



THORIUM- ENERGI

Reaktortank MSR Experiment, Oak Ridge National Labs, 1964-69

Elling Disen
Ingénieur, Grunder

Torium Konsult AS elling@torium.no



Thorium i Norge

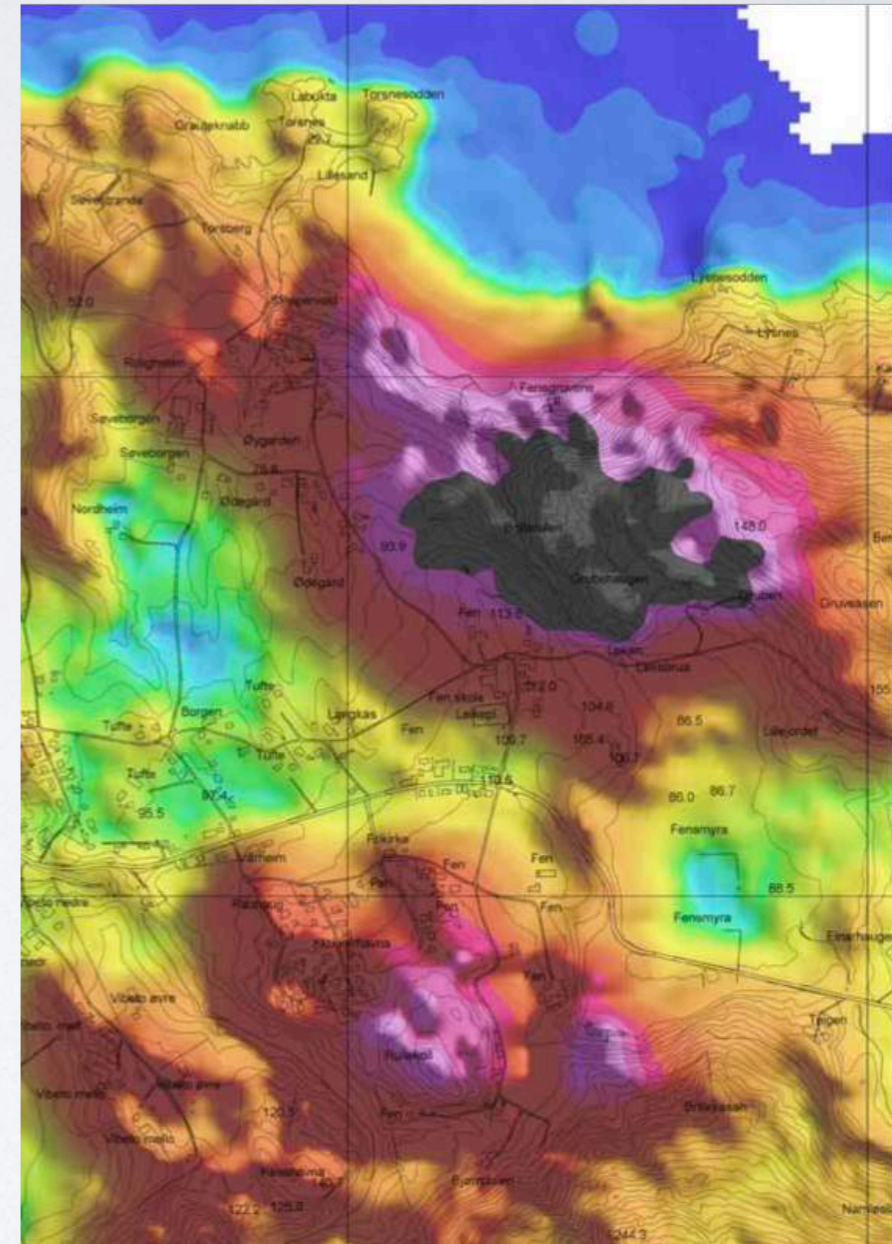
- Thoriumrapport februar 2008 til Haga
- Tre leire i Norge : Akselerator ADS, Thor Energys staver og saltsmeltereaktor MSR.
- ADS er verdens mest komplekse og dyre kontrollstav. Frankrike sa «Merci non» til Rubbia under hele 90tallet.



Rubbia, Lillestøl, Jensen og Solvik i TU 2007 da forskning.no stilte spørsmålet om vi var for mette for thorium. MSR opplevde gjennomslag i 2014. Både H og FrP har Thorium R&D i langstidsprogrammene.

Ressurser

- 3x mer thorium enn uran
- Monazitt i sand, myk geologi bla India, Australia
- Fensfeltet har 130 000 tonn Th for dagbrytning.
- Tidligere prospekter har indikert 10x mer.
- Jordmetaller er kommersielt intressant : Scandium, Neodymium, Niob, Tantal, Europium
- Separasjon av Th til selvkostnad ?



Gammastråling fra thorium, Fensfeltet
Fylkesgeologen fikk 8MNOK fra OED for et
par boringer.

Brensel og avfall

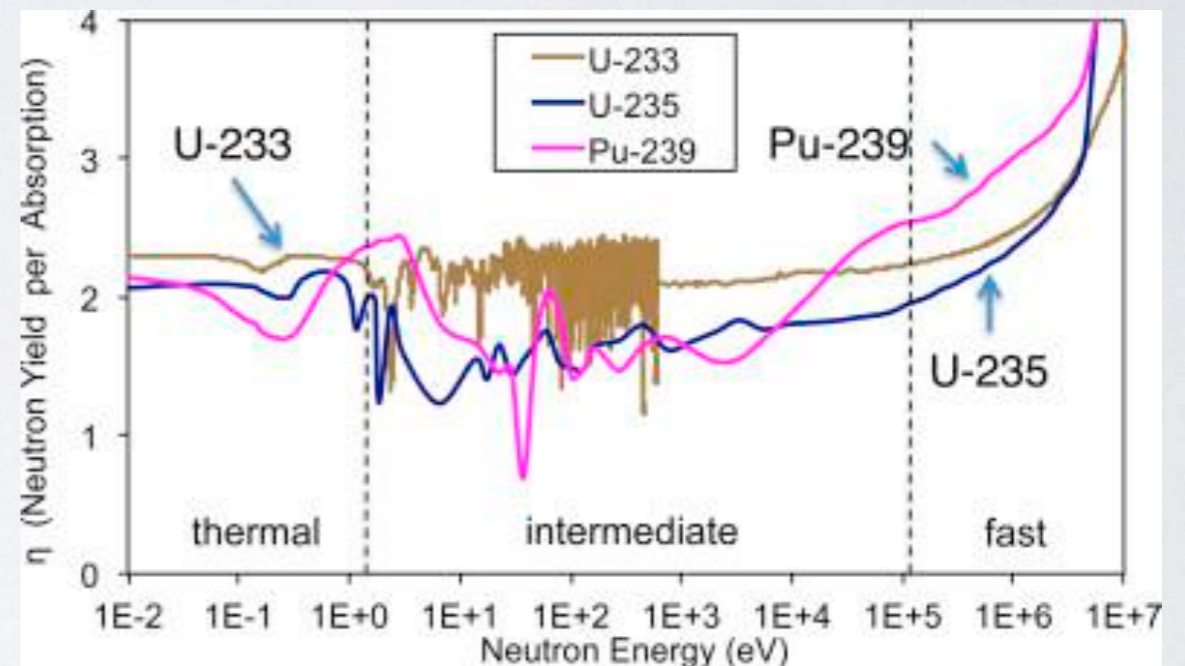
- Fissilt uran fra bakken, 0.7% + anrikning : U235 > fps
- Fertilt uran fra bakken, 99.3% : U238
- Fertilt thorium fra bakken, 100% : Th232
- Breeding uran : U238 > Pu239 > fps
- Breeding thorium : Th232 > U233 > fps
- Kortlivet avfall, fisjonsprodukter , fps, 1000 år : Cs, Sr, I, Ba, lanthanider
- Langlivet avfall, 100 000 år : Cm, Am, aktinider

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Fisjonsproduktene, fps, spres over alle grunnstoffene.

Thoriums fordeler

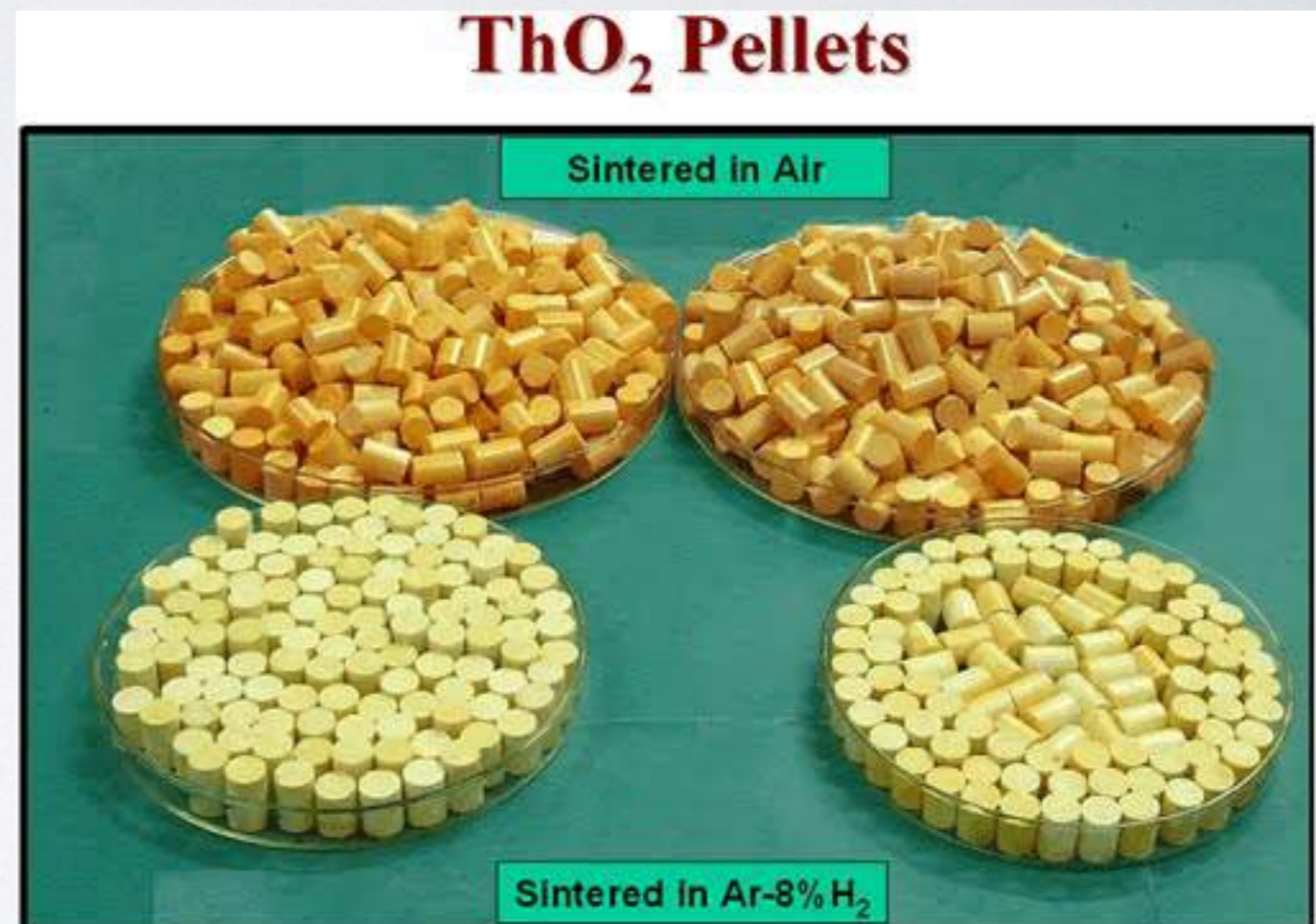
- Mye mindre langlivet avfall
Cm, Am
- Langsamt nøytronspektrum :
3x mindre fissilt inventarium
Mindre stråleskade
- U233 gi opphav til U232 som
igjen gir sterk gammasignatur.



U233 er det beste brensel dvs har størst tverrsnitt for fisjon over nesten hele spektret : Thoriumsykelen er overlegen uransykelen i termisk spektrum.

Thoriums ulemper

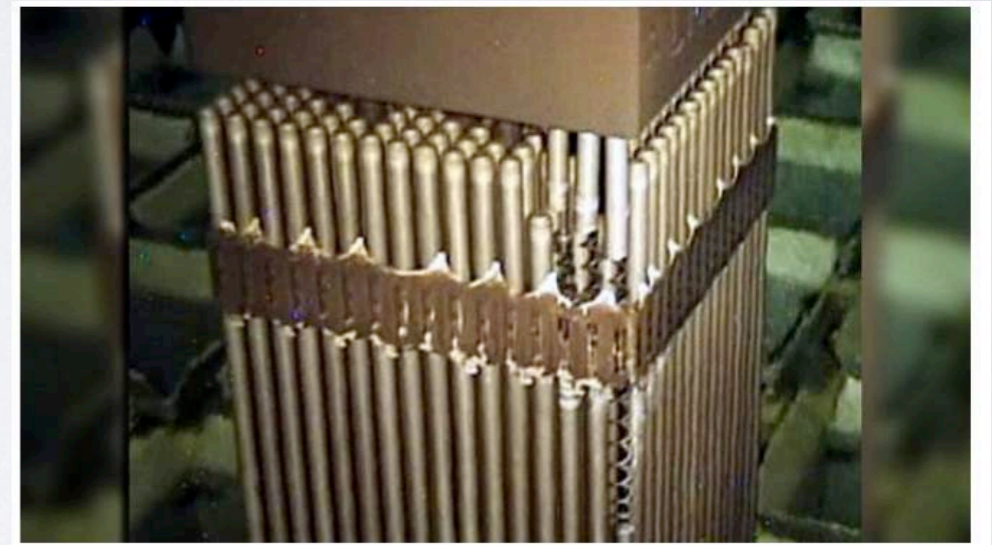
- Våt ved : behøver fissil startladning fra U235, Pu239 og tid til å brenne U233
- Thoria dvs ThO₂ er ikke vannløselig.
- Thoriumfluorid ThF₄ er vanskelig å kjemisk separere fra lanthanidene, LaF₃.



Såkalte MOXbrensler, PuMOX og ThMOX, blandes mekanisk fra pulvere og har strenge krav på isotropi. Mangel på vannløselighet er et uløst problem for avfallssortering.

Fast eller flytende ?

- Staver må tas ut etter et år for ikke å mekanisk desintegre. 99% av brennverdien blir et langlivet avfallsproblem.
- Thoriumsykelen bruker 3-5 år på å starte opp.
- Flytende brensel tillater 30års kontinuerlig nøytroneksponering. Langlivet avfall brenner bort, brensel-effektiviteten går mot 100%. Avfallet blir 100x mindre og kortlivet.
- Optimalt bør fertil og fissil Th-prosess fysisk skilles for å hindre blanding av ThF4 og LaF3, skillevegg transparent for nøytroner.



Skade på stavsystemer er vanlig. Brenselpellets lekker da til det primære kjølevannet. Innkapslingen av pellets har til formål å hindre lekkasje av radioaktivitet. Den er tynnvegget for å begrense nøytrontap og kan ødelegges ved overoppheting dvs nedsmelting.

Historikk thoriumstaver

1. Innblanding i uranstaver, «turbo», 10% ekstra brennverdi
2. Miks av uransykel og thoriumsykel, uløst reprosessering
3. Etablering av thoriumsykel over flere brenselsbytter, uløst spredningsproblematikk

Shippingport : 3% overskuddsbreeding, ikke prosessert

CANDU, India : tungtvannsmoderator

MSRE : tilsatt U233 i flytende fluoridblanding

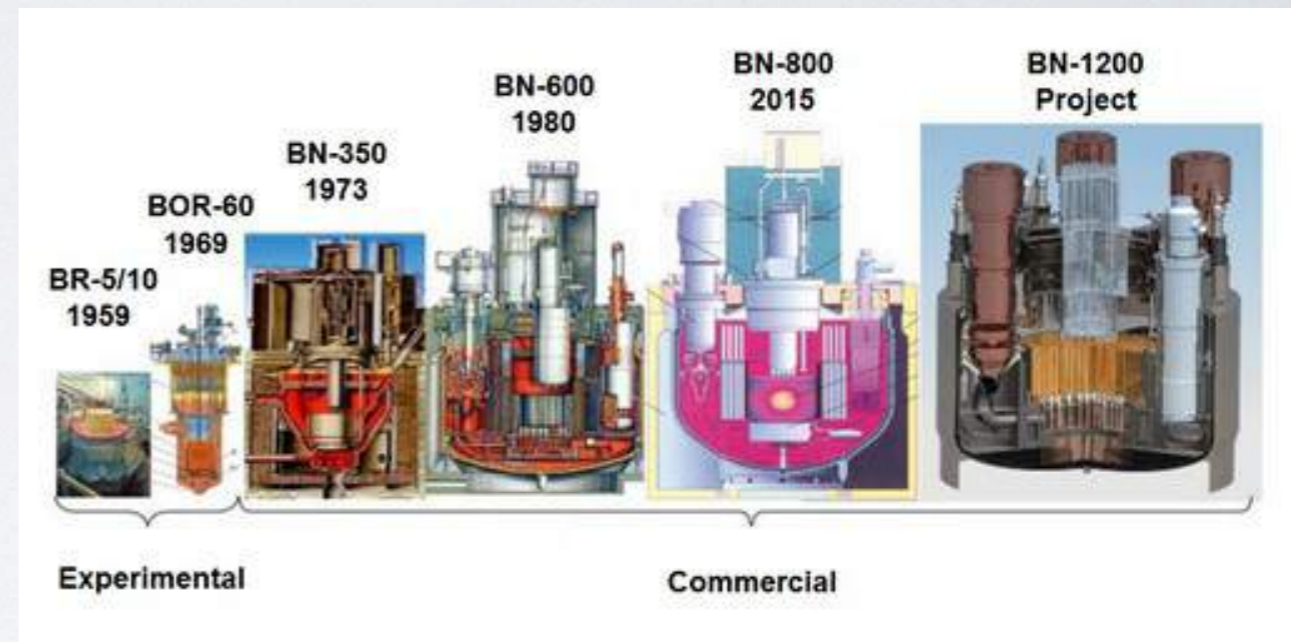
Lightbridge, Accident Tolerant Fuel : metallegeringer (ikke MOX) planlegges for bestrålingstesting, +50% brenntid



AREVA ser på integrerte flytskjemaer sammen med kjemigiganten Solvay i Belgia. De har sagt at en full thoriumsykel kommer til å ta tiår og bare kommer til å skje om statlige myndigheter krever det. Er det trussel om uranmangel som ligger bak ?

Avfallshaugen

- Rent politisk problem
- Bør støpes i glass og lagres tørt
- Inneholder 1% Pu239. Er det verdt å separere ut? Frankrike og Japan sparer for GenIV. USA har bannlyst reprosessering av spredningsårsaker.
- Flytende brenselsblandinger, MSR, kan også brenne bort og utnytte avfallshaugen over tid.



Russerne har startet natriumkjølte raske reaktorer. Går på U238, 2% lekkasje i reprosessering per år. Natriumkjøling og raske nøytroner har en lang og trøblete historie og anses nok ikke å være en sikker og eksporterbar teknologi.

Våpen

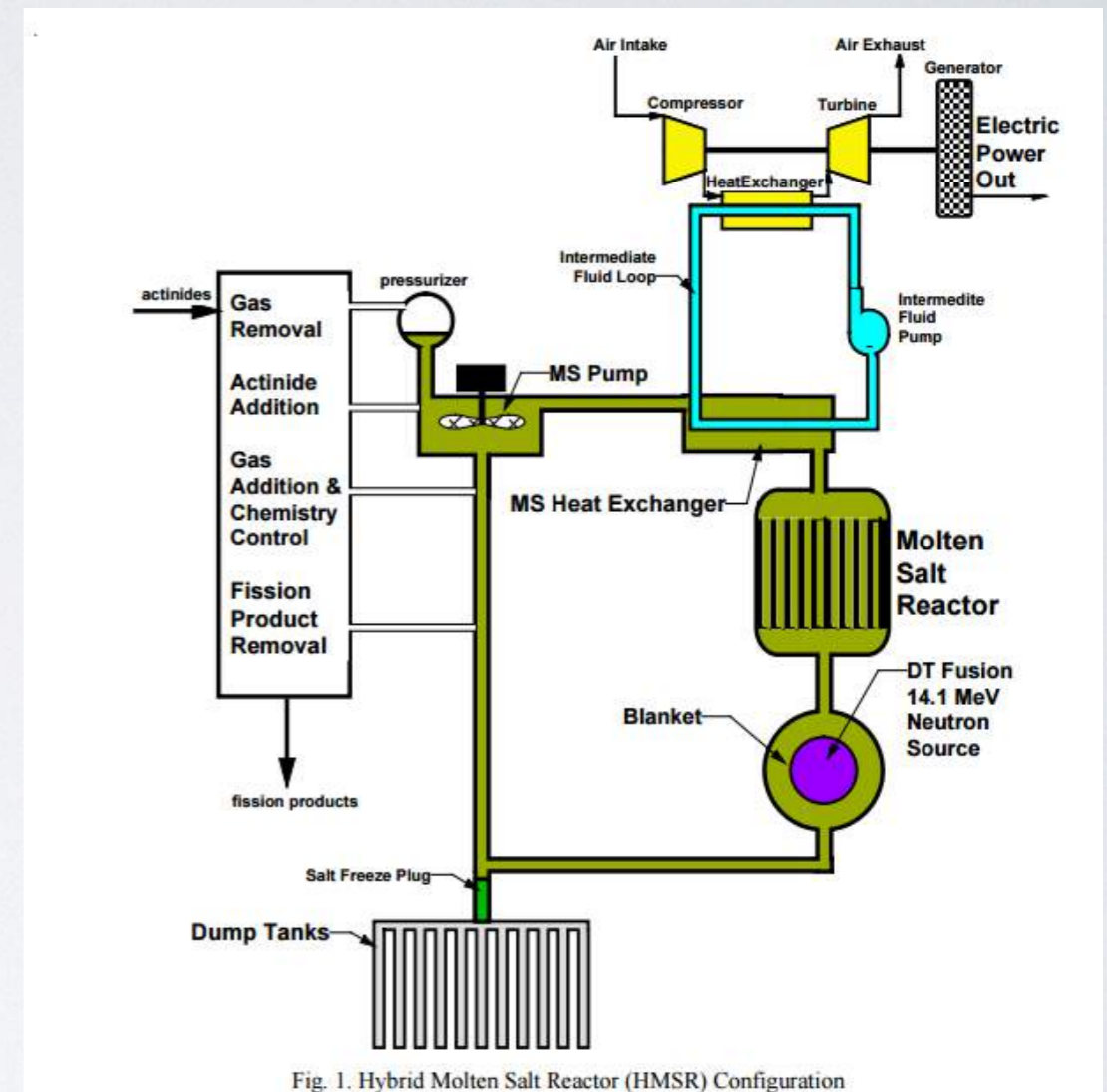
- High Enriched Uranium : 20% U235 i U238
- Reactor Grade Plutonium : < 93.5% Pu239 rel Pu240
- Uklart hva som gjelder for U233 : 50ppm ? Selfprotection fra U232s gamma-signatur ?



U233 skal ha inngått i tester men gitt utilfredsstillende «yield». U233s gammasignatur gjør isotopen uegnet til diskret og sikker lagring.

Aktiviteter MSR

- ThorCon Power Inc, Indonesia
- Moltex LLC, Kanada
- FLiBe Energy (FoU på NF3),
Terrestrial Energy (ingen kontrakt),
Elysium Industries (klorider) ,
TerraPower (Bill Gates)
- Statlig R&D i Frankrike, Nederland,
Kina, India, Russland, Tsjekkia, Tyrkia,
US



Saltsmelterektorer MSRs er en familie teknologier. Referansekonstruksjonen fra Oak Ridge er fra 70tallet. ThorCon vil bygge den meste konservative varianten i full skala som ikke behøver mer FoU.

Thorium i salt vs uran i vann

- Radioaktivitet kjemisk innelåst
- Nedsmelting fysisk umulig
- Ingen høye trykk, gass eller damp
- Thorium er ikke våpenmateriale
- 100x mer brensel effektiv
- 100x mindre langlivet avfall
- 10x mindre stål, betong og byråkrati
- Lave kostnader i serieproduksjon



Rørverk, MSR Experiment

TILLEGG

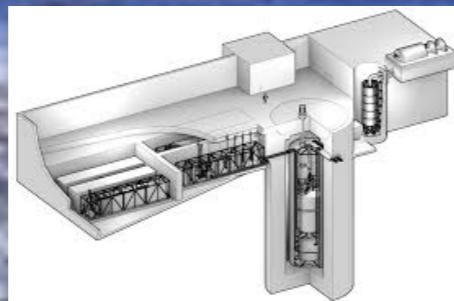
Størrelsen har betydning.

Kullaskeørken, Kina

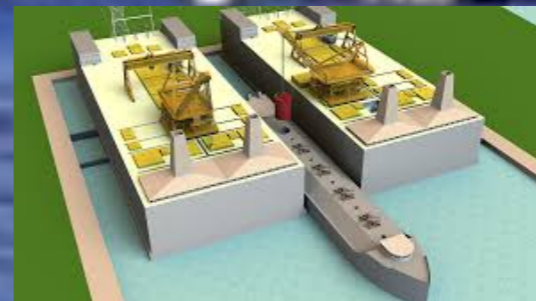


Livstidsforbruk av thorium

Forsmark I, II, III, Sverige

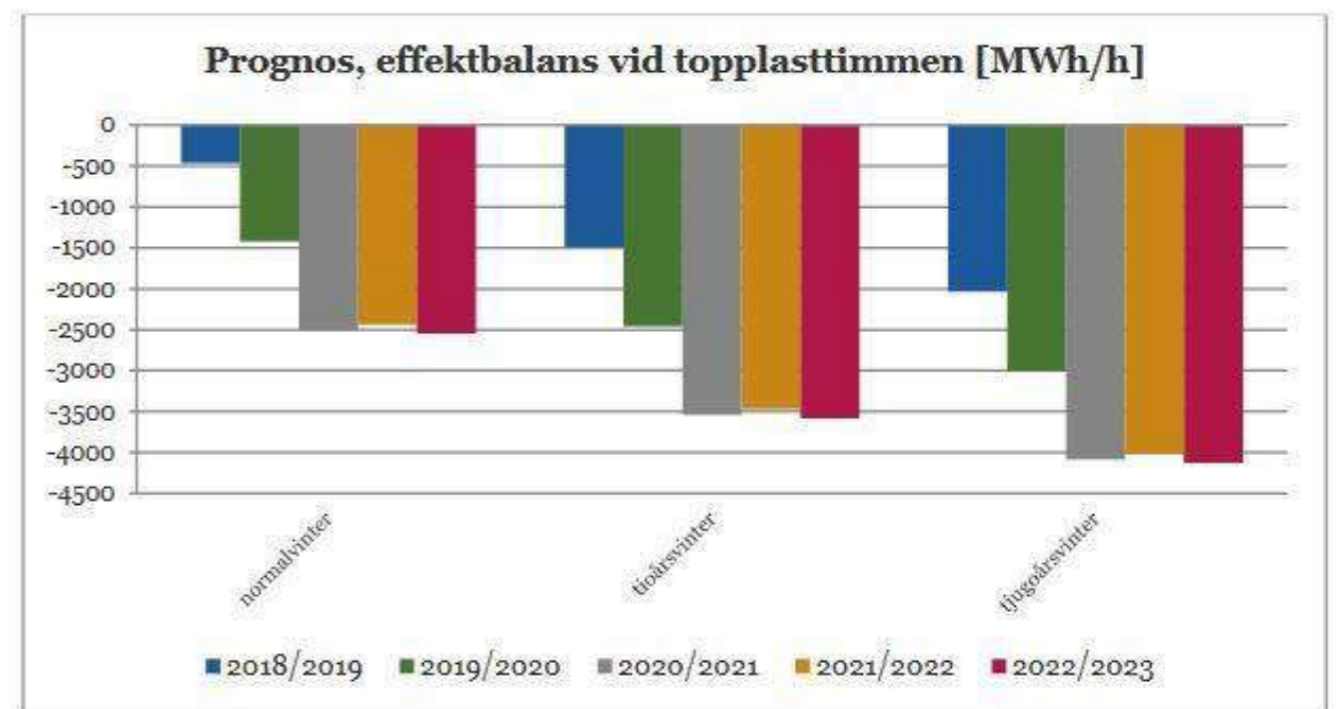
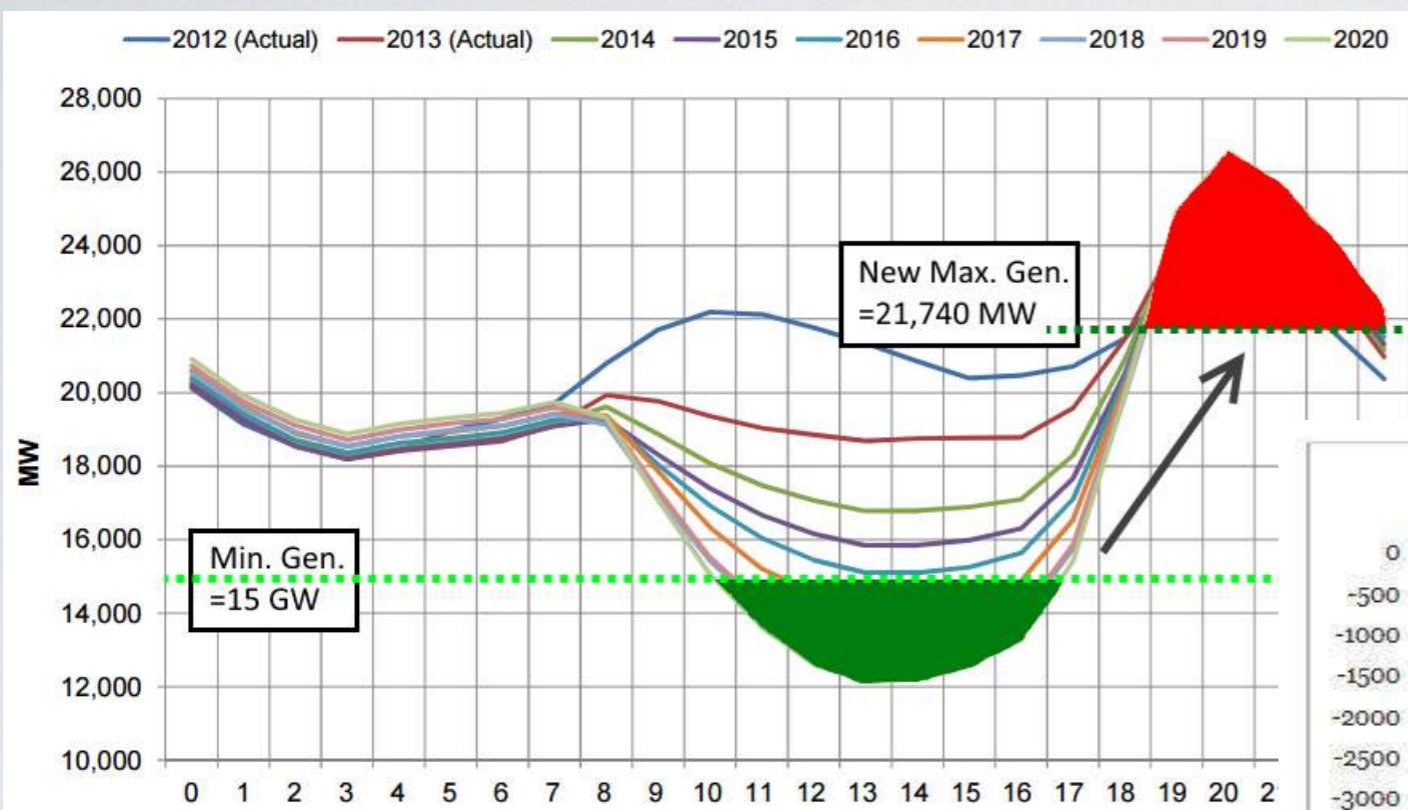


FLiBe Energy, under bakken



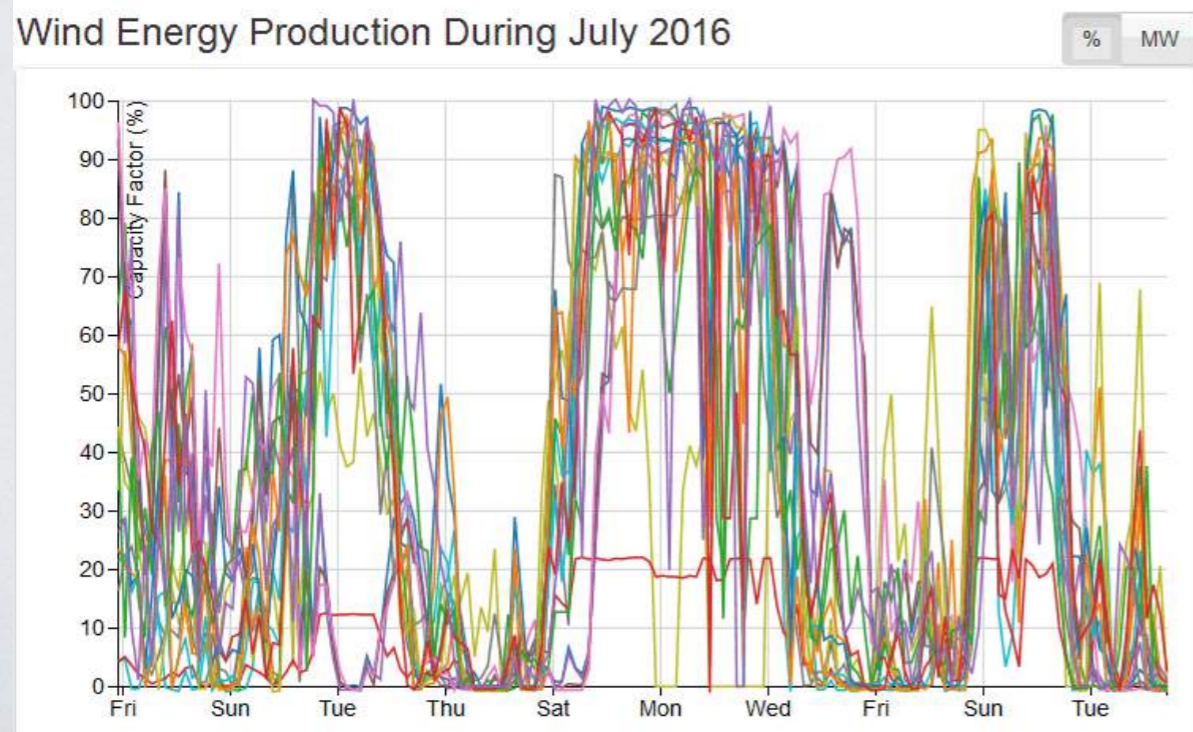
Thorcon Isle, flytende

Momentan nettbalanse



Figur 14. Prognos för effektbalans under topplasttimmen för kommande vintrar. Källa: Svenska kraftnät, Kortsiktig marknadsanalys 2017.

Californias strømbehov over døgnet



Vindkraft over ukedagene, South Australia

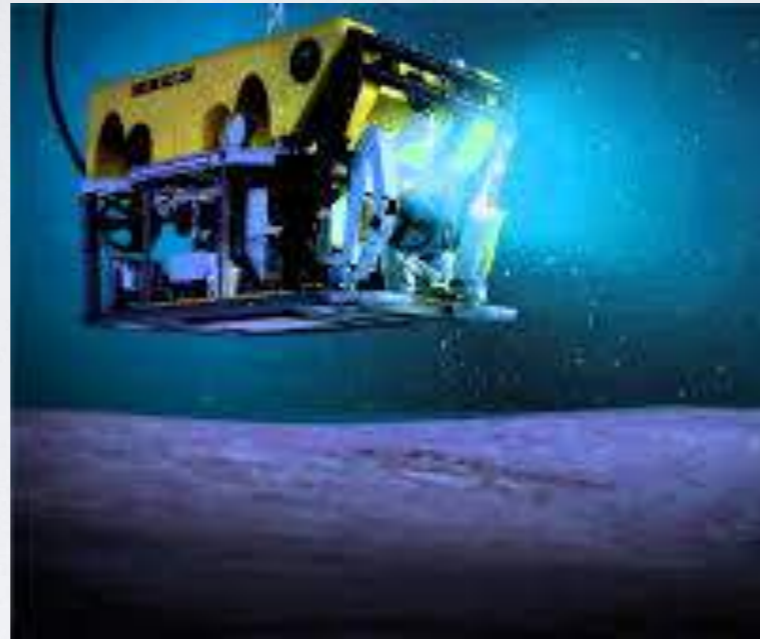
Sveriges underskudd i vinterdagene

- Norges strømbehov på sikt ?

Norge har kompetansene.



Haldenreaktoren



Subsea



MSRE



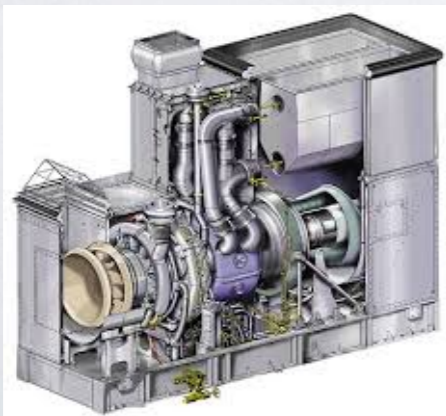
1000 °C kryolittsmelte



Raffinering



Spesialskip



Turbiner



3D printing avanserte materialer



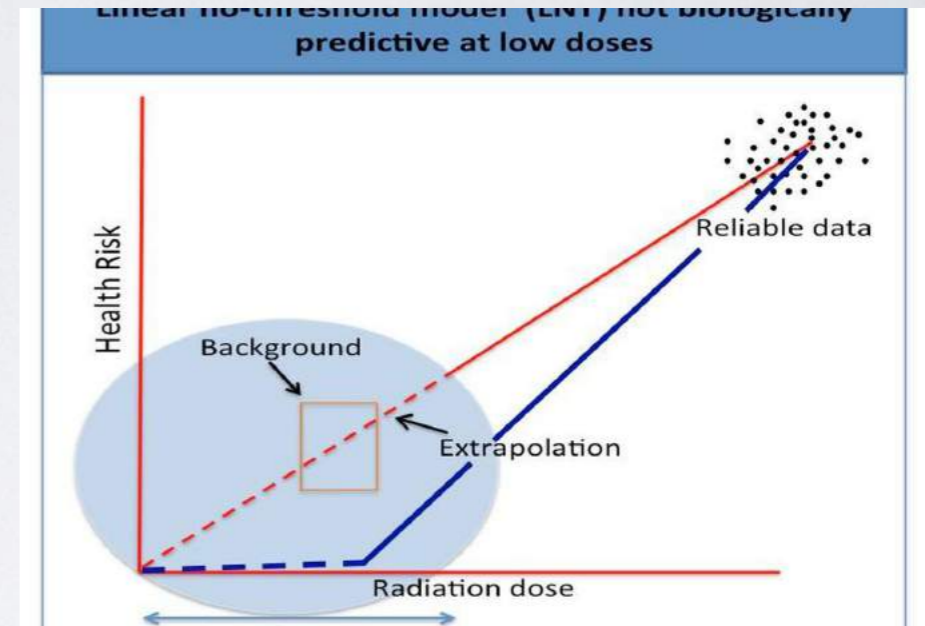
Halider



HMS, lisensiering

Bedre rammevilkår ?

- LNT : 1000x for lave strålingsgrenser
- Ad hoc sikkerhetstiltak etter Chernobyl
- Nuclear renaissance avbrutt av Fukushima
- Politisk blokkering over avfall
- Eksempelløs inflasjon fra byråkratisering
- Kun russerne klarer serieproduksjon
- Kodifisert safety kun for vannreaktorer



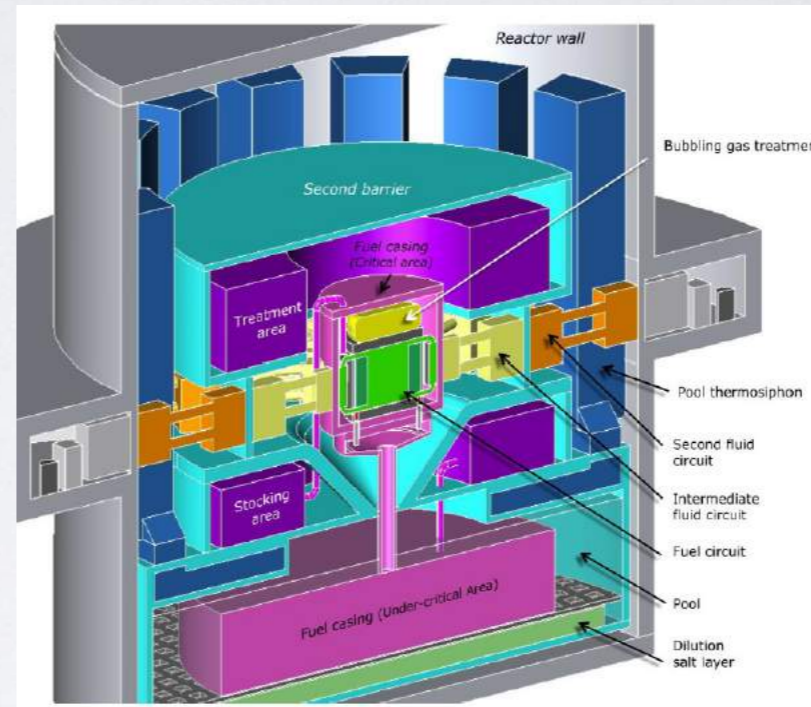
Doser < 100mSv årsaker ikke kreft.



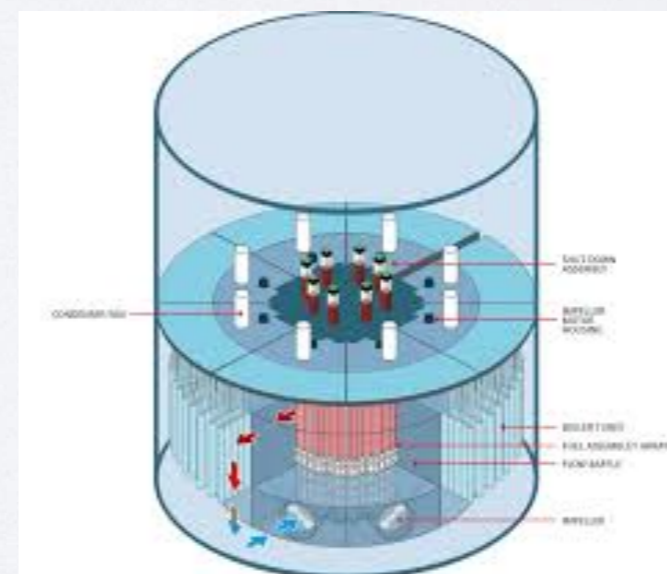
Sveitsisk inventarium av kjerneavfall.

Svalbard for ThMSR ?

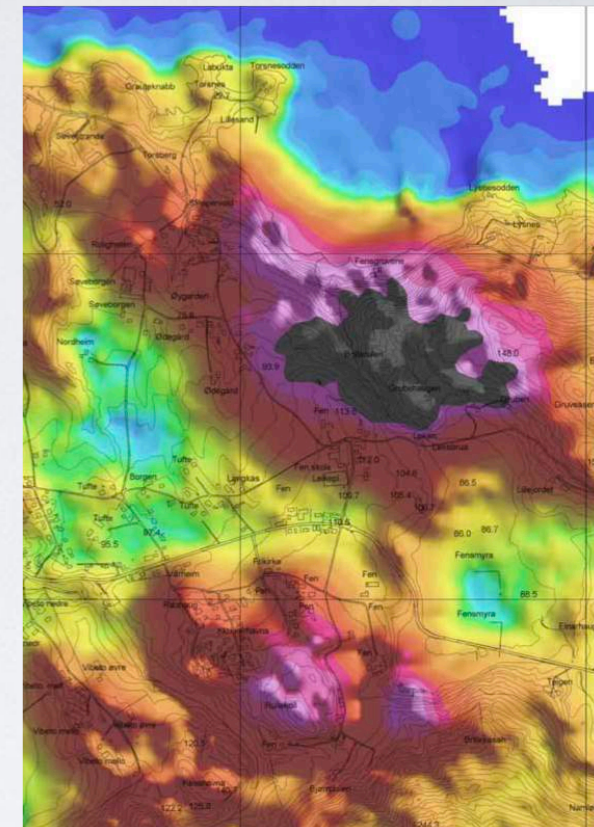
- Vi har nok tid og nok penger.
- Flere oppstartsfirmaer, konferanser.
- Ingen gjør noe uten et statlig initiativ.
- Høytemperatur varme til GTL, H₂
- Kan konkurrere med kull
- Breakeven etter 5-10 år, høy ROI
- Nettstabilisator, absolutt minimalt CO₂
- **Den Nye Oljå !**
- **Mulighetsstudie over 3 år ?**



EVOL er den franske ThMSR.



Moltex har en kontrakt i Kanada.



Gammastråling fra thorium, Fensfeltet