



BP2
2. Semester projekt. Humanistisk-Teknologi
Efterår 2020

Eksamensgruppe nr. : 52024791580

Vejleder: Bente Kjærgård

Gruppens medlemmer:

Sverri Bartal Sølæk Trónd Hansen, sbsth@ruc.dk, 69404.

Hold: Humanistisk-Teknologi hold B

Dato: 21.12.20

Abstract

This paper examines nuclear energy and Thorium as a fuel for this process. The paper will address the problems and advantages related hereto and further examine whether the implementation of nuclear energy is a viable option in the future.

To answer the questions that are raised in the paper, the paper will draw on a number of articles as a foundation.

Nuclear energy does deliver green energy, but the main problem of the process consists of the waste that is produced – particularly how to dispose of this waste properly and securely. The nuclear waste from the standard Uranium driven nuclear reactors can be used to fuel and kickstart the fuel cycle in the Thorium driven liquid salt reactors. But it still raises questions regarding the waste as the Thorium cycle will also inevitably produce waste to be disposed of – although be it with a shorter halftime of the Uranium radioactive waste.

By consulting the articles written by experts in the field, it is found that nuclear energy is unlikely to be used as the standard method of delivering green energy in that the advocacy for the field and the information are restricted.

Indhold

1 – Problemfelt.....	5
2 – Problemformulering.....	5
2.1 – Problemformulering.....	5
2.2 – Arbejdsspørgsmål.....	5
3 – Metodiske overvejelser.....	5
4 – Teori og empiri.....	6
4.1 – Uran eller thorium.....	6
4.2 – Waste burner.....	7
4.3 – Hvilken slags reaktor?.....	7
5 – Analyse.....	7
5.1 – TRIN-modellen.....	8
5.1.1 – Trin 1 – teknologiers indre mekanismer.....	8
5.1.2 – Trin 2 – teknologiske artefakter.....	8
5.1.3 – Trin 3 – teknologiers utilsigtede effekter.....	8
5.1.4 – Trin 4 – teknologiers systemer.....	8
5.1.5 – Trin 5 – modeller af teknologier.....	9
5.1.6 – Trin 6 – teknologier som innovation.....	9
5.1.6.1 – Relativ fordel.....	10
5.1.6.2 – Kompatibilitet.....	10
5.1.6.3 – Komplexitet.....	10
5.1.6.4 – Afprøvning.....	10
5.1.6.5 – Observerbarhed.....	10
5.2 – Design og konstruktion.....	11
5.2.1 – Bæredygtigt design.....	11
5.2.2 – Leverage points.....	11
5.2.2.1 – 12 – Constants, parameters, numbers.....	12
5.2.2.2 – 11 – The sizes of buffers and other stabilizing stocks, relative to their flows.....	12
5.2.2.3 – 10 – The structure of material stocks and flows.....	12
5.2.2.4 – 9 – The length of delays, relative to the rate of system change.....	12
5.2.2.5 – 8 – The strength of negative feedback loops, relative to the impacts they are trying to correct against.....	12
5.2.2.6 – 7 – The gain around driving positive feedback loops.....	12
5.2.2.7 – 6 – The structure of information flows.....	12
5.2.2.8 – 5 – The rules of the system.....	12
5.2.2.9 – 4 – The power to add, change, evolve, or self-organize system structure.....	13

5.2.2.10 - 3 - The goals of the system.....	13
5.2.2.11 - 2 - The mindset or paradigm out of which the system - its goals, structure, rules, delays, parameters - arise.....	13
5.2.2.12 - 1 - The power to transcend paradigms	13
6 - Konklusion	13
7 - Diskussion.....	13
8 - Litteraturliste.....	13

1 – Problemfelt

Dette projekt har til formål at kortlægge de fordele og ulemper, der er ved at anvende thoriumdrevne atomreaktorer til at producere bæredygtig energi. Når disse er kortlagt, vil formålet med opgaven være at se på, om det overhovedet er en mulighed at indfase atomkraft som bæredygtig energi, om det er omkostningseffektivt, og om det er relevant med den mængde af bæredygtig energi, vi allerede er i besiddelse af i dag.

2 – Problemformulering

2.1 – Problemformulering

Kan thorium som bæredygtig energikilde udbredes, og hvilke fordele og ulemper er der i forbindelse hermed?

2.2 – Arbejdsspørgsmål

- Hvad er thorium og saltvandsreaktorer?
- Hvilke barrierer og blokader findes der i udviklingen og udbredelsen af denne teknologi?
- Hvad taler for og imod, og hvilke alternativer findes der?

3 – Metodiske overvejelser

Formålet med dette projekt er at kortlægge, hvilke fordele og ulemper der er ved at benytte thorium som en bæredygtig energikilde. For at give en nuanceret og nogenlunde dybdegående indsigt, vil jeg belyse emnet ved hjælp af TRIN-modellen indenfor teknologiske systemer og artefakter. Hernæst vil jeg benytte *leverage points* og tilgange til bæredygtig energi fra design og konstruktion, for at finde ud af, om der er grobund for, at teknologien overhovedet kan udbredes. Mit fokus på TRIN-modellen er på trin 3 og trin 6 men jeg arbejder med og præsenterer samtlige seks trin i modellen.

TRIN-modellen ser ud som følger og vil blive uddybet i analyseafsnittet:

Trin 1: Teknologiers indre mekanismer og processer.

"De centrale mekanismer og processer i en teknologi, som bidrager til at opfylde teknologiens formål." (Jørgensen, N., 2019).

Trin 2: Teknologiers artefakter.

"Artefakter er menneskeskabte genstande og adskiller sig som sådan fra genstande frembragt gennem processer i naturen. Et teknologisk artefakt er et artefakt, som har en teknologisk funktion. Teknologi er omformning af natur (stof og energi) under anvendelse af naturlige og sociale ressourcer samt information, viden og praktisk erfaring med henblik på at opfylde menneskelige behov." (Jørgensen, N., 2019).

Trin 3: Teknologiers utilsigtede effekter.

"De utilsigtede effekter er effekter, som vurderes at være negative." (Jørgensen, N., 2019).

Trin 4: Teknologiske systemer.

"Teknologiske systemer er sammenhængende systemer af teknologiske artefakter, som samlet besidder en bestemt funktionalitet, der muliggør omformning af natur med henblik på opfyldelse af menneskelige behov." (Jørgensen, N. 2019).

Trin 5: Modeller af teknologier.

”Modeller af teknologier kan være numeriske (abstrakte), visuelle eller fysiske. De er repræsentationer, hvor særlige udvalgte egenskaber ved en teknologi søges gengivet og/eller undersøgt. En model kan samtidig være et værktøj til at skabe eller udvikle konkrete artefakter.” (Jørgensen, N., 2018).

Trin 6: Teknologier som innovation.

”Innovation er implementering af nye eller væsentligt forbedrede produkter, produktionsprocesser eller organisationsformer. Innovationsteorier handler ofte om hvilke forhold, der driver en ny teknologi frem, og om barriererne for at teknologien bliver udbredt.” (Jørgensen, N., 2019)

Hertil kommer design og konstruktion ind i billedet, særligt med Donella Meadows tekst om ”Leverage Points” og en teknosociologisk model af Ceschin og Gaziulusoy.

4 – Teori og empiri

Teorierne og empirien præsenteres i samme afsnit, da empirien kan tjene til at give et indblik i de teorier, der ligger til grund for emnet og ligeledes give kendskab til begreberne, der er forbundet med rapporten.

Det er en udbredt misforståelse, at der er tale om en ny teknologi, når vi refererer til flydende saltreaktorer. Det er en gammel teknologi, der er begyndt at vinde indpas nok engang. Der blev forsket i det i sin tid 1940’erne, hvor atomkraft begyndte at vække interessen hos de, der søgte at udbrede bæredygtig energi. Der er sidenhen blevet spekuleret i, om ikke en thorium-baseret fission ville være ligeså ideelt som uran. Hertil kræves en neutronberigelse i en ”breeder”, der skaber en fissil isotop af uran. I sin tid, da fission først blev opdaget, fandtes der ikke breeder-reaktorer og forskningen i thorium endte brat. Breeder-reaktorer, der har mulighed for at berige thorium betragtes som en andengenerations reaktor og var endnu ikke opfundet i 1940’erne. Hertil kommer der da også spekulationer om atomar krigsføring og atomvåben. Beriget uran kræver langt mindre forarbejdning at eksempelvis thorium for at kunne benyttes til krigsførelse. Dette var i 1940’erne, i kølvandet på Anden Verdenskrig, nok et aspekt, der drog mange af de politiske kræfter mod udvikling af reaktorer drevet på uran (Sorensen, 2014).

Der er forskellige firmaer, der er i gang med at forske i thorium, mange af hvilke er baseret i Kina og i Asien generelt. Her har de allerede lavet forsøg med en miniaturemodel af en thoriumreaktor, som har vist positive resultater (Xuzhong et al, 2020). Der i Vesten længe været drøftelser, der går på, om der skal indføres atomkraft overhovedet, så allerede her forefindes en politisk barriere. Det er som sådan ikke en stor teknisk udfordring at lave, men der skal lægges nogle store økonomiske kræfter i udvikling af reaktorerne. Og resultaterne er altså ikke garanterede. Det er dog næppe dette aspekt af udviklingen, der er det største problem, men snarere det politiske (Boje, 2020). Det er ingen hemmelighed, at tanken af bæredygtig energi med atomkraft altid har skilt befolkning og samfundet (Graham et al, 2019). Der er store betænkeligheder ved udviklingen, fordi Fukushima- og Chernobyl-katastroferne stadig ligger friskt i folks erindringer.

4.1 – Uran eller thorium

Begge grundstoffer er rigt forekommende, men beriget uran producerer plutonium som bistof ved produktion og plutonium kan benyttes til atomvåben. Thorium skal neutronberiges, for at blive til en isotop af plutonium, men denne form for plutonium kræver *langt* større forarbejdning, for at kunne våbenføres (Mustafa et al, 2019). For at kunne våbenføre thorium, skal uran-233 først udtrækkes. Det, der sker under processen, når thorium bliver til isotopen uran-233 er, at der samtidigt hermed skabes uran-232. Uran-232 har enormt høje egenskaber indenfor gammastråling – og alt elektronisk udstyr, og

også mennesker, er meget sårbare over for uran-232, hvilket resulterer i, at uran-232 kan bearbejdes og våbenføres, men at det er en dyr procedure (Sorensen, 2014).

Men for at *kickstarte* hele thorium-processen, er der altså et behov for at have adgang til noget af det affald, som kommer fra den konventionelle metode af bearbejde uran på i de konventionelle reaktorer. Affaldet herfra, navnlig plutonium, og uran-235 i sig selv, skal bruges til at starte processen, når en thorium-reaktor skal igangsættes. Man kan drage en analogi til at optænde et bål: uran-235 eller plutonium skal bruges som kvas til at starte bålet op, men har ikke en høj energidensitet. Her kommer thorium så ind i billedet som den store egekæp, man lægger på bålet, når det først er kommet i gang. Brændselsværdien er væsentligt højere og længerevarende, men kræver også betydeligt mere, for at blive sat i gang (Makhijani og Boyd, 2009).

4.2 – Waste burner

En waste-burner (<https://www.theguardian.com/environment/2012/jul/09/nuclear-waste-burning-reactor>) er en måde, hvorpå man forsøger at indkapsle problemet, der er ved atomkraft: dét affald, der udvikles i forbindelse med udviklingen af energien. Uran har en halveringstid på 4.470.000.000 år. Thorium har en halveringstid på 14.000.000.000, men biproduktet fra thorium kommer tilbage til sin oprindelige "fase" i løbet af 500 år, hvor det ikke længere er mere skadeligt, end det var, før det blev beriget. Det må siges at være en ret signifikant forskel.

En waste-burner har til hensigt at reducere halveringstiden for begge stoffer, men dette gøres altså betydeligt hurtigere ved thorium end uran.

Det er således også af stor betydning for forståelsen og opfattelsen af emnet, at det ikke er selve materialets gammastråling, der forårsager radioaktiviteten – det er dens henfald og tiden forbundet dermed (Atomic Energy Commission, 1972).

4.3 – Hvilken slags reaktor?

Der findes hurtige reaktorer og termiske reaktorer. De hurtige reaktorer gør ikke brug af en moderator, og risikoen ved disse er, at de kan blive varmere og varmere (som i Chernobyl-katastrofen) og til sidst kan beholderen ikke længe holde til varmen. Dette kan have fatale følger. I termiske reaktorer er vand en moderator, som beskrevet nedenfor (Sorensen, 2014).

De flydende salt-reaktorer udgør nok fremtiden for alle atomreaktor, hvorvidt det være sig de uran- eller thoriumdrevne. Der er simpelthen en større sikkerhed forbundet med at producere energi ved hjælp af flydende salt-reaktorer. Dette på grund af selve processen inde i kernen. Thorium bliver bundet til berylliumsalt og ved høje temperaturer bliver dette salt flydende. Herefter kan saltet selv regulere processen, idet energiudvindingen, temperaturen og det samlede energiniveau inde i reaktoren er betinget af, hvor tæt nukleiderne er på hinanden. Jo tættere de er på hinanden des mere energi udvikles der. Men når nukleiderne er bundet til salt, og saltet er flydende, så ekspanderer saltmassen sig når temperaturerne bliver højere – dermed sænkes temperaturen igen, når saltet udvides. Saltet bliver udviklet med en molekylærstruktur for øje, der gør, at temperaturen inden i kernen har et optimum til energiudviklingen og -udvindingen. At kunne fastsætte dette optimum gør endvidere, at man kan sætte rammerne for selve processen. Og idét der er tale om flydende salt, som er smeltet, så er reaktoren allerede nedsmeltet, men ved en kontrolleret nedsmeltningssproces, hvor afstanden mellem nukleiderne kan kontrolleres (Heuer et al, 2013).

5 – Analyse

5.1 – TRIN-modellen

5.1.1 – Trin 1 – teknologiers indre mekanismer

Trin 1 i TRIN-modellen bruges til at anskueliggøre de indre mekanismer og processer, der foregår i teknologien. Walter Vincenti har skabt grobunden for det første trin med "What Engineers Know and How they Know it" (Vincenti, W., 1990). I bogen behandles fem forskellige casestudier med fra flyindustriens historie med fokus på design og brug af vingeprofiler, propeller og nitter (Jørgensen, N., 2019). Trin 1 benyttes således til at afklare, hvordan en teknologi virker. Relevansen for denne rapport består i kort at forklare teknologien i samspil med de øvrige trin, så barriererne og blokaderne fremstår mere tydelige.

5.1.2 – Trin 2 – teknologiske artefakter

Teknologien bag anvendelsen af thorium som bæredygtig energikilde bygger på et artefakt. Artefaktet består af de reaktorer, der skal sørge for både sikkerhed, men også selve udvindingen af energien og transformationen til brugbar energi.

5.1.3 – Trin 3 – teknologiers utilsigtede effekter

Trin 3 behandler de utilsigtede effekter af brugen af teknologien, hvad enten de være sig ønskede eller uønskede, og er udarbejdet af Christensen og Røpke. Teorien er lavet ud fra en tanke om teknologi, forbrug og miljø. Det har været nærmest fast cementeret siden 1960'erne, at ved enhver introduktion eller udvikling af en ny teknologi, vil der være en længere eller kortere række af uforudsete effekter, der kommer i kølvandet. Dette sker navnlig, når teknologien tages i brug – specielt, når den tages i brug på områder, som oprindeligt ikke var tiltænkt (T.H. og Røpke, 2009).

Ved at bruge thorium som brændstof til en bæredygtig energikilde, er der en del uforudsete effekter at tage højde for. I sagens natur er det svært at tage højde for de uforudsete effekter, fordi de er, ja, uforudsete. For bedst muligt at kunne kortlægge de uforudsete effekter, synes det nærliggende først at have fokus på de "tilsigtede" effekter, som teknologien kan have – disse være sig ligeledes både negative og positive.

Af tilsigtede effekter nævnes først de positive og siden de negative effekter. Blandt de positive kan tilføjes udvinding af store mængder energi nat og dag, desalinering af vand, afbrænding af gammelt radioaktivt affald. De negative effekter kan være forurening, nedsmeltning, øget energiforbrug, ændring af magtforhold. Så oprinder spørgsmålet: hvis de er uforudsete, er de så tilsigtede? Dette må nok besvares afkræftende, da ingen ønsker hverken den nedsmeltning eller forurening, der er indebåret i at udvinde energi fra en atomreaktor (Sorensen, 2014)

5.1.4 – Trin 4 – teknologiers systemer

Historikeren Thomas P. Hughes har defineret en begrebsmæssig ramme, som kan benyttes til at skabe en forståelse af teknologier. "(...) teknologiske systemer også består af immaterielle artefakter, for eksempel organisationer, selskaber, finansieringsordninger, reklamekampagner, lovgivning og uddannelsesprogrammer. Endelig regner han opfindere, ingeniører, arbejdere og sommetider forbrugere med som komponenter i systemet" (Buhl, 2005).

Her betragtes de teknologiske systemer altså ikke blot som et enkelt og lukket system, men snarere er stort system med en masse komponenter, der alle skal arbejde sammen, for at få teknologien til at virke som planlagt – for ikke at snakke om udbredt.

En række af disse komponenter vil blive beskrevet nedenfor i afsnit 6.2.2 om "leverage points", som i samspil med trin 6 skal søge at finde ud, hvordan denne og andre teknologi indenfor samme ramme kan udbredes.

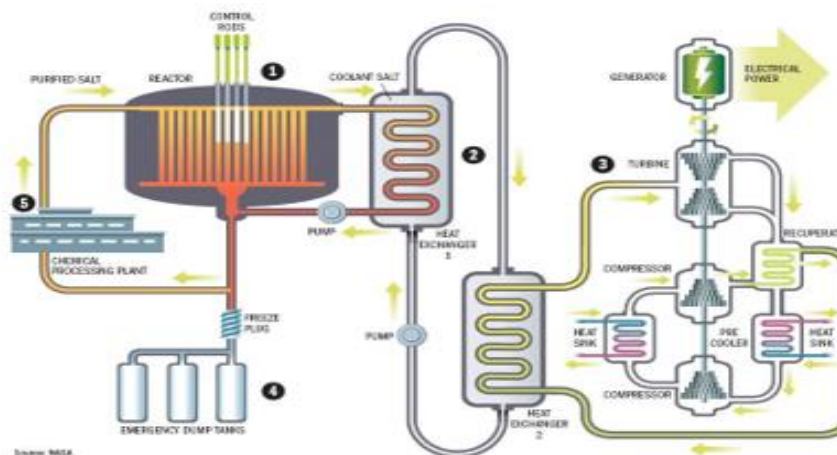
Det største problem for thorium ligger først og fremmest i, at det er enormt svært at finansiere projekter relateret hertil. At bygge en atomreaktor er et stort projekt. Det kræver erfaring, research, masser af tid og mange penge. At bygge reaktoren er én ting, og den er enormt dyr. Hertil kommer driftsomkostninger, men disse er betydeligt lavere ved en thorium-reaktor, selvom der kræves mere vedligeholdelse i flydende salt-reaktorer, grundet saltets korroderende effekt. Men i driftsomkostninger kan vel indregnes selve brændstoffet. Thorium er nemmere at udvinde end uran og deres findes omtrent fire gange så meget thorium som der gør uran på jorden. Energidensiteten er tillige højere, så der udvindes mere energi per kilogram anvendt thorium end uran (Serfontein og Mulder, 2013).

Tiden er ikke med os og vores planet. Det kræver hurtig handling, hvis planeten fortsat skal stå til at redde. Researchen bag thorium og opførelsen af en reaktor er tilpas langt ude i fremtiden til at det er relevant kaste tid og penge efter. Arkun Makhijani og Michele Boyd hævder, at udviklingen er for langsom, men hertil også at affaldsstofferne er ligeså radioaktive som affaldet ved en atomreaktor, der benytter uran som brændstof (Makhijani og Boyd, 2009). Og for at starte en thoriumdrevet reaktor, kræves der affald fra en normal urandrevet reaktor, navnlig plutonium.

Det udgør tilsammen problemerne forbundet med teknologien, da interessen herfor ikke er stor og viden på området er begrænset, da der ikke afsættes tilstrækkeligt med midler til forskning indenfor området.

5.1.5 – Trin 5 – modeller af teknologier

Trin 1 og trin 5 tjener tilsammen det formål at skabe en forståelse af teknologien, ved at supplere hinanden. Illustrationen nedenfor søger at tjene dette formål.



Figur 1, thoriumdrevet flydende saltreaktor

5.1.6 – Trin 6 – teknologier som innovation

Trin 6 har til formål at give et indblik i, om der overhovedet er et fundament for, at teknologien først kan udvikles og sidenhen udbredes. Den beskæftiger sig med de drivkrafter og barrierer, der er indenfor en given teknologi, og disse bliver opridset som opsummering til sidst i analyseafsnittet. Afsnittet her vil have fokus på Rogers' diffusionsmodel, som agerer værktøj til at se, hvordan en teknologi udbredes og forklare den hastighed, hvormed den udbredes. Han hævder, at det kan være svært at introducere nye

teknologier i et samfund, hvor der allerede er etableret normer for teknologier og brugen af disse (Rogers, 1982).

Diffusionsmodellen har fem karakteristika, som her følger:

5.1.6.1 – Relativ fordel

“Relative advantage is the degree to which an innovation is perceived as better than the idea it supersedes. The degree of relative advantage may be measured in economic terms, but social-prestige factors, convenience, and satisfaction are also often important components.” (Rogers, 1982).

Her kræves det altså, at thorium er bedre end den foregående teknologi, hvilket næppe bekræftes, at den er.

5.1.6.2 – Kompatibilitet

“Compatibility is the degree to which an innovation is perceived as being consistent with the existing values, past experiences, and needs of potential adopters. An idea that is not compatible with the prevalent values and norms of a social system will not be adopted as rapidly as an innovation that is compatible.” (Rogers, 1982)

I og med, at atomkraft er så omstridt et emne, så taler det næppe for, at forholdene for udviklingen af teknologien er som de burde være bedst.

5.1.6.3 – Komplexitet

“Complexity is the degree to which an innovation is perceived as difficult to understand and use. Some innovations are readily understood by most members of a social system; others are more complicated and will be adopted more slowly.” (Rogers, 1982)

Der er tale om en enormt kompleks teknologi, hvor forskningsmidlerne er få, hvilket tjener til at befolkningen har liden forståelse indenfor området – dette afføder ret naturligt en skepsis.

5.1.6.4 – Afprøvning

“Trialability describes how easily potential adopters can explore your innovation.” (Yocco, 2015).

“Trialability is the degree to which an innovation may be experimented with on a limited basis. New ideas that can be tried on the installment plan will generally be adopted more quickly than innovations that are not divisible.” (Rogers, 1982)

Dette område er svært, fordi det kræver, at der kan afprøves. Man kan afprøve på en lidt mindre skala, men det giver næppe en korrekt indsigt i det endelige resultat i stor skala (Sorensen, 2014).

5.1.6.5 – Observerbarhed

“Observability is the degree to which the results of an innovation are visible to others. The easier it is for individuals to see the results of an innovation, the more likely they are to adopt. Such visibility stimulates peer discussion of a new idea, as friends and neighbors of an adopter ask him or her for innovation-evaluation information about it.” (Rogers, 1982)

Dette kræver, at teknologien er indsat, så afkastet og resultaterne kan observeres.

Disse fem punkter er gennemgået kort, men vil blive uddybet i afsnit 6.3, hvor de sammenholdes med design og konstruktion, for at give et overblik over, hvor teknologien står og hvordan den står rustet til de udfordringer, den møder.

5.2 – Design og konstruktion

Med udgangspunkt i design og konstruktion ønsker jeg ikke at kortlægge selve teknologien, der gemmer sig bag den flydende saltreaktorer, da det er et enormt komplekst område. Snarere vil jeg rette mit fokus på de områder, der synes relevante, når der snakkes om at designe en atomreaktor og herunder særligt de sociotekniske områder, der skal tages højde for, i det fald, at en sådan teknologi skal udbredes.

5.2.1 – Bæredygtigt design

Ceschin og Gaziulusoy præsenterer en række forskellige teorier og områder, der skal være i fokus under udviklingen af bæredygtig teknologi. Af disse forgreninger virker det nok mest nærliggende at holde fokus på de sociotekniske aspekter i udviklingen af teknologien (Ceschin, Gaziulusoy, 2016).

Her er fokus først og fremmest på de rent teknologiske aspekt i, hvordan vi som mennesker har en bestemt opfattelse af og tilgang til forskellige teknologier. Atomenergi er ikke universalbetragtet som en bæredygtig energiform, idet den rummer en affaldsdimension, som de færreste mennesker kan forlige sig med. Hertil skal det føjes, at atomare katastrofer også udgør en betragtelig sikkerheds- og miljørisiko. Tillige skal det nævnes, at atomar energi og våbenudvikling igennem mange år har gået hånd i hånd. Lægger man alle disse betragtninger sammen, kan man nok forstå den skepsis, der hersker omkring brugen af atomenergi.

For at få udbredt teknologien og eventuelt på et tidspunkt få rubriceret den under "bæredygtig teknologi", kræver det altså, at der kommer en helt ny fortolkning og opfattelse af energiformen. Her kommer den socioetiske del ind i billedet, derved at den i forlængelse af og samarbejde med den sociotekniske del søger at kortlægge etikken omkring den en given teknologi. Og selvom information om atomenergi som bæredygtig energi er udbredt, så advokeres der ikke i samme grad for det som ved andre teknologier. Der er altså ingen politisk agenda herfor, hvilket så tjener til, at informationen ikke udbredes. Hvis informationen om teknologien ikke kan udbredes, så er det heller ikke nemt at komme skepsis til livs.

Men er der egentligt overhovedet et behov for at der skal udbredes information på dette område? Der er i forvejen adgang til en anseelig mængde energi, når vi snakker om vedvarende energi – det primære problem er, at vi ikke har adgang til at lagre denne energi, så den i sidste instans kan gå hen og blive spildenergi (Trainer, 2017).

Ved anvendelsen af atomreaktorer til levering af bæredygtig energi, vil spørgsmålet om deponering altid rejse sig. Thorium har, som før fortalt, en kortere levetid, og atomreaktorerne, der benytter thorium som brændselskerne, kan benytte sig af affald fra de gængse reaktorer. Men der vil altid være affald. Vi forsøger at få det af vejen, ved at grave det langt ned i jorden, så det ikke påvirker vores biosfære, men halveringstiden for radioaktive stoffer kommer aldrig til at forsvinde (Christensen et al, 1990). Det nærliggende spørgsmål at stille forekommer imidlertid at være, om energiudvindingen vil kunne opveje miljøforureningen? Hvis vores forbrug stiger stødt, og der er behov for elektricitet hele døgnet rundt – også om natten, når det ikke blæser, og når bølgerne ikke rusker i havet – så vil der formentligt opstå et behov for et konstant tilstrømning af energi, eftersom lagringsmulighederne endnu ikke er tilstrækkelige (Letcher, 2016).

5.2.2 – Leverage points

Donella Meadows præsenterer i sin tekst "Leverage Points" tolv parametre, der, i hendes optik, kan være med til at ændre et system. Disse parametre kan stilles op og analyseres, og således være med til at give et indblik i, hvor udbredelsen og udviklingen af teknologier kan være udfordret. Hun rangerer dem

oppefra og nedefter, hvor nummer 12 angiver den mindst vigtige parameter og nummer 1 angiver den vigtigste parameter.

Punkter er som følger (Meadows, 1997).

5.2.2.1 – 12 – Constants, parameters, numbers

Her omtales alle de parametre, der skal skrues på, for at foretage ændringer i et system. Hvad der skal skrues op og ned for og i hvilken kan dette skal gøres. Hun benytter et badekar som analogi hertil, hvor koldt- og varmtvandshaner repræsenterer de forskellige variable, der er indebåret (Meadows, 1997). Her er det belejligt at kigge på de blandt andet information og viden, og hvordan en opjustering heraf kan ændre holdningen til atomreaktorer.

5.2.2.2 – 11 – The sizes of buffers and other stabilizing stocks, relative to their flows

Buffers etablerer så at sige den fejlmargen, der er tilladt indenfor udviklingen af en given teknologi. I denne sammenhæng vil det være nærliggende at kigge på de miljømæssige buffers, der eksisterer for at mitiggere affaldsproblemet. Disse buffers kapacitet er med til at sætte dagsordenen for, om udvidelsen af atomreaktorer overhovedet kan komme på tale.

5.2.2.3 – 10 – The structure of material stocks and flows

Meadows foklærer her selve strukturen, der er forbundet med at opbygge ny teknologi. Her vil der være tale om selve atomreaktoren: når den er bygget, hvilket tager en anseelig tid, så står den der altså – og ikke meget står til at ændre, når den først er opført (Meadows, 1997).

5.2.2.4 – 9 – The length of delays, relative to the rate of system change

Her taler hun om den forsinkelse der er, når der skal foretages ændringer i et system, før ændringer kan ses (Meadows, 1997).

5.2.2.5 – 8 – The strength of negative feedback loops, relative to the impacts they are trying to correct against

Denne negative løkke, som hun omtaler under dette punkt, er de parametre, som sørger for, at der sker en overvågning, når et system er sat i brug, for at udbredre de fejl, der måtte opstå i processen. Enormt aktuelt, hvad angår atomreaktor, da monitoreringen af processerne er afgørende for, hvordan atomreaktoren kommer til at fungere.

5.2.2.6 – 7 – The gain around driving positive feedback loops

Her taler hun om de processer, der forstærker sig selv, hvilket er relevant for blandt andet urandrevne atomreaktorer, som, som tidligere nævnt, forstærker deres egen temperatur, hvis de kommer ud af kontrol. Denne mekanisme er, som også tidligere nævnt, forsøgt udbedret ved flydende salt-reaktorer, da partiklerne hér bliver skubbet længere væk fra hinanden ved opvarmning.

5.2.2.7 – 6 – The structure of information flows

Meadows omtaler her vigtigheden af, at information er tilgængelig – i alt fald i vis mængde. På baggrund af information kan befolkningen skabe holdninger til og korrigere deres adfærd, når deres adfærd eksempelvis kvantificeres (Meadows, 1997).

5.2.2.8 – 5 – The rules of the system

Disse regler er implementeret i det regelsæt, der er gældende i samfundet. Regelsættet sætter rammerne for, hvordan man eksempelvis går til opgaver såsom elpriser og atomaffald.

5.2.2.9 – 4 – The power to add, change, evolve, or self-organize system structure

At kunne ændre på et system er højt på listen, da Meadows forklarer, at for at systemet skal kunne ændres, kræves det også, at systemet kan *selvorganisere* (Meadows, 1997) og dermed åbne op for forandringer i enten et nyt system eller et allerede integreret system.

5.2.2.10 – 3 – The goals of the system

Her taler Meadows om målene for et nyt system. Systemet omfatter her hele energisektoren. Målet ved at etablere denne atomare teknologi vil være at kunne levere billig el til alle døgnet rundt.

5.2.2.11 – 2 – The mindset or paradigm out of which the system – its goals, structure, rules, delays, parameters – arise

Meadows definerer her rammerne for, hvordan vores mindset og vores paradigme ser ud – og om det overhovedet finder sig muligt at ændre systemet, eller om paradigmet er så integreret i os, at systemet ikke kan ændres.

5.2.2.12 – 1 – The power to transcend paradigms

Til sidst advokerer Meadows for, at hvis et system skal ændres, så kræver det, at vi som samfund og mennesker kan forstå et paradigme er derefter overkomme eller transcendere det, og således løfte sig over hele paradigmetankegangen.

6 – Konklusion

Afslutningsvist må det nok konkluderes, at thoriumdrevne atomreaktorer ikke nødvendigvis bliver en del af fremtiden indenfor energisektoren. Dels fordi det er dyrt at etablere, dels fordi der allerede er urandrevne atomreaktorer, som fungerer, dels fordi den bæredygtige energiform, der kan leveres i dag, kan levere de mængder energi, som vi har behov for. Det er dog nærliggende at overveje, hvad der skal ske i fremtiden, når vores energiforbrug stiger, som følge af elektrificeringen og automatisering af dele af samfundet, navnlig logistiske og industrielle.

7 – Diskussion

Som konklusionen lægger op til, så må der tages stilling til en række ting. Den bæredygtige energi, som vi kan levere i dag, er rigelig, men problemet er, at vi ikke har mulighed for at lagre den på ordentlig vis. Batterierne kan ikke holde på al den strøm, og den bæredygtige energi er ligeledes betinget af eksterne omstændigheder, som vind- og vejrforhold. Med den kraftige stigning i brugen af elektricitet som energi til transport, industri og mange andre områder, kan det være relevant at kigge på en energiform, der kan levere energi konstant og uafbrudt, således energien står til rådighed, når den skal bruges.

8 – Litteraturliste

Arzhannikov, Andrey; Bedenko, Sergey; Shmakov, Vladimir; Knyshev, Vladimir; Lutsik, Igor; Prikhodko, Vadim; Shamanin, Igor, "Gas-cooled thorium reactor at various fuel loadings and its modifications by a plasma source of extra neutrons", 2019

Annals of Nuclear Energy (<https://www.sciencedirect.com/journal/annals-of-nuclear-energy>)

Almuitairi, B.; Kumar, D.; Ridwan, T.; Goodwin, S.B.; C.S.; Usman S., "Reactor Physics Analysis of Thorium-Based fuel for Long-Life SMR Cores Using Seed-Blanket Fuel Concept

Buhl, H., "Buesenderen", 2005

Ceschin, Fabrizio; Gaziulusoy, Idil, "How many ways to design for sustainability", 2018

Christensen, Terje; Ehdwall, Hans; Hansen, Heinz; Mustonen, Raimo; Stranden, Erling, "Radioaktivitet i Norden", 1990, Brøns og Bengtsen

Christensen, T.H. og Røpke, I. (2009). Forbrug, teknologi og miljø, i: Jørgensen, U. (red.). I teknologiens laboratorium - ingeniørfagets videnskabsteori. Lyngby: Polyteknisk Forlag, s. 107-127

Clark, Duncan, "Nuclear waste burning reactor moves a step closer to reality", 2012,
(<https://www.theguardian.com/environment/2012/jul/09/nuclear-waste-burning-reactor>)

D. Heuer; E. Merle-Lucotte; M. Allibert; M. Brovchenko, V. Ghetta, P. Rubiolo, "Towards the thorium fuel cycle with molten salt fast reactors", 2013

Gomes, Daniel S.; Silva, Antonio T.; Oliveira, Fabio B.V.; Laranjo, Giovanni S., "Behavior of thorium plutonium fuel on light water reactors", 2019

Hyde, Graham; Morris, Maxwell; Culver, Joe, "Search For Solutions: Thorium and Next-Generation Nuclear Fission", 2019

Jørgensen, N., "*Digital signatur. En eksemplarisk analyse af en teknologis indre mekanismer og processer*", 6/11/2019 - Fundet d. 11/11/2020

Kang, Xuzhong; Zhu, Guifeng; Yan, Rui; Liu, Yafen; Zou, Yang; Dai, Ye; Cai, Xiangzhou, "Evaluation of Mo production in a small modular thorium based molten salt reactor", 2020

Letcher, Trevor M., "Storing Energy", 2016, Elsevier

Makhijani, A.; Boyd, M., "Thorium Fuel: No Panacea for Nuclear Power", 2009

Martin, Richard, "Super Fuel – Thorium, The Green Energy for the Future", 2012

Mustafa, S.S.; Amin, E. A., "Feasibility Study of Thorium-Plutonium Mixed Oxide Assembly In Light Water Reactors", 2019

Müller, Roland, "*The Notion Of a Model: A Historical Overview*", 2009

Revol, Jean-Pierre; Bourquin, Maurice; Kadi, Yacin; Lillestol, Egil; de Mestral, Jean-Christophe; Samec, Karel, "Thorium Energy for the World", 2013

Rogers, Everett M., "*Diffusions of innovations, 3rd edition*" (trin 6)

Rogers, M. Everett., "Diffusion of innovations", 1982

Serfontein, Dawid E.; Mulder, Eben J., "Thorium-based fuel cycles: Reassessment of fuel economics and proliferation risk", 2013

Sorensen, Kirk Frederick, "Thorium Research in the Manhattan Project Era. " Master's Thesis, University of Tennessee, 2014

Schaffer, Marvin Baker, "Abundant thorium as an alternative nuclear fuel: Important waste disposal and weapon proliferation advantages", 2013

Smith, Ricardo B.; Sachdeva, Mahima; Bisuri, Indranil; Vicente, Roberto, "Advanced Heavy Water Reactor", 2019

Vries, "*Chapter 3 - Technological Knowledge*", 2016 (trin 5)

Trainer, Ted, "Some problems in storing renewable energy", 2017

Vincenti, W. What Engineers Know and How They Know it. Analytical Studies from Aeronautical History. The John Hopkins University Press, Baltimore and London, 1990.

Yocco, Victor, "5 Characteristics Of An Innovation", 2015

Yam, Y. B., "Introduction to the Study of Complex Systems", New England Complex Systems Institute