

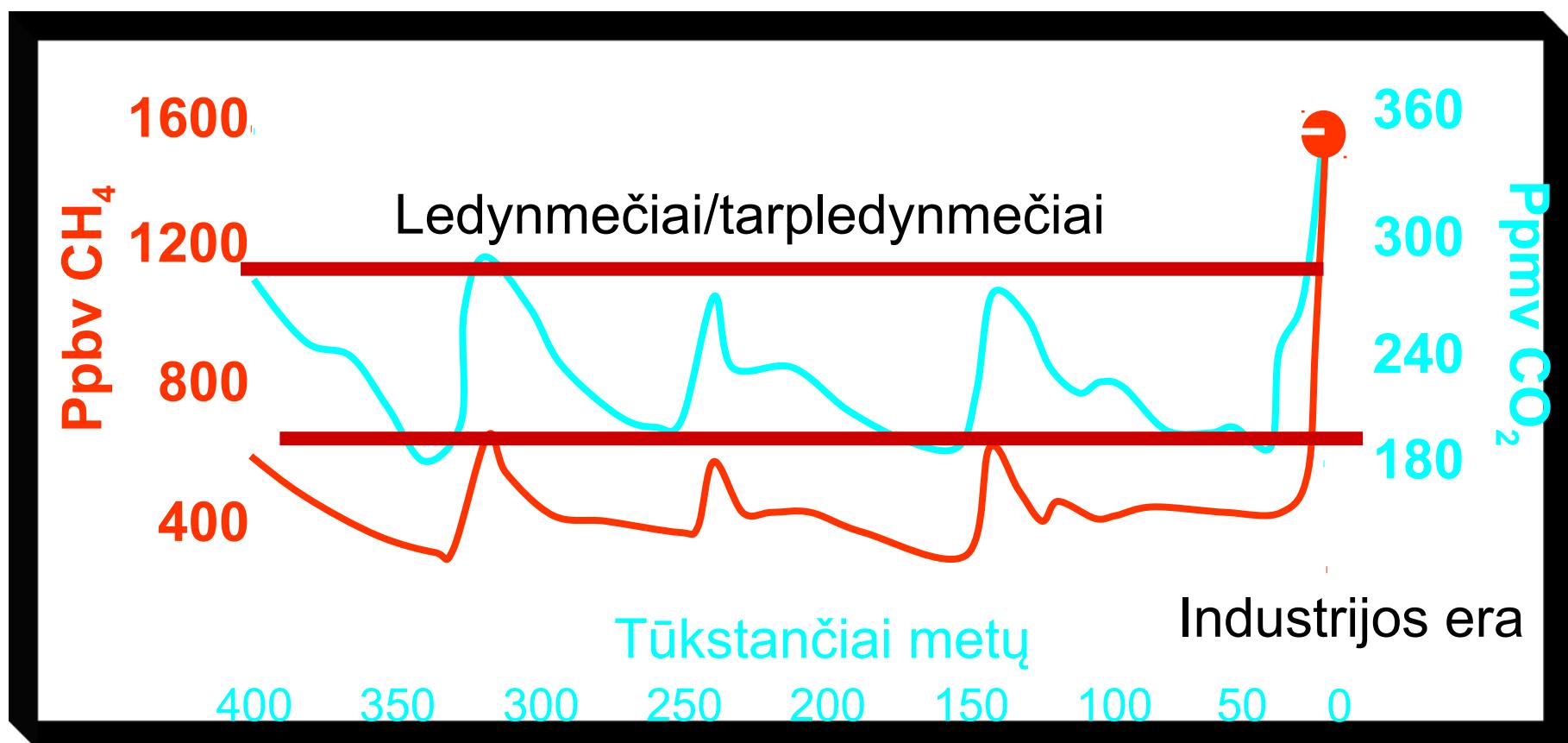
Procesai Žemėje, žmogaus veikla ir energijos šaltiniai

Ankstesnėje paskaitoje

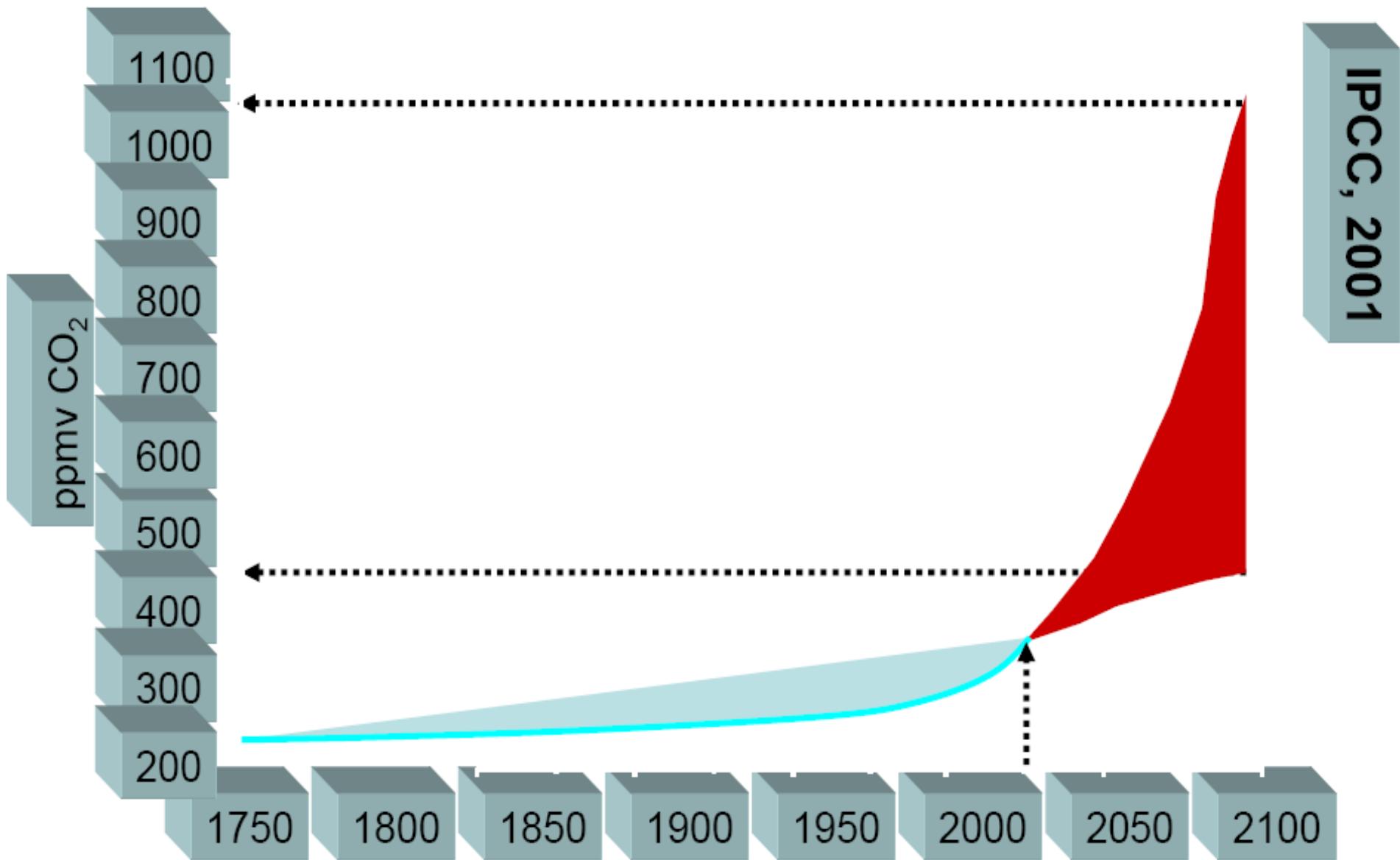
- Aptarta, kad procesus Žemėje sąlygoja:
 - kosminiai faktoriai (meteoroidai, spinduliuotė),
 - Atsitiktiniai ir periodiniai
 - Vidinės priežastys (ugnikalniai, tektonika)
 - Tarp jų, ir nežinomas kilmės cikliniai procesai
- Paskutinį šimtmetį pasireiškė ir žmonijos potencialas įtakoti globaliai.

Šiltnamio efekto” yra natūralus procesas Žemėje, nes jei jo nebūtų, Žemės paviršiuje būtų -18° , (t.y. $\sim 0^{\circ}$ F) vietoje dabartinių 16° C.,

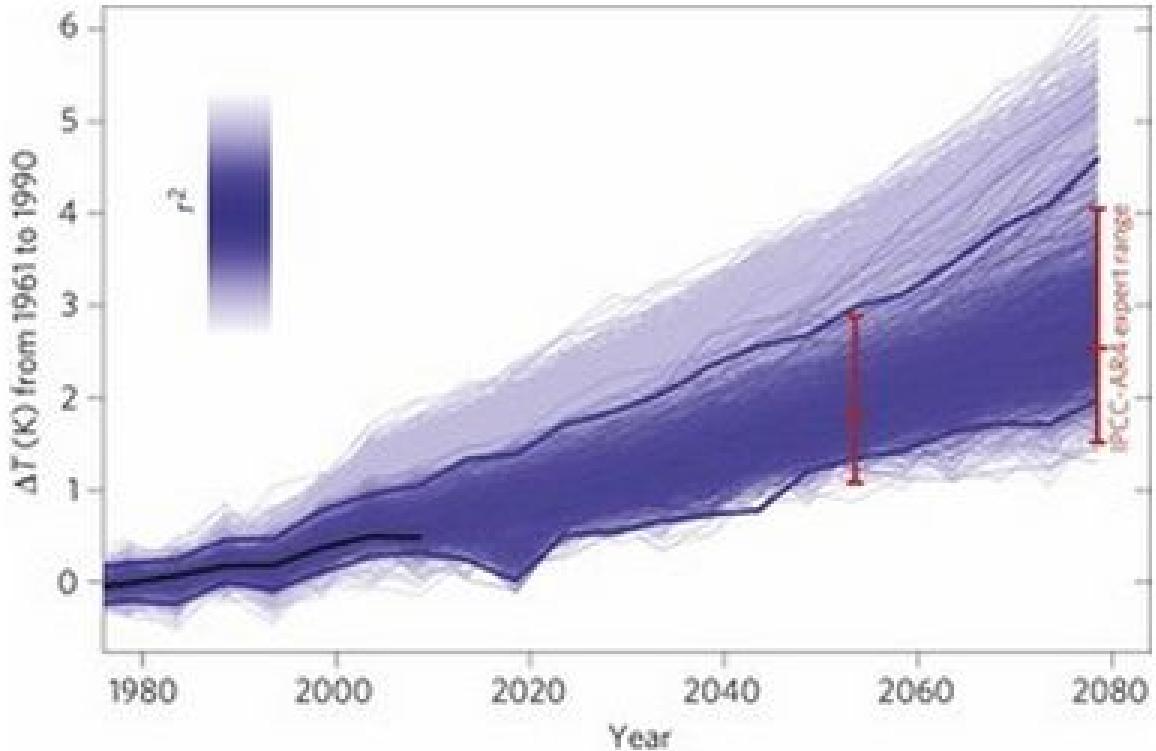
Svarbu suprasti, kad dėl šio efekto temperatūra pakilusi 34° C, kas gali atsitikti, jei įvyks dar 10% ar daugiau padidės.



CO₂ koncentracijos kitimas



T pokytis Žemėje



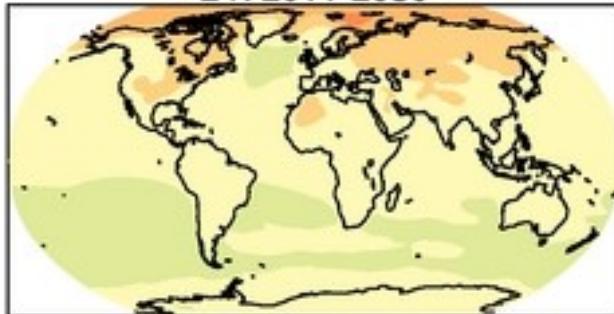
**New simulation predicts higher average Earth temperatures by 2050 than other models.
March 26, 2012** by Bob Yirka.

Over the past several years, researchers have built a variety of computer simulations created to predict Earth's climate in the future. Most recently, most models have suggested that over the next fifty years, we'll see an average worldwide rise in temperature of perhaps 1°C. Now a new group of simulations, using the combined computing power of thousands of personal computers, says that number is too low, and that we might see temperatures rise as much as 3°C, which would of course, be a far more serious situation.

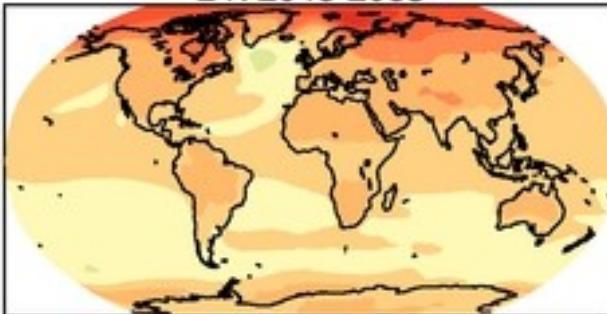
The simulations, run by climateprediction.net in conjunction with the BBC Climate Change Experiment, resulted in predictions of a rise in temperature ranging from 1.4°C to 3.0°C by 2050. The large team involved in the project has published their findings in *Nature Geoscience*.

Laukiami T pokyčiai

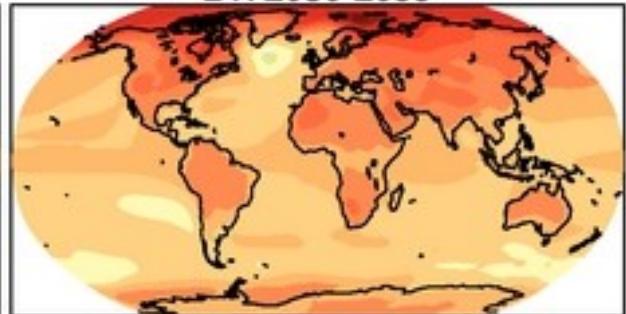
B1: 2011-2030



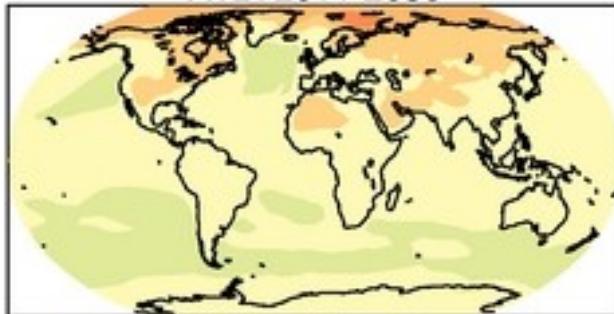
B1: 2046-2065



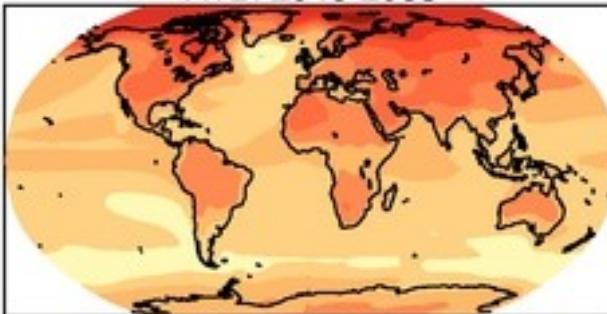
B1: 2080-2099



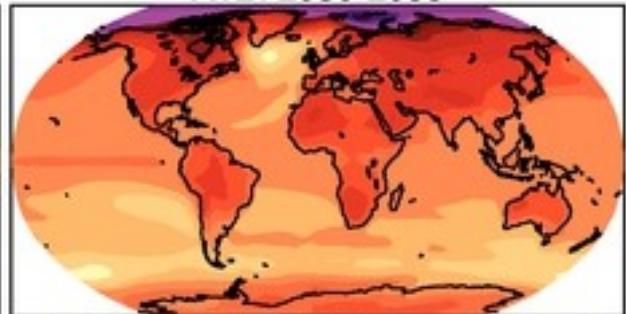
A1B: 2011-2030



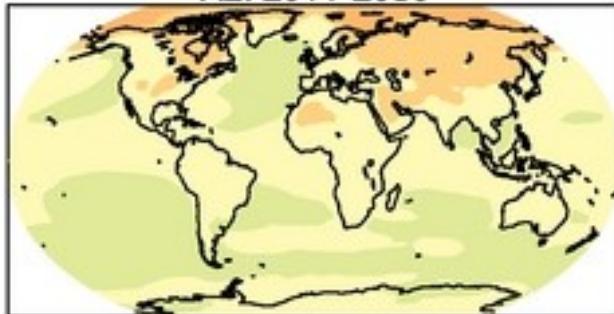
A1B: 2046-2065



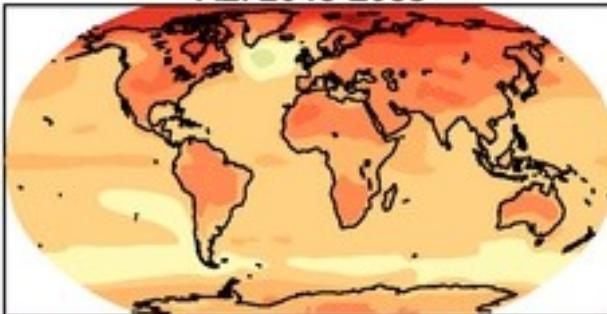
A1B: 2080-2099



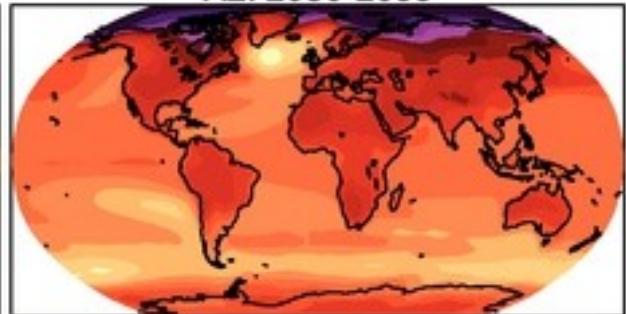
A2: 2011-2030



A2: 2046-2065



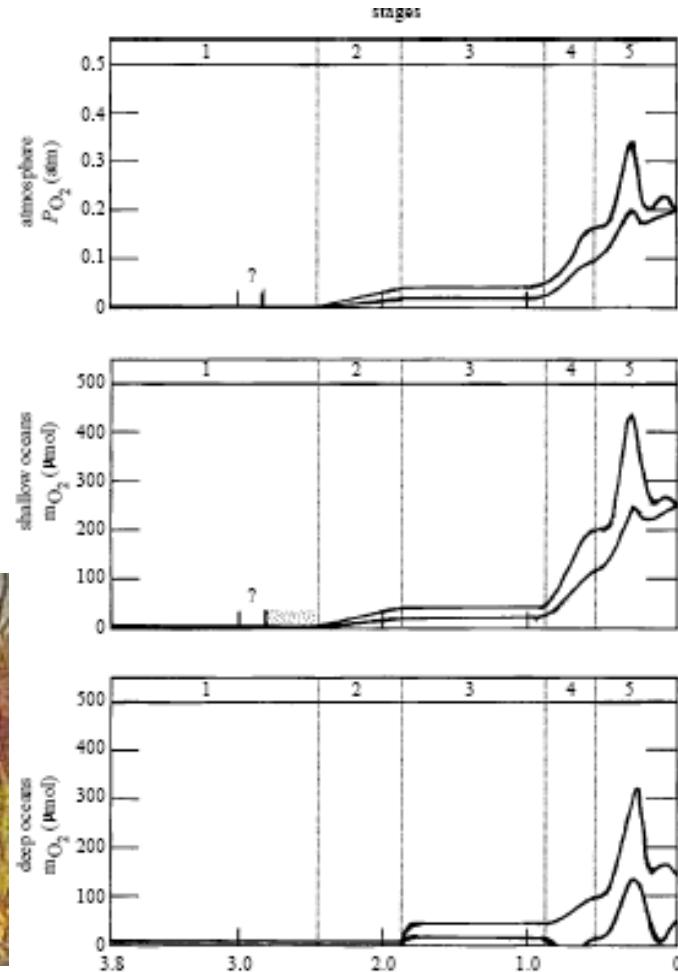
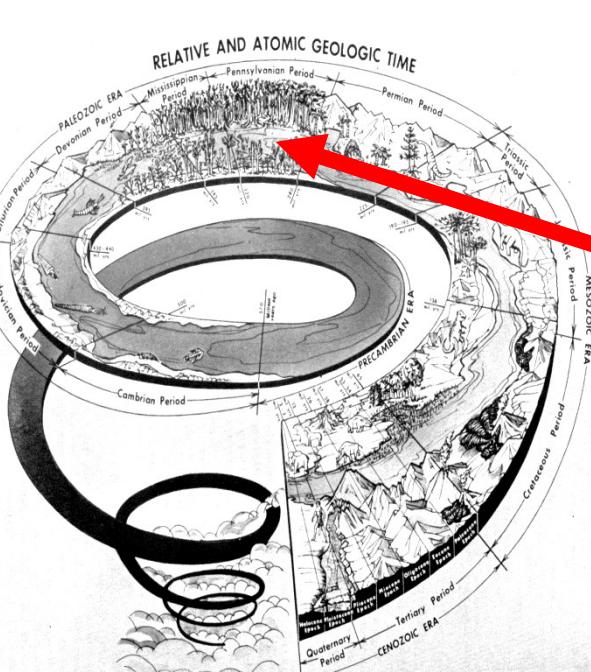
A2: 2080-2099



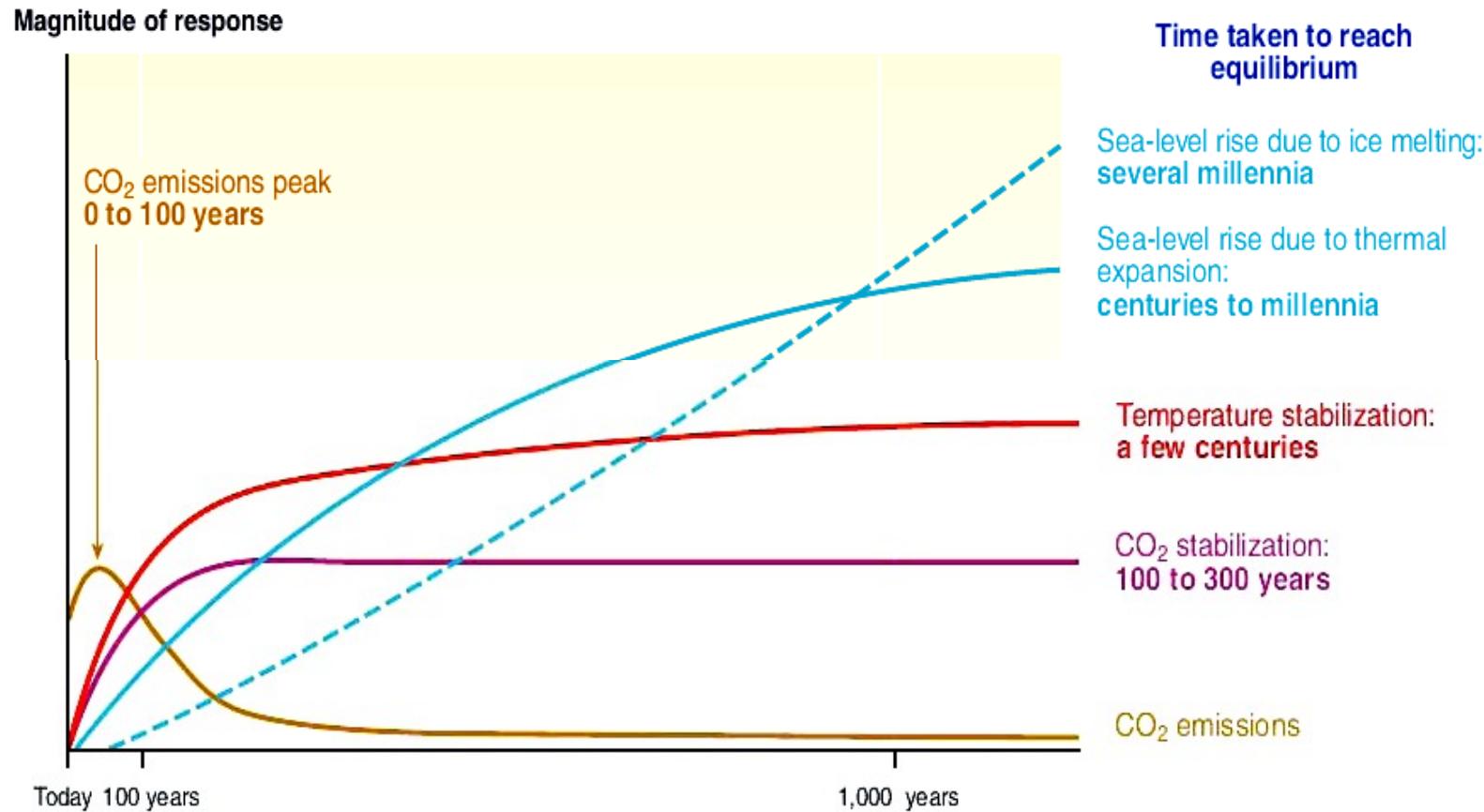
Projected changes in global average temperatures under three emissions scenarios (rows) for three different time periods (columns). Changes in temperatures are relative to 1961-1990 averages. The scenarios come from the IPCC Special Report on Emissions Scenarios: B1 is a low emissions scenario, A1B is a medium-high emissions scenario, and A2 is a high emissions scenario. Source: [NRC \(2010\)](#)

Nepakankamai vertinama potenciali laisvo O₂ kieku Žemėje mažėjimo problema

Gręsia mēgstančių kvėpuoti išnykimas



Imtis veiksmu reikia nedelsiant:



Sustabdžius CO₂ emisiją CO₂ koncentracija dar vis augs ~100-300 metų, o oro temperatūra dar didės ilgiau. Jūros lygis kils dėl ledo tirpimo ir dėl šiluminio plėtimosi dar kelis šimtmečius.

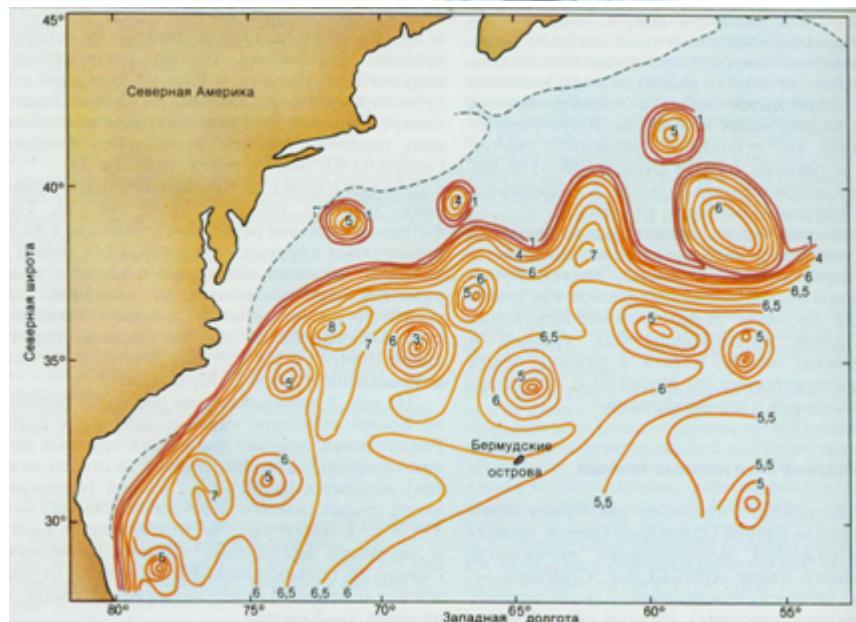
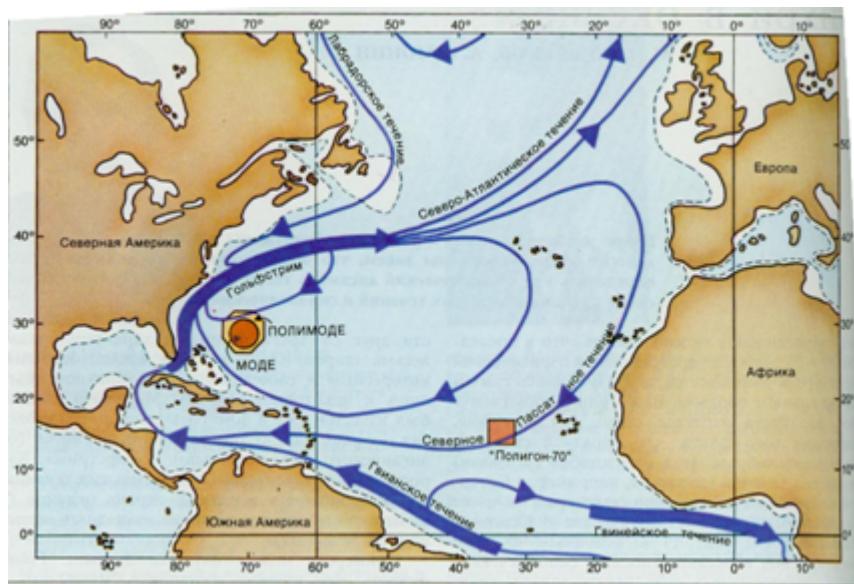
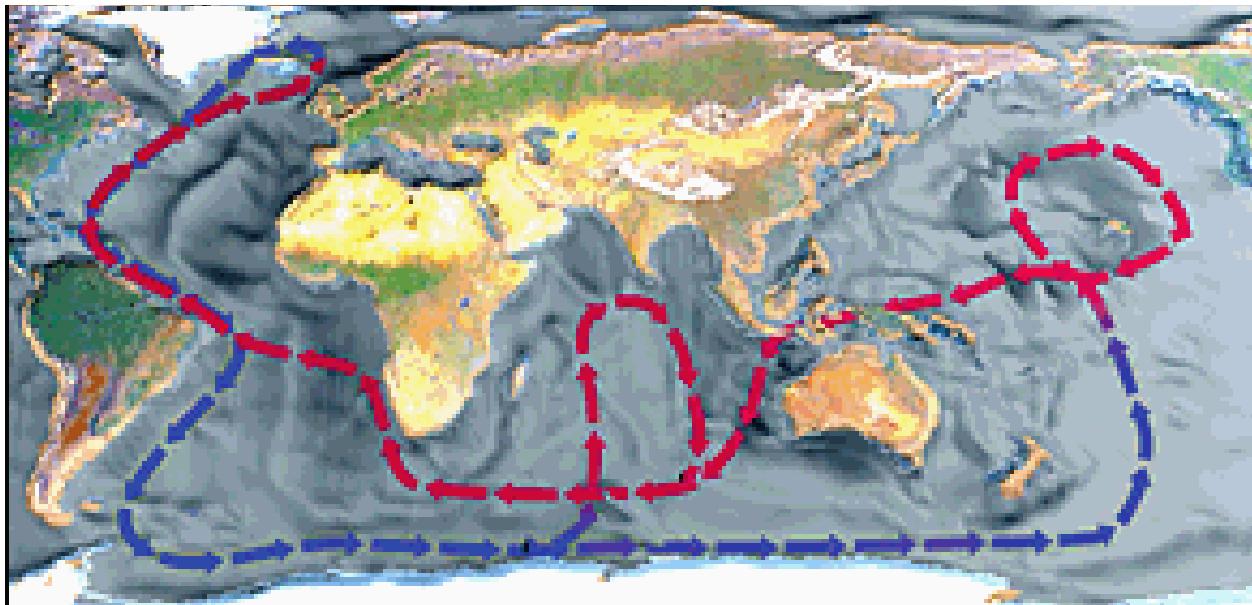
Climate Change 2001: Synthesis Report –Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

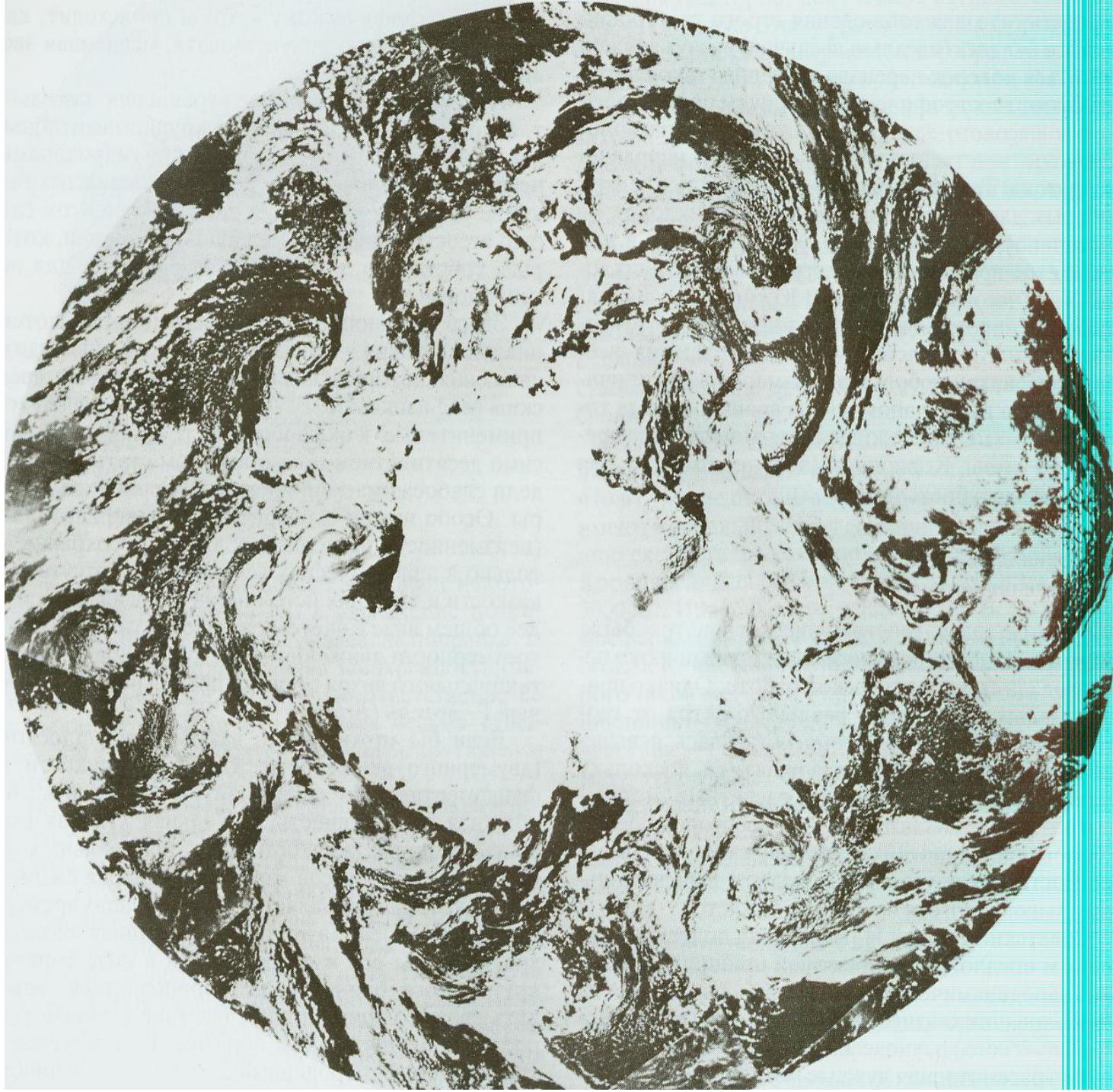
Kylant temperatūrai pradės pūti tūkstantmečiais susikaupusios arkties regione biologinės kilmės medžiagos, kas taip pat mažins O₂.

Jei ledynai ištirptų: jūros lygis pakiltų maždaug 65 m

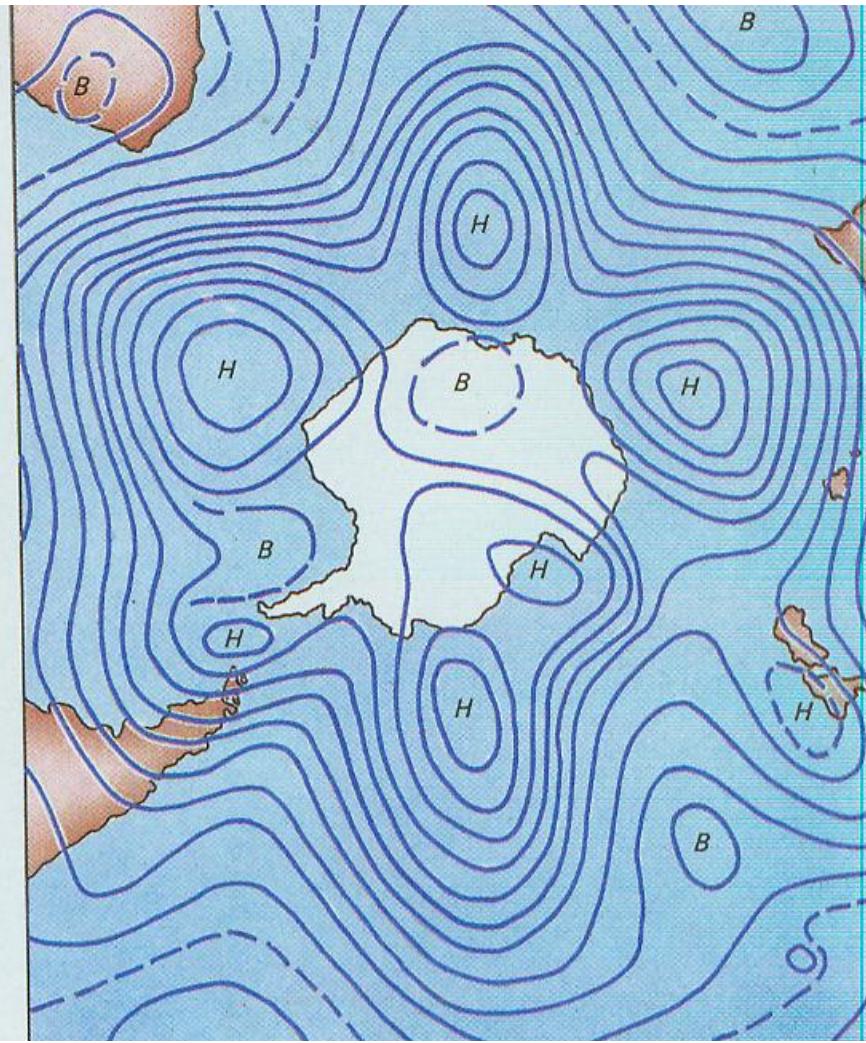
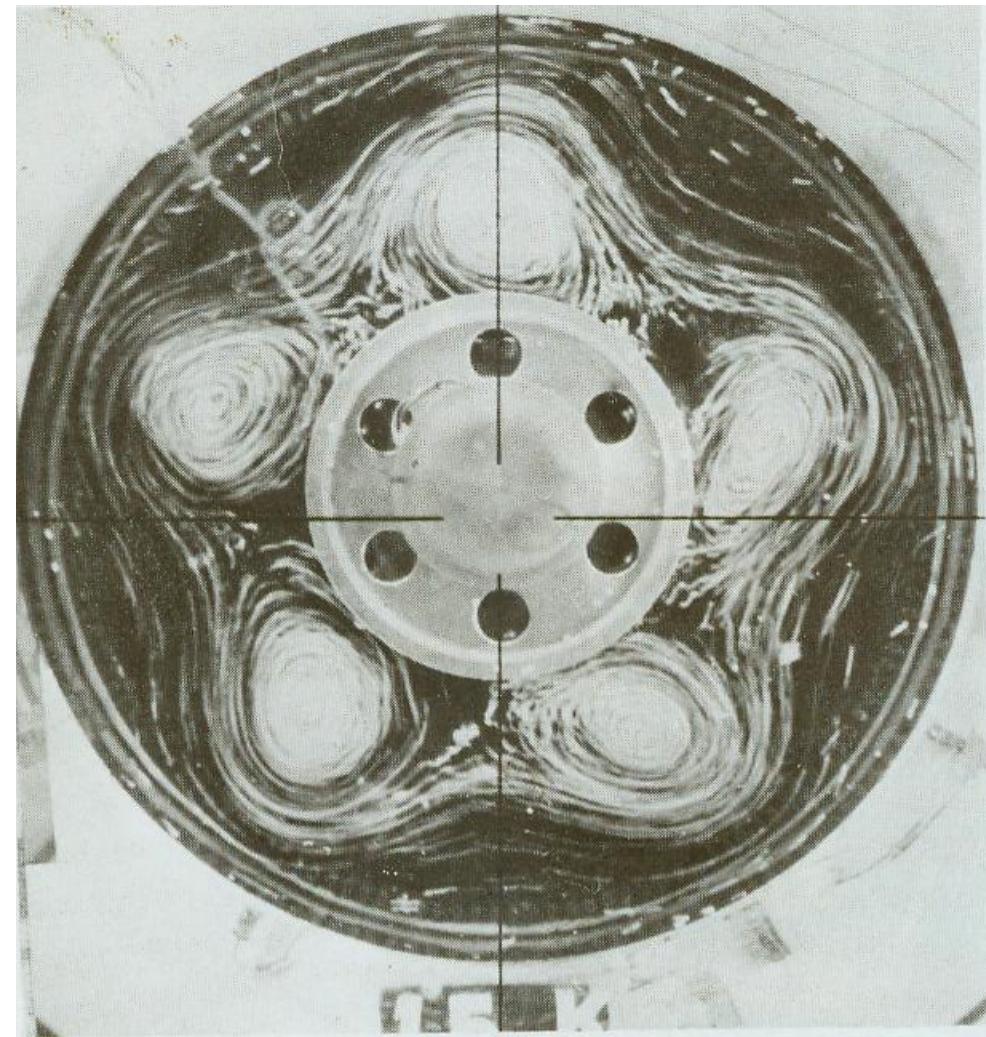


Golfo srovē ir jos mikrostruktūra





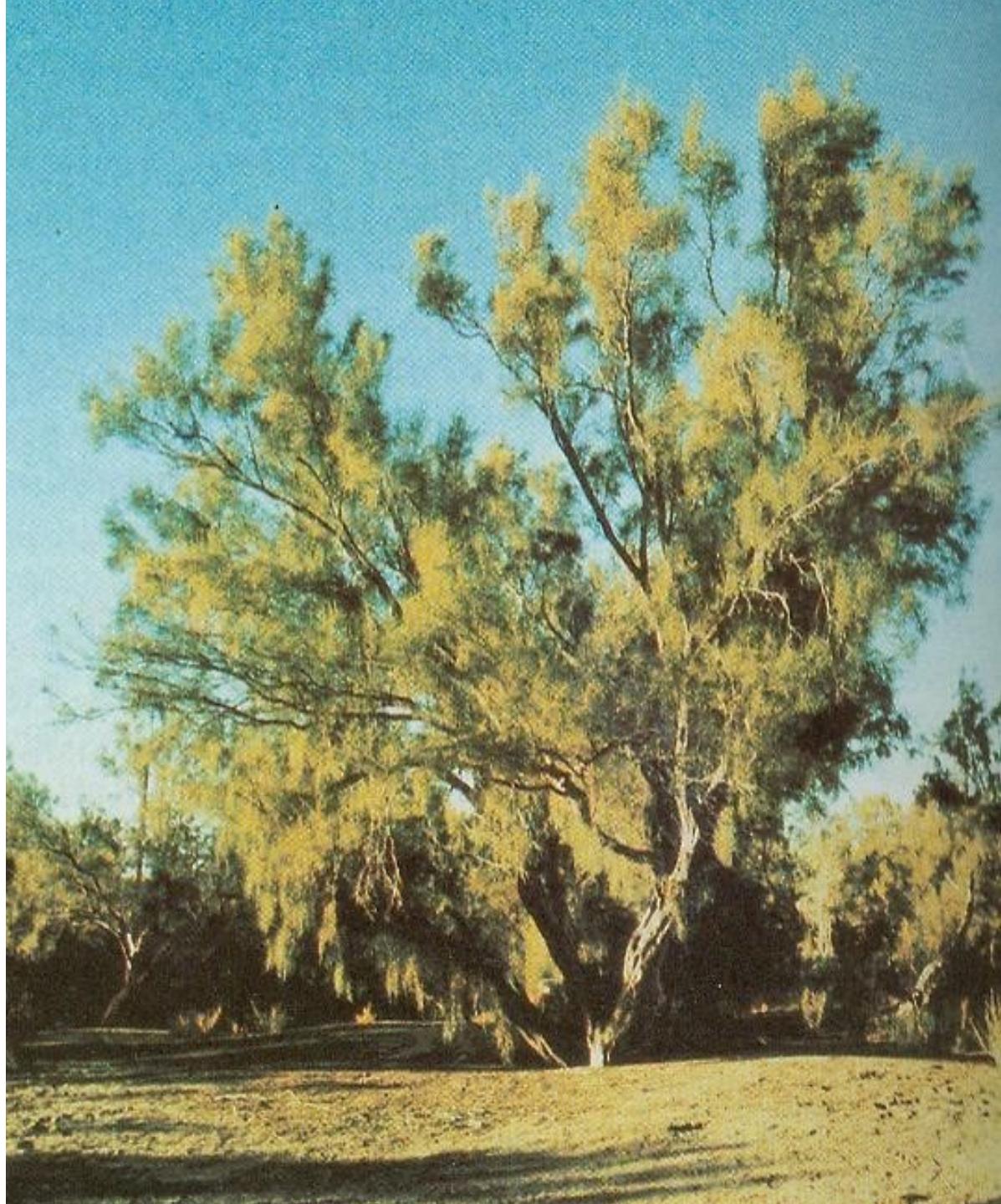
Laboratorijos ir realybėje



Žmogaus veikla

- Maisto gamyba:
 - Teksasas, Australija, ...
 - Vidurinė Azija
- Energijos gamyba
- Susisiekimo maršrutai

Karakumai





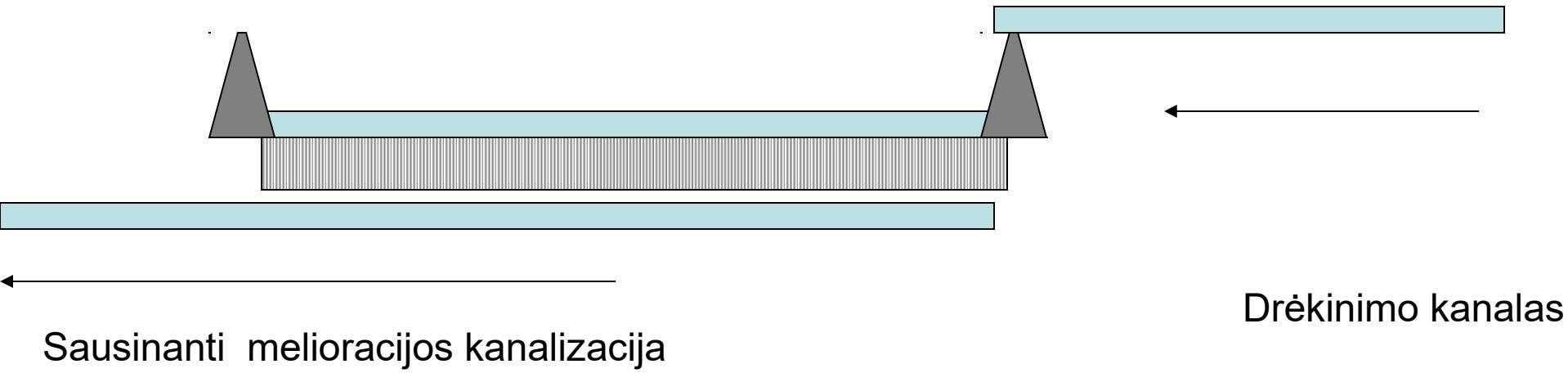


Žemėlapis

Nuotrauk



Žemdirbystė druskingose vietose

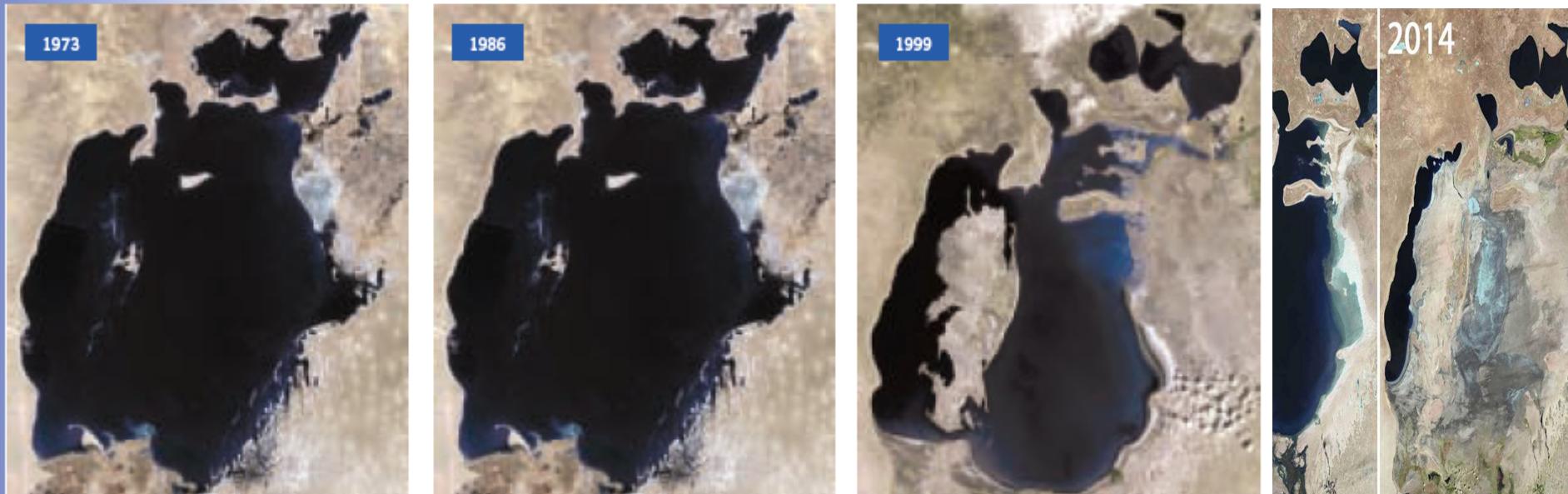


Žmogaus veikla

The declining sea level lowered the water table in the region, destroying many oases near its shores. Over-irrigation caused salt build-up in many agricultural areas. By the beginning of the 1990s, the surface area of the Aral had shrunk by nearly half, and its volume was down by 75 per cent. Winds picked up sediments laced with salts and pesticides, with devastating health consequences for surrounding regions (see also box on page 280).

Photo above shows an abandoned fishing boat in what was once the Aral Sea. Satellite images below show how the sea shrank between 1973 and 1999

Landsat data: USGS/EROS Data Center
Compilation: UNEP GRID Sioux Falls
Photo: UNEP, Topham Picturepoint



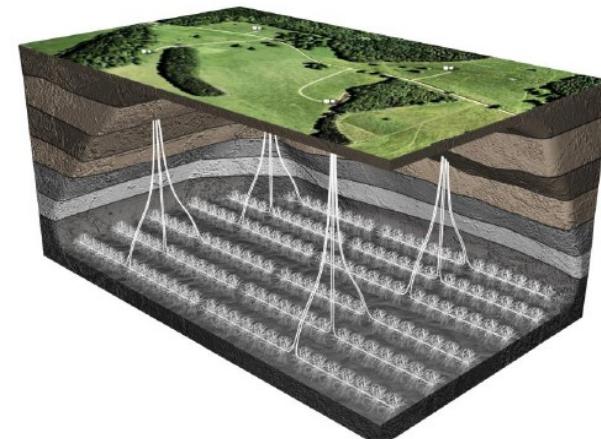
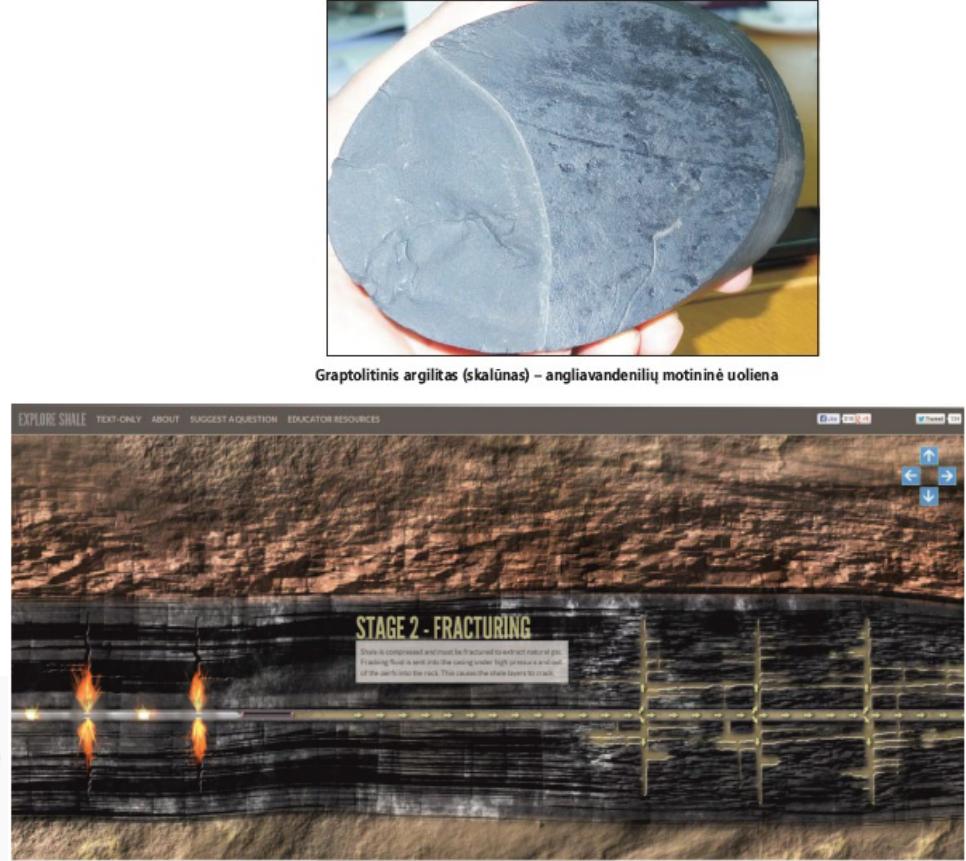
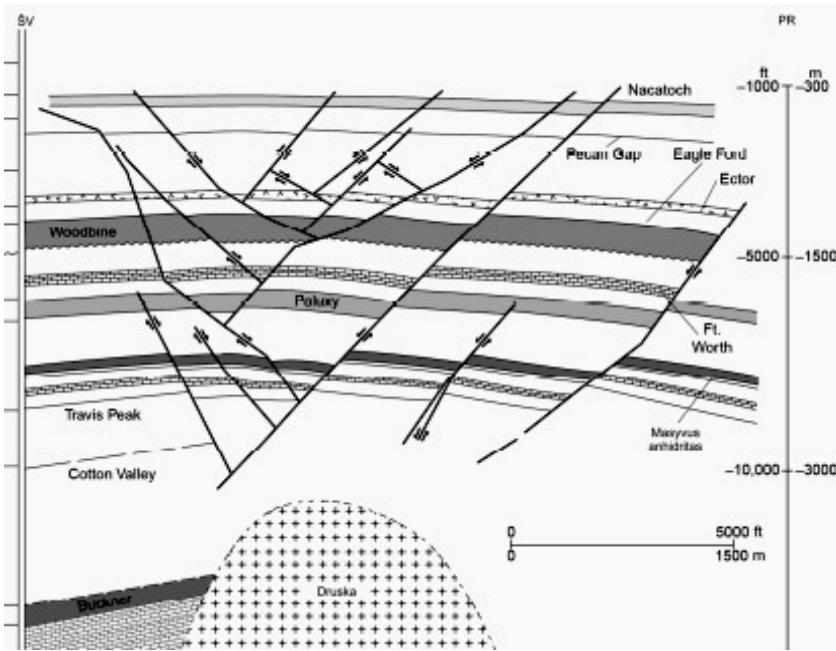
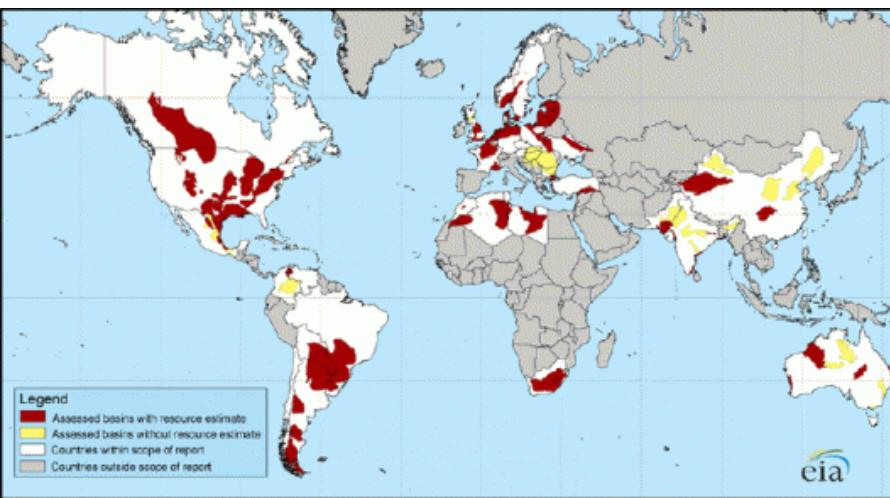
Vandens panaudojimo vaizdeliai



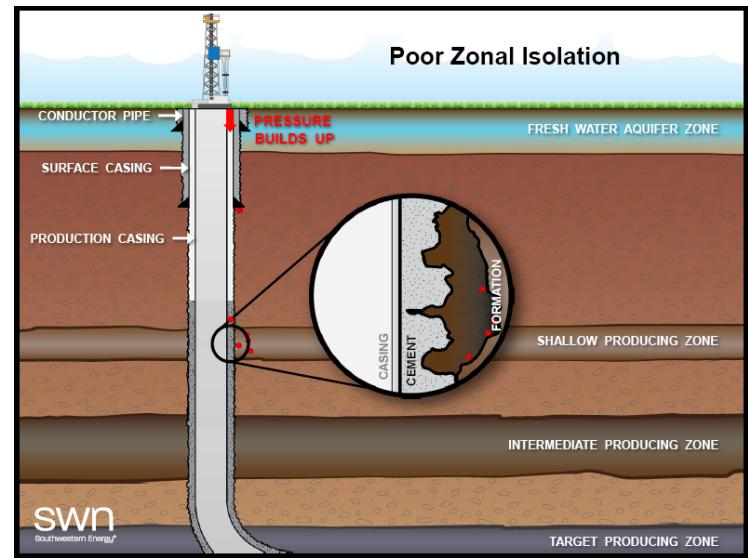
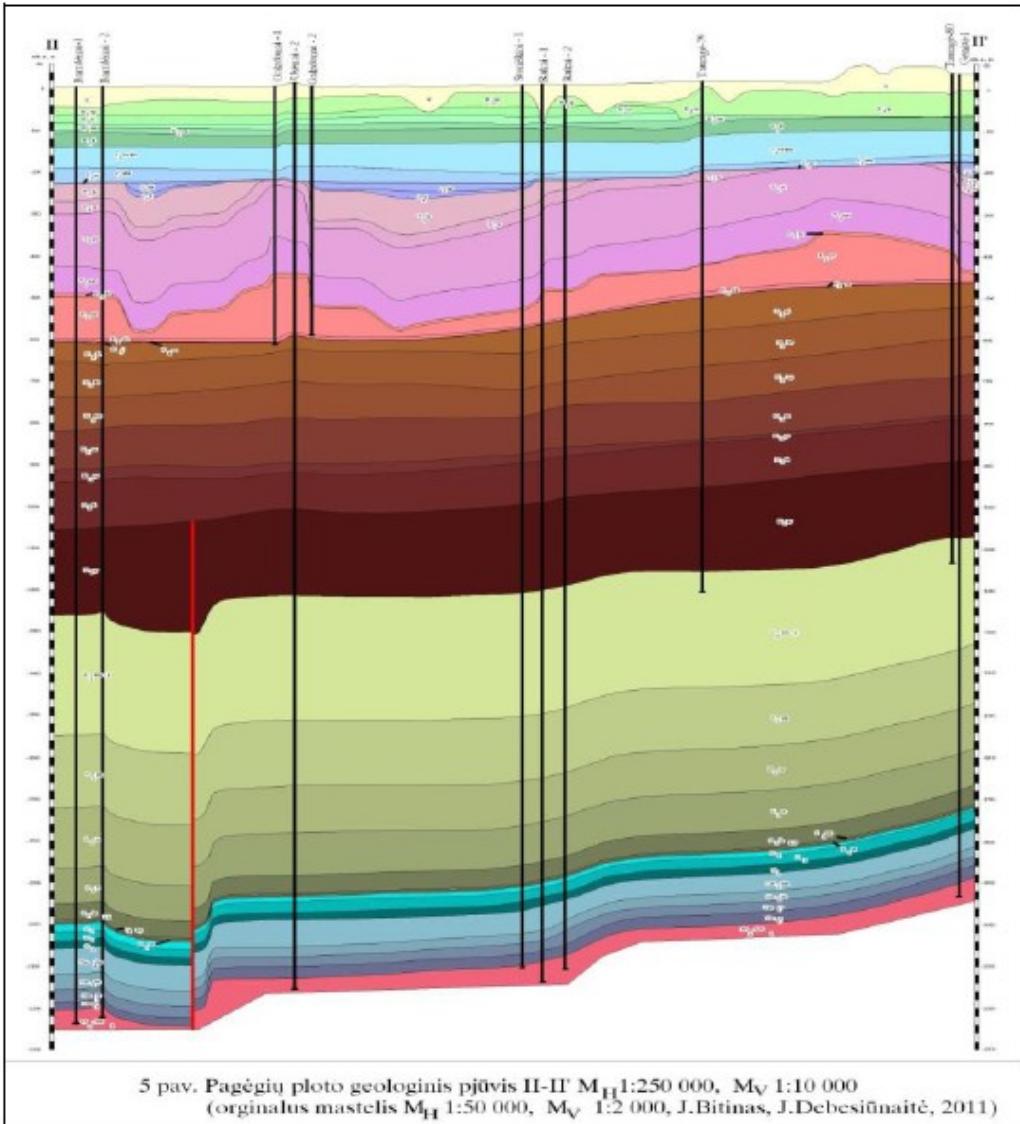
- Nauda:
 - Žemdirbystei - laistymui
 - Energijai
- bet:**
- Paskandinami dideli žemdirbystės plotai (jei ne kalnų upėse)
 - Sukuriamis purvo sankaupos
 - Keičiama žuvivaisa



Skalūnai



Skalūnai



Klausimas diskusijoms:

- Ar Žemės turtus reikia naudoti?

Lietuvoje:
Naudojama

vanduo,
žvyras,
durpės,
nafta,

Pakaunės anhidritai („Tik ką“ leista)

Neleista, nes vietiniai gyventojai
prieštarauja:

Varėnos geležies rūda

Neapsispręsta: (nėra verslo planų ar diskutuojama)

Granitas

Anykščių kvarcinis smėlis (Saulės elementams ir geležies pramonei, jei Varėna persigalvotų)
Skalūnai

Reziume

- Žemei gręsia pavojai iš kosmoso
- Žemės gelmės gali teikti siurprizus
- Žemės resursai dar neišsemti, nors yra problemų.
- Žmogus jau ženkliai keičia gamtą:
 - Tarša (daugiausia vandens ir gyvenamujų zonų)
 - Žemdirbystė, energetika ir anti-melioracija
 - CO₂ ir O₃ globalus kitimas
- Nerimas dėl ateities:
 - Klimatinių zonų kaita
 - Jūros lygio kitimas
 - Deguonies išteklių riba

Reikšmingi įvykiai energetikoje

Žmonėms dar neišmokus skaityti ir rašyti ugnis buvo panaudojama maistui gaminti, būstui šildyti, žvėris gąsdinti. Medis ilgą laiką buvo pagrindinis kuras.

B.Franklinas irodė, kad statinė elektra ir žaibas yra tas pats, ir tai numatė elektros perspektyvą

A.Einšteinas sukūrė reliatyvumo teoriją apjungiančią masę, energiją, magnetizmą, elektrą ir šviesą. Jo formulė $E=mc^2$ yra branduolinės medicinos, astrofizikos, komercinės branduolinės energetikos pagrindas.



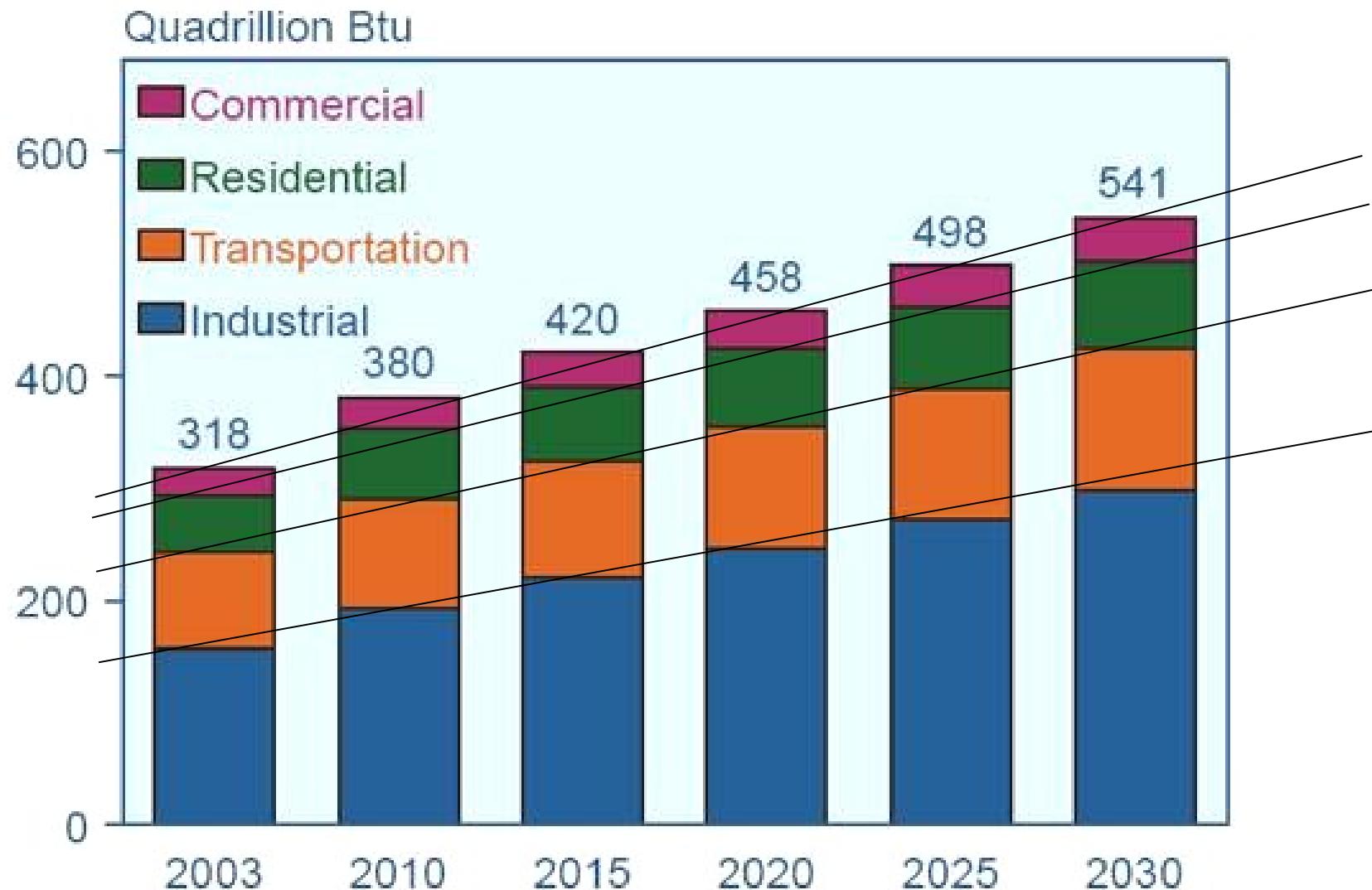
I.Niutonas panaudojo matematiką Procesams pasaulyje aprašyti. Suformulavo judėjimo ir gravitacijos dësnius leidžiančius suprasti ir prognozuoti eksperimentus.

D.Maksvelas publikojo matematinę elektromagnetizmo teoriją, apjungiančią magnetizmą, elektrą ir šviesą. "Maksvelo lygtys" užtikrino radio, televizijos ir elektros energetikos atsiradimą.

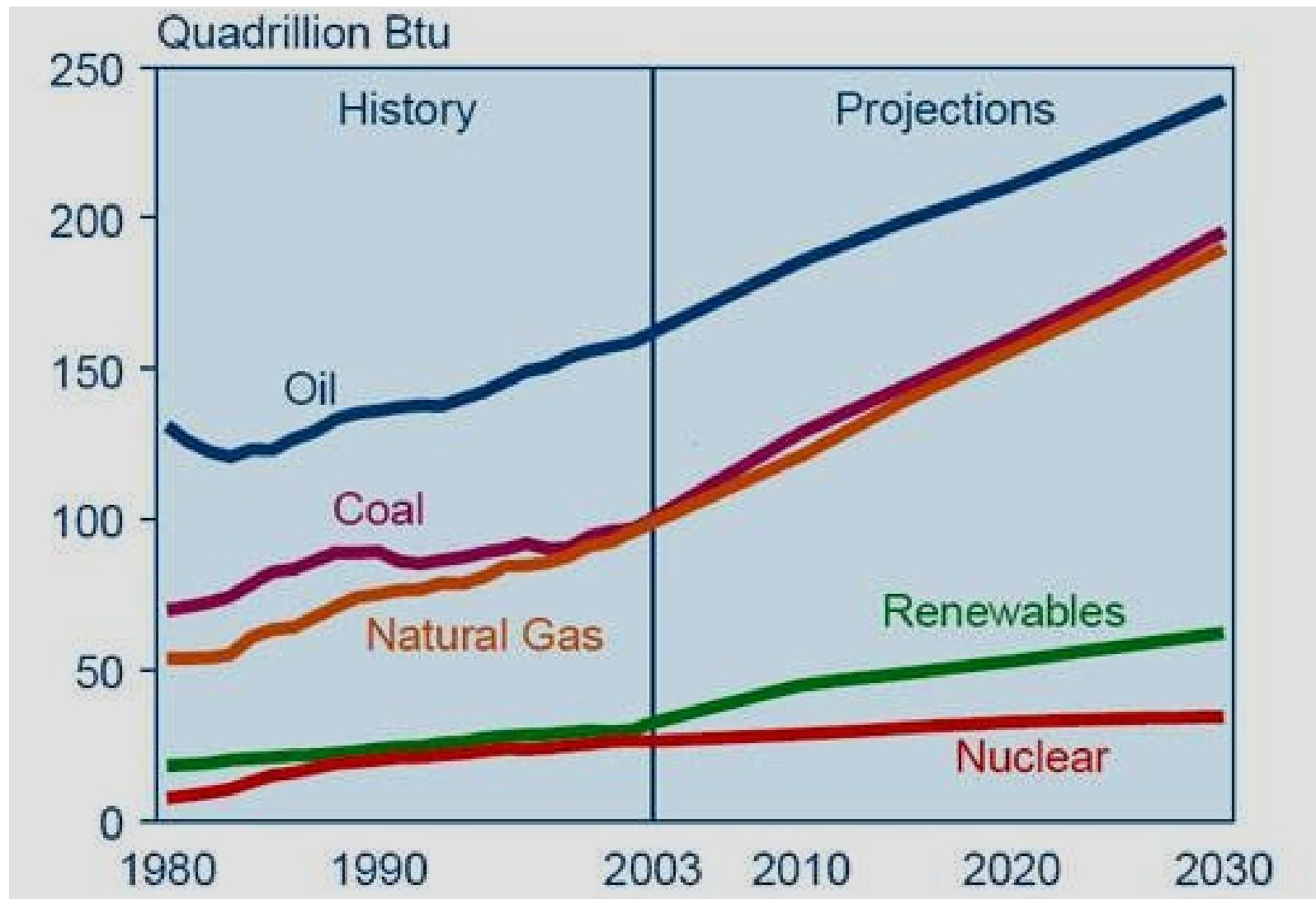
Prologas

- Energijos visiems norisi vis daugiau
- Šiltnamio efekto pradedama bijoti
- Sprendimai turi būti daromi

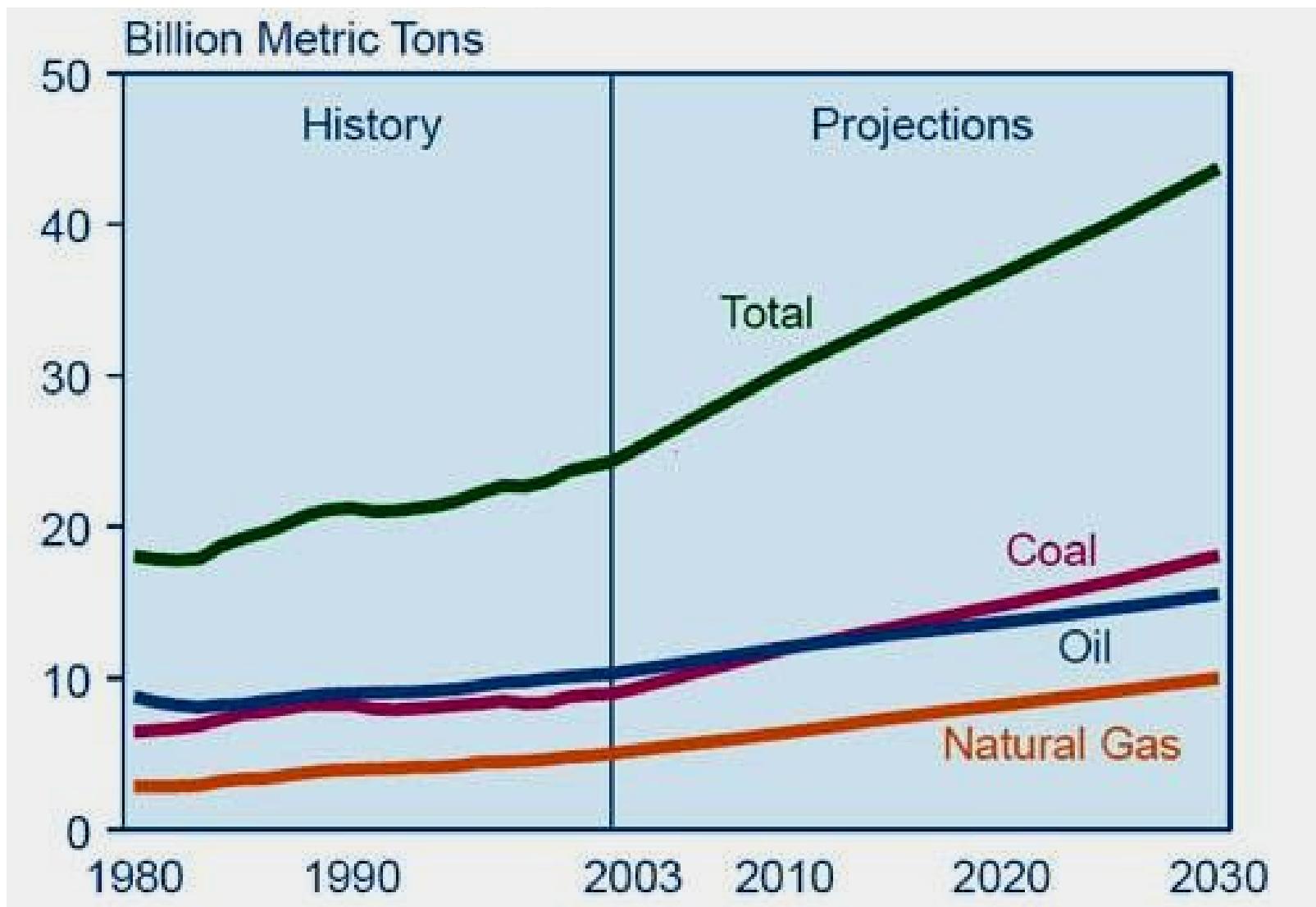
Energijos suvartojimo sektoriai pasaulyje 2003-2030



Energijos rinka: šaltiniai (1980-2030)



CO₂ emisija pasaulyje 1980-2030

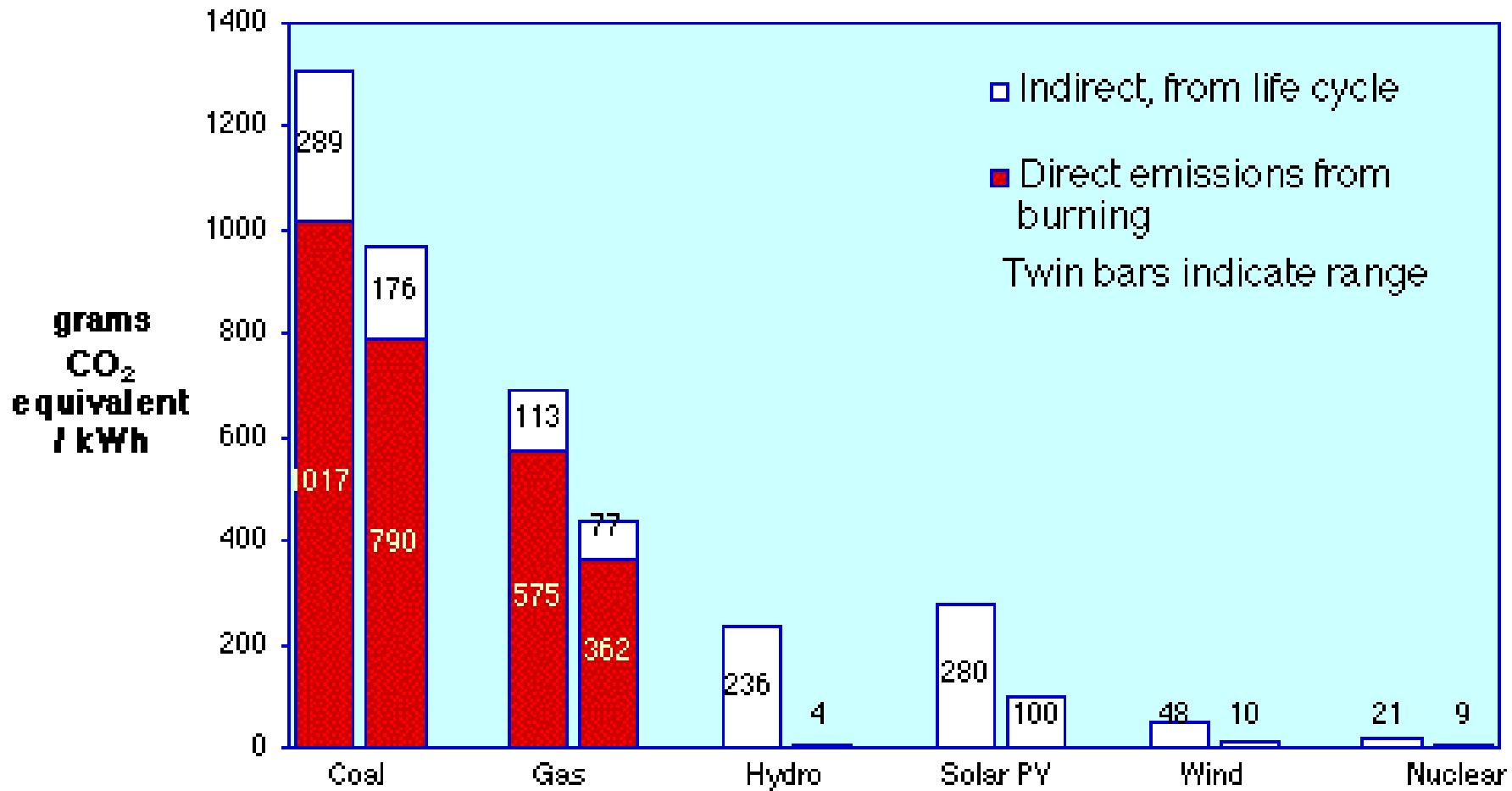


Atsinaujinantys bei “nesenkantys” energijos šaltiniai

- Saulės energija:
 - Vėjas
 - Šviesa
 - Šiluma
 - Biokuras
 - Vandens (hidroenergija)
- Mėnulio ir Saulės energija (potvyniai, atoslūgiai)
- Žemės energija:
 - gelmių šiluma
 - Jūros bangų
- Termobranduolinės sintezės energija (beveik)

Palyginimas:

Greenhouse Gas Emissions from Electricity Production



Every 22 tonnes of uranium ($26 \text{ t U}_3\text{O}_8$) used* saves about one million tonnes of CO_2 relative to coal.

Véjas



Statomos atitolinant nuo gyvenviečių: nepatogumus, ypač poilsiautojams, sukeliatriukšmas ir mirgėjimas.

THE MAGLEV: The Super-powered Magnetic Wind Turbine

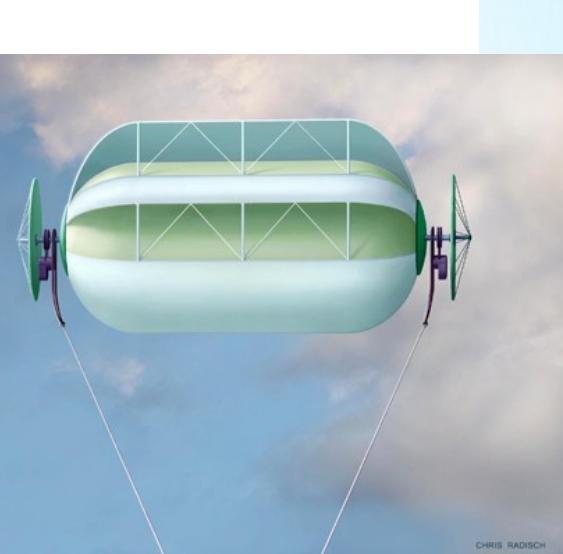
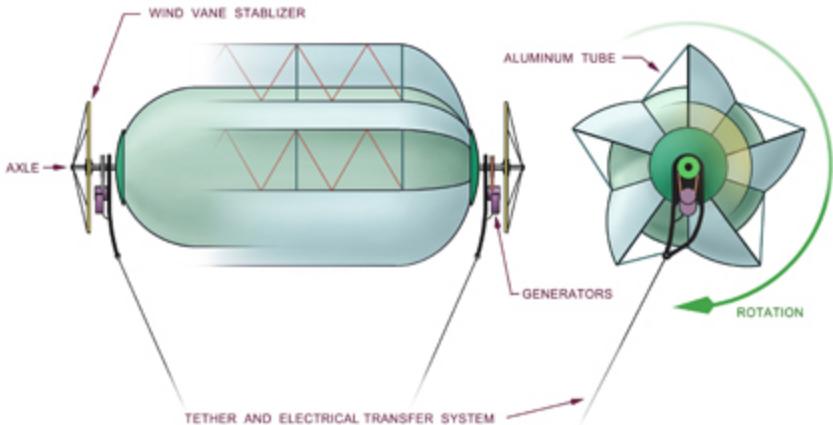


Turbina ant magnetinių guolių

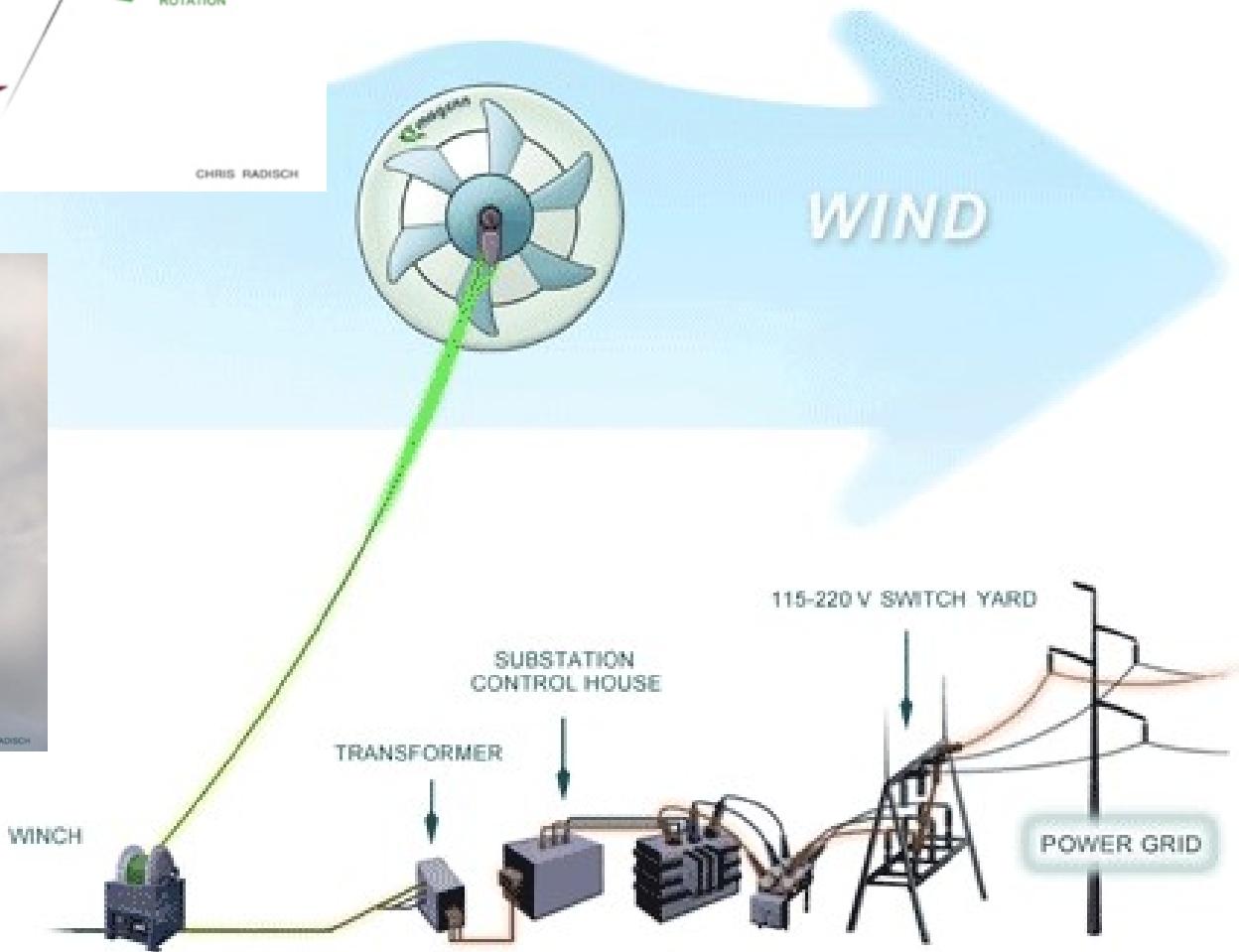


- Magnetic levitation is an extremely efficient system for wind energy. Here's how it works: the vertically oriented blades of the wind turbine are suspended in the air above the base of the machine, replacing the need for ball bearings. The turbine uses "full-permanent" magnets, not electromagnets — therefore, it does not require electricity to run. The full-permanent magnet system employs neodymium ("rare earth") magnets and there is no energy loss through friction. This also helps reduce maintenance costs and increases the lifespan of the generator.
- Maglev wind turbines have several advantages over conventional wind turbines. For instance, they're able to use winds with starting speeds as low as 1.5 meters per second (m/s). Also, they could operate in winds exceeding 40 m/s. Currently, the largest conventional wind turbines in the world produce only five megawatts of power. However, one large maglev wind turbine could generate one gigawatt of clean power, enough to supply energy to 750,000 homes. It would also increase generation capacity by 20% over conventional wind turbines and decrease operational costs by 50%. If that isn't enough, the maglev wind turbines will be operational for about 500 years!

MAGENN AIR ROTOR SYSTEM



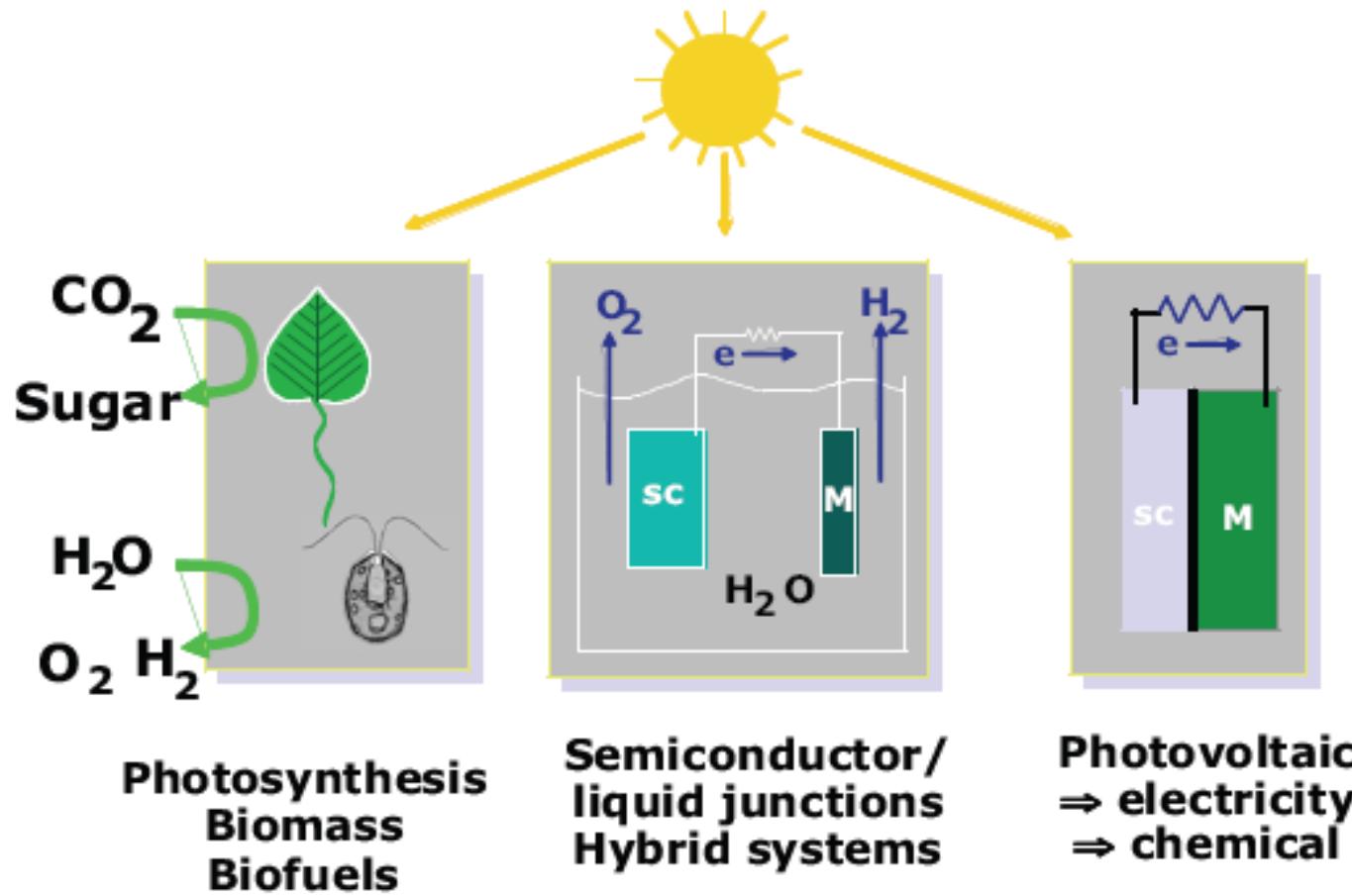
The Magenn Power Air Rotor System (MARS) is an innovative lighter-than-air tethered device that rotates about a horizontal axis in response to wind, efficiently generating clean renewable electrical energy at a lower cost than all competing systems. This electrical energy is transferred down the tether to a transformer at a ground station and then transferred to the electricity power grid. Helium (an inert non-reactive lighter than air gas) sustains the Air Rotor which ascends to an altitude for best winds and its rotation also causes the Magnus effect. This provides additional lift, keeps the device stabilized, keeps it positioned within a very controlled and restricted location, and causes it to pull up overhead rather than drift downwind on its tether.



Saulė

- Šilumos kaupikliai
- Fotoelementai
- Fotosintezė

Harnessing Solar Energy for the Production of Clean Fuels



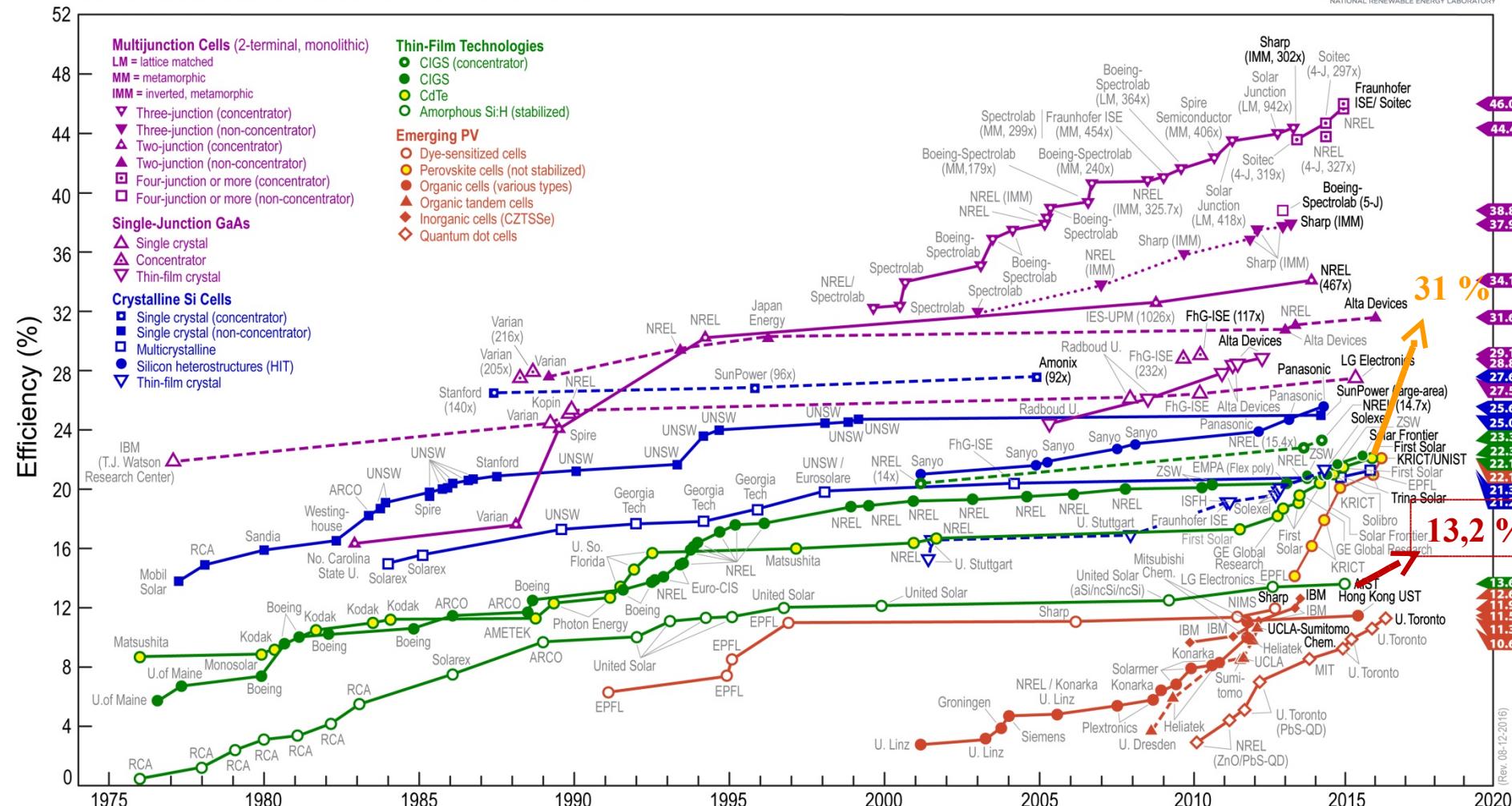
Šviesą versti elektra: Saulės energetika:



Saulės energetika

NREL
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

Best Research-Cell Efficiencies



Organinių elementų pranašumai:

1. Jie lankstūs,
2. Gana pigi technologija
3. Plotas praktiškai neribotas.

Perovskitai:

1. Patrauklūs pavienių ir tandeminių elementų gamybai,
2. Bet jų elementų problema – nedidelis plotas

Mokomasi iš žolės

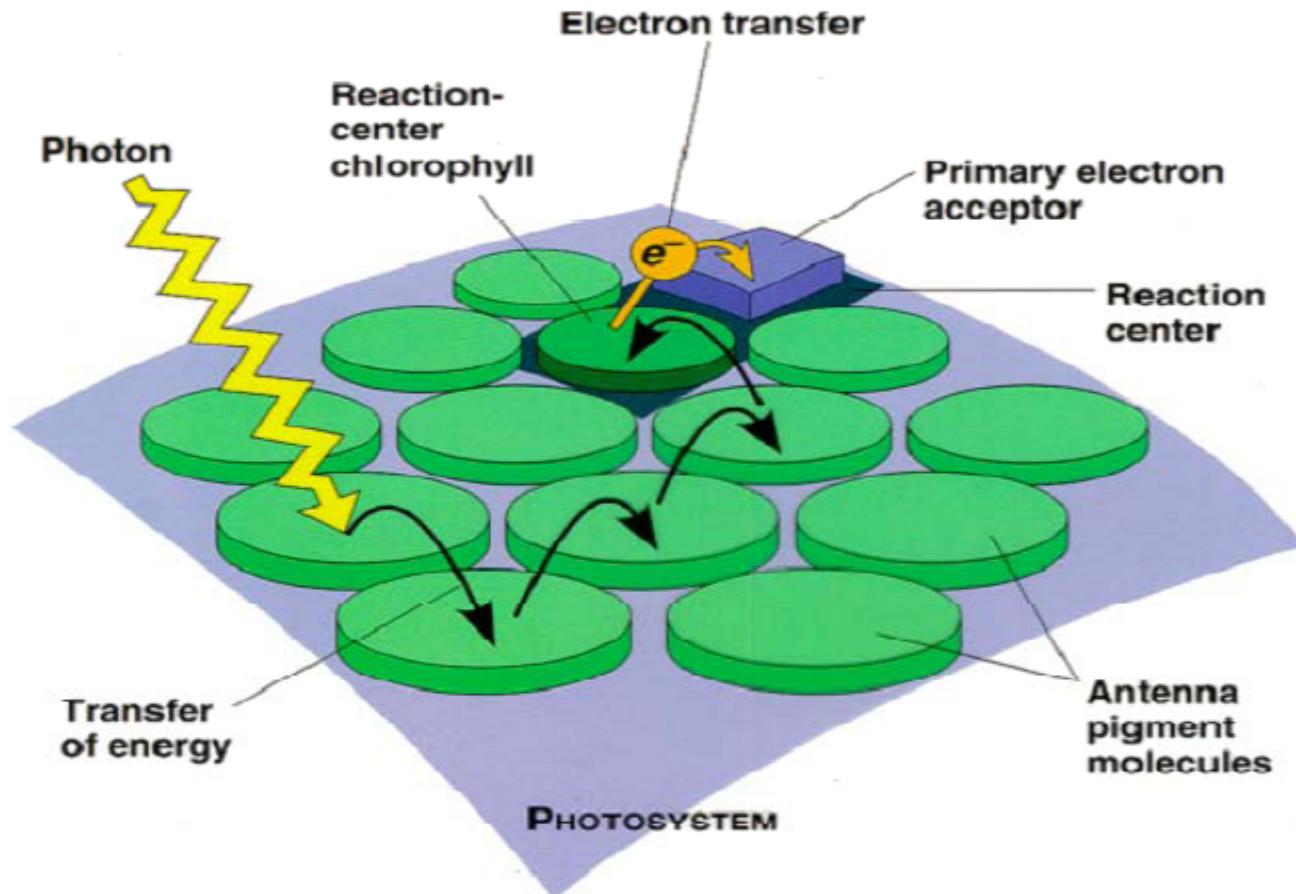
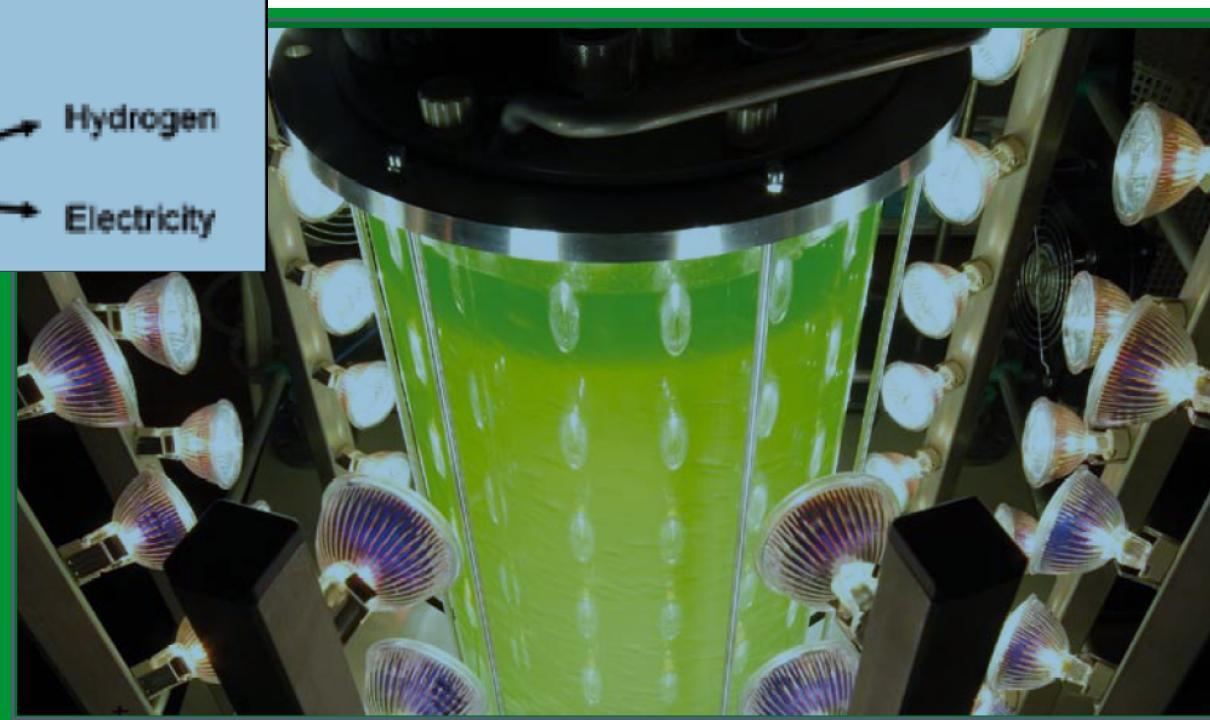
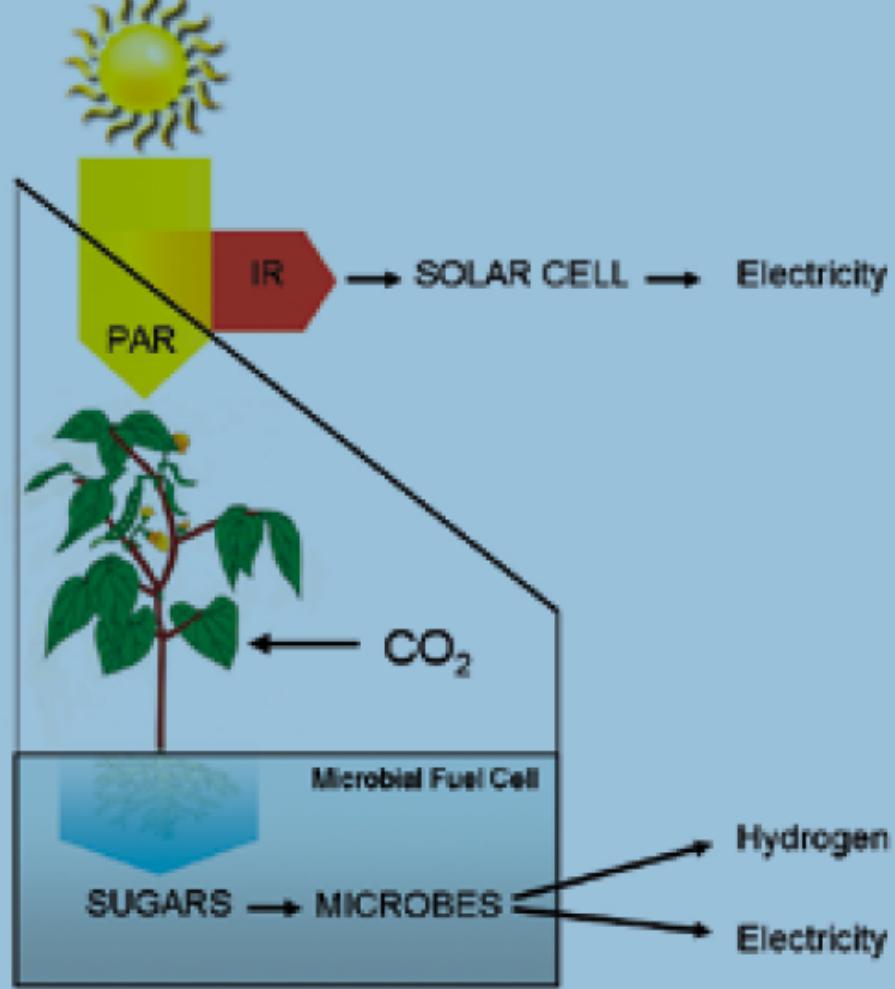
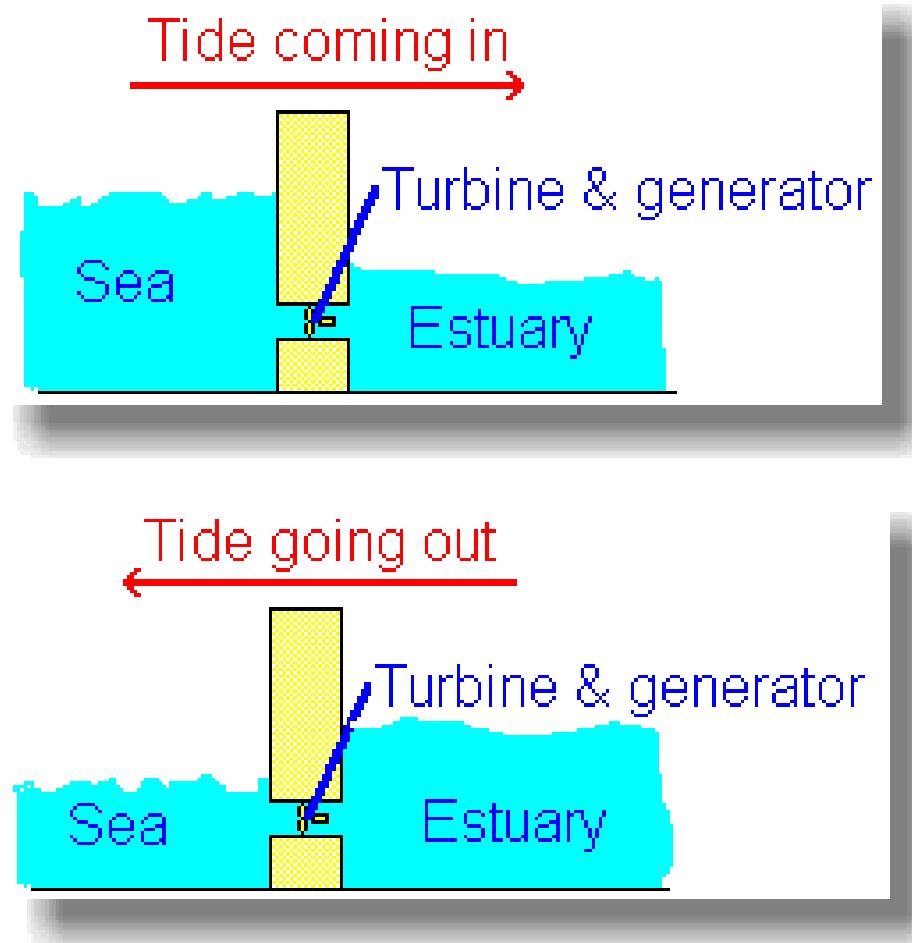


Figure 1. Compartmentalization of light harvesting and charge separation (schematic).



Potvynių-atostogų energetika

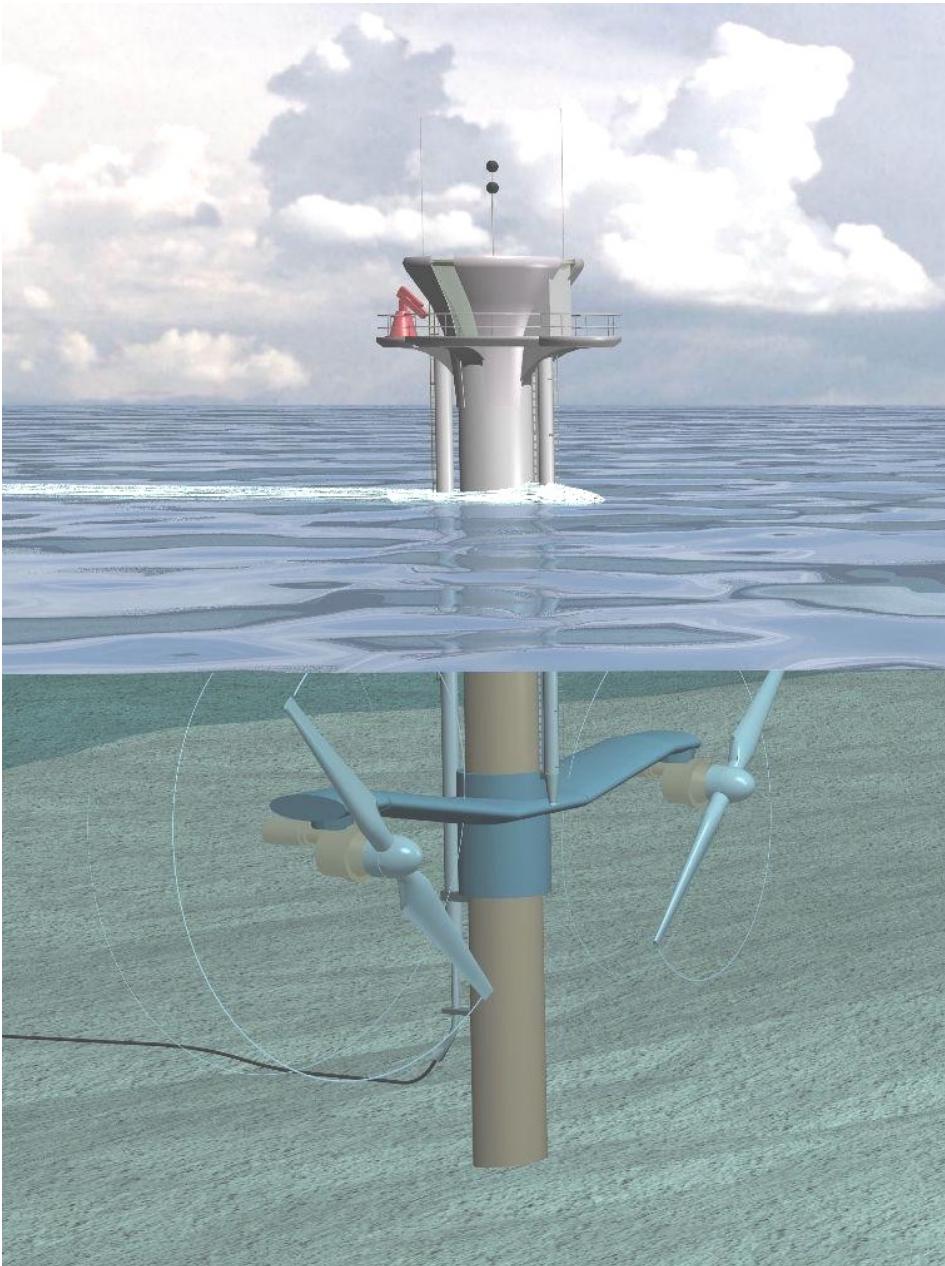


Pvz., JK 20% energijos poreikių galėtų patenkinti šis šaltinis

Potvynio-atoslūgio elektrinės užtvanka



Jūros srovių generatorius



Amazonés racionalizatoriai



Energijos gamyba JAV

	BIOMASS <i>renewable</i> Heating, electricity, transportation	2.9%		PETROLEUM <i>nonrenewable</i> Transportation, manufacturing	38.1%
	HYDROPOWER <i>renewable</i> Electricity	2.7%		NATURAL GAS <i>nonrenewable</i> Heating, manufacturing, electricity	22.9%
	GEOTHERMAL <i>renewable</i> Heating, electricity	0.3%		COAL <i>nonrenewable</i> Electricity, manufacturing	23.2%
	WIND <i>renewable</i> Electricity	0.1%		URANIUM <i>nonrenewable</i> Electricity	8.1%
	SOLAR & OTHER renewable Light, heating, electricity	0.1%		PROPANE <i>nonrenewable</i> Manufacturing, heating	1.7%

Energinė vertė, anglies kiekis, anglies dvideginio generavimas

	Šiluminė vertė	vienetai	% anglies	CO_2
Vandenilis	121	MJ.kg	0	
“žalioji” nafta	45-46	MJ/kg	89	70-73 g/MJ
Gamtinės dujos	39	MJ/m ³	76	51 g/MJ
Juodoji anglis	13.5 - 30	MJ/kg	67	90 g/MJ
Rudoji anglis	8-10	MJ/kg	25	115 g/MJ
Mediena	16	MJ/kg	42	94 g/MJ
Natūralus uranas (vandens reaktoriuje)	500-650	GJ/kg	0	
Natural uranium (brideriniame reaktoriuje)	28,000	GJ/kg	0	
Uranas praturtintas iki 3.5%, in LWR	3900	GJ/kg	0	

Source: Australian Energy Consumption and Production, ABARE Research Report 1999, except for uranium figures which are based on 45,000 MWD/t burnup of 3.5% enriched U, in LWR or 7500 MWD/T natural U in CANDU, and Loy Yang figures, from Loy Yang Energy.

(MJ = 10^6 Joule, GJ = 10^9 J, % carbon is by mass, g/MJ=t/TJ, C to CO_2 : x 3.667) MJ to kWh @ 33% efficiency: x 0.0925

Nekenksmingos (?) energijos poreikis

Branduolinė (ir termobranduolinė) energetika
(Nuclear fission and fusion)

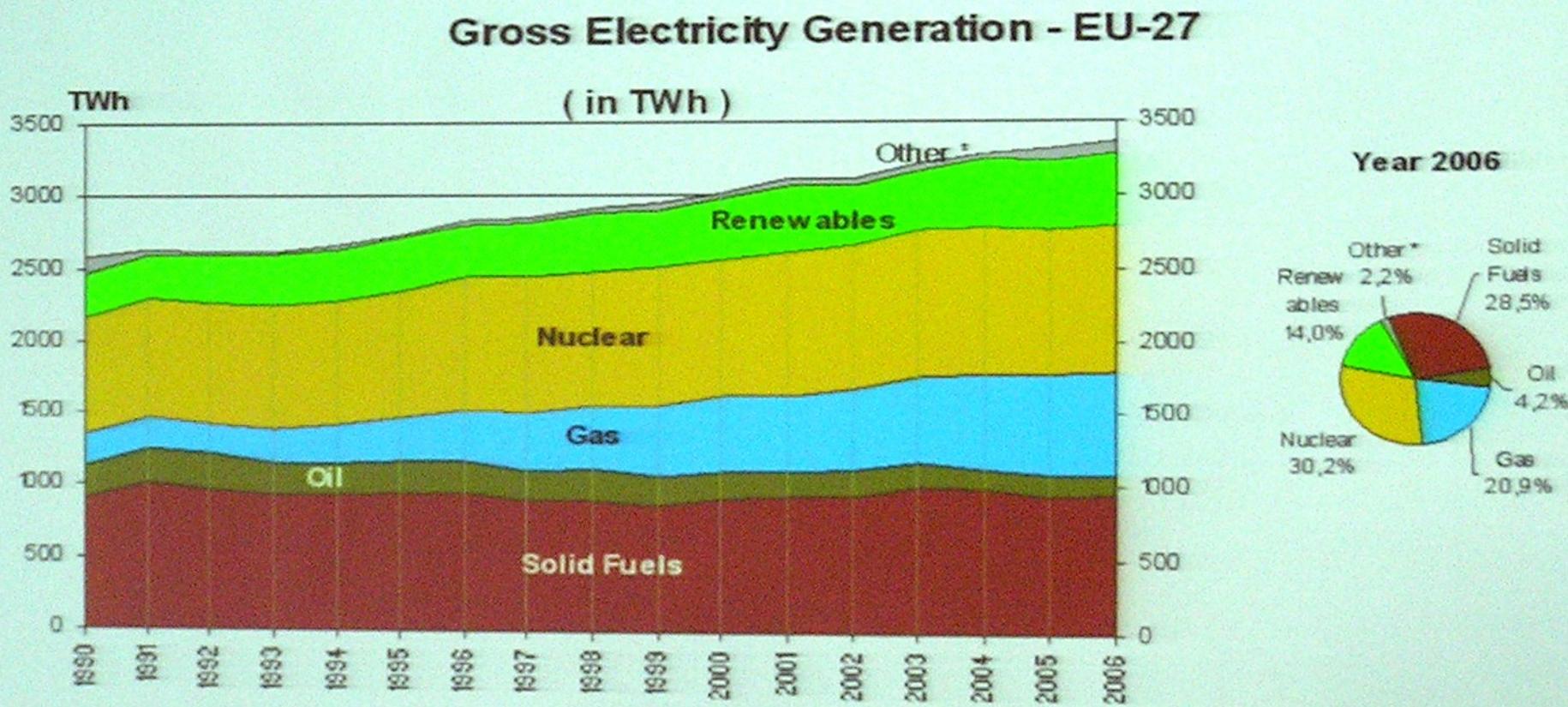
Civilizacijos raida reikalauja energijos

- Energijos gavyba keičia gamtą:
 - hidro – užtvenkia upes, keičia žemdirbystės ir žuvivaisos plotus;
 - Vėjo – triukšmas, mirguliaiavimas;
 - Saulės energetika – užimami žemės plotai, tarša jos įrengimų gamyboje
 - biomasės energetika (+ maisto gamyba, kas yra irgi energija) – generuoja CO₂, CH₄ (“šiltnamio dujos”)
- Šiluminės energetika – generuoja CO₂
- Branduolinė energetika – kelia baimę.

EU27 elektros gamyba 2006 m.

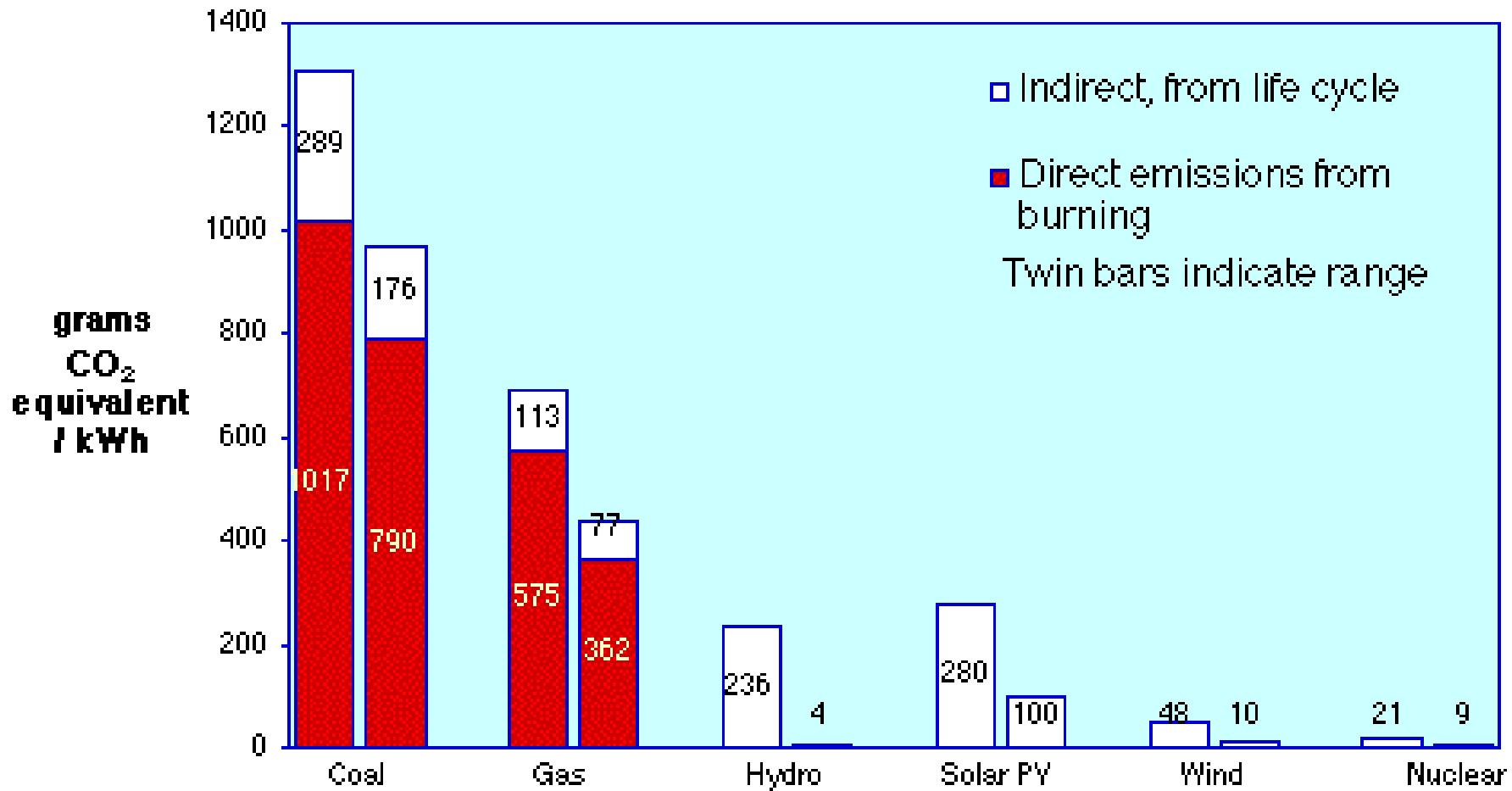
Diversified electricity mix but greater dependency on gas

(from 7 to 21% over 1990-2006)



Palyginimas:

Greenhouse Gas Emissions from Electricity Production



Every 22 tonnes of uranium (26 t U₃O₈) used* saves about one million tonnes of CO₂ relative to coal.

Energijos gamyba JAV



BIOMASS

renewable

Heating, electricity, transportation

2.9%



PETROLEUM

nonrenewable

Transportation, manufacturing

38.1%



HYDROPOWER

renewable

Electricity

2.7%



NATURAL GAS

nonrenewable **22.9%**

Heating, manufacturing, electricity

24,6 %



GEOTHERMAL

renewable

Heating, electricity

0.3%



PROPANE

nonrenewable

Manufacturing, heating

1.7%



WIND

renewable

Electricity

0.1%



COAL

nonrenewable

Electricity, manufacturing

23.2%



SOLAR & OTHER

renewable

Light, heating, electricity

0.1%



URANIUM

nonrenewable

Electricity

8.1%

Beveik reziume

- Yra būdų, kaip didinti energijos gamybą
- Yra technologijos, kurios mažai teršia aplinką
- Problemas kelia tai, kad Saulės, vėjo, bangų, potvynių resursus naudojantys šaltiniai yra kintantys laike:
 - Reikia tą energija sukaupti (hidro-, mechaninės-, duju-akumuliniai įrengimai)
 - Sukauptą energiją paversti norimos galios
- Tai reikšminga, jei kintamoji dalis viršija 10 % bendrosios galios duotoje energetikos zonoje.
- Akumuliaciniai įrengimai ir j juos tiekiančios elektros linijos labai pabrangina šią energiją.

Kokia išvada?

- Aiški perspektyva – uranas (greta jo plutonis, toris)
- Be to, prisiminkime – Saulė ir kitos žvaigždės taip pat generuoja energiją – gal čia išeitis ?
- Gal yra dar kas? Išsigilinus aiškėja, kad chlorofilas žaliojoje masėje šviesą paverčia elektros energija, kuri valdo procesus medžių lapuose, žolėse ir t.t. Gal tas kelias perspektyvus? Mokytis iš žolės???

Todėl dar į reziume

- Yra technologijos, kurios užtikrintų energijos gamybos kokybišką augimą iki prasidės termobranduolinės energijos eksploatacija (maždaug po 100 metų)
- Tačiau: efektingos branduolinės technologijos reikalauja atsakingo požiūrio į eksploatacijos kultūrą ir apsaugą nuo teroristinių veiksmų.
- Kol kas valstybės nemato būdo tai užtikrinti, todėl ieškomi ir kiti energijos šaltiniai:
 - išmokti elektrą gaminti taip, kaip ji gaminama fotosintezės metu: bioreaktoriai. Gal po 30 metų jų įtaka taps reikšminga ir dėka jų sulauksime termobranduoliinės energetikos.

Branduolinė energetika

- Jau minėta (mikropasaulio temoje), kad branduolių energija efektingai gali būti panaudota realizuojant grandininę jų skilimo reakciją.
- Panaudota:
 - “atominės” (branduolinės) bombos
 - Branduoliniai reaktoriai.

Izotopų atskyrimas

$^{235}\text{Urano}$ yra tik 0.7% naturaliame urane (likusi dalis yra $^{238}\text{uranas}$)

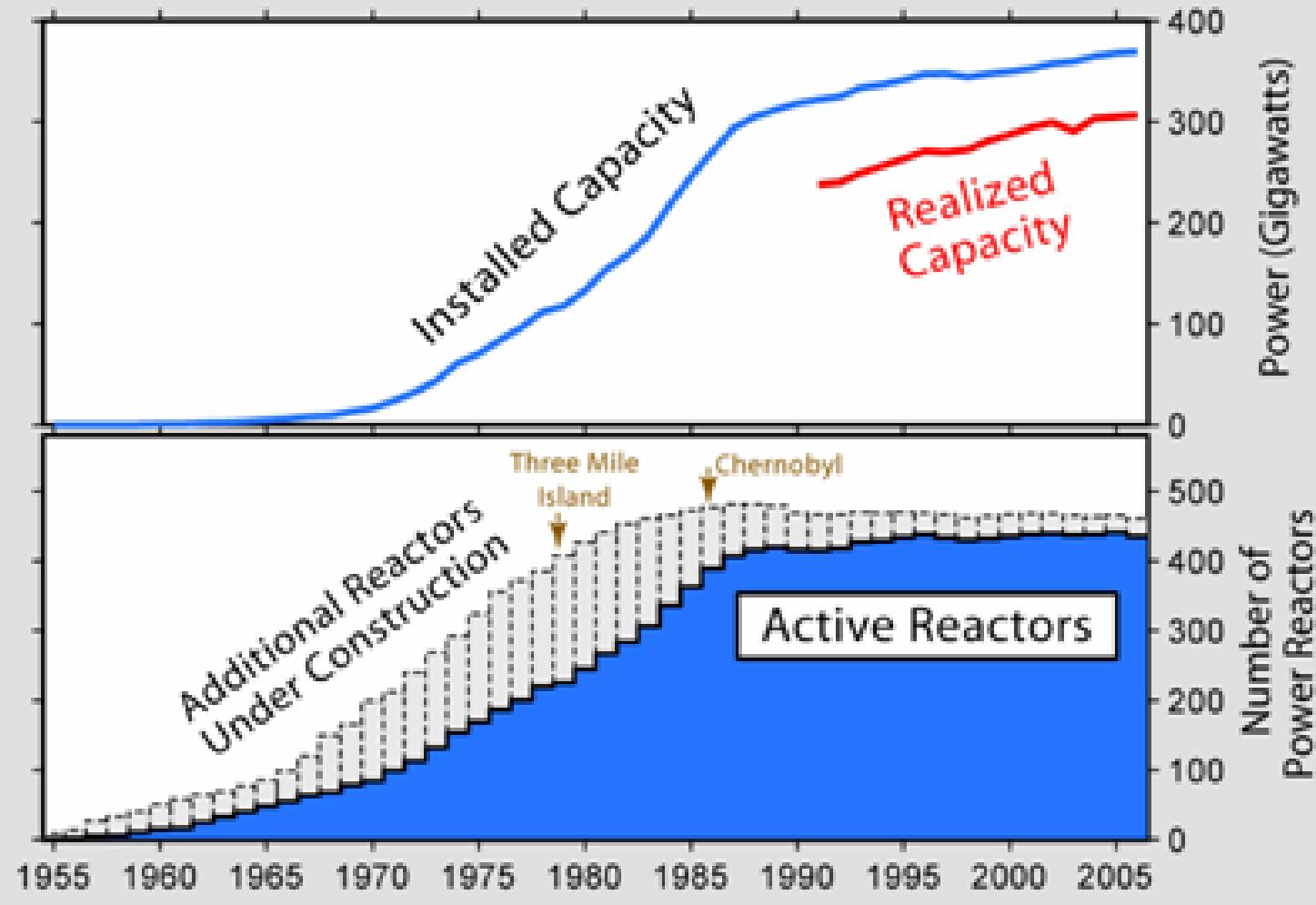
Yra 4-ri sodrinimo metodai:

- Masių spektrograifais (jonai magnetiniame lauke skrieja skirtingomis trajektorijomis)
- Dujinis separatorius: Urano heksafluoridas ($^{235}\text{UF}_6$ and $^{238}\text{UF}_6$) leidžiamas per nikelio lydinio filtrą. $^{235}\text{UF}_6$ pralenda sparčiau. Tiesa, tas masių skirtumas yra mažas, todėl procedūra kartojama tūkstančius kartų.
- Urano centrifūgos: milteliai maišomi ir sukami dideliu greičiu, sunkesnis $^{238}\text{uranas}$ išsidėsto išorinėje dalyje, nes yra truputį sunkesnis.
- Lazerinis izotopų atskyrimas – lazerio šviesa selektyviai jonizuoją $^{235}\text{urano}$ atomus, kurie yra ištraukiami iš mišinio.

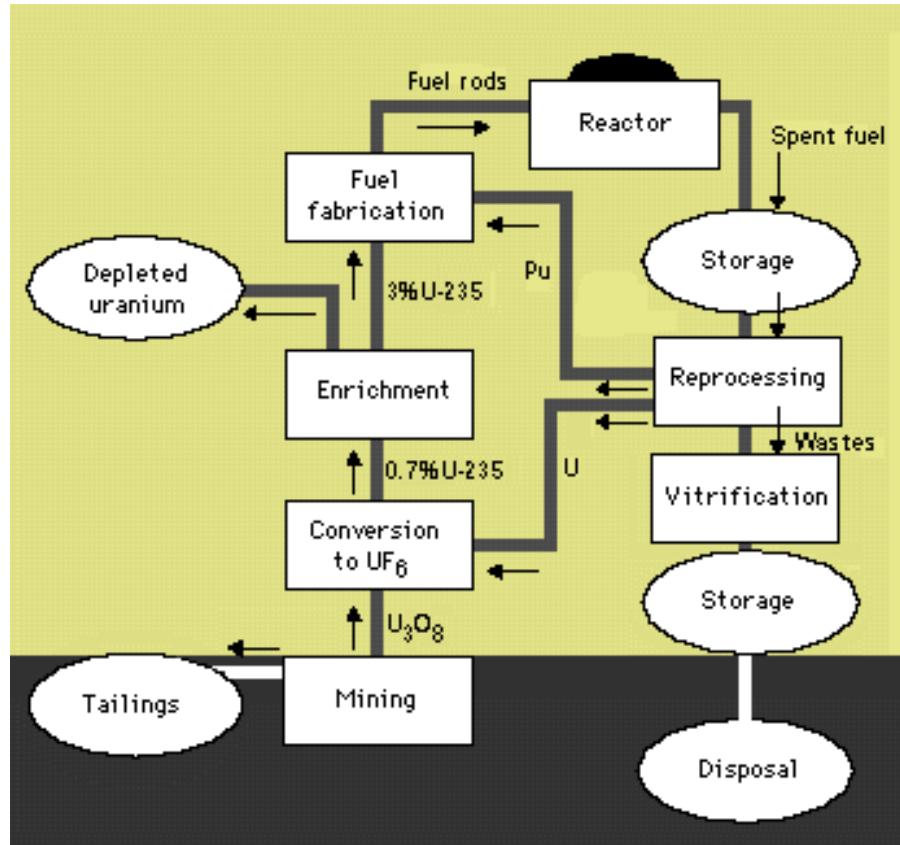
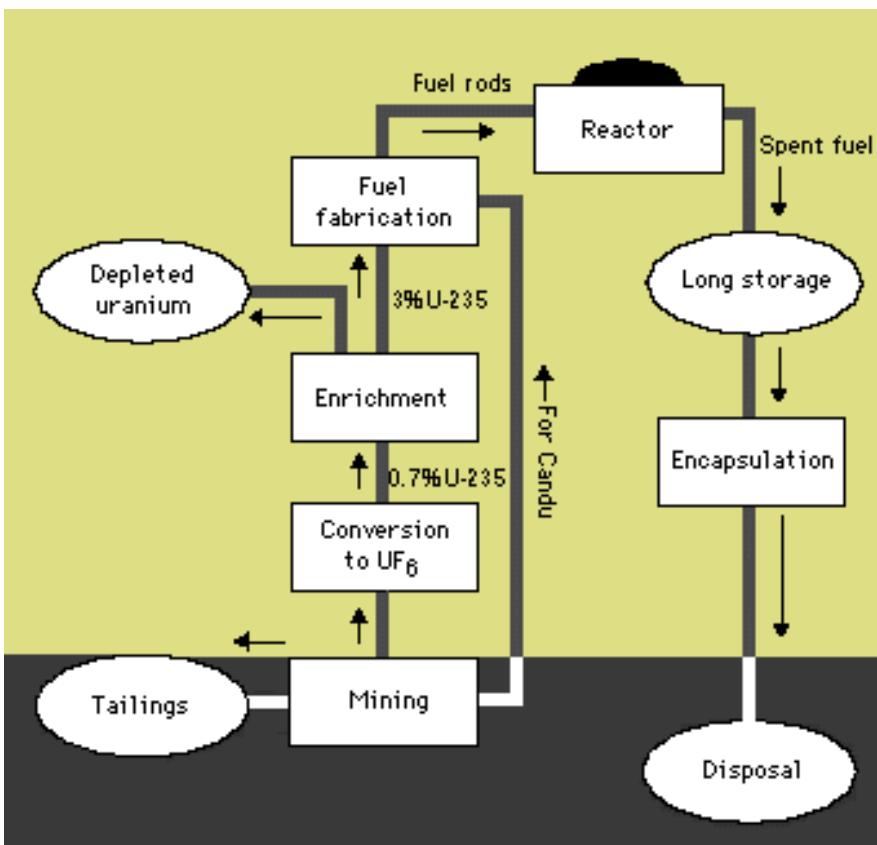
Branduoliniai reaktoriai (apie kuriuos diskutuojama)

	Suslėgto vandens reaktorius	Verdančio vandens reaktorius	Naturalaus urano reaktorius	Aukštos temperatūros reaktorius	Reprodukcinis (briderinis) reaktorius
Kuras	UO_2	UO_2	UO_2	UC , ThC	PuO_2 , UO_2
Sodrinimas	3% U-235	2.5% U-235	0.7% U-235	9.3% U-235	Pu
Lėtiklis	vanduo	vanduo	sunkusis vanduo	grafitas	
Šaldiklis	vanduo	vanduo	sunkusis vanduo	Helis	Skystas natris

History of the Global Nuclear Power Industry

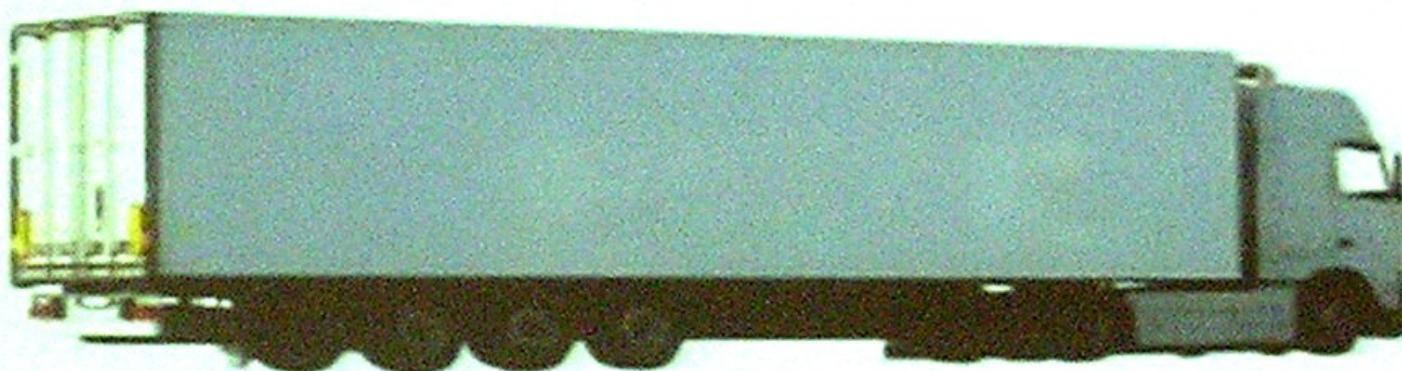


Branduolinė technologija



EU27 viso energijos reikia (metams) 3 300 TWh

Corresponds to 14 lorries with nuclear fuel



alternatively

28 million lorries with coal

Branduolinių reaktorių kartos

Generation I

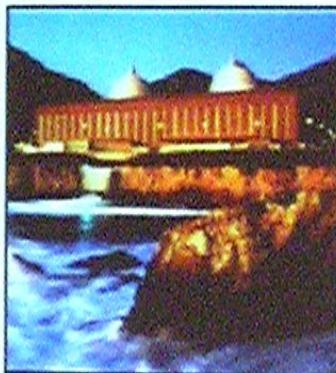
Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II

Commercial Power Reactors



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- AGR

Generation III

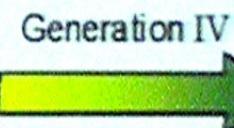
Advanced LWRs



- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Generation III +

Evolutionary Designs Offering Improved Economics for Near-Term Deployment



- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimal Waste
- Proliferation Resistant

Gen IV

1950 1960 1970 1980 1990

Gen III

Gen III+

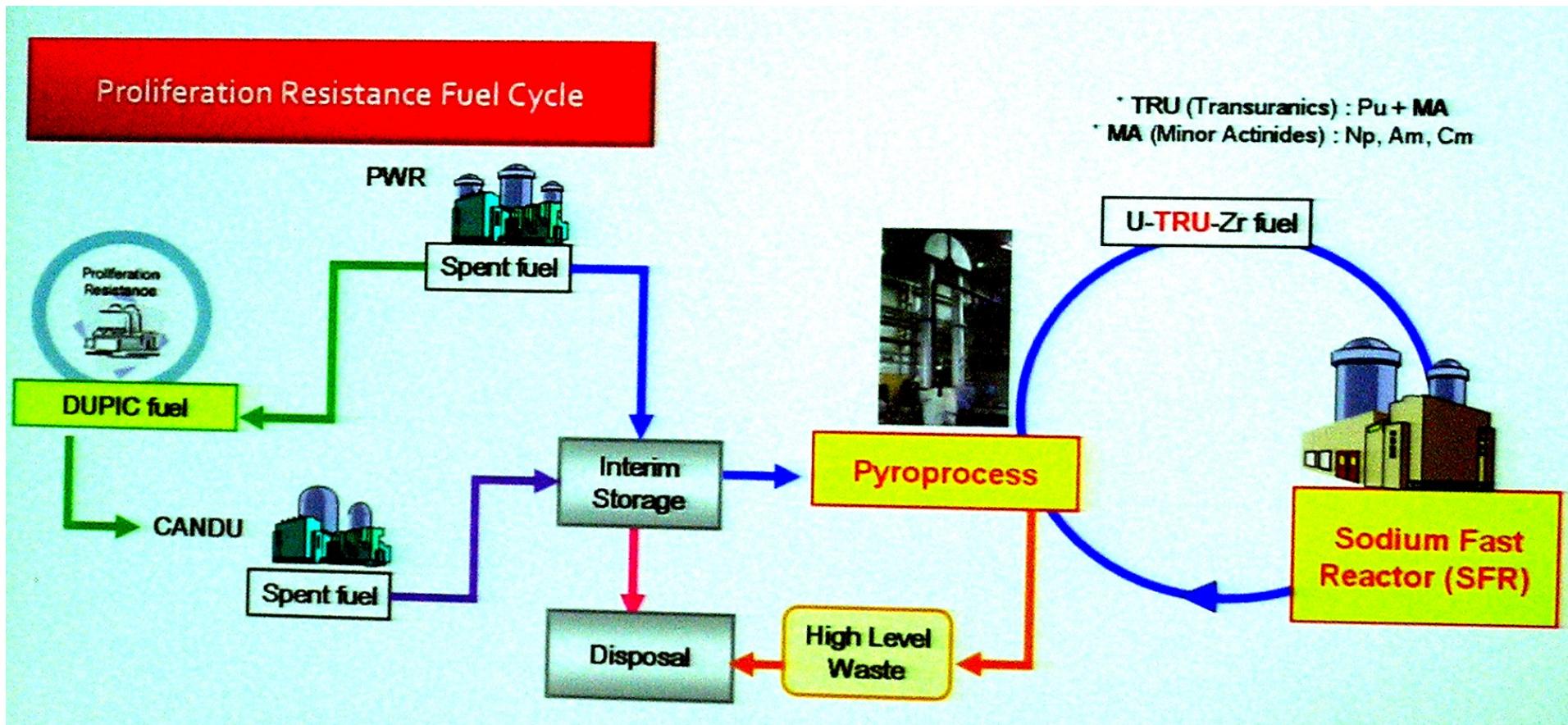
Gen IV

2000 2010

2020

2030

Pietų Korėjos IV kartos reaktorius (2025)



Ar ilgam užteks urano? O dar yra torio atsargos!

200 years:

mined uranium and conventional reactors

Čia verta paminėti IAE jos reaktoriaus tipas užtikrintų energijos poreikį bent 3000 metų

20 000 years:

mined uranium and Generation IV reactors

50 000 years:

sea uranium and conventional reactors

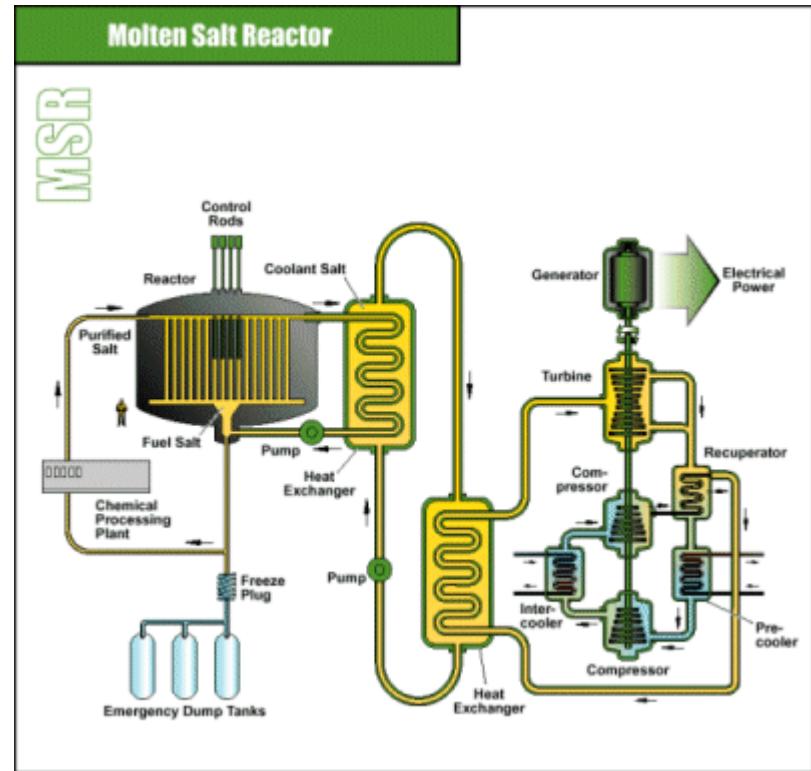
5 000 000 years:

sea uranium and Generation IV reactors

Norway's thorium resources are 200 times all their oil
Norway's thorium enough for 500 years of world's nuclear
World's thorium enough for world's nuclear for 5 000 years

Kuo patrauklus toris?

- Torio yra daug
- Jo nereikia gryninti
- Energiją išskiria neutronams toris paverstas ^{233}U izotopu
- Reakcijoje nesusidaro sunkesni elementai, o lengvujų radiacinę taršą didinančių elementų sukuriama 10 000 kartų mažiau negu U-Pu reaktoriuose



Branduolinės energetikos bijoma

- Ar tikrai jos reikia bijoti?

6.4 Genetic effects

About sixty years ago it was discovered that ionising radiation such as that which continually forms part of our environment could induce genetic mutations in fruit flies.

Intensive study since then has shown that radiation can similarly induce mutations in plants and test animals.

However evidence of genetic damage to humans from radiation, even as a result of the large doses received by atomic bomb survivors in Japan, **has not shown any such effects.**

Kita baimė - Branduolinis ginklas

- Two atomic bombs made by the allied powers (USA and UK) from uranium-235 and plutonium-239 were dropped on Hiroshima and Nagasaki respectively early in August 1945. These brought the long Second World War to a sudden end.
- The atomic bombs used in Japan in 1945, and the bombs or devices testing during the following seven years, depended on the fission of uranium-235 or plutonium-239, mostly the latter. The explosive effect of each was equal to that of up to a few tens of thousand tonnes of the conventional explosive TNT. On this basis of comparison, the Hiroshima bomb was of about 15 kilotonnes - that is, of 15 thousand tonnes of TNT equivalent - and that at Nagasaki was of 25 kilotonnes. In addition, the total equivalent of all atmospheric weapon tests made by the end of 1951 was in the region of 600 kilotonnes.

Baimės ženkliai padidintos:

6.5 Reactor safety

Statistinės studijos rodo ypatingą reaktorių saugumą: per 10 500 reaktorių metų civilinėje tarnyboje tebuvo tik **vienas** įvykis, kuris nesusietas su konstrukcija ar sandara.

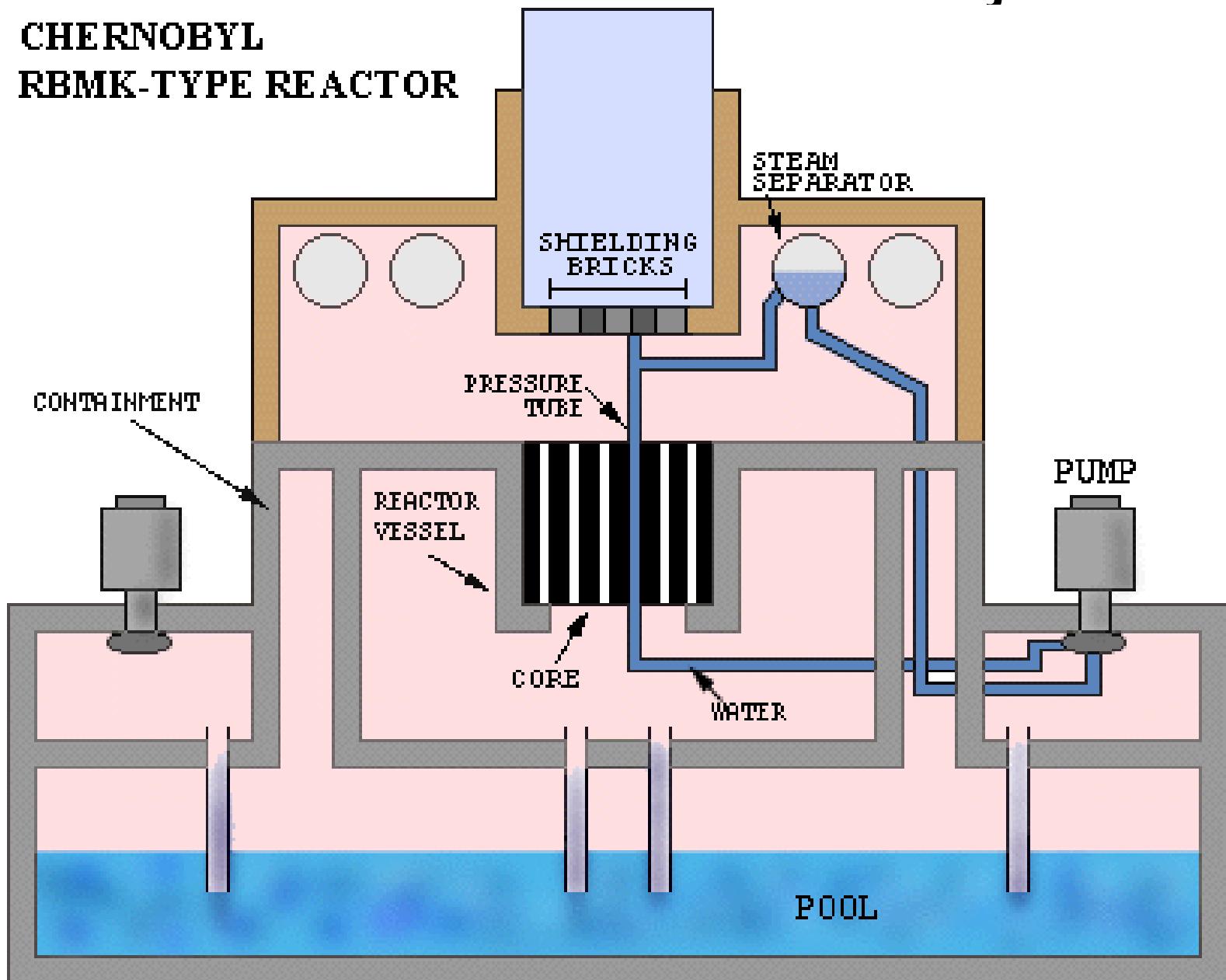
Tačiau žmonės labiau reaguoja į įvykius, negu į statistiką.

The examples show that nuclear energy has a potential to become truly sustainable

Vienintelio įvykio analizė

Reaktoriaus konstrukcija

CHERNOBYL
RBMK-TYPE REACTOR



Po avarijos

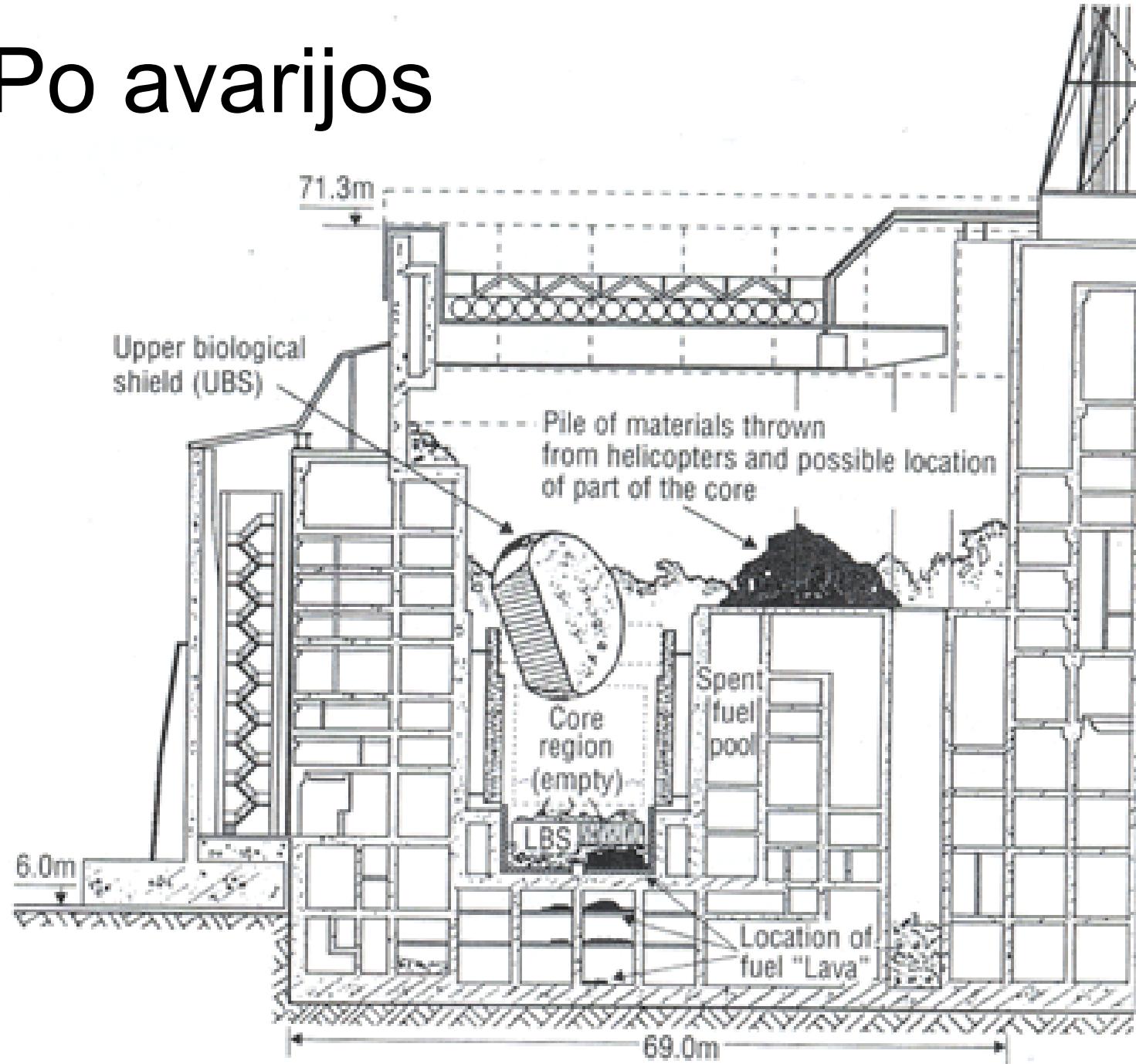
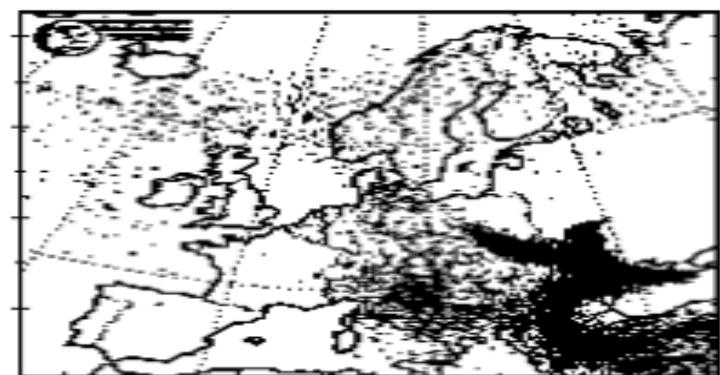
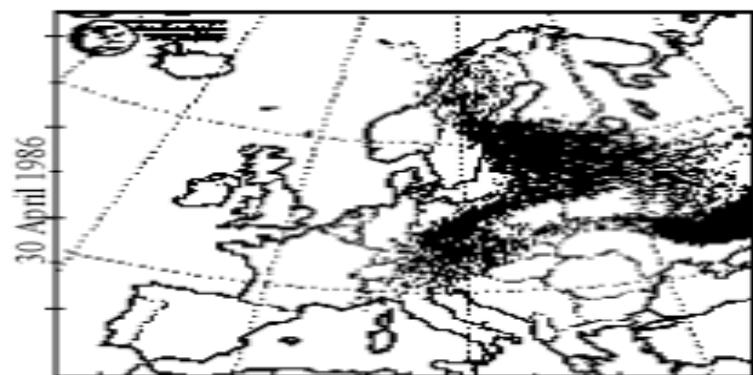
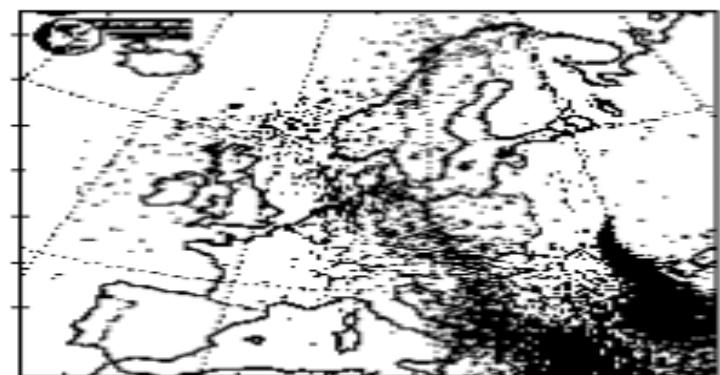
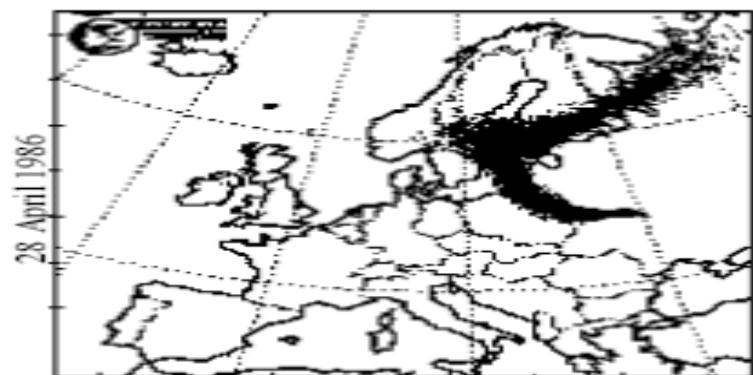
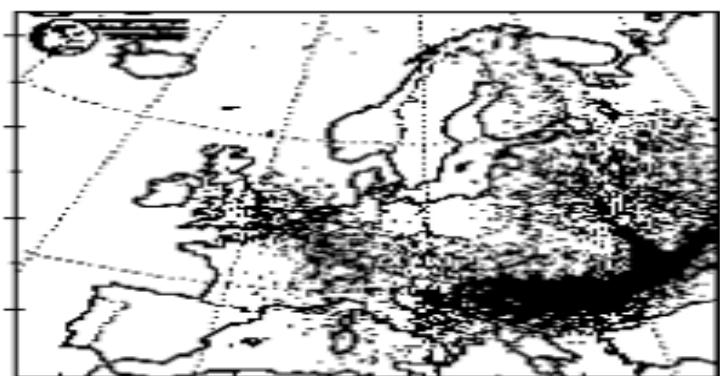
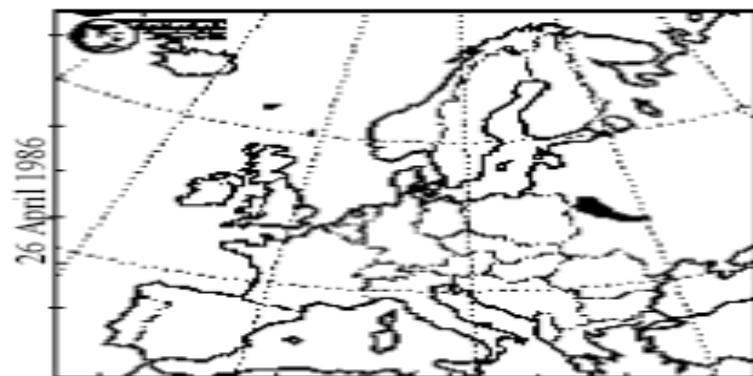


Figure 6. Areas covered by the main body of the radioactive cloud on various days during the release



Credit: ARAC

The Impossible Happens Chernobyl, 1986

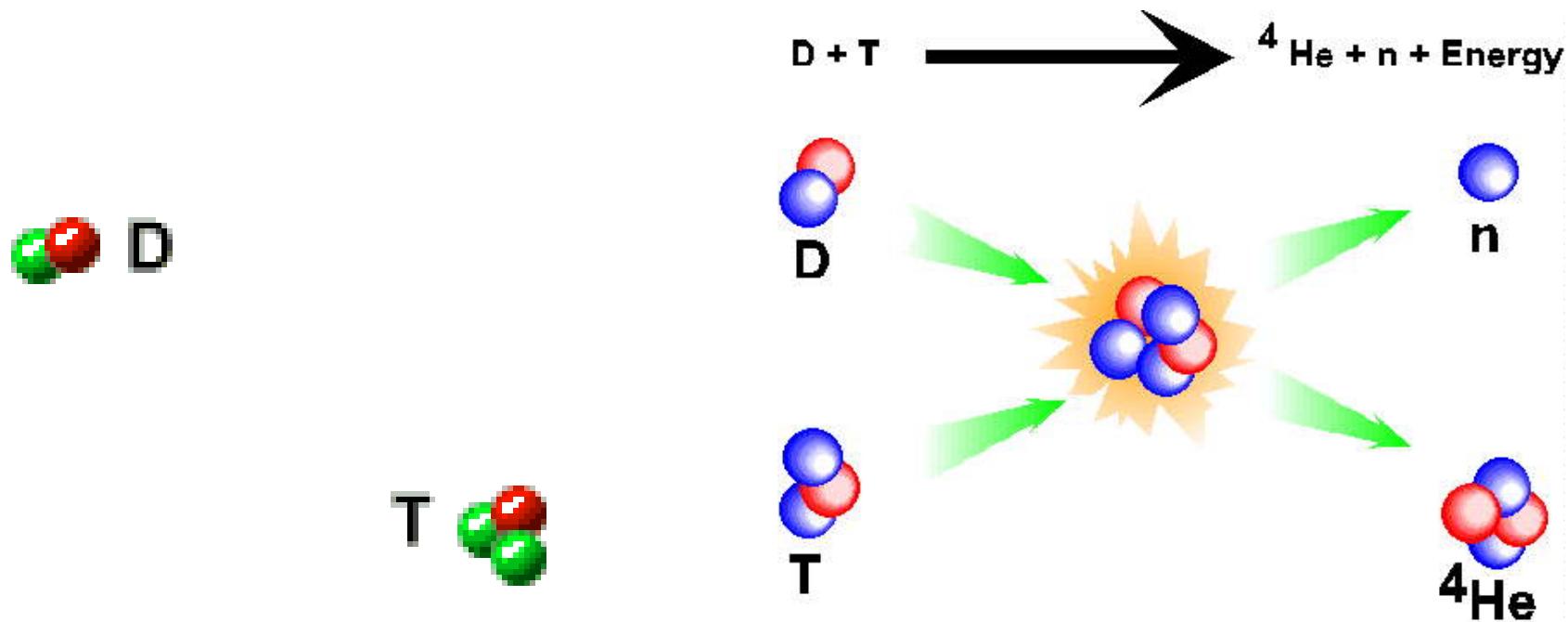


Source: Lawrence Livermore National Laboratory

Termobranduolinė energetika

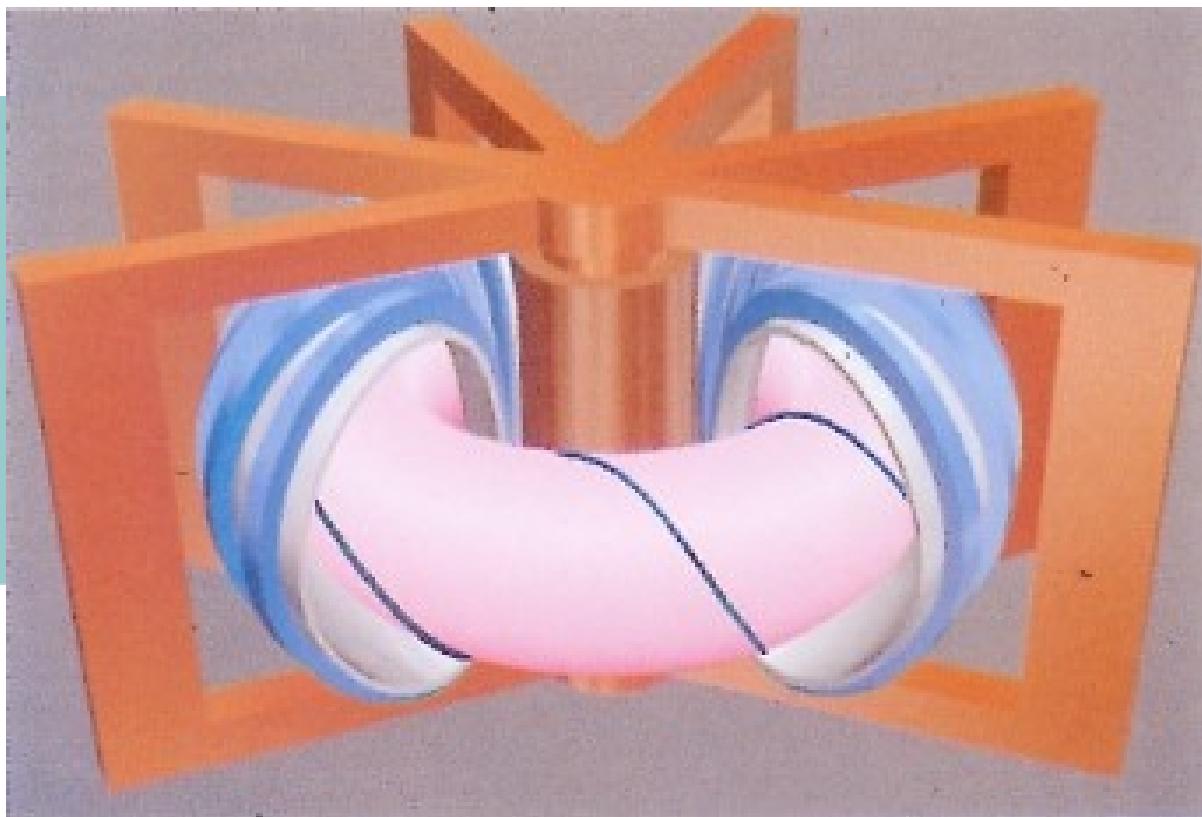
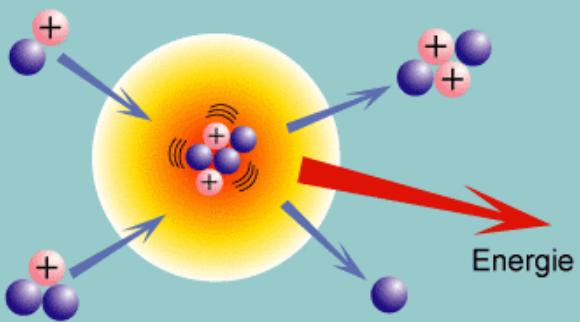
- Skelbiama, kad tai beveik Saulės ar žvaigždžių energijos modelis. (*Tai netikslu, nes Saulėje ar žvaigždėse pasiekiamos aukštesnės temperatūros, kuriose jau galima ir silpnoji sąveika, kurios dėka protonai paverčiami neutronais*)
- Termobranduoliniuose reaktoriuose imami vandenilio sunkieji izotopai: deuteris ir tritis, pastarajį sukuriant iš ličio, beliek tik priversti juos jungtis.

Naujas kelias - Termobranduolinė sintezė

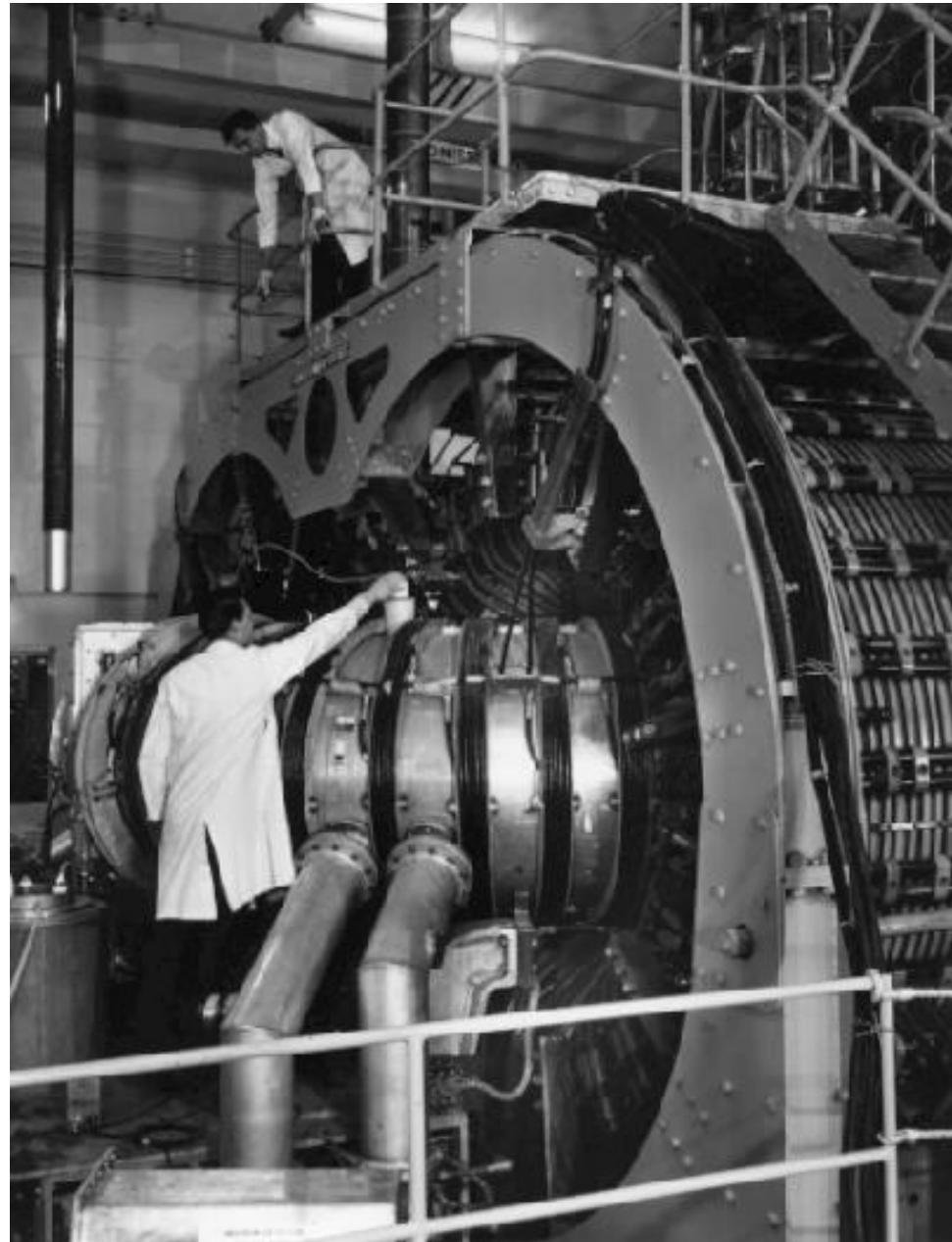
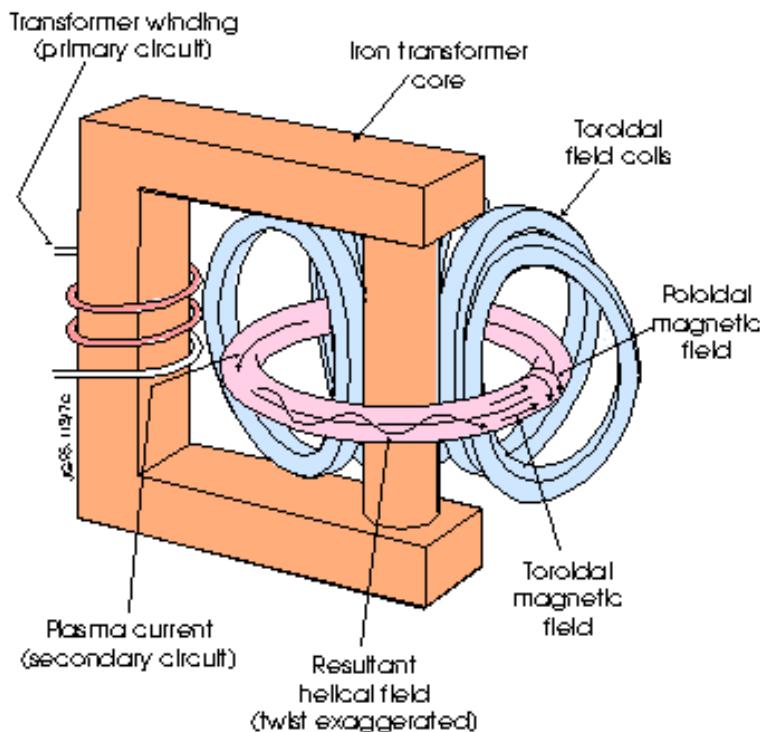


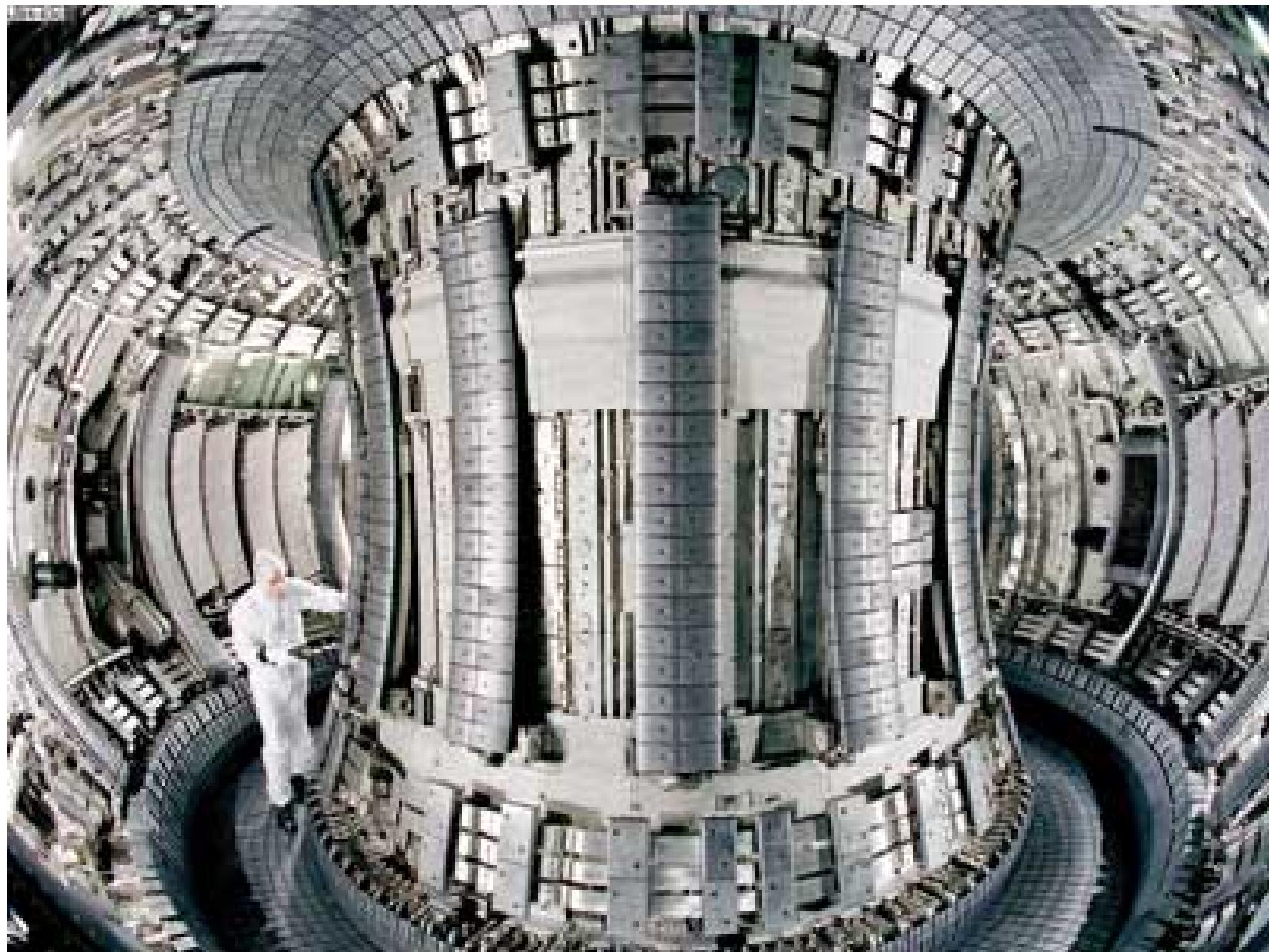
The first generation of fusion power plants will use the D-T fusion reaction, shown schematically in the above animation. Nuclei of two isotopes of hydrogen, **deuterium** (D) and **tritium** (T) react to produce a **helium** (He) nucleus and a **neutron** (n). In each reaction, 17.6 MeV of energy (2.8 pJ) is liberated: $\text{D} + \text{T} \rightarrow ^4\text{He} (3.5 \text{ MeV}) + \text{n} (14.1 \text{ MeV})$

Tokomakas

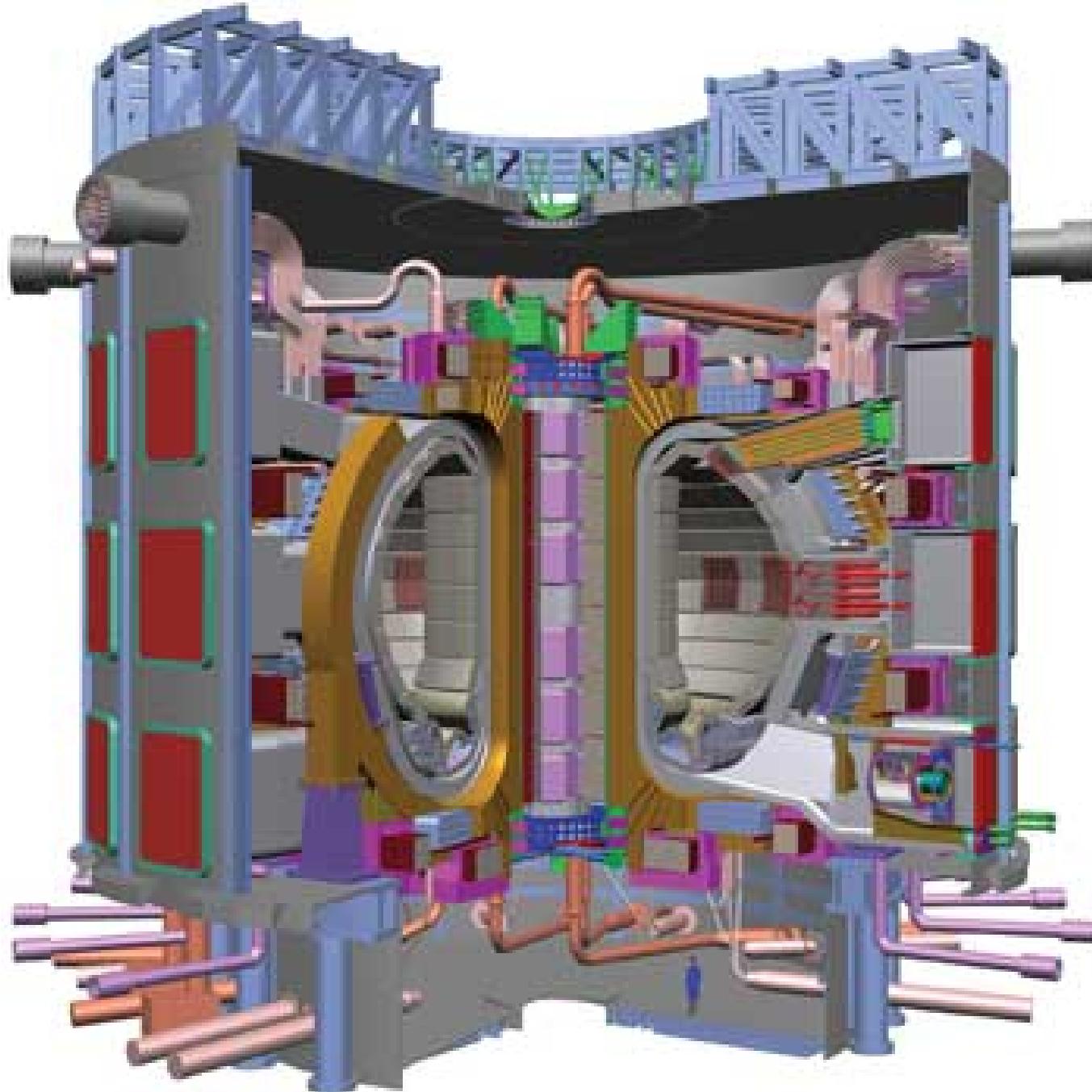


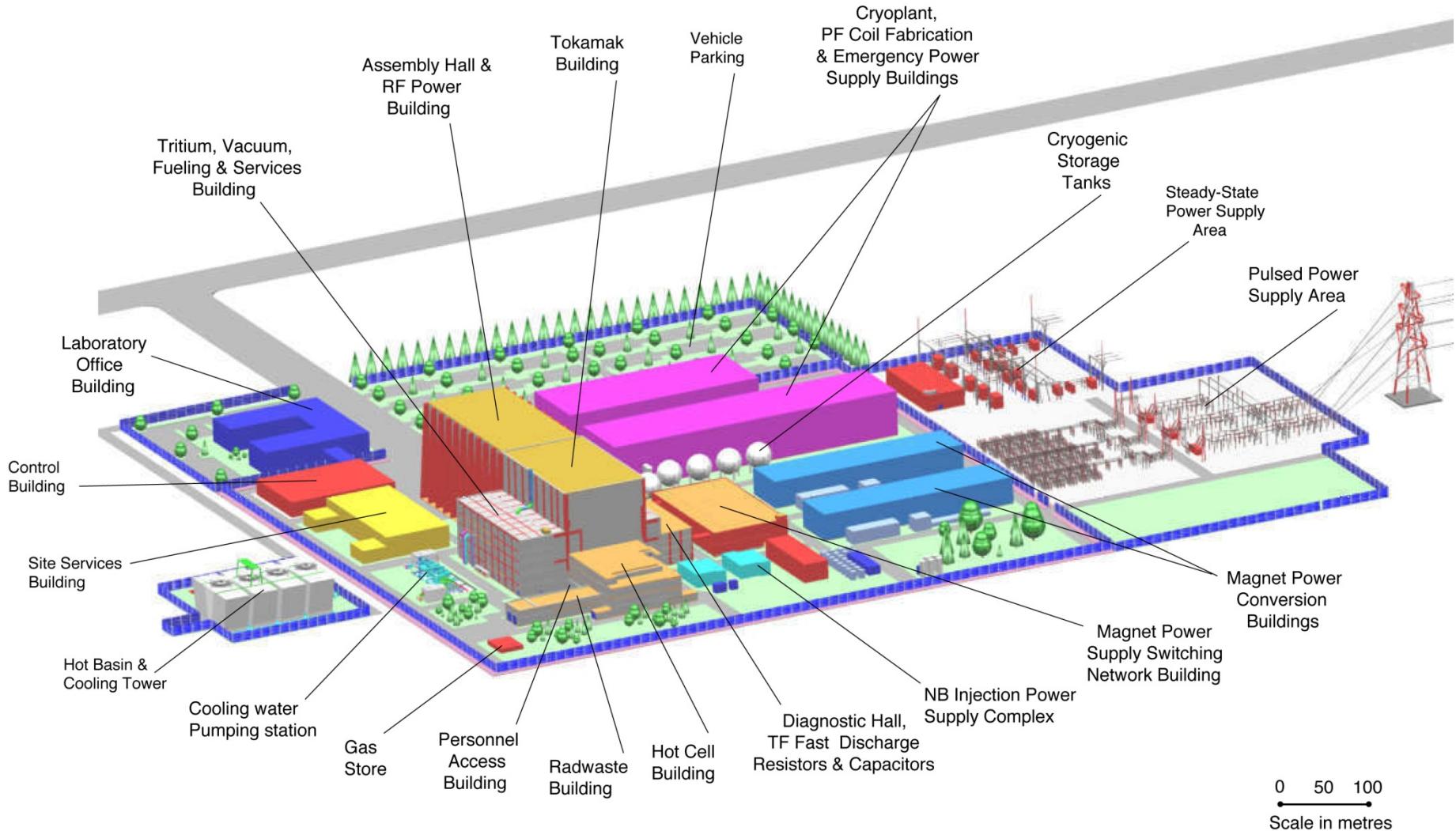
Reaktorius





ITER

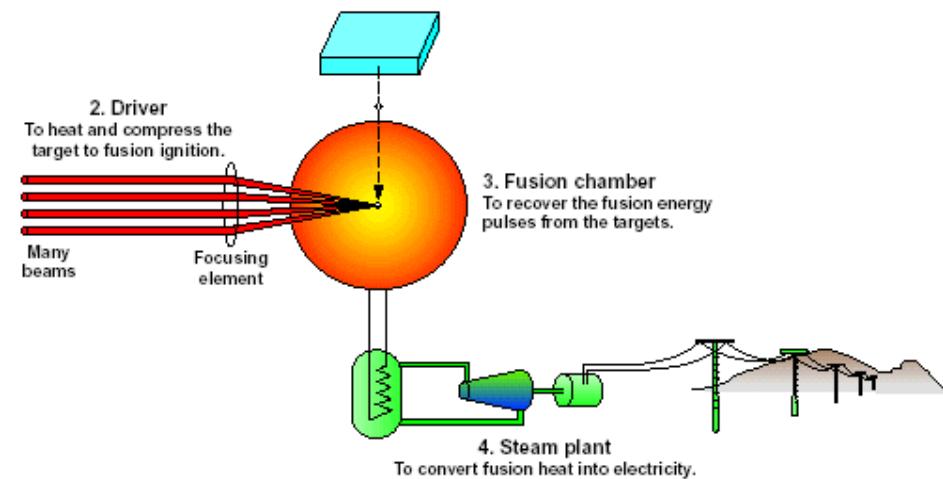




ITER Viewed From North East



Inertinės termobranduolinės reakcijos (lazeris, gali būti ir jonai)



How Inertial Fusion Works

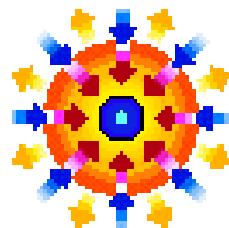
Driver beam



Target heating

A pulse of radiation (light, x-rays, or ions) rapidly heats the surface of a pea-sized fuel capsule.

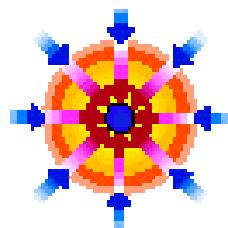
Blowoff



Compression

The fuel is rapidly compressed by the rocket-like blowoff of hot surface material.

Inwardly transported thermal energy



Ignition

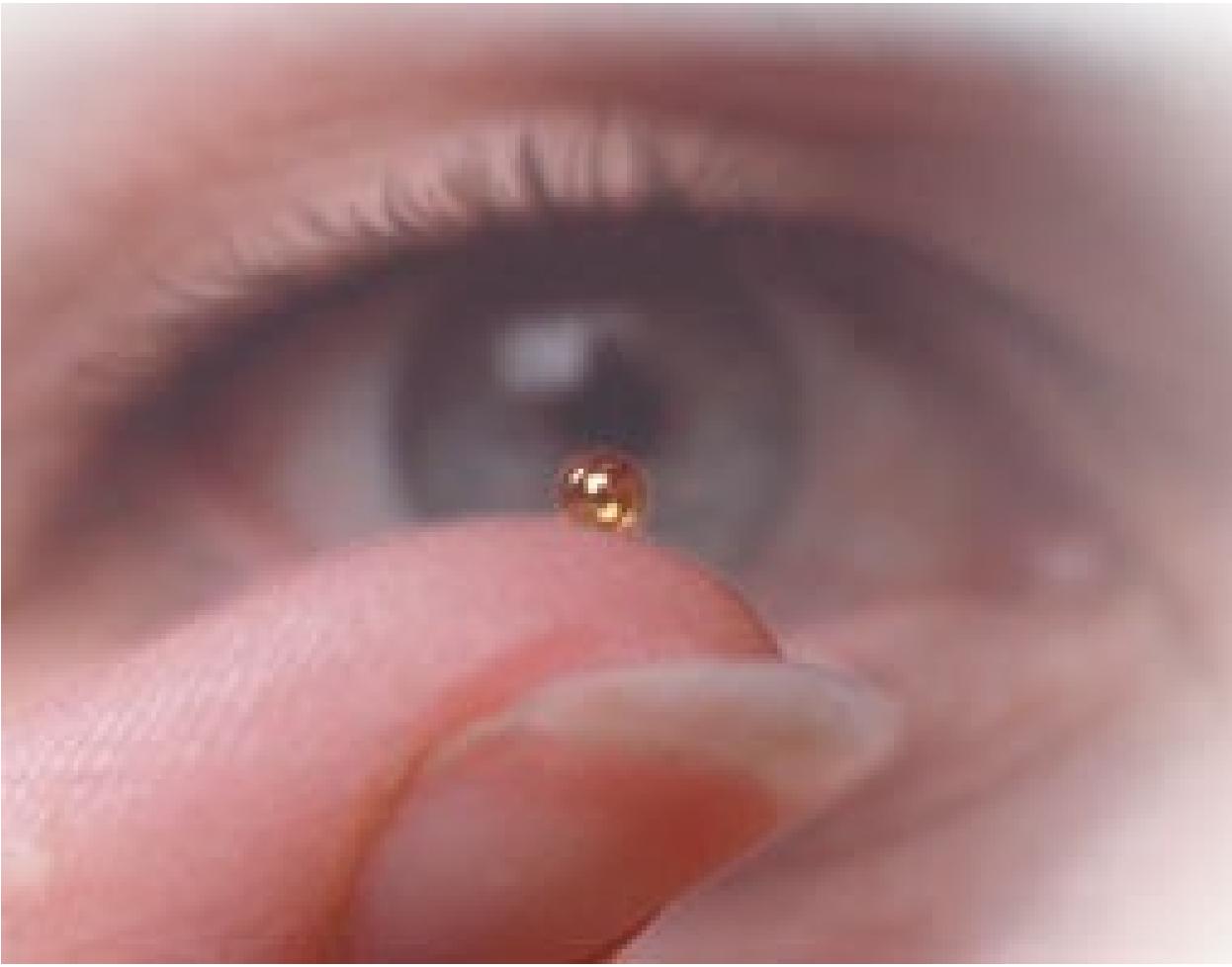
When the fuel core reaches 30 times its density at load, it ignites at 100,000,000°C.



Burn

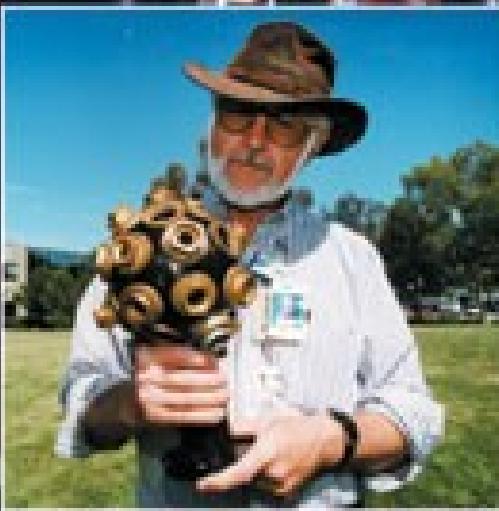
Thermonuclear burn quickly spreads through the compressed fuel, yielding many times the input energy.

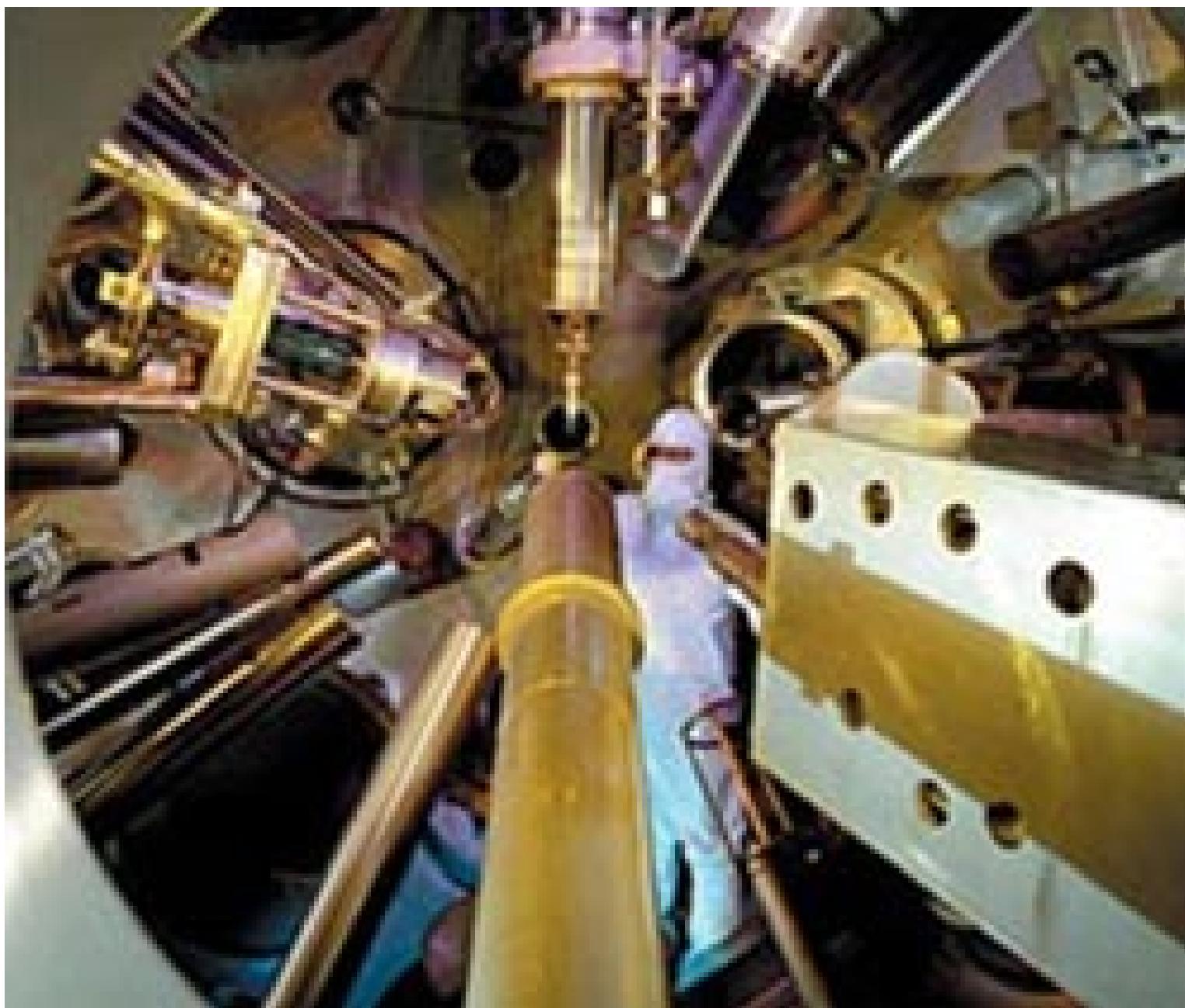
The total fusion energy released per pulse is about equal to the energy released by burning thirty pounds of coal.



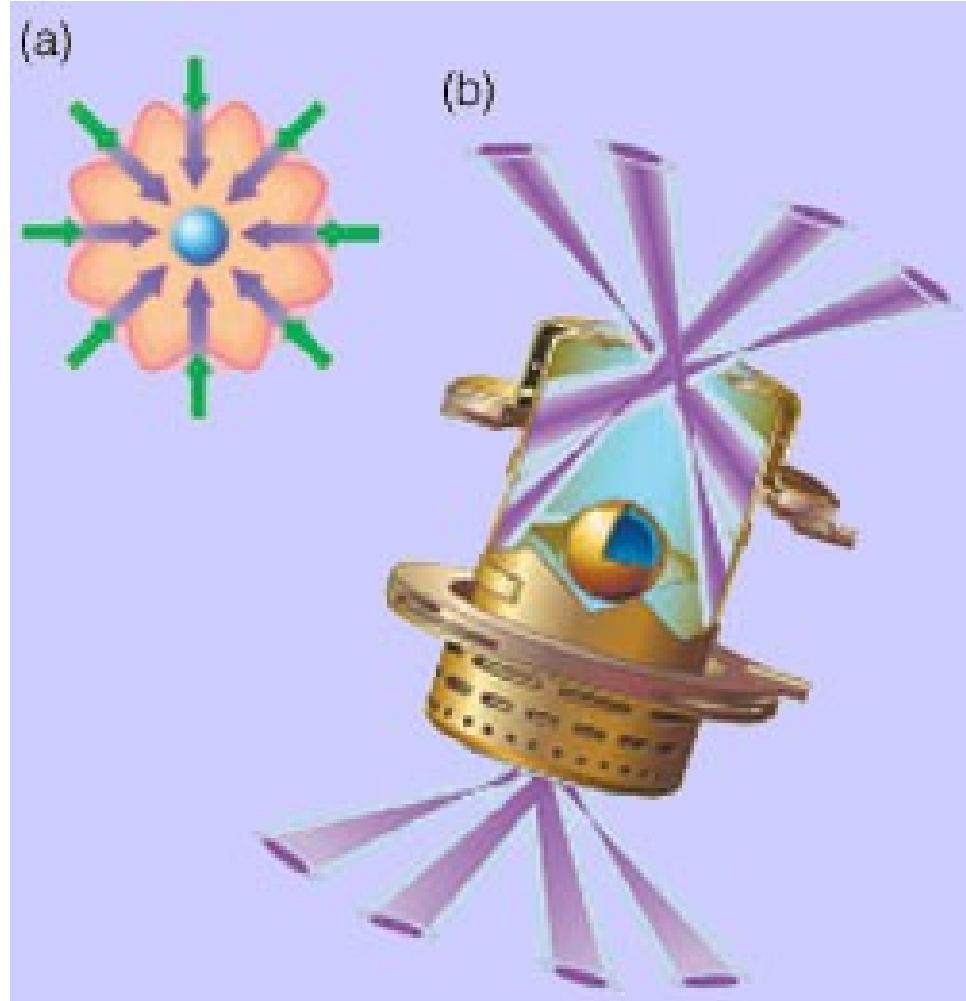
One NIF target design resembles a typical Nova target, but at 2 millimeters in diameter, it will be four times bigger and will contain a layer of frozen deuterium–tritium to help achieve conditions supporting ignition. (See *S&TR*, July/August 1999, [On Target: Designing for Ignition](#).)

Laser system, dating from the mid-1960s, had 12 ruby laser beams arranged around a gas-filled target chamber about 20 centimeters in diameter.

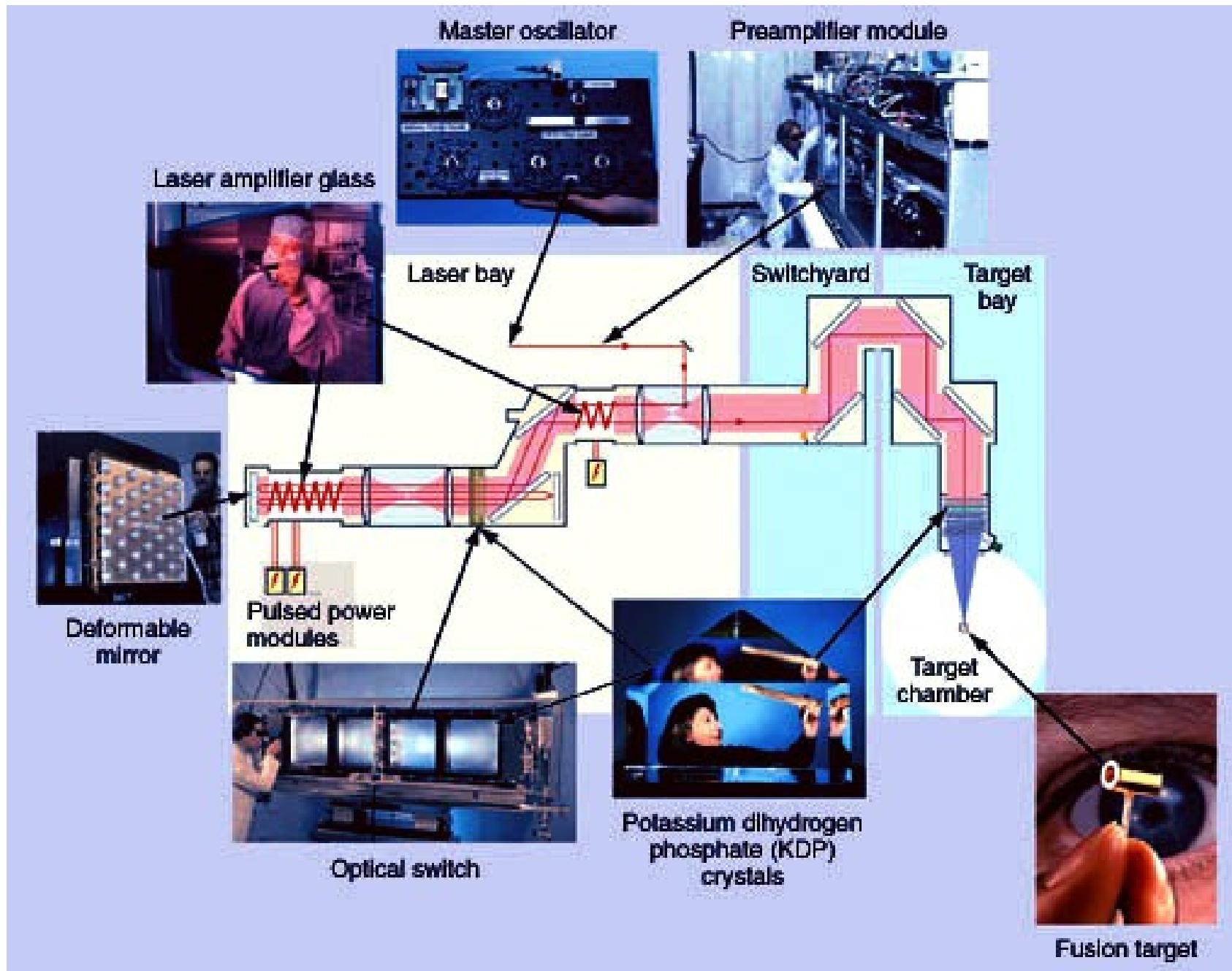


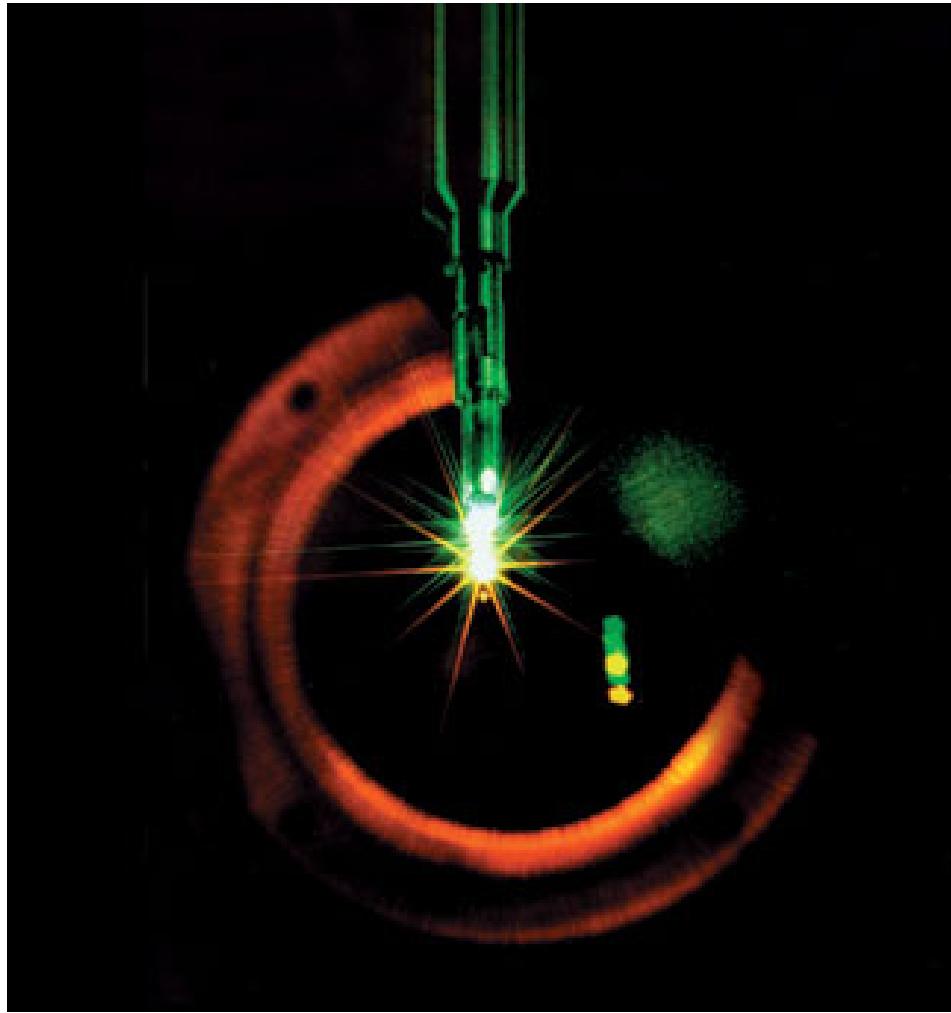


Inside the Nova laser chamber. Nova, which operated at Livermore from the mid-1980s through the 1990s, produced 30 kilojoules of energy and 25 terawatts of power, making it the world's most powerful laser at the time.



The direct-drive target, a small capsule containing deuterium–tritium fuel, is uniformly illuminated from all directions by laser beams. (b) The indirect-drive target has an outer metal cylinder of gold or lead containing a plastic fusion capsule. Laser beams enter the cylinder, or hohlraum, through holes at its end caps and hit the inside surface where the energy is converted to x rays. The x rays heat and ablate the capsule surface, causing a rocketlike pressure on the capsule and forcing it to implode.



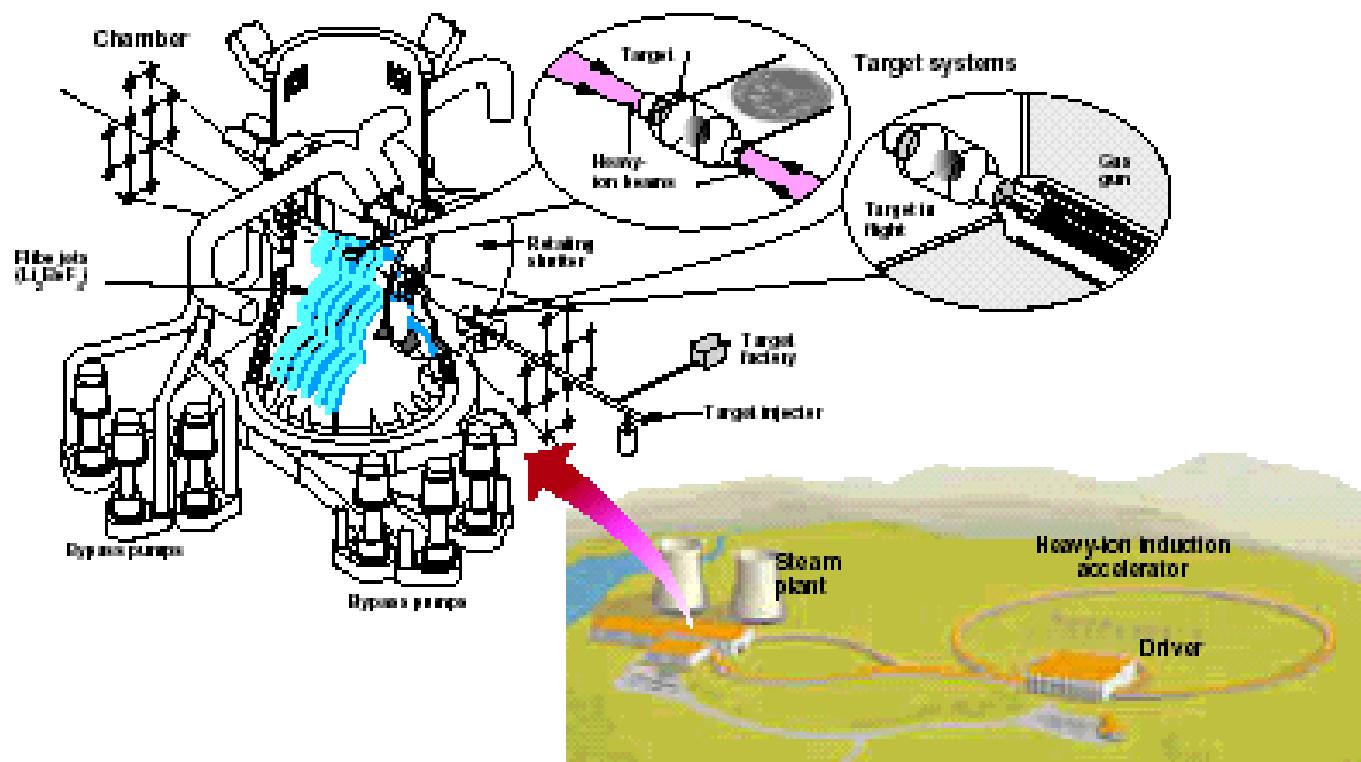


This miniature “star” was created in the Nova laser target chamber as 300 trillion watts of power hit a 0.5-millimeter-diameter target capsule containing deuterium–tritium fuel.

Inertinės termobranduolinės reakcijos (jonai)

HYLIFE-II

HYLIFE-II is an IFE power plant that uses a heavy-ion driver. The chamber uses liquid jets of Flibe (a fluorine, lithium, beryllium molten salt) to protect the fusion chamber from neutrons. This results in long lifetime components, reduced maintenance costs and low environmental impact.



Termobranduolinė energetika, jei viskas vyks sėkmingai, ir ji pasiteisins, tai energetikai poveikį pradės daryti ne anksčiau nei po 100 metų (Bandomasis reaktorius – statomas, po to bus projektuojamas ir statomas prototipinis reaktorius, o po jo bandymų bus statomas serijinis reaktorius, kuris bus pradėtas dauginti.)

Todėl artimiausiam 100-200 metų prognozė – branduolinės energetikos apibendrinimas

1. Nuclear energy is a climate friendly and sustainable energy source
2. The nuclear industry is gaining momentum due to increased political interest
3. It is possible to increase nuclear electricity from 2600 to 3600 TWh by 2030
4. New reactors, 4th generation, will be commercially deployable from 2025!

Energijos gamyba 2050 (apibendrinimas)

- Fossil fuels -less than now?
- Solar energy -the major option!
- Electricity from moving water -the classical way, waves?
- Electricity from moving air -the option loved by politicians
- Energy from nuclear fission -a reincarnation!
- Energy from nuclear fusion -Tokamak or Stellarator?
- Energy from biomass -a doubling is possible but food production and CO₂
- Energy efficiency -electricity will help using energy more efficiently

