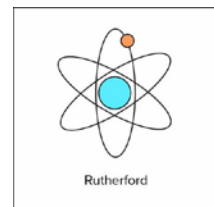
Ernest Rutherford



Frederik Soddy

Fredrik Soddy jobbet sammen med Ernest Rutherford (1917, Cambridge). Han mente at et stoff hadde ulike isotoper, det vil si ulike antall nøytroner i kjernen. Rutherford oppdaget begrepet halveringstid for et radioaktivt stoff. Han separerte elektronet fra atomet og satt igjen med et positivt ion, Et heliumatom ble alfa-partikkel, det samme som strålte ut fra Radium. En alfapartikkel som bombarderer et

nitrogenatom, omdanner det til et oksygenatom. Samtidig ble det frigjort en partikkel som han kalte et proton, en positiv partikkel som ble skilt ut fra kjernen i atomet. I motsetning til Thomson mente Rutherford at atomet bestod av en massiv positiv kjerne og elektroner som var utenfor. Han var den første som beskrev atomet med en positiv kjerne. Først beskrev han kjernen som massiv positiv, senere beskrev han at kjernen bestod av protoner.



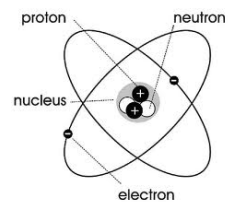
James Chadwick



Niels Bohr

I 1932 oppdaget James Chadwick (fra Cambridge) den tredje partikkelen i atomet, nøytronet. Nå ble atomet oppfattet som en kjerne som bestod av nøytroner og protoner med elektronet i bane rundt. Det hadde en størrelse på 2000 ganger mindre enn det minste atomet, hydrogen, og at det hadde en negativ ladning. Det sirkulerte rundt

atomet som jorda rundt sola. Danske Niels Bohr utviklet dette videre og la grunnlag for København-skolen for utviklingen av kjerne- og kvantefysikken.



I 1905 publiserte Albert Einstein fem dokumenter om masse og energi. All materie inneholdt energi, og berømt er hans formel $E=mc^2$. Denne oppdagelsen var en revolusjon i utviklingen av kjernefysikken.

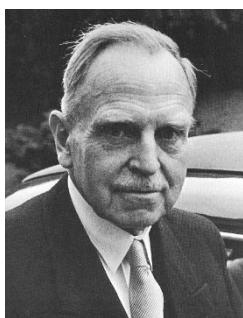
Albert Einstein



Italieneren Fermi bombarderte ulike materialer med nøytroner. Dette var interessant siden nøytronet var nøytralt og ble ikke frastøtt fra protonet i atomkjernen. Det førte til at atomkjernene absorberte nøytronene og dannet nye isotoper. De oppdaget også at dersom nøytronet ble bremsset opp før det traff atomet, var sannsynligheten større for at det ble tatt opp i atomkjernen. Dette kalte man at nøytronet ble moderert. På den tiden var uran det tyngste elementet i det periodiske systemet. Da de bombarderte uranatomet med nøytroner, fikk de noen ukjente partikler. Fermi visste ikke da hvilke partikler dette var. Fermi startet forsøkene med å bombardere urankjernene med protoner fra en akselerator, men dette krevde mye energi for å overvinne frastøtingen fra de positive protonkjernene i atomene. Nøytronene var nøytrale, og da var det ikke så energikrevende. Ida Noddak gav artikler i 1934 til Fermi om at uran også kunne bli spaltet til mindre partikler, men Fermi la papirene i en skuff og mente at dette var lite sannsynlig. Fermi fikk nobelprisen for sine oppdagelser etter at han publiserte dem. (1938). Etter prisutdelingen i Sverige dro familien Fermi til USA på grunn av de store usikkerhetene for jødene som etter hvert dukket opp i Europa. Albert Einstein hadde allerede dratt dit.



Leo Szilard¹⁰ var en ungarer som unnfanget ideen om kjernereaksjoner i 1933. I 1934 tok ham patent på ideen om en kjernefysisk reaktor. Han forutså krigsutbruddet og dro først til England og deretter til USA. Der tok han del i Manhattan-prosjektet. I England krevde han at patentet hans skulle holdes hemmelig fordi han skjønnte at dette kunne brukes i krigsindustrien.



Otto Hahn



Lise Meitner

I Tyskland hadde Otto Hahn og Lise Meitner jobbet sammen i 30 år. Lise Meitner var jøde og måtte dra til Sverige i 1938 på grunn av de urolige tidene i Tyskland. De korresponderte med hverandre etter at hun dro. Hahn fortalte Meitner at da han bombarderte uran med nøytroner, så det ut til at de fikk barium. Lisa Meitner fikk besøk av sin nevø Otto Frish som jobbet i Danmark.



Otto Frish

De mente at uranatomet ble brutt til to deler. Hvis den ene delen var barium, måtte den andre delen være krypton mente de. De oppdaget da at den samlede masse av de to atomene var mindre enn massen til det opprinnelige uranatomet. Det betydde at differansen i masse måtte frigjøres som energi i tråd med Einsteins $E=mc^2$ formel. Frish dro tilbake til København der han jobbet sammen med Nils Bohr. Da han hørte om dette, ble han overbevist om at det var riktig og at det kunne få svært stor betydning for utvikling av kjernefysikken. Nils Bohr dro også til



Niels Bohr



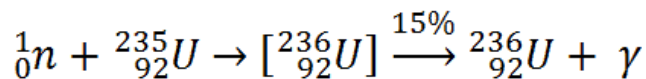
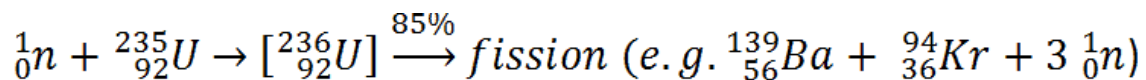
Leo Szilard

USA i 1939 til en fysikkkonferanse. Der gav han forelesninger til fysikkmiljøet der om de nye oppdagelsene, Det var Lise Meitner og Otto Frish som kalte dette for fisjon. Fysikerne i USA skyndte seg til laboratoriene sine for å bekrefte dette. Samtidig gikk det opp for dem at dette kunne brukes til å lage bomber. Det var også stor bekymring over at disse eksperimentene hadde startet i Tyskland. Der var fortsatt mange briljante fysikere igjen selv om en tredjedel flyktet til USA. Mange var jøder. De immigrerte vitenskapsmennene i USA startet

nå en tosidig kampanje for å samle informasjon om dette fra utenfor USA. De advarte den amerikanske regjeringen om konsekvensene av denne oppdagelsen og for at Tyskland kunne lede an i utviklingen av denne forskningen. Eugene Wigner, Szilard og Teller formulerte et skriv som de fikk Albert Einstein til å signere. En ikke-vitenskapsmann leverte brevet til president Roosevelt september 1939. Det ble sagt i brevet at et kilogram uran inneholdt tilstrekkelig energi til å radere ut en by. Tyskland hadde fram til krigen hatt det største fysikkmiljøet i verden, og det var bekymring over at Tyskland kan utvikle en slik bombe. Alle vitenskapelige publikasjoner fram til krigen på dette feltet, var på tysk. Men nå hadde en tredel av vitenskapsmennene forlatt Tyskland, mange av dem var jøder, og det ble utviklet et stort fysikkmiljø i USA. Roosevelt startet øyeblikkelig ved å finansiere et forskningsprosjekt om dette. Det gjaldt å komme tyskerne i forkjøpet.

I Tyskland sendte Heisenberg et memorandum til Hitler om at det var mulig å lage en fisjonsbombe som kunne brukes i krigsindustrien. Men han mente at det ta minst fem år å få resultater. Speer, som var rustningsminister, frarådet derfor å bruke store ressurser til dette, ressurser som heller kunne komme mer til nytte i krigsaktivitetene. Hitler sa seg enig i dette. Dermed ble satsingen på en fisjonsbombe kansellert av Hitler.

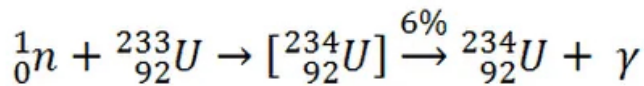
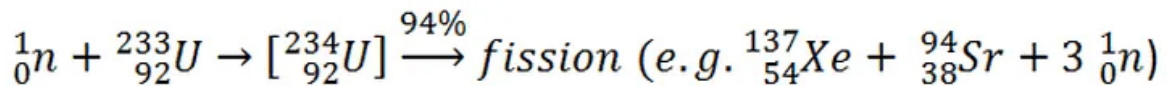
Bare 0,7% av naturlig uran (U^{238}) er reaktivt (U^{235}). Ved å kombinere seks flurin-atomer (ni protoner, to nøytroner) med hvert uranatom fikk man dannet en gass, og dette kunne brukes til å skille tunge uranatomer fra lettere form av uran. Glenn Seaborn var en kjemiker ved Berkeley (1939). Han hadde tilgang til en syklotron som kunne bombardere uran og thorium med nøytroner. Han oppdaget nye stoffer, neptunium og plutonium, og U^{233} -isotopet. Han oppdaget at både U^{233} og plutonium kunne brukes til kjernekraftbrensel siden de var reaktive. Siden dette var i en krigstid, ble han instruert til å bruke disse oppdagelsene til å lage kjernekraftvåpen. Seaborn fortsatte å forske på thorium for å se om dette også kunne brukes til våpen.. U^{233} ble forurenset med andre stoffer som førte til stor radioaktiv stråling, blant annet isotopet U^{232} . Men han fant ut at U^{233} kunne produsere nok protoner i fisjonsprosessen til å lage nye U^{233} -isotoper i en større grad enn hva den produserte. Dette betydde at vi her fikk en ubegrenset kilde for kjernekraft. Siden det var i en krigstid, ble konsentrasjonen gitt til bruk til våpenproduksjon framfor energiproduksjon. Hadde dette vært i en annen tid, ville utviklingen blitt svært annerledes.



11

Barium er et sølvfarget alkalisk svært reaktivt metall. Krypton er en ikke-giftig [edelgass](#) med karakteristiske grønne og orange [spektrallinjer](#). I gass- og væske-form er den fargeløs, men i fast form er krypton hvit med kubisk flatesentrert [krystallstruktur](#), noe som er en vanlig egenskap for edelgassene.

Etter krigen ble det satset på sodium-reaktorer for å produsere mer plutonium enn hva som ble konsumert. Det ble bygget slike reaktorer, men de hadde nedsmeltinger og ble avviket. Weinberg, imidlertid, brukte fluorid salt og thorium som ikke kunne nedsmelte. Men Nixon ville satse på plutoniumreaktorer i stedet for thoriumreaktorer, så arbeidet med thoriumreaktoren ble kansellert.



12

Xenon er en tung, farge- og luktfri [edelgass](#). Strontium er et bløtt sølv/hvit/gulaktig svært reaktiv alkalisk metall.

6.1. Manhattan-prosjektet

General Leslie R. Groves, som tidligere har vært ansvarlig for bygging av Pentagon, fikk til oppdrag å lage atombomben ut fra de muligheter som lå i kjernekraften. Robert Oppenheimer ble satt til å være den vitenskapelige lederen.



Robert Oppenheimer

Det første som måtte gjøres, var å bekrefte at det var mulig å skape en fisjonsprosess. Det hadde vært teoretiske beregninger for dette, men ingen har påvist det i et forsøk.

Szilarid fikk tak i 200 kilogram uranoksid fra Canada. Sammen med Fermi utformet de en reaktor der de brukte uranoksid sammen med grafitt som moderator for å bremse nøytronene. Vann var vurdert, men siden hydrogenet i vannet absorberte nøytronene, var det ikke så godt egnet som moderator. Helst ville de bruke tungtvann, men det hadde de ikke tilgang til. Grafitt kunne moderere nøytronene uten å absorbere nøytroner. De bygde en stabel med grafittblokker fylt med



uranoksid. Den første stabelen ble bygget med seks tonn uranoksid og 30 tonn grafitt på Manhattan, i syvende etasje i Pupin Hall Laboratory. Senere ble det flyttet til under tribunen til tennisbanen på Universitetet i Chicago, midt i Chicago sentrum. Opprinnelig skulle det bygges 20 km utenfor byen, men det oppstod en krangel med



Enrico Fermi

entreprenøren om byggingen, så det ble droppet. Effekten av forsøket var ukjent. De hadde sendt et brev til president Roosevelt om at et kilogram uran har sprengkraft til å utradere en by. Nå hadde de samlet seks tonn av dette stoffet under tribunen på en tennisbane midt i Chicago! 2. desember 1942 ble reaktoren kritisk, det vil si at den produserte flere nøytroner enn hva som gikk tapt. Fermi planla og beregnet løpende hvert steg i prosessen slik at han hadde fullstendig kontroll.



Dette forsøket ledet til bygging av Hanford-anlegget i Washington State der det ble produsert plutonium. Dette ble et biprodukt av fusjonsprosessen med uran.

Den 16. juli 1945 detonerte den første atombomben i New Mexico. Senere autoriserte Truman å bruke de to atombombene som ble sluppet over Japan i 1945. Grunnen til dette, var at amerikanerne mente at det kunne spare tusenvis av amerikanske liv i å nedkjempe Japan. De mente at de to detonasjonene førte til at Japan kapitulerte. Men frykten i Japan for at Sovjet skulle få fotfeste i

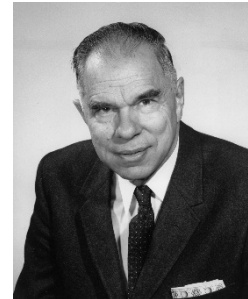
Japan etter krigen siden de erklærte krig mot Japan mot slutten av krigen, var et like stort bidrag som avgjorde at den Japanske keiseren kapitulerte.

Mange sovjetiske spioner gav Stalin informasjon om atombombene som førte til at også Russerne detonerte sin første atombombe. Dermed ble det et rustningsløp mellom vesten og Sovjetsamveldet som førte til over 2000 prøvesprengninger. Dette var en galskap som også førte til mange ulykker.

6.2. Plutonium

Plutonium (Pu) er et radioaktivt stoff med atomnummer 94. Det er ikke et naturlig grunnstoff. Det ble først produsert 14. desember 1940 ved at Uran-238 ble bombardert av deuterium på Berkeley av et team ledet av Glenn T. Seaborg. De sendte inn en rapport om funnet til Physical Review i mars 1941, men ble holdt tilbake for publisering til 1948 på grunn av krigstilstanden på den tiden.

Avfall fra uranbaserte kraftverk inneholder ulike plutoniumisotoper siden dette avfallet omdannes til plutonium over tid.



Glenn T. Seaborg

6.3. Hanford

General Leslie R. Groves, som ledet Manhattan-prosjektet, tok kontakt med Dupont i 1942, en



kjemikalieprodusent, for å bygge en plutoniumfabrikk nær Hanford i delstaten Washington. Plutonium ble konvertert fra uran, og det gjaldt å finne kjemiske måter å vinne ut plutoniumet fra uranet. I 1943 satte arbeidet i gang, og på det meste i 1944 jobbet 44.900 med byggingen av anlegget. Arbeiderne var godt betalt og nøt godt av spesielle rasjonaliseringsgoder som andre i USA ikke fikk på grunn av krigstilstanden i landet. I 1945 var det bygd 554 bygninger, inkludert tre kjernereaktorer og tre plutoniumsprosesserings-

anlegg. Etter den andre verdenskrig ble anlegget utvidet til mer enn 900 bygninger. 177 avfallstanker ble bygd under bakken. Disse tankene lekket senere avfall i bakken og forurenset grunnvannet. I løpet av produksjonstiden ble det i tillegg til tankene lekket 710.000 m³ radioaktivt avfall i bakken. Hanford er en av de mest forurensete stedene i USA. I de 40 årene fram til 1965 da anlegget ble stengt, ble det produsert 57 tonn plutonium som ble brukt til 60.000 atomvåpen. Anlegget var sterkt radioaktivt, og måtte stå urørt i 70 år før avfallet var brutt ned såpass at stedet kunne ryddes opp.

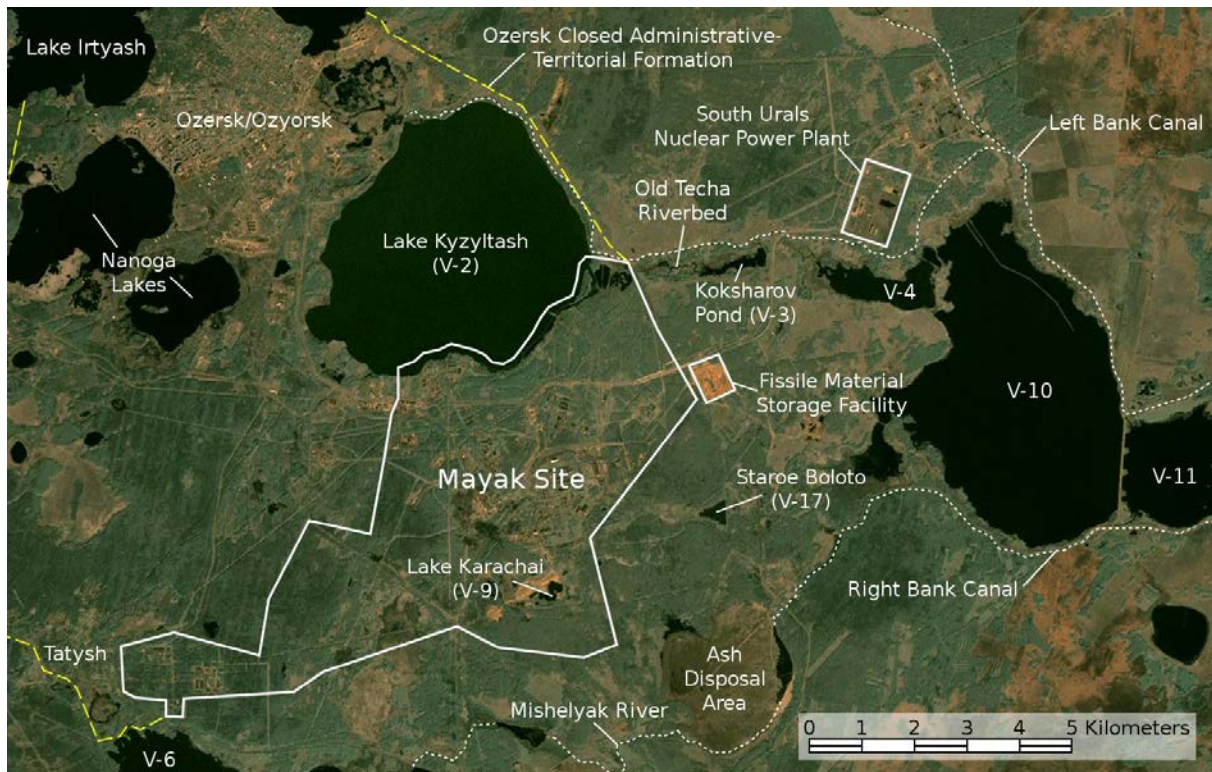
6.4. Mayak site i Russland

Mayak ved Ozyorsk produserte plutonium. 40.000 Gullagfanger og POWs bygde fabrikk i 1945-48.



Avfall ble dumpet i Techa-elva. På grunn av tidsnød i å skaffe kjernevåpen raskt i konkurranse mot amerikanerne, var man ikke så nøye med sikkerhet og miljøvern. 124.000 mennesker levde langs elva og brukte den til drikkevann, bading og fiske. I 1951 fant de ut at elva var svært forurenset. Da det ble oppdaget, ble 1.200 fra Metlino evakuert. De hadde fått livstruende doser radioaktivitet i seg i løpet av en uke. Senere ble ti andre landsbyer evakuert, mens den folkerike byen Muslumovo ble ikke evakuert. I

1953 undersøkte leger 587 av 28.000 eksponerte innbyggere og fant at 200 hadde klare tilfeller av radioaktivitetforgiftninger. I 1957 eksploderte en tank med 70-80 tonn kjernefysisk avfall. Kjølingen



av tanken sviktet og temperaturen i den begynte å stige på grunn av kjernefysisk nedbrytning. Den 29. september eksploderte tanken og førte til forurensninger av Techa-elva. Kyzyltash -sjøen like ved regnes som verdens mest radioaktivt forurensede stedet på kloden. Ved bredden får man en dødelig dose stråling i løpet av en time. Sjøen ble dekket med spesialbetongblokker i 1978-1986 og viser et fall i radioaktiviteten etter 10 måneder. Stedet ble holdt hemmelig av styresmaktene og fantes ikke på kartene. Akkurat i det øyeblikket tanken sprengte, ble omtrent 20 millioner curies av radioaktive stoffer i luften. En rasende vind den dagen blåste denne giftige skyen 300 kilometer fra Ozersk i nordøstlig retning, og påvirket 217 byer og landsbyer i de tre nærmeste områdene. Ordlyden "Kyshtym-ulykke" dukket opp på grunn av det faktum at Chelyabinsk-40 var en lukket by, ikke angitt på kartet. Derfor var dens eksistens stille og fikk et navn, med fokus på den nærmeste bosetningen - Kyshtym. Fem timer senere merket folk den radioaktive skyen. Men i det øyeblikket ble det tatt feil av nordlyset. I virkeligheten farget dette radioaktive avfallet i luften rosa og lyseblått på grunn av forfallet av plutonium og dets fisjonsprodukter.

Ved Orenburg ble en atombombe detonert i september 1954 som eksponerte 45.000 soldater og tusenvis av sivile. Hensikten var å se hvordan soldatene klarte å kjempe etter en kjernefysisk eksplosjon. 1 million mennesker levde innen 100 miles av detonasjonen.

Den 8 august 2019 eksploderte en rakett. 7 ble drept.

Siberian Chemical Combine var det andre stedet der det ble produsert plutonium til det sovjetiske atombombeprogrammet. Den lå i Sversk i GTomsk-området.

6.5. Mulig atomkraft i Tyskland under krigen



Allerede i 1934 publiserte en tysk kjemiker, Ida Noddak, antok at uran ble brutt ned til mindre deler. Kopi ble sendt til Fermi. Fermi ignorerte henne, han la notatet i en skuff, og det gjorde hennes tyske kolleger også. Dette var det samme som Lise Meitner og Otto Hahn publiserte. Hva hadde skjedd dersom dette ble fulgt opp i Tyskland allerede i 1934? Tyskerne var på denne tiden svært innovative og fant opp jetmotorer og langtrekkende raketter i 1944. Det er en skremmende tanke at de kunne fått fem års forsprang på utvikling av atomvåken i Tyskland. Werner Heisenberg var verdens mest anerkjente fysiker før

krigen. Tyskland var verdens mest innovative forskningsmiljø før andre verdenskrig. Men etter at nazistene tok makten i Tyskland, flyktet en tredel av vitenskapsmennene til USA. Publiseringen skjedde ikke lenger på tysk, men på engelsk, og det foregikk fra USA. Kollegene hans forsøkte å overtale Heisenberg til å dra til USA, men det ville han ikke. Hans kjærlighet til Tyskland var for sterk. Han ble satt til å utvikle atomfysikkprogrammet for krigsinnsatsen i Tyskland.



Han hadde et møte med Niels Bohr i 1941 i København. De gikk skogsturer sammen og diskuterte situasjonen i tiden. Han uttrykte da en sterk tro på Tyskland og at de ville vinne krigen. Etter krigen ville ikke Heisenberg si mye om hva tyskerne drev med under krigen om atomvåpenprogrammet. Men det ble funnet atomreaktorer i Østerrike, og de hadde tilgang til både uran fra Tsjekkoslovakia og tungtvann fra Norge til forsøkene. Noen mente at Heisenberg bevisst saboterte arbeidet med en atombombe. Mange tror imidlertid at prosjektet stoppet opp

fordi Heisenberg feilkalkulerte hva som skulle til for å få til bomben. Han trodde at den kritiske massen av uran for å få en kjedereaksjon var 13 tonn. Det riktige tallet var 50 kg. Da mente han at det var uopnåelig å lage en atombombe, så de engasjerte seg ikke for å fullføre prosjektet. Men prosjektet var topp hemmelig, og de lokale myndighetene i Tyskland og Østerrike hindret utgravinger og undersøkelser av de stedene man mente der atomforskningen skjedde. I Tyskland ble satsningen på kjernefysikk spaltet opp til ni forskningsgrupper som jobbet hver for seg. Heisenberg ledet en av disse gruppene. Denne oppsplittingen gjorde at Tysklands satsing på dette feltet ble pulverisert. I USA samlet fysikkmiljøet seg til et miljø og tilførte Manhattanprosjektet enorme midler for å utvikle atombomben.

En rapport sier at to mulige atombombeekspløsjoner skjedde i Terenia i Polen i mars 1945. (Elektro atomic bomb) Russiske og polske krigsfanger ble plassert på sted og ble blåst bort av eksplosjonen. Radioaktivt nedfall ble målt på stedet etterpå. Zucow (russisk general) rapporterte at tyskerne hadde atomvåpen. Russiske forskere etter krigen slo fast at disse bombene var svært lik de som Sovjet hadde etter krigen, som om de var en kopi. Fransk etterretning rapporterte at tyskerne hadde en form for elektrisk atombombe. I anleggene som ble funnet etter krigen ble det funnet elektriske installasjoner som viste at det ble brukt store mengder elektrisk energi i anleggene. I alt fem mulige bomber i Jonastal ble sprengt i Tyskland. Et anlegg med reaktor ble funnet i Sankt Georgen an der Gusen i Østerrike og Heidelberg, Heigerloch, i Tyskland. Tyskerne brukte uran utvunnet fra Tsjekkoslovakia og tungtvann som kjølemiddel og moderator fra Rjukan i Norge. Tungtvann var å

foretrekke siden tungtvann ikke absorberte nøytroner slik vanlig vann kan gjøre. Dermed ble fisjonen mer effektiv.

Andre synspunkter mener at Heisenberg innså at det var et langt lerret å bleke for å unytte kjernekraft i Tyskland. Siden Tyskland ikke fant de store landområdene i Øst-Europa der det blant annet var store oljereserver, var interessen for alternative energikilder i Tyskland blitt større. Heisenberg så et potensiale i produksjon av energi i atomfysikken framfor å utvikle bomber. Men fysikkmiljøet i landet ble politikkinfisert ved at nazister inntok lederposisjoner i miljøet. Ulike autonome prosjektgrupper splittet opp arbeidet med ulike løsninger uten å ha kontakt med hverandre. Manhattan-prosjektets styrke var at her ble miljøet samlet i et stort samspill med fysikerne, noe som gjorde at de lyktes med bomben. Påstandene om atombombedetonasjoner blir ifølge disse synspunktene blir avfeid da det blir påstått at det ikke ble målt radioaktivitet etter eksplosjonene.

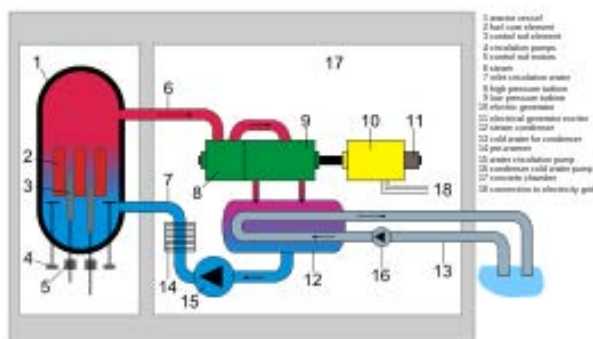
6.6. Atomkraft til fredelige formål¹³

Etter krigen ble det også prøvd å realisere bruk av atomfysikk til fredelige formål, mest til å produsere elektrisk strøm.

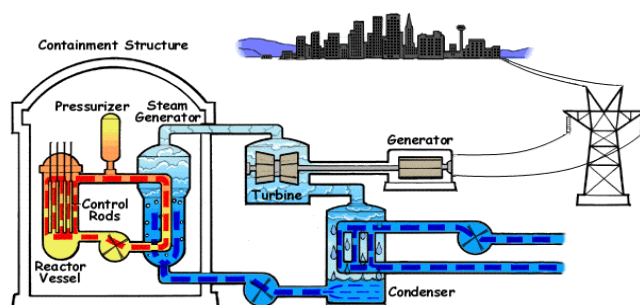
Det meste av dette skjedde i USA. Det var den militære situasjonen som likevel var pådriveren for utviklingen. Den amerikanske marinen



Alvin Weinberg



Bowling Water reaktor



Pressurized water reactor



betalte for utviklingen av de første reaktorene basert på uran og høytrykk vannbaserte reaktorer for bruk i fortøyer. 'Natrilius' var det første atomdrevne ubåten. Den kunne gå i årevis uten tilførsel av nytt brensel. Flyvåpenet hadde også et utviklingsprogram for å utvikle atomdrevne bombefly som kunne være i

lufta uendelig for å levere atombomber over Sovjet. Dette programmet ble etter hvert kansellert da det ble utviklet rakettmissiler som kunne gjøre den jobben mye bedre. Dette forskningsprosjektet ble ¹⁴ ledet av [Alvin Weinberg](#). Prosjektet tok utgangspunkt i thorium framfor uran som brensel.

Thorium-baserte kraftverk har en rekke fordeler framfor de uran-baserte kraftverkene. Weinberg hadde patent både på dette og på høytrykksvannavkjølte urankraftverk. Han sa at urankraftverk var greit i små sammenhenger som i ubåter, men kunne være farlig i store landbaserte anlegg der det kunne skje eksplosjoner. Likevel ble det satset stort på bygging av uranbaserte atomkraftanlegg i USA.

I uranbaserte kraftverk blir fast brensel av uranpellets samlet i lange stålrør dekket med zirkoniumlegering. Disse pelletsene består av uran med en andel U^{235} på over 4%. U^{238} som utvinnes fra gruvedrift, må derfor anrikes fra 0,7% U^{235} til 4%. Vann brukes som kjølemiddel i kraftstasjonene.

Men vann koker ved 100 grader og det gir lite effektiv damp til å drive turbiner for å gi strøm. I de fleste uranbaserte kraftverk blir derfor vannet satt fra 70 til opptil 150 atmosfæres trykk som hever kokepunktet for vannet til over 300 grader. Temperaturen på vannet i reaktoren er mellom 290 grader ved inngangen og 325 grader ved utgangen av reaktoren. Dette kan gi tilstrekkelig damptrykk for å produsere strøm økonomisk. De fleste kjernekraftanlegg (66%, 297 av 453) er av denne type. Amerikanske Westinghouse har vært verdensledende leverandør av denne typen kraftverk som kalles høytrykksreaktor (PWR). Alternativet var kokvannsreaktor (Bowling Water reactor) som ble levert av General Electric. Både Tsjernobyl og Fukushima hadde kokvannsreaktorer.

Ulempen er at det dermed er en stor eksplosjonsfare i slike anlegg, og det har skjedd ulykker med eksplosjoner og nedsmeltinger av brenselstavene. Dersom det oppstår en lekkasje av kjølevannet



som er under stort trykk, vil det straks bli omdannet til damp og ekspandere med en faktor på 1000. Tre ulykker som har vært omfattende er -ulykken 28. mars 1979 der det skjedde en nedsmelting, men der det ikke fikk noen konsekvenser for omgivelsene, men fikk en enorm mediamessige konsekvenser. All videre utvikling av atomkraft stoppet opp i USA etter denne ulykken. Tsjernobyl-ulykken 26. april 1986¹⁵ regnes som den verste ulykken som noen ganger har



skjedd med atomkraft der opp mot 31 omkom umiddelbart og 40 siden. Man regner at 4 000 - 63 000 døde av sykdomsrelaterte årsaker etter ulykken. Dødstallene etter denne ulykken er svært usikre. Fukushima-ulykken 11 mars 2011 førte til en døde av kreft og to som døde fordi de ble innestengt inne i reaktorbygningen. 16 ble skadd av hydrogeneksplosjoner og 2 arbeidere tatt til sykehus med mulige strålingsskader¹⁶. Zirkonium ble brukt til å dekke uranstavene i reaktorene. De reagerte med vanddamp da kjernen smeltet i en temp på 2.300°C

og dannet hydrogengass. Det var 6 reaktorer der, tre var i drift ved ulykkestidspunktet. Disse reaktorene var av kokevannstypen, levert av General Electric. Uranbrenselet fikk vann til å danne damp som ble brukt direkte i turbiner som drev generatorer. Etter et kraftig jordskjelv på 6.3 på Richterskalaen slo en 17 meter høy tsunamibølge inn over kraftverket og slo ut alle sikkerhetssystemer. Kjernebrenselet smeltet ned og dannet hydrogen som eksploderte.

I tillegg til de tre nevnte ulykkene skjedde også en ulykke i Los Angeles i 1957. En nedsmelting av en reaktor som brukte flytende metall som kjølemiddel, slapp ut store mengder radioaktivt materiale. Mange ble skadet og døde. Dette ble holdt hemmelig ovenfor befolkningen. Det ble først gjort kjent tyve år senere. I Windscale-anlegget i England skjedde også utslipp som ble holdt hemmelig ovenfor befolkningen. Melk fra omkringliggende gårdsbruk ble infisert og måtte kasseres. Det førte til at anlegget etter hvert ble avvirket. Dette anlegget ble også brukt til å produsere plutonium til atombomber for England.

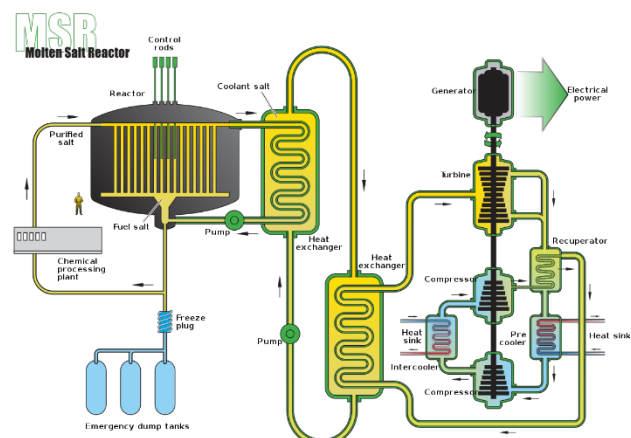
I disse ulykkene var det aldri fare for en atombomberelatert eksplosjon. Det var damptrykkexplosjon (Tsjernobyl) og hydrogeneksplosjoner (Three Mile Island, Fukushima), Uranbrenselet smeltet ned etter eksplosjonene og førte til spredning av radioaktive isotoper.

Siden vanlige atomkraftanlegg produserer vesentlige mengder avfall som både er radioaktive og kan brukes til å lage atomvåpen, ble det satset på en ny type reaktorer, kalt fast breeder reaktorer. Men det skjedde en rekke uhell med disse reaktorene som førte til at de fleste (10-15) ble stengt. 6 anlegg er i drift i dag, 3 i Russland, et i India, et i Kina og et i USA. Mange av dem er forskningsanlegg og er ikke i drift til strømproduksjon

6.7. Alternativ kjernekraft

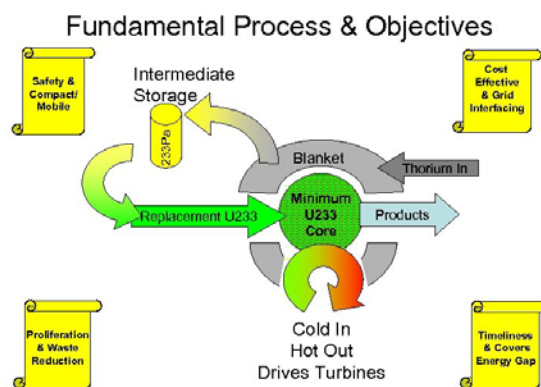
Alvin Weinberg, som har patenter både for thorium- og uranbaserte kraftverk, mente at uranbaserte kraftverk passet i små sammenhenger ombord i ubåter, men kunne være farlig i større landbaserte anlegg. Mange ingeniører som jobbet med dette på 60-tallet følte faren for dette så overhengende at de sluttet.

Thorium-baserte kraftverk bruker ikke vann som kjølemiddel. Det brukes en fluorbasert saltløsning ($\text{LiF-BeF}_2\text{-ZrF}_4\text{-UF}_4$ (65-29.1-5-0.9 mole %), sekundært: LiF-BeF_2 (66-34 mole %)) som er flytende ved høye temperaturer og har mye av de samme varmeegenskapene som vann, men er litt mer tyktflytende. Fordelen med denne flytende saltløsningen er at den kan bruke en reaktortemperatur på over 600 grader celsius siden saltløsningen er flytende helt opp til 1600 grader under vanlig trykk. Dermed unngår man eksplosjonsfaren som vanlige reaktorer har samtidig som at reaktorkonstruksjonen blir enklere og billigere å bygge. I stedet for vanndamp kan man varme opp karbondioksyngass for å drive turbiner som driver generatorer mer effektivt. Disse har mindre dimensjoner på samme ytelse, noe som også bidrar til å minske kostnadene.

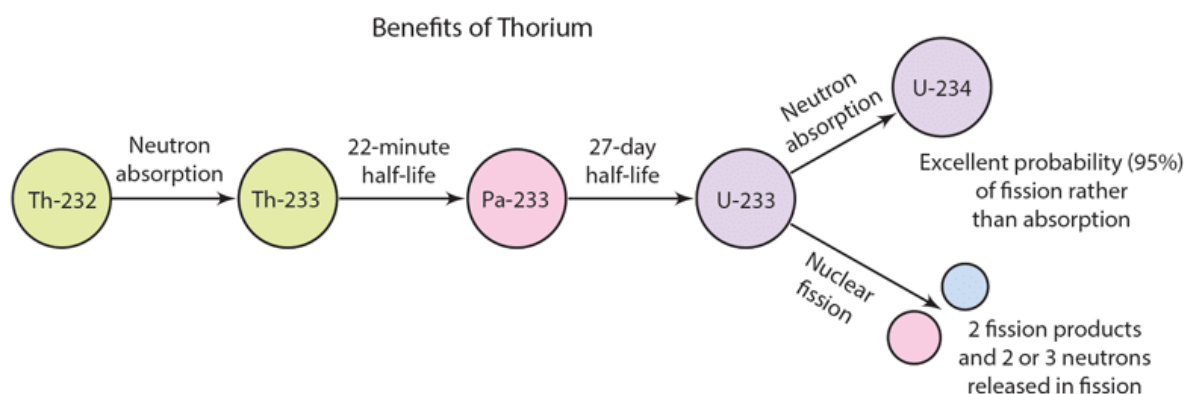


6.8. Thorium brukes som brensel.

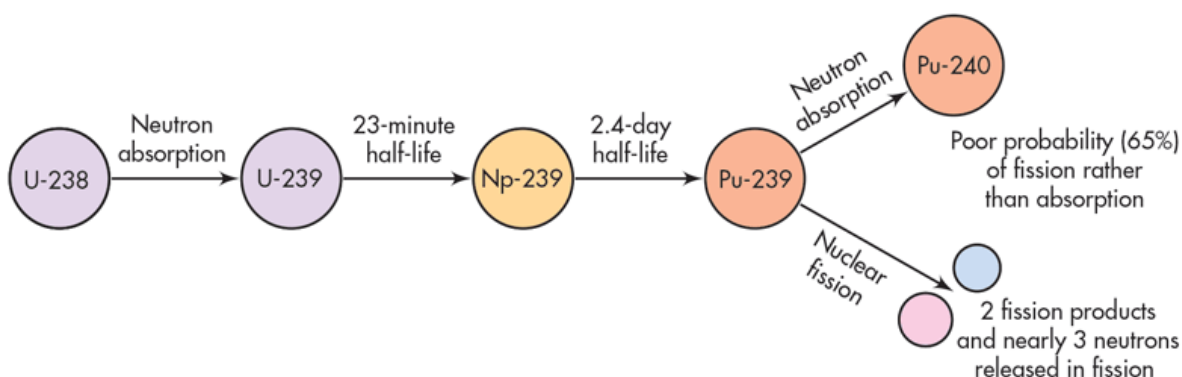
Thorium er et mindre farlig råstoff å handtere enn uran siden det i utgangspunktet ikke er reaktivt på den måten uran er. Det blir da enklere og sikrere å utvinne og anvende. I tillegg finnes det tre ganger så mye thorium på kloden enn uran. Thorium bli også utnyttet mye mer i reaktoren enn uran der 0,5 prosent av energien blir utnyttet og resten blir til avfall som det tar 100 000 år å nedbryte. Thoriumbrenselet blir utnyttet 95%. Restene tar 300 år å bryte ned mot 100 000 år for uranavfallet. Av avfallet kan man utvinne ulike isotoper som kan brukes til kreftbehandling og medisinsk diagnose.



I selve reaktorkjernen er det i utgangspunktet ^{233}U -isotoper som er reaktivt og fungerer som brensel. De fisjonerer til baryton og krypton. ^{233}U -isotoper fant Seaborg var reaktiv på samme måte som ^{235}U isotopet som brukes i urankraftverk. Brenselet tilsettes som $^{233}\text{UF}_4$ (uranfluorid) i saltløsningen i reaktoren fra sin egen tilvirkning fra kappen rundt reaktorkjernen.



Problem with Plutonium



Det sender det ut tre nøytroner for hver kjerne som spaltes. Disse nøytronene har et høyt energinivå. Når andre urankjerne treffes av disse, skjer det ikke fisjon. Men i reaktoren er det karbonstaver som fungerer som moderatører. Når nøytronene treffer og passer gjennom disse, mister de mye energi. Energinivået i nøytronene blir da moderert og blir på et nivå der det fører til større sannsynlighet for fisjon når nøytronene treffer uranisotopene. Fisjon skjer med 95% sannsynlighet, resten blir avfallsprodukter. Nøytronene fra disse gjennomgår den samme prosessen igjen slik at prosessen fortsetter. Uten karbonstaver i reaktoren skjer ikke fisjonspressene. Siden brenselet er oppløst i saltløsningen vil xenon- og kryptongasser som dannes i reaktoren stige opp i reaktoren og kunne lett

fjernes fra reaktoren. I tradisjonelle reaktorer vil disse gassene sprengte opp brenselstavene slik at de blir ødelagt og må skiftes ut etter noen måneder. Dessuten vil disse gassene absorbere nøytroner fra kjedereaksjonene og gjøre reaktorene mindre effektive.

Noe av nøytronene treffer også en kappe av thorium Th^{232} utenfor selve kjerne av uranisotoper i reaktoren. Dette er thoriummalm som ikke trenger forarbeidelse slik Uranbrenselet krever. Disse thoriumatomkjernene tar opp nøytroner og det fører til at thoriumatomene omdannes til U^{233} . Dette brukes som nytt brensel i reaktoren. Slik produserer reaktoren mer brensel enn hva den forbruker. Men denne omdanningen må skje utenfor selve reaktoren i et eget kjemisk anlegg. Det tar en knapp måned å omdanne thorium til uranisotoper. Samtidig fjernes en del stoffer som er uønsket i reaktoren. Blant annet tas ut en del isotoper som brukes i kreftbehandling av pasienter.

Saltløsningen føres ut av reaktoren og inn i en varmeveksler. I noen reaktordesign vil varmeveksleren produsere vanndamp som driver turbiner. Men den ultimate løsningen er at varmeveksleren varmer opp CO_2 -gass som driver turbiner under mye høye temperaturer enn i massive dampturbiner. Virkningsgraden på turbinene øker da fra 35% til 45%, en økning på 50%. Disse turbinene kan konstrueres mye mindre enn de massive dampturbinene, og dette fører også til besparinger.

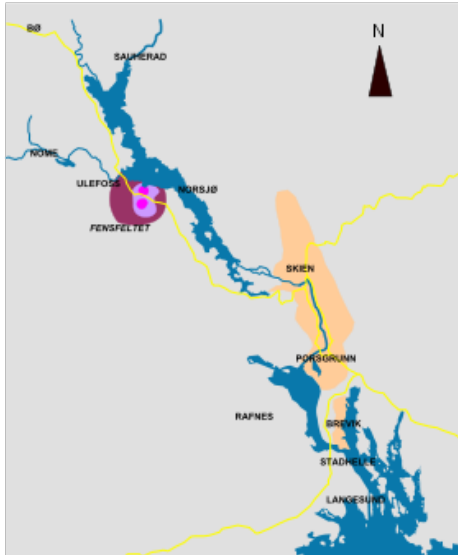
Den varme CO_2 -gassen kan deretter føres inn i en varmeveksler som produserer ferskvann fra saltvann. Dette kan løse store vannmangelproblemer mange steder. Resultatet blir at befolkningen på denne måten får både billig elektrisk energi og ferskvann. Den varme spillvarmen kan også brukes til å produsere hydrogengass for bruk som drivstoff i hydrogenbaserte kjøretøyer. I tillegg brukes alt brenselet, opp mot 95%. Urankraftverk bruker bare 0,5% av brenselet. Det blir lite restavfall fra brenselet, og en del av avfallet er isotoper som kan brukes i behandlingen mot kreft, en av de verste sykdommene vi har. Det er heller ingen luftforurensning fra anlegget, altså ingen CO_2 -utslipp.

Under reaktoren er en saltplugg som avkjøles av et kjøleanlegg slik at den forblir i fast form. Dersom det oppstår en feilsituasjon slik at avkjølingen feiler, eller at temperaturen i reaktoren blir for høy, smelter pluggen. Da vil et avløp ned til tanker under reaktoren bli fylt opp av saltløsningen med alt brenselet. For at dette brenselet skal fortsette å fisjonere, må det være kullstaver der som modererer nøytronene. Det er det ikke, det er det kun i selve reaktoren. Dermed vil alle reaksjoner stoppe opp og saltløsningen bli avkjølt.

I tillegg vil selve reaktoren med brenselet blandet i selve kjølemiddelet få større avstand mellom seg dersom temperaturen stiger siden saltet da vil utvide seg. Da er det mindre sannsynlig at nøytroner vil finne og treffe andre isotoper for å få en fisjon. Dersom temperaturen i reaktoren faller, vil saltløsningen trekke seg sammen. Avstanden mellom isotopene vil da bli mindre og det blir større sannsynlig at en fisjonsprosess skjer. Slik vil temperaturen i reaktoren være selvregulerende omkring den temperaturen reaktoren er konstruert for. Dette er også en stor sikkerhetsfaktor for sikker reaktordrift.

6.9. Thorium

I 1815 oppdaget den svenske kjemikeren Jöns Jacob Berzelius¹⁷ grunnstoffet thorium. I 1828 ble det funnet et svart mineral i Telemark av Morten Thrane Esmark. Han sendte prøven til sin far Jens Esmark som var professor i geologi. Han sendte prøven videre til Berzelius som konstaterte at mineralet var thorium. Det skulle vise seg siden at Telemark har en av verdens største forekomster av Thorium.



Norge har verdens syvende største forekomst av Thorium i Telemark. Selskapet Thor Energy har sikret seg rettighetene til ressursene. Dette estimatet er senere nedjustert til halvparten, som gjør at Norge rangerer på 12. plass over thoriumforekomster i verden

Et tonn thorium gir like mye energi som 3.7 millioner tonn kull. Thorium er ikke reaktivt, men omdannes til Uran når det bombarderes med nøytroner, og gir 250 ganger mer energi enn Uran.¹⁸ Mens man trenger ett tonn naturlig thorium i et thoriumkraftverk, trenger et urankraftverk 250 tonn naturlig uran U^{238} som må anrikes til U^{235} gjennom krevende og dyre prosesser for å lage like mye energi. Det siste gir en masse på 35 tonn anrikt uran som kan brukes til energiproduksjon.¹⁹ Øyvind Standeren Pedersen, Thor

Henry Langerud og Ove Andre Karlsen som har sikret seg utvinningsrett for thorium som kan utenfor Skien, har landets største påviste forekomster av thorium

Norge kan ha 120 ganger mer energi i thorium enn all oljen og gass på norsk sokkel^{20 21} og dette gir et av verdens største forekomst av thorium.

En protonakselerator kan brukes til å frigjøre nøytroner som igjen kan bombardere thorium-atomer. Den italienske nobelprisvinneren i fysikk Carlo Rubbia tok ut patent på dette (Accelerator Driven Thorium Reactor (ADTR™)). Kjedereaksjonen i kraftverket er aktiv så lenge akseleratoren er virksom og dør ut når protonbombardementet stopper. Dermed er thoriumkraftverk mye sikrere enn urankraftverk. Aker Solution kjøpte patentet av Rubbia og utvikler en konseptløsning for et 600 MWe kjernekraftanlegg.



Thor Energi har også et seks års utviklingsprosjekt med Westinghouse i Haldenreaktoren for å utvikle thorium-pellets som kan brukes i eksisterende kraftverk. Dette har skjedd i samarbeid med Westinghouse som har betalt for et 6 års utviklingsprosjekt. Selskapene samarbeider også med andre selskaper i England og Nederland.

Uran er farlig og kostbart å vinne ut, siden det er reaktivt i utgangspunktet. Thorium er ikke det, og det finnes som avfallsprodukt i neste all gruverdrift. Dette råstoffet er derfor lett tilgjengelig allerede.

Referanser:

-
- ¹ <https://www.youtube.com/watch?v=hVu844ZcCdU&t=3219s>
 - ² https://no.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted
 - ³ https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday
 - ⁴ https://no.wikipedia.org/wiki/Ott%C3%B3_Titusz_BI%C3%A1thy
 - ⁵ <https://edisontechcenter.org/Transformers.html>
 - ⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Edison
 - ⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Ganz_Works
 - ⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens>
 - ⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/J._J._Thomson
 - ¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Szilard
 - ¹¹ <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/nuclear-fuel/uranium/uranium-235/>
 - ¹² <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/nuclear-fuel/uranium/uranium-233/>
 - ¹³ <https://www.nuclear-power.com/>
 - ¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Oak_Ridge_National_Laboratory
 - ¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster
 - ¹⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_Daiichi_nuclear_disaster
 - ¹⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/Thorium>
 - ¹⁸ <https://www.dt.no/nyheter/misjonar-for-thorium/s/2-2.1748-1.3306496>
 - ¹⁹ <https://www.tu.no/artikler/norsk-thorium-kan-inneholde-120-ganger-mer-energi-enn-all-olje-og-gass-pa-norsk-sokkel/235841>
 - ²⁰ <https://www.tu.no/artikler/nytt-skritt-mot-fysikerens-drom-og-ingeniorennes-mareritt/404872>
 - ²¹ <https://www.tu.no/artikler/norsk-thorium-kan-inneholde-120-ganger-mer-energi-enn-all-olje-og-gass-pa-norsk-sokkel/235841>

Youtube: [THORIUM 232 - From History to Reactor \[2019\]](#)

Vindturbiner som feiler: <https://youtu.be/H9liEPCgk8>

Avfall thorium: <https://ungenergi.no/energikilder/kjernekraft/thorium/>

Avfall uran: <https://www.nationen.no/motkultur/faglig-snakka/det-uproblematiske-atomavfallet/>
<https://snl.no/uran>