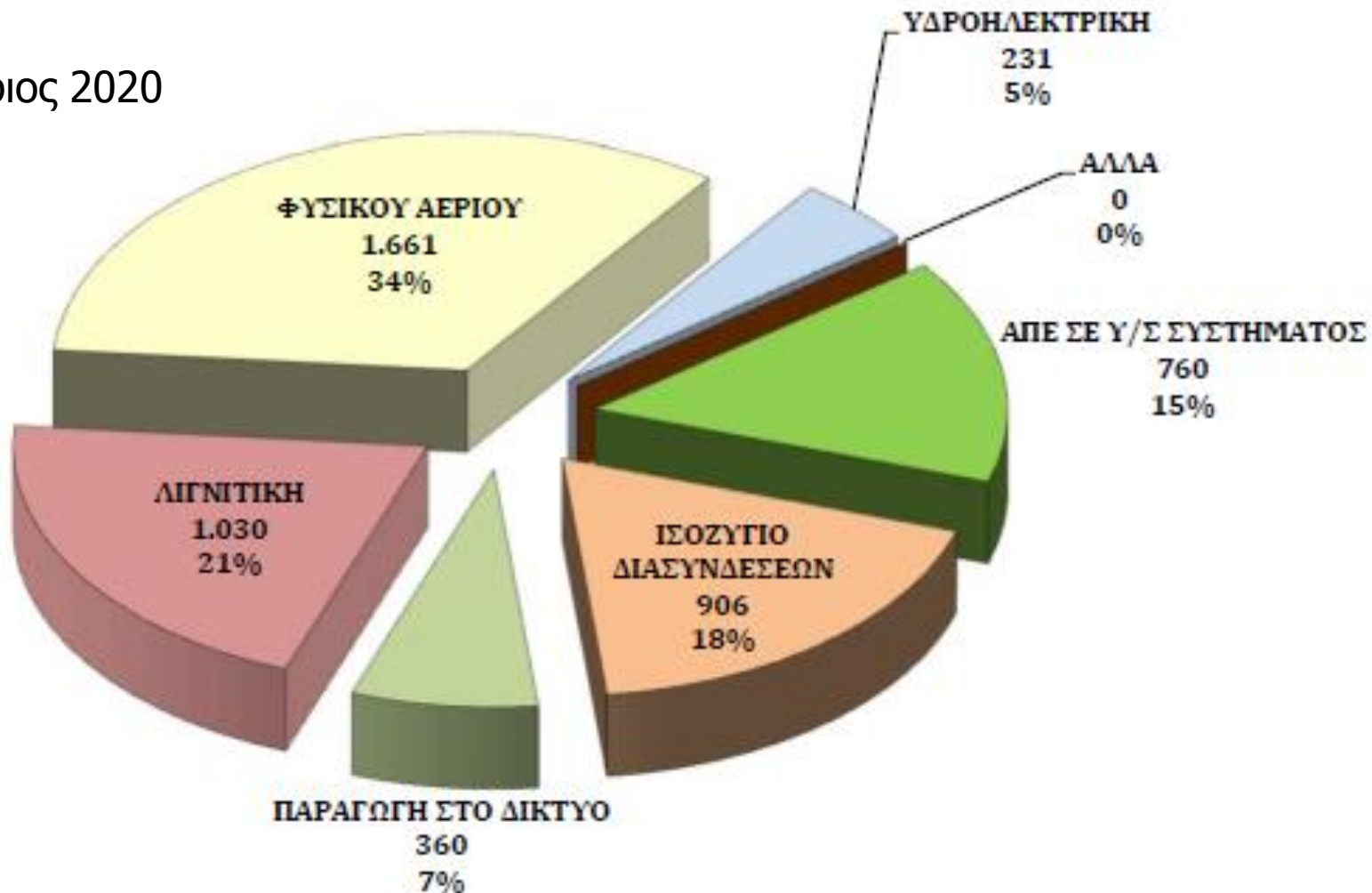


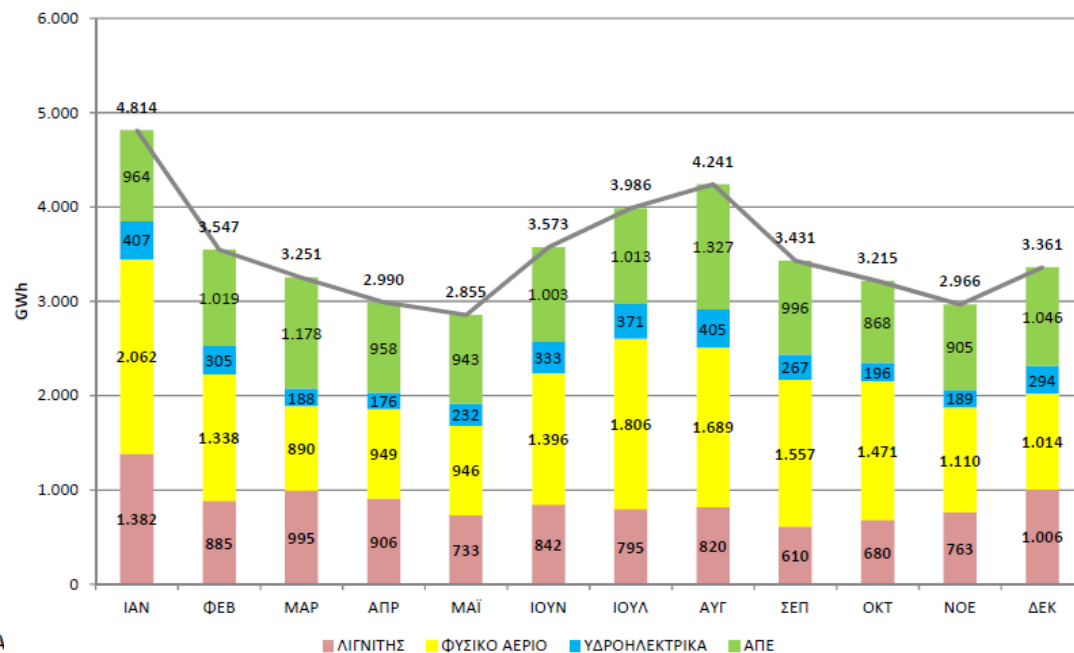
Ενεργειακό μερίδιο παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ελλάδα

Ιανουάριος 2020

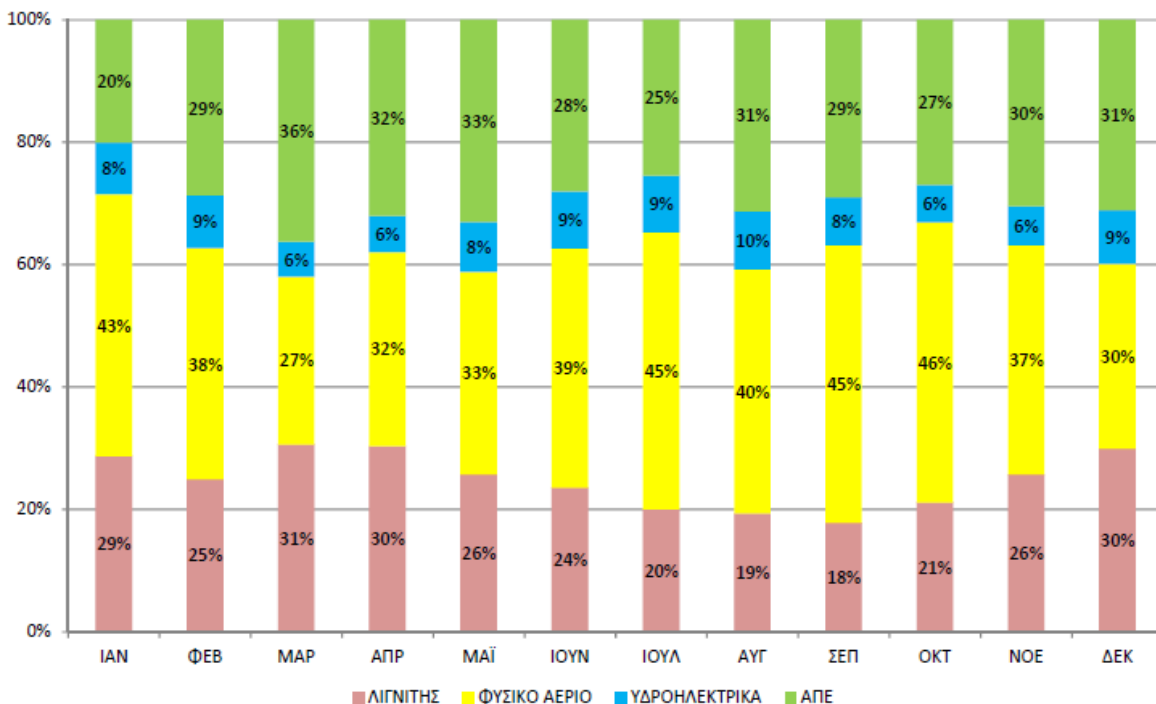


ΑΔΜΗΕ: Μηνιαίο Δελτίο
Ενέργειας Δεκέμβριος
2019
<http://www.admie.gr/deltia-agoras/miniaia-deltia-energeias/>

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΑ ΚΑΥΣΙΜΟ

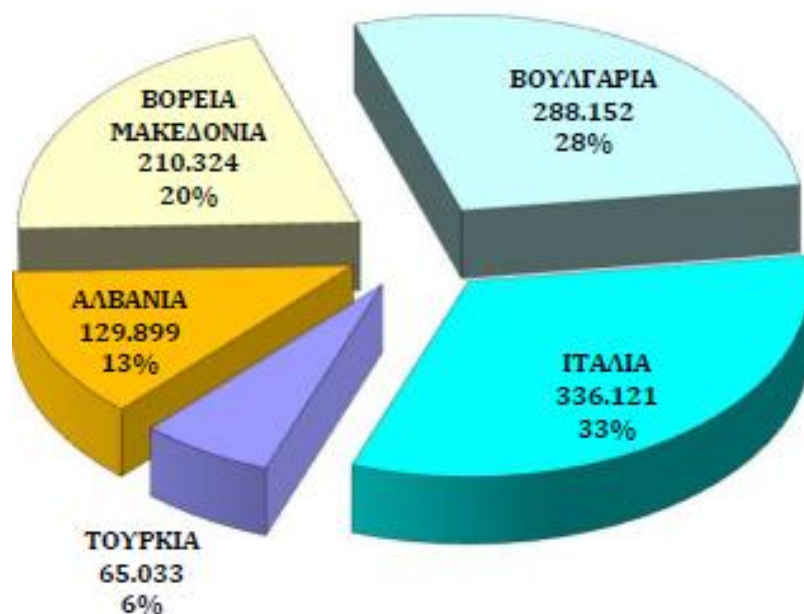


ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑ



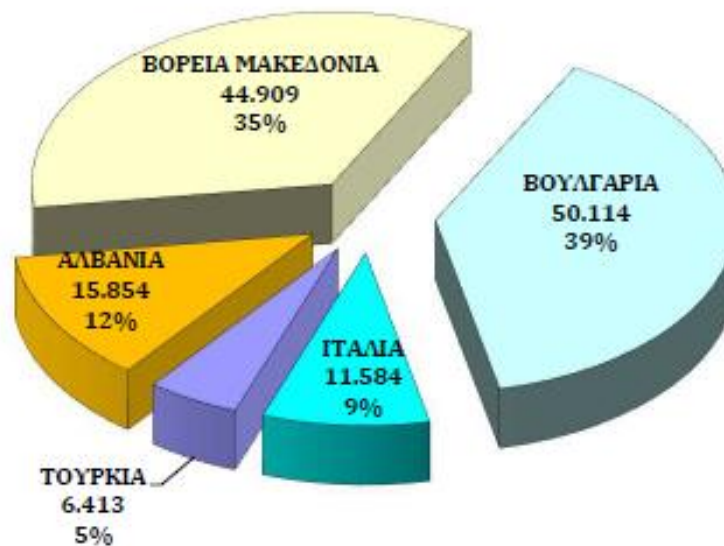
**ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020 (MWh)**

1.029.529 MWh



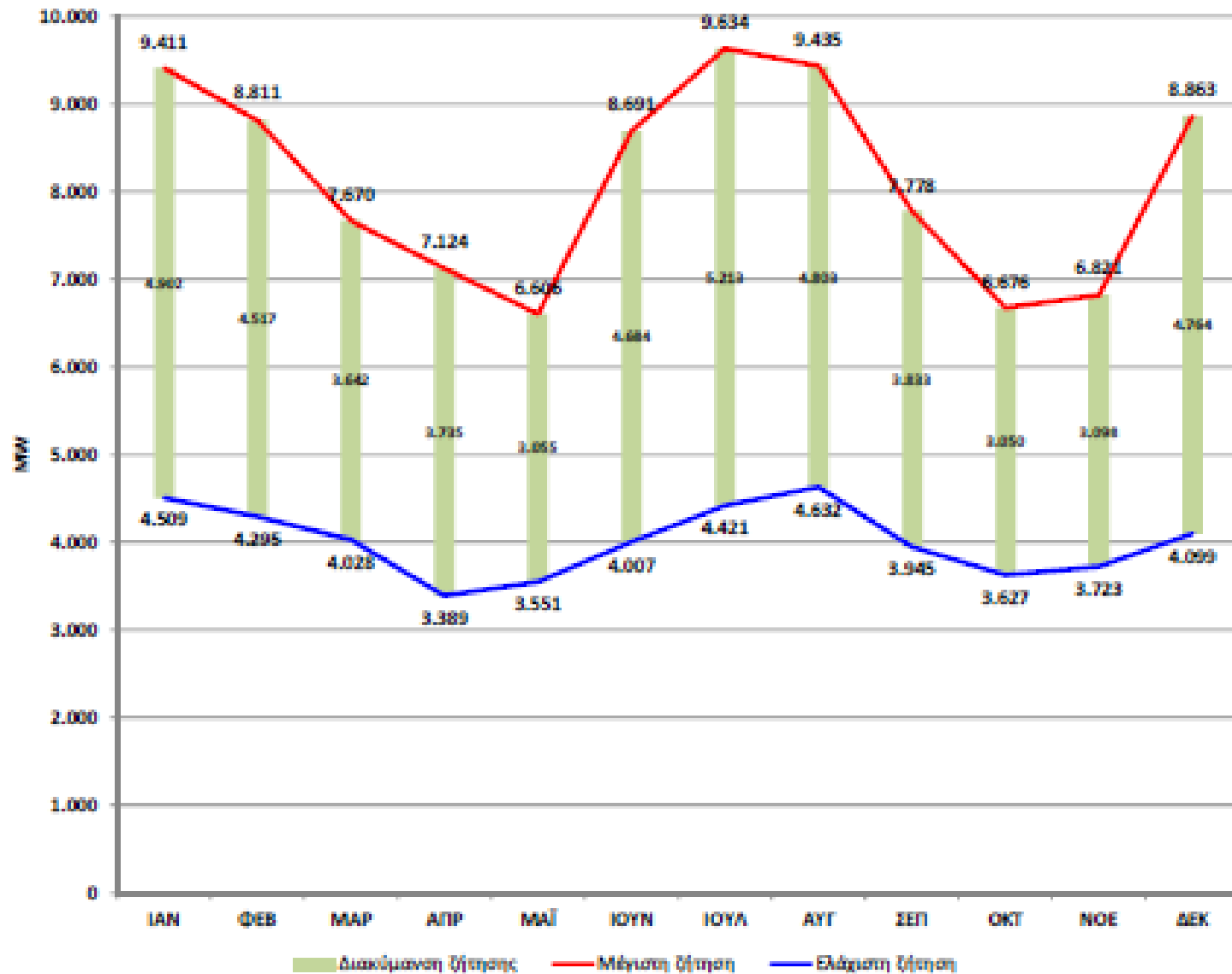
**ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΞΑΓΩΓΩΝ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020 (MWh)**

128.874 MWh

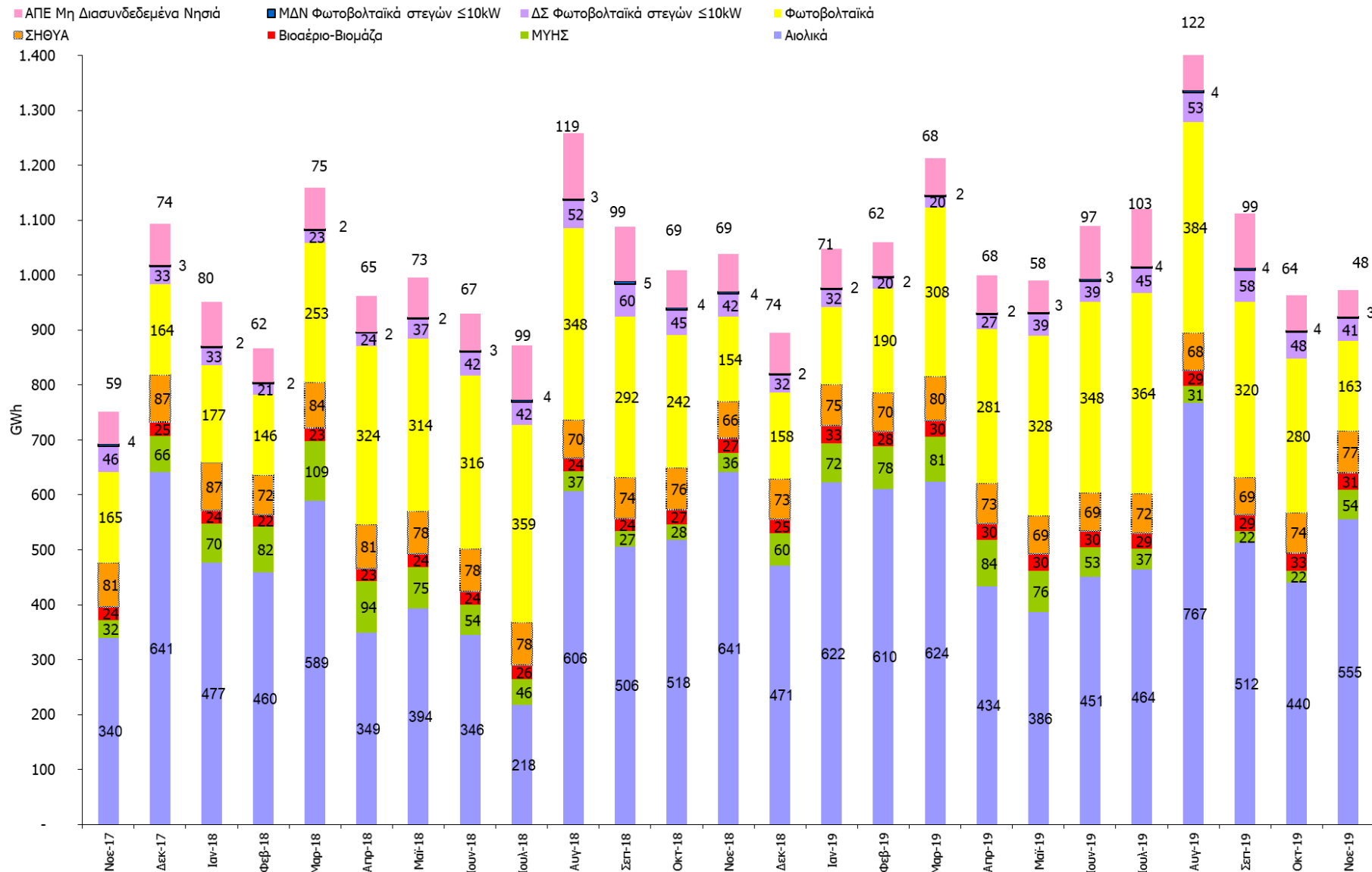


ΑΔΜΗΕ: Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας Ιανουάριος 2020
<http://www.admie.gr/deltia-agoras/miniaia-deltia-energeias/>

ΜΕΓΙΣΤΗ & ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



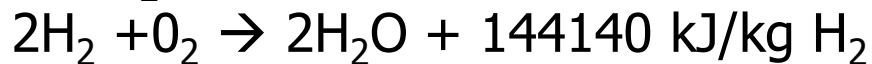
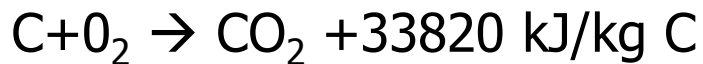
ΔΑΠΕΕΠ: 2017 – 2019 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) & Φ/Β ΣΤΕΓΩΝ ≤10kW



Ορυκτά καύσιμα

- Πετρέλαιο
- Κάρβουνο-Λιγνίτης
- Φυσικό Αέριο

Καύση (εξώθερμη αντίδραση-έκλυση θερμότητας)
Καύσιμο + οξειδωτικό $\rightarrow$ θερμότητα + καυσαέρια



Κατά τη διάρκεια της καύσης απελευθερώνονται επίσης μικρές ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ποσότητα φωτός), ηλεκτρικής ενέργειας (απελευθέρωση ιόντων και ηλεκτρονίων) και μηχανικής ενέργειας (θόρυβος).

Πετρέλαιο Κοιτάσματα

Total proved reserves

	At end 1998 Thousand million barrels	At end 2008 Thousand million barrels	At end 2017 Thousand million barrels	At end 2018			
				Thousand million barrels	Thousand million tonnes	Share of total	R/P ratio
Canada	49.8	176.3	168.9	167.8	27.1	9.7%	88.3
Mexico	21.6	11.9	7.7	7.7	1.1	0.4%	10.2
US	28.6	28.4	61.2	61.2	7.3	3.5%	11.0
Total North America	100.0	216.6	237.8	236.7	35.4	13.7%	28.7
Argentina	2.8	2.5	2.0	2.0	0.3	0.1%	9.3
Brazil	7.4	12.8	12.8	13.4	2.0	0.8%	13.7
Colombia	2.5	1.4	1.7	1.8	0.3	0.1%	5.6
Ecuador	4.1	4.3	3.0	2.8	0.4	0.2%	14.8
Peru	0.9	1.1	1.0	1.0	0.1	0.1%	17.6
Trinidad & Tobago	0.7	0.8	0.2	0.2	†	*	7.6
Venezuela	76.1	172.3	302.8	303.3	48.0	17.5%	*
Other S. & Cent. America	1.1	0.8	0.5	0.5	0.1	*	11.5
Total S. & Cent. America	95.6	196.0	324.0	325.1	51.1	18.8%	136.2
Denmark	0.9	0.8	0.4	0.4	0.1	*	10.1
Italy	0.6	0.5	0.6	0.6	0.1	*	16.2
Norway	11.7	7.5	7.9	8.6	1.1	0.5%	12.8
Romania	1.2	0.5	0.6	0.6	0.1	*	22.2
United Kingdom	5.1	3.1	2.5	2.5	0.3	0.1%	6.3
Other Europe	1.9	1.9	1.6	1.6	0.2	0.1%	14.1
Total Europe	21.4	14.2	13.7	14.3	1.9	0.8%	11.1
Azerbaijan	1.2	7.0	7.0	7.0	1.0	0.4%	24.1
Kazakhstan	5.4	30.0	30.0	30.0	3.9	1.7%	42.7
Russian Federation	113.1	106.4	106.3	106.2	14.6	6.1%	25.4
Turkmenistan	0.5	0.6	0.6	0.6	0.1	*	7.4
Uzbekistan	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	*	25.4
Other CIS	0.3	0.3	0.3	0.3	†	*	18.1
Total CIS	121.1	144.8	144.7	144.7	19.6	8.4%	27.4
Iran	93.7	137.6	155.6	155.6	21.4	9.0%	90.4
Iraq	112.5	115.0	147.2	147.2	19.9	8.5%	87.4
Kuwait	96.5	101.5	101.5	101.5	14.0	5.9%	91.2
Oman	5.4	5.6	5.4	5.4	0.7	0.3%	15.0
Qatar	13.5	26.8	25.2	25.2	2.6	1.5%	36.8
Saudi Arabia	261.5	264.1	296.0	297.7	40.9	17.2%	66.4
Syria	2.3	2.5	2.5	2.5	0.3	0.1%	284.8
United Arab Emirates	97.8	97.8	97.8	97.8	13.0	5.7%	68.0
Yemen	1.9	2.7	3.0	3.0	0.4	0.2%	121.4
Other Middle East	0.2	0.1	0.1	0.2	†	*	2.1
Total Middle East	685.2	753.7	834.3	836.1	113.2	48.3%	72.1
Algeria	11.3	12.2	12.2	12.2	1.5	0.7%	22.1
Angola	4.0	9.5	8.4	8.4	1.1	0.5%	15.0
Chad	—	1.5	1.5	1.5	0.2	0.1%	40.9
Republic of Congo	1.7	1.6	1.6	1.6	0.2	0.1%	13.2
Egypt	3.8	4.2	3.3	3.3	0.4	0.2%	13.6
Equatorial Guinea	0.6	1.7	1.1	1.1	0.1	0.1%	15.8
Gabon	2.6	2.0	2.0	2.0	0.3	0.1%	28.2
Libya	29.5	44.3	48.4	48.4	6.3	2.8%	131.3
Nigeria	22.5	37.2	37.5	37.5	5.1	2.2%	50.0
South Sudan	n/a	n/a	3.5	3.5	0.5	0.2%	73.4
Sudan	0.3	5.0	1.5	1.5	0.2	0.1%	41.1
Tunisia	0.3	0.6	0.4	0.4	0.1	*	23.2
Other Africa	0.7	0.7	3.9	3.9	0.5	0.2%	33.7
Total Africa	77.2	120.4	125.3	125.3	16.6	7.2%	41.9
Australia	4.8	4.2	4.0	4.0	0.4	0.2%	30.8
Brunei	1.0	1.1	1.1	1.1	0.1	0.1%	27.0
China	17.4	21.2	25.9	25.9	3.5	1.5%	18.7
India	5.4	5.8	4.5	4.5	0.6	0.3%	14.1
Indonesia	5.1	3.7	3.2	3.2	0.4	0.2%	10.7
Malaysia	3.4	5.5	3.0	3.0	0.4	0.2%	12.1
Thailand	0.4	0.5	0.3	0.3	†	*	1.8
Vietnam	1.9	4.7	4.4	4.4	0.6	0.3%	43.9
Other Asia Pacific	1.3	1.3	1.2	1.2	0.2	0.1%	12.9
Total Asia Pacific	40.8	48.0	47.7	47.6	6.3	2.8%	17.1
Total World	1141.2	1493.8	1727.5	1729.7	244.1	100.0%	50.0

Πετρέλαιο: Παραγωγή

Oil: Production in thousands of barrels per day*

Thousand barrels daily	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum		Share 2018
												2018	2017-17	
Canada	3207	3202	3332	3515	3740	4000	4271	4388	4451	4798	5208	8.5%	3.8%	5.5%
Mexico	3165	2978	2969	2940	2911	2875	2784	2587	2456	2224	2068	-7.0%	-4.4%	2.2%
US	6783	7259	7552	7870	8910	10073	11773	12773	12340	13135	15311	16.6%	6.7%	16.2%
Total North America	13156	13440	13843	14326	15561	16948	18828	19748	19247	20157	22587	12.1%	4.0%	23.8%
Argentina	802	730	712	667	657	645	638	647	610	591	592	0.2%	-3.2%	0.6%
Brazil	1887	2019	2125	2173	2132	2096	2341	2525	2591	2721	2683	-1.4%	4.1%	2.8%
Colombia	588	671	786	915	944	1010	990	1006	886	854	866	1.4%	4.9%	0.9%
Ecuador	507	488	488	501	505	527	557	543	548	531	517	-2.7%	0.3%	0.5%
Peru	122	155	165	159	157	171	175	153	141	137	154	12.4%	1.6%	0.2%
Trinidad & Tobago	149	150	145	136	117	116	114	109	97	99	87	-11.5%	-4.4%	0.1%
Venezuela	3228	3038	2842	2755	2704	2680	2692	2631	2347	2096	1514	-27.8%	-4.3%	1.6%
Other S. & Cent. America	143	136	144	144	147	152	155	146	135	132	124	-5.6%	-1.2%	0.1%
Total S. & Cent. America	7426	7387	7407	7450	7362	7397	7663	7759	7355	7160	6537	-8.7%	-0.2%	6.9%
Denmark	287	265	249	225	204	178	167	158	142	138	116	-15.9%	-7.8%	0.1%
Italy	108	95	106	110	112	114	120	113	78	86	97	12.9%	-3.4%	0.1%
Norway	2458	2342	2132	2033	1911	1832	1881	1940	1991	1963	1844	-6.0%	-2.6%	1.9%
Romania	99	94	90	89	83	86	84	83	79	76	74	-2.2%	-2.7%	0.1%
United Kingdom	1549	1469	1356	1112	946	864	852	963	1013	999	1085	8.6%	-4.9%	1.1%
Other Europe	374	357	342	335	335	344	339	329	313	303	306	1.1%	-2.6%	0.3%
Total Europe	4876	4621	4274	3903	3592	3419	3443	3587	3616	3565	3523	-1.2%	-3.6%	3.7%
Azerbaijan	916	1027	1037	932	882	888	861	851	838	792	795	0.4%	-1.0%	0.8%
Kazakhstan	1485	1609	1676	1684	1664	1737	1710	1695	1655	1838	1927	4.8%	2.7%	2.0%
Russian Federation	9965	10152	10379	10533	10656	10807	10860	11007	11269	11255	11438	1.6%	1.1%	12.1%
Turkmenistan	208	205	210	223	234	254	257	262	244	232	222	-4.7%	1.9%	0.2%
Uzbekistan	102	95	78	77	68	63	61	59	58	61	64	5.0%	-5.2%	0.1%
Other CIS	37	36	36	36	35	35	35	36	36	37	38	2.6%	-0.1%	*
Total CIS	12712	13125	13415	13485	13539	13784	13784	13909	14099	14215	14483	1.9%	1.1%	15.3%
Iran	4415	4285	4421	4452	3810	3609	3714	3853	4586	5024	4715	-6.1%	1.4%	5.0%
Iraq	2428	2446	2469	2773	3079	3103	3239	3986	4423	4533	4614	1.8%	7.8%	4.9%
Kuwait	2781	2495	2566	2909	3164	3125	3097	3061	3141	3001	3049	1.6%	1.2%	3.2%
Oman	757	813	865	885	918	942	943	981	1004	971	978	0.8%	3.2%	1.0%
Qatar	1432	1415	1630	1824	1928	1991	1975	1933	1938	1874	1879	0.3%	4.0%	2.0%
Saudi Arabia	10665	9709	9865	11079	11622	11393	11519	11998	12406	11892	12287	3.3%	1.5%	13.0%
Syria	406	401	385	353	171	59	33	27	25	25	24	-2.2%	-24.4%	*
United Arab Emirates	3113	2795	2937	3303	3440	3577	3603	3898	4038	3910	3942	0.8%	2.4%	4.2%
Yemen	316	308	306	220	178	197	153	63	43	60	68	12.8%	-15.9%	0.1%
Other Middle East	193	192	192	201	184	209	214	213	214	208	207	-0.7%	0.7%	0.2%
Total Middle East	26506	24859	25626	28001	28493	28205	28490	30012	31818	31497	31762	0.8%	2.2%	33.5%
Algeria	1951	1775	1689	1642	1537	1485	1589	1558	1577	1540	1510	-2.0%	-2.5%	1.6%
Angola	1876	1754	1812	1670	1734	1738	1701	1796	1745	1676	1534	-8.5%	0.1%	1.6%
Chad	127	118	122	114	101	91	89	111	103	104	101	-3.1%	-3.2%	0.1%
Republic of Congo	237	276	314	301	280	243	253	234	232	269	333	23.6%	1.9%	0.4%
Egypt	715	730	725	714	715	710	714	726	691	660	670	1.4%	-0.6%	0.7%
Equatorial Guinea	369	332	306	301	320	282	284	260	223	195	190	-2.6%	-6.3%	0.2%
Gabon	240	241	233	236	221	213	211	214	221	210	194	-7.6%	-1.5%	0.2%
Libya	1875	1739	1799	516	1539	1048	518	437	412	929	1010	8.7%	-6.9%	1.1%
Nigeria	2172	2211	2533	2461	2412	2279	2276	2201	1900	1991	2051	3.0%	-1.0%	2.2%
South Sudan	n/a	n/a	n/a	n/a	31	100	155	148	117	111	131	17.5%	n/a	0.1%
Sudan	457	475	462	291	103	118	120	109	104	95	100	5.7%	-15.0%	0.1%
Tunisia	96	91	83	77	82	76	71	64	60	48	50	4.3%	-7.4%	0.1%
Other Africa	184	181	149	198	196	225	234	276	259	304	320	5.4%	4.7%	0.3%
Total Africa	10299	9923	10227	8520	9270	8607	8216	8133	7643	8133	8193	0.7%	-2.3%	8.6%
Australia	538	507	548	483	479	407	436	384	361	348	356	2.2%	-4.5%	0.4%
Brunei	175	168	172	165	159	135	126	127	121	113	112	-1.5%	-5.3%	0.1%
China	3814	3805	4077	4074	4155	4216	4246	4309	3999	3846	3798	-1.3%	0.3%	4.0%
India	818	838	901	937	926	926	905	893	874	884	869	-1.7%	1.2%	0.9%
Indonesia	1006	994	1003	952	917	883	847	838	876	838	808	-3.5%	-1.5%	0.9%
Malaysia	727	688	733	659	663	627	649	696	704	683	682	-0.1%	-0.6%	0.7%
Thailand	368	383	391	428	468	462	461	478	486	483	485	0.3%	3.3%	0.5%
Vietnam	309	341	323	327	358	359	336	365	333	298	275	-7.9%	-1.1%	0.3%
Other Asia Pacific	341	330	315	299	287	272	307	308	292	281	249	-11.2%	-1.3%	0.3%
Total Asia Pacific	8095	8055	8463	8324	8411	8287	8313	8399	8044	7774	7633	-1.8%	-0.2%	8.1%
Total World	83069	81410	83255	84009	86228	86647	88736	91547	91822	92502	94718	2.4%	1.2%	100.0%

Πετρέλαιο: Κατανάλωση (κΒ/d)

Oil: Consumption in thousands of barrels per day*

Thousand barrels daily	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum		Share 2018
												2018	2007-17	
Canada	2323	2209	2358	2436	2376	2398	2442	2401	2448	2448	2447	*	0.4%	2.5%
Mexico	2080	2021	2040	2065	2083	2034	1960	1939	1950	1883	1812	-3.8%	-1.0%	1.8%
US	19490	18771	19180	18882	18490	18961	19106	19531	19687	19958	20456	2.5%	-0.4%	20.5%
Total North America	23894	23001	23578	23383	22949	23393	23507	23871	24086	24289	24714	1.8%	-0.3%	24.8%
Argentina	540	532	594	609	636	683	673	696	686	684	648	-5.3%	2.6%	0.6%
Brazil	2481	2498	2714	2832	2884	3100	3210	3140	2960	3052	3081	0.9%	2.8%	3.1%
Chile	390	383	343	371	376	362	353	355	377	369	379	2.7%	-0.2%	0.4%
Colombia	248	230	256	275	295	297	316	332	345	340	342	0.6%	3.9%	0.3%
Ecuador	188	191	220	226	233	247	260	254	240	237	255	7.6%	2.6%	0.3%
Peru	175	182	191	220	215	228	225	247	259	258	267	3.4%	5.1%	0.3%
Trinidad & Tobago	45	44	45	42	40	45	41	46	48	42	42	-1.2%	-0.1%	*
Venezuela	716	726	725	737	792	782	720	637	537	463	409	-11.7%	-3.2%	0.4%
Other S. & Cent. America	1257	1229	1247	1267	1244	1219	1234	1294	1340	1352	1373	1.5%	0.5%	1.4%
Total S. & Cent. America	6041	6016	6335	6579	6715	6964	7034	7001	6792	6798	6795	*	1.7%	6.8%
Austria	272	262	275	259	258	262	255	256	261	265	272	2.5%	-0.3%	0.3%
Belgium	731	678	706	662	645	665	665	684	694	696	703	1.0%	*	0.7%
Czech Republic	209	204	195	201	198	190	202	196	182	217	222	2.2%	0.6%	0.2%
Finland	225	213	223	213	205	220	214	212	221	217	229	5.7%	-0.5%	0.2%
France	1889	1822	1763	1725	1673	1661	1613	1612	1597	1608	1607	-0.1%	-1.7%	1.6%
Germany	2502	2409	2441	2365	2352	2404	2344	2336	2374	2443	2321	-5.0%	-0.2%	2.3%
Greece	440	419	382	362	321	303	302	313	314	324	323	-0.3%	-3.6%	0.3%
Hungary	164	154	146	155	143	142	159	168	166	177	188	6.5%	0.5%	0.2%
Italy	1661	1563	1532	1475	1384	1274	1204	1257	1266	1279	1253	-2.0%	-3.0%	1.3%
Netherlands	979	945	964	971	925	898	866	834	851	829	860	3.8%	-2.2%	0.9%
Norway	218	222	229	227	226	230	217	223	217	223	234	5.1%	0.1%	0.2%
Poland	567	567	594	592	571	538	538	559	606	662	685	3.4%	1.9%	0.7%
Portugal	293	274	272	256	231	241	241	246	240	246	236	-4.0%	-2.1%	0.2%
Romania	216	195	184	191	191	174	187	191	202	213	211	-1.0%	-0.3%	0.2%
Spain	1559	1474	1447	1383	1300	1203	1199	1243	1288	1301	1335	2.7%	-2.1%	1.3%
Sweden	340	325	328	309	309	306	304	302	319	321	308	-3.8%	-1.1%	0.3%
Switzerland	256	260	242	235	238	249	224	227	216	222	215	-3.2%	-0.8%	0.2%
Turkey	686	709	694	673	704	757	775	912	978	1013	1003	-1.0%	3.8%	1.0%
Ukraine	299	282	267	278	267	257	221	194	205	207	200	-3.0%	-3.9%	0.2%
United Kingdom	1738	1669	1652	1600	1546	1532	1536	1578	1623	1637	1618	-1.2%	-0.7%	1.6%
Other Europe	1313	1231	1216	1189	1140	1124	1123	1169	1214	1253	1252	-0.1%	-0.5%	1.3%
Total Europe	16558	15876	15752	15321	14826	14631	14389	14713	15032	15351	15276	-0.5%	-0.8%	15.3%

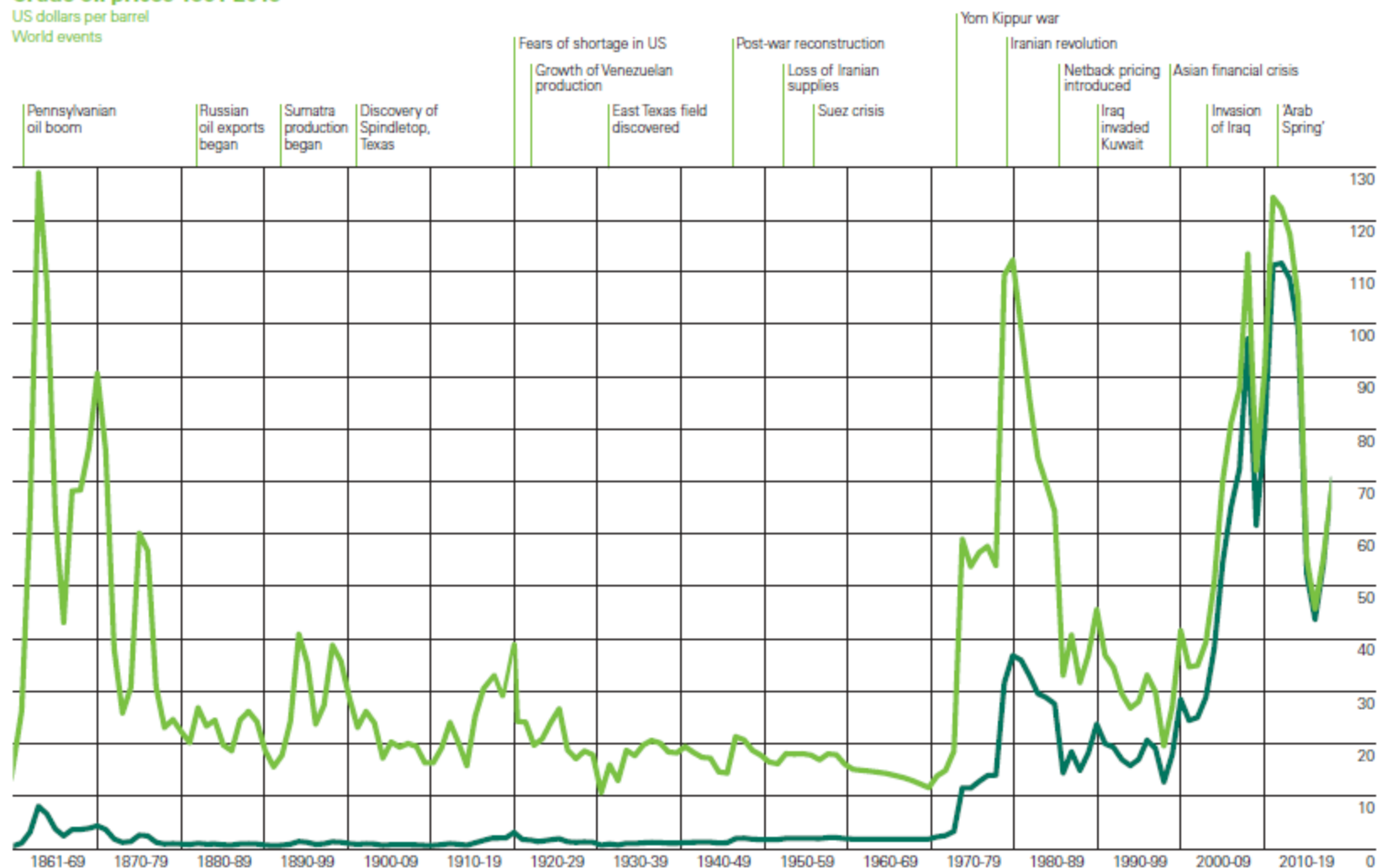
→ Μεγαλύτερη μείωση στη 10ετία

Πετρέλαιο: Τιμή

Crude oil prices 1861-2018

US dollars per barrel

World events



■ \$ 2018 (deflated using the Consumer Price Index for the US)

■ \$ money of the day

1861-1944 US average.

1945-1983 Arabian Light posted at Ras Tanura.

1984-2018 Brent dated.

Φυσικό Αέριο: Παραγωγή

Natural gas: Production in billion cubic metres*

Billion cubic metres	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum		Share 2018
												2018	2007-17	
Canada	166.5	155.1	149.6	151.1	150.3	151.9	159.0	160.8	171.8	177.6	184.7	4.0%	0.2%	4.8%
Mexico	47.2	52.6	51.2	52.1	50.9	52.5	51.3	47.9	43.7	38.3	37.4	-2.4%	-2.0%	1.0%
US	546.1	557.6	575.2	617.4	649.1	655.7	704.7	740.3	727.4	745.8	831.8	11.5%	3.6%	21.5%
Total North America	759.8	765.2	775.9	820.5	850.3	860.1	915.0	949.0	942.8	961.6	1053.9	9.6%	2.6%	27.2%
Argentina	42.8	40.3	39.0	37.7	36.7	34.6	34.5	35.5	37.3	37.1	39.4	6.1%	-1.6%	1.0%
Bolivia	13.8	11.9	13.7	15.0	17.1	19.6	20.3	19.6	17.6	17.1	16.0	-6.6%	2.5%	0.4%
Brazil	14.4	12.3	15.0	17.2	19.8	21.9	23.3	23.8	24.1	27.2	25.2	-7.4%	8.9%	0.7%
Colombia	8.7	10.1	10.8	10.5	11.5	13.2	12.3	11.6	12.0	12.3	12.9	4.6%	5.4%	0.3%
Peru	3.5	3.6	7.3	11.5	12.0	12.4	13.1	12.7	14.0	13.0	12.8	-1.7%	17.6%	0.3%
Trinidad & Tobago	37.4	38.6	40.3	38.7	38.5	38.7	38.1	36.0	31.3	31.9	34.0	6.6%	-1.7%	0.9%
Venezuela	33.4	31.8	30.5	30.2	31.9	30.6	31.8	36.1	37.2	38.6	33.2	-13.9%	0.4%	0.9%
Other S. & Cent. America	3.8	3.8	3.8	3.2	3.0	2.7	2.6	2.9	3.1	3.1	3.3	6.8%	-2.5%	0.1%
Total S. & Cent. America	157.9	152.3	160.4	164.1	170.6	173.8	176.0	178.0	176.7	180.3	176.7	-2.0%	1.4%	4.6%
Denmark	10.5	8.8	8.5	6.9	6.0	5.0	4.8	4.8	4.7	5.1	4.3	-15.0%	-6.2%	0.1%
Germany	13.6	12.7	11.1	10.5	9.5	8.6	8.1	7.5	6.9	6.4	5.5	-13.1%	-8.2%	0.1%
Italy	8.8	7.6	8.0	8.0	8.2	7.4	6.8	6.4	5.5	5.3	5.2	-1.6%	-5.5%	0.1%
Netherlands	70.9	65.5	75.3	69.5	68.4	72.4	60.4	45.9	44.3	38.6	32.3	-16.3%	-4.6%	0.8%
Norway	99.4	103.6	106.4	100.5	113.9	107.9	108.0	116.2	115.9	123.2	120.6	-2.1%	3.2%	3.1%
Poland	4.3	4.3	4.3	4.5	4.5	4.4	4.3	4.3	4.1	4.0	4.0	-1.5%	-1.1%	0.1%
Romania	10.5	10.4	10.0	10.1	10.1	10.0	10.2	10.2	9.1	9.9	9.5	-3.7%	-0.8%	0.2%
Ukraine	20.3	20.3	19.4	19.5	19.4	20.2	20.2	18.8	19.0	19.4	19.9	2.4%	-0.3%	0.5%
United Kingdom	72.8	61.2	57.9	46.1	39.2	37.0	37.4	40.7	41.7	41.9	40.6	-3.1%	-5.7%	1.0%
Other Europe	10.0	9.7	9.7	9.9	8.9	7.8	7.2	6.8	9.2	9.5	8.7	-7.9%	-1.1%	0.2%
Total Europe	321.0	304.1	310.7	285.5	288.1	280.6	267.5	261.7	260.5	263.2	250.7	-4.8%	-1.5%	6.5%
Azerbaijan	15.9	15.9	16.3	16.0	16.8	17.4	18.4	18.8	18.3	17.8	18.8	5.6%	5.3%	0.5%
Kazakhstan	18.3	19.0	20.4	20.1	19.8	21.4	21.7	22.0	22.9	23.4	24.4	4.1%	4.0%	0.6%
Russian Federation	611.5	536.2	598.4	616.8	601.9	614.5	591.2	584.4	589.3	635.6	669.5	5.3%	0.6%	17.3%
Turkmenistan	61.6	33.3	40.1	56.3	59.0	59.0	63.5	65.9	63.2	58.7	61.5	4.8%	-0.5%	1.6%
Uzbekistan	61.0	58.4	57.1	56.6	56.5	55.9	56.3	53.6	53.1	53.4	56.6	6.1%	-1.0%	1.5%
Other CIS	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.3%	•	•
Total CIS	768.6	663.2	732.7	766.2	754.3	768.5	751.4	745.0	747.2	789.1	831.1	5.3%	0.5%	21.5%
Bahrain	12.0	12.1	12.4	12.6	13.1	14.0	14.7	14.8	14.4	14.5	14.8	2.6%	2.6%	0.4%
Iran	123.6	135.7	143.9	151.0	156.9	157.5	175.5	183.5	199.3	220.2	239.5	8.8%	6.4%	6.2%
Iraq	6.5	6.9	7.1	6.3	6.3	7.1	7.5	7.3	9.9	10.1	13.0	28.4%	8.3%	0.3%
Kuwait	12.1	10.9	11.1	12.9	14.7	15.5	14.3	16.1	16.4	16.2	17.5	7.6%	4.3%	0.5%
Oman	24.1	23.9	25.7	27.1	28.3	30.8	29.3	30.7	31.5	32.3	36.0	11.4%	2.7%	0.9%
Qatar	79.7	92.4	123.1	150.4	162.5	168.2	169.6	175.0	173.8	172.4	175.5	1.8%	10.2%	4.5%
Saudi Arabia	76.4	74.5	83.3	87.6	94.4	95.0	97.3	99.2	105.3	109.3	112.1	2.6%	4.4%	2.9%
Syria	5.6	6.1	8.4	7.4	6.1	5.0	4.6	4.1	3.5	3.4	3.6	4.0%	-4.9%	0.1%
United Arab Emirates	49.0	47.6	50.0	51.0	52.9	53.2	52.9	58.7	60.3	62.0	64.7	4.4%	2.4%	1.7%
Yemen	—	0.8	6.3	9.4	7.6	10.4	9.8	2.9	0.5	0.5	0.6	1.9%	n/a	•
Other Middle East	3.5	2.7	3.3	4.2	2.5	6.3	7.3	8.1	9.0	9.5	10.1	6.4%	13.0%	0.3%
Total Middle East	392.3	413.8	474.7	520.0	545.5	562.9	582.7	600.3	624.1	650.4	687.3	5.7%	6.0%	17.8%
Algeria	82.6	76.6	77.4	79.6	78.4	79.3	80.2	81.4	91.4	93.0	92.3	-0.7%	1.3%	2.4%
Egypt	56.8	60.3	59.0	59.1	58.6	54.0	47.0	42.6	40.3	48.8	58.6	20.0%	-0.9%	1.5%
Libya	15.1	15.1	16.0	7.5	11.6	12.2	11.8	11.0	9.4	9.6	9.8	2.2%	-4.1%	0.3%
Nigeria	32.8	23.2	30.9	36.4	39.2	33.1	40.0	48.0	46.2	48.1	49.2	2.4%	3.6%	1.3%
Other Africa	16.6	16.9	19.0	19.1	19.0	19.7	19.7	20.5	21.6	26.2	26.7	1.9%	7.8%	0.7%
Total Africa	203.8	192.1	202.3	201.7	206.8	198.3	199.6	203.6	208.8	225.7	236.6	4.8%	1.4%	6.1%
Australia	41.7	46.7	54.0	55.7	59.5	61.8	66.6	76.0	96.4	112.8	130.1	15.3%	10.2%	3.4%
Bangladesh	16.4	18.7	19.3	19.6	21.3	22.0	23.0	25.9	26.5	26.7	27.5	3.2%	5.7%	0.7%
Brunei	11.8	11.1	12.0	12.5	12.3	11.9	12.7	13.3	12.9	12.9	12.6	-2.3%	0.7%	0.3%
China	80.9	85.9	96.5	106.2	111.5	121.8	131.2	135.7	137.9	149.2	161.5	8.3%	7.9%	4.2%
India	29.4	36.1	47.4	42.9	37.3	31.1	29.4	28.1	26.6	27.7	27.5	-0.7%	-0.4%	0.7%
Indonesia	74.8	78.0	87.0	82.7	78.3	77.6	76.4	76.2	75.1	72.9	73.2	0.4%	•	1.9%
Malaysia	69.2	66.9	65.8	67.0	69.3	72.9	72.0	73.9	72.4	74.5	72.5	-2.6%	1.0%	1.9%
Myanmar	12.2	11.4	12.2	12.6	12.5	12.9	16.5	19.2	18.3	17.8	17.8	—	3.0%	0.5%
Pakistan	34.6	34.7	35.3	35.3	36.6	35.6	35.0	35.0	34.7	34.7	34.2	-1.3%	0.2%	0.9%
Thailand	29.8	32.0	37.5	38.3	42.9	43.3	43.6	41.2	40.4	38.7	37.7	-2.6%	3.7%	1.0%
Vietnam	7.2	7.7	9.1	8.2	9.0	9.4	9.9	10.3	10.2	9.5	9.6	1.3%	3.4%	0.2%
Other Asia Pacific	18.2	18.5	18.1	18.3	18.0	18.7	23.6	29.4	30.2	30.3	27.5	-9.2%	5.8%	0.7%
Total Asia Pacific	426.3	447.9	494.3	499.1	508.4	518.9	539.8	564.1	581.6	607.5	631.7	4.0%	4.1%	16.3%
Total World	3029.8	2938.6	3151.0	3257.0	3323.8	3363.1	3431.1	3501.7	3541.7	3677.7	3867.9	5.2%	2.3%	100.0%

Φυσικό Αέριο: Κατανάλωση

Natural gas: Consumption in billion cubic metres*

Billion cubic metres	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum		Share 2018
												2018	2007-17	
Canada	89.3	86.6	88.3	97.5	97.2	104.3	109.6	109.8	105.9	109.7	115.7	5.5%	1.9%	3.0%
Mexico	60.0	65.2	66.0	70.8	73.7	77.8	78.8	80.8	83.0	86.4	89.5	3.6%	4.2%	2.3%
US	628.9	617.6	648.2	658.2	688.1	707.0	722.3	743.6	749.1	739.4	817.1	10.5%	1.7%	21.2%
Total North America	778.2	769.4	802.5	826.6	859.0	889.1	910.7	934.1	938.0	935.5	1022.3	9.3%	1.9%	26.6%
Argentina	43.2	41.8	42.1	43.8	45.7	46.0	46.2	46.7	48.2	48.3	48.7	0.8%	1.2%	1.3%
Brazil	25.7	20.7	27.6	27.5	32.6	38.4	40.7	42.9	37.1	37.6	35.9	-4.6%	5.6%	0.9%
Chile	2.8	2.8	5.7	5.8	5.3	5.3	4.4	4.8	5.9	5.6	6.4	14.2%	1.2%	0.2%
Colombia	7.3	8.4	8.7	8.5	9.5	10.5	11.4	11.2	11.8	12.2	13.0	7.1%	5.4%	0.3%
Ecuador	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	-14.1%	4.2%	•
Peru	3.3	3.3	4.9	5.4	6.0	5.9	6.7	7.1	7.6	6.7	7.0	4.4%	10.1%	0.2%
Trinidad & Tobago	15.8	16.1	17.7	18.0	17.1	17.4	17.0	17.0	15.1	15.3	15.3	0.3%	-0.8%	0.4%
Venezuela	34.9	34.2	31.3	33.3	34.6	32.3	34.0	37.0	37.5	38.8	33.4	-13.9%	0.4%	0.9%
Other S. & Cent. America	4.7	4.9	5.1	5.8	6.3	6.9	7.2	7.1	7.4	7.3	7.9	8.4%	5.0%	0.2%
Total S. & Cent. America	138.1	132.9	143.7	148.7	157.7	163.5	168.5	174.7	171.6	172.6	168.4	-2.5%	2.3%	4.4%
Austria	9.1	8.8	9.6	9.0	8.6	8.2	7.5	8.0	8.3	9.1	8.7	-4.2%	0.7%	0.2%
Belgium	17.4	17.6	19.4	16.5	16.7	16.5	14.5	15.8	16.2	16.4	16.9	2.8%	-0.7%	0.4%
Czech Republic	8.3	7.9	9.4	7.9	8.0	8.1	7.2	7.5	8.2	8.4	8.0	-4.7%	-0.1%	0.2%
Finland	4.2	3.7	4.1	3.6	3.2	3.0	2.7	2.3	2.0	1.8	2.0	11.5%	-7.7%	0.1%
France	46.4	44.7	49.6	43.0	44.4	45.1	37.9	40.8	44.5	44.8	42.7	-4.6%	•	1.1%
Germany	89.5	84.4	88.1	80.9	81.1	85.0	73.9	77.0	84.9	89.7	88.3	-1.6%	0.1%	2.3%
Greece	4.1	3.4	3.7	4.6	4.2	3.7	2.8	3.1	4.0	4.8	4.7	-1.8%	2.2%	0.1%
Hungary	12.3	10.6	11.4	10.9	9.7	9.1	8.1	8.7	9.3	9.9	9.6	-3.3%	-2.2%	0.2%
Italy	80.9	74.3	79.1	74.2	71.4	66.7	59.0	64.3	67.5	71.6	69.2	-3.3%	-1.3%	1.8%
Netherlands	40.4	41.4	46.8	40.9	39.3	39.1	34.5	34.1	35.2	36.1	35.7	-1.1%	-0.7%	0.9%
Norway	4.3	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.3	4.5	4.4	4.6	4.5	-2.2%	0.9%	0.1%
Poland	15.6	15.1	16.2	16.5	17.4	17.4	17.0	17.1	18.3	19.2	19.7	2.9%	2.9%	0.5%
Portugal	4.8	4.8	5.2	5.3	4.6	4.3	4.1	4.8	5.1	6.3	5.9	-7.6%	3.7%	0.2%
Romania	14.1	12.3	12.5	12.9	12.5	11.4	11.0	10.4	10.5	11.2	10.9	-2.8%	-2.8%	0.3%
Spain	40.6	36.3	36.2	33.6	33.2	30.3	27.5	28.5	29.1	31.7	31.5	-0.8%	-1.5%	0.8%
Sweden	0.9	1.1	1.5	1.3	1.1	1.1	0.9	0.9	1.0	0.8	0.8	2.4%	-2.6%	•
Switzerland	2.9	2.8	3.2	2.8	3.1	3.2	2.8	3.0	3.1	3.1	3.0	-5.0%	1.3%	0.1%
Turkey	35.3	33.7	35.8	41.8	43.3	44.0	46.6	46.0	44.5	51.6	47.3	-8.3%	4.3%	1.2%
Ukraine	62.7	48.9	54.6	56.1	51.8	47.7	40.3	32.0	31.4	30.2	30.6	1.3%	-7.5%	0.8%
United Kingdom	97.8	91.2	98.5	81.9	76.9	76.3	70.1	72.0	81.2	78.8	78.9	0.1%	-1.9%	2.0%
Other Europe	34.0	29.8	33.5	32.3	30.7	30.0	27.2	28.1	28.9	30.3	30.1	-0.6%	-1.4%	0.8%
Total Europe	625.6	577.1	622.6	580.1	565.4	554.4	500.0	508.8	537.6	560.4	549.0	-2.1%	-1.0%	14.3%

Άνθρακας: Κοιτάσματα



Coal

R/P: Κοιτάσματα/Ετήσια παραγωγή

Total proved reserves at end 2018

Million tonnes	Anthracite and bituminous	Sub-bituminous and lignite	Total	Share of total	R/P ratio
Canada	4346	2236	6582	0.6%	121
Mexico	1160	51	1211	0.1%	89
US	220167	30052	250219	23.7%	365
Total North America	225673	32339	258012	24.5%	342
Brazil	1547	5049	6596	0.6%	*
Colombia	4881	—	4881	0.5%	58
Venezuela	731	—	731	0.1%	*
Other S. & Cent. America	1784	24	1808	0.2%	*
Total S. & Cent. America	8943	5073	14016	1.3%	158
Bulgaria	192	2174	2366	0.2%	78
Czech Republic	110	2547	2657	0.3%	61
Germany	3	36100	36103	3.4%	214
Greece	—	2876	2876	0.3%	79
Hungary	276	2633	2909	0.3%	368
Poland	20542	5937	26479	2.5%	216
Romania	11	280	291	*	12
Serbia	402	7112	7514	0.7%	199
Spain	868	319	1187	0.1%	433
Turkey	551	10975	11526	1.1%	139
Ukraine	32039	2336	34375	3.3%	*
United Kingdom	29	—	29	*	11
Other Europe	1109	5172	6281	0.6%	189
Total Europe	56132	78461	134593	12.8%	215

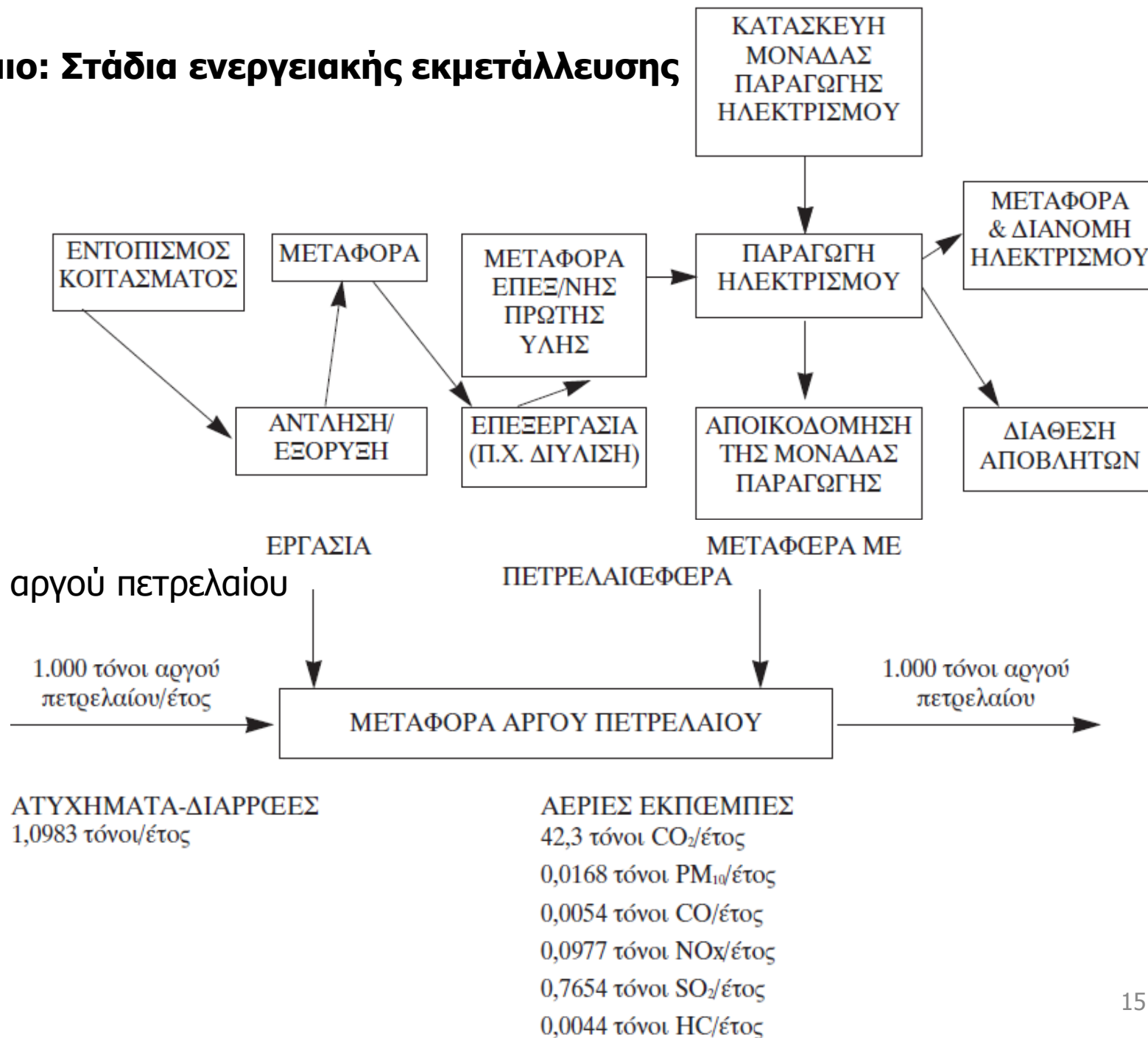
79 Χρόνια

Άνθρακας: Παραγωγή

Coal: Production*

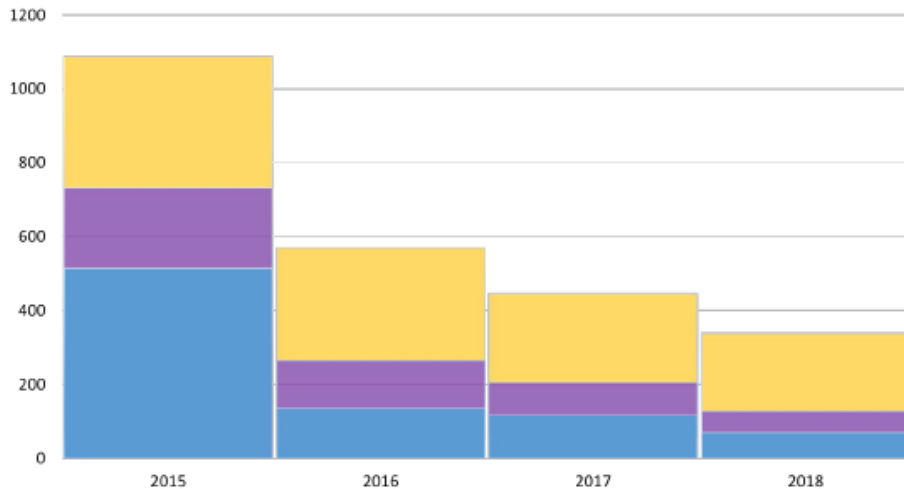
Million tonnes oil equivalent	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum		Share 2018
												2018	2007-17	
Canada	35.6	33.1	35.4	35.5	35.5	36.1	35.9	32.4	32.7	31.8	28.6	-10.3%	-1.1%	0.7%
Mexico	6.9	6.1	7.3	9.4	7.4	7.2	7.3	6.9	6.1	7.4	7.7	4.7%	0.1%	0.2%
US	566.9	513.7	523.7	528.3	491.9	475.8	482.3	426.9	348.3	371.3	364.5	-1.9%	-4.0%	9.3%
Total North America	609.4	552.9	566.4	573.1	534.9	519.1	525.5	466.1	387.1	410.6	400.7	-2.4%	-3.7%	10.2%
Brazil	2.9	2.6	2.3	2.4	2.6	3.3	3.3	2.6	2.4	1.9	1.2	-37.4%	-2.7%	•
Colombia	50.5	50.0	51.1	58.9	61.2	58.7	60.8	58.8	62.2	62.2	57.9	-6.9%	2.6%	1.5%
Venezuela	3.7	2.4	1.9	1.9	1.4	0.9	0.6	0.6	0.3	0.3	0.2	-49.8%	-23.8%	•
Other S. & Cent. America	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	1.7	3.0	2.3	2.0	1.2	1.1	-10.9%	16.8%	•
Total S. & Cent. America	57.4	55.4	55.7	63.7	65.6	64.7	67.6	64.2	66.8	65.6	60.4	-8.1%	1.6%	1.5%
Bulgaria	4.9	4.6	4.9	6.2	5.6	4.8	5.1	5.9	5.1	5.7	5.2	-8.4%	1.7%	0.1%
Czech Republic	22.8	20.9	20.8	21.0	20.3	17.8	17.0	16.9	16.1	15.3	14.6	-4.2%	-4.3%	0.4%
Germany	50.1	46.4	45.9	46.7	47.8	45.1	44.1	42.8	39.6	39.4	37.6	-4.6%	-3.2%	1.0%
Greece	8.1	8.2	7.3	7.5	8.0	6.7	6.4	5.7	4.0	4.6	4.4	-3.3%	-5.9%	0.1%
Hungary	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	-0.8%	-3.2%	•
Poland	60.9	56.4	55.4	55.7	57.8	57.2	54.0	53.0	52.1	49.8	47.5	-4.5%	-2.2%	1.2%
Romania	7.0	6.6	5.9	6.7	6.3	4.7	4.4	4.7	4.2	4.5	4.1	-7.9%	-4.2%	0.1%
Serbia	7.5	7.4	7.2	7.8	7.3	7.7	5.7	7.2	7.3	7.3	6.9	-5.5%	0.1%	0.2%
Spain	4.4	3.8	3.3	2.6	2.5	1.8	1.6	1.2	0.7	1.1	1.1	-6.8%	-15.2%	•
Turkey	16.7	17.4	17.5	17.9	17.0	15.5	16.4	12.8	15.5	15.1	17.0	13.0%	0.2%	0.4%
Ukraine	34.4	31.8	31.8	36.3	38.0	36.6	25.9	16.4	17.1	14.4	14.5	0.8%	-8.2%	0.4%
United Kingdom	11.3	11.0	11.4	11.5	10.6	8.0	7.3	5.4	2.6	1.9	1.6	-15.1%	-15.7%	•
Other Europe	15.3	15.5	15.8	15.7	14.0	16.4	15.1	13.7	12.8	12.9	14.1	9.0%	-1.6%	0.4%
Total Europe	244.9	231.5	228.9	237.4	236.9	223.7	204.7	187.2	178.6	173.3	170.0	-1.9%	-3.6%	4.3%

Πετρέλαιο: Στάδια ενεργειακής εκμετάλλευσης



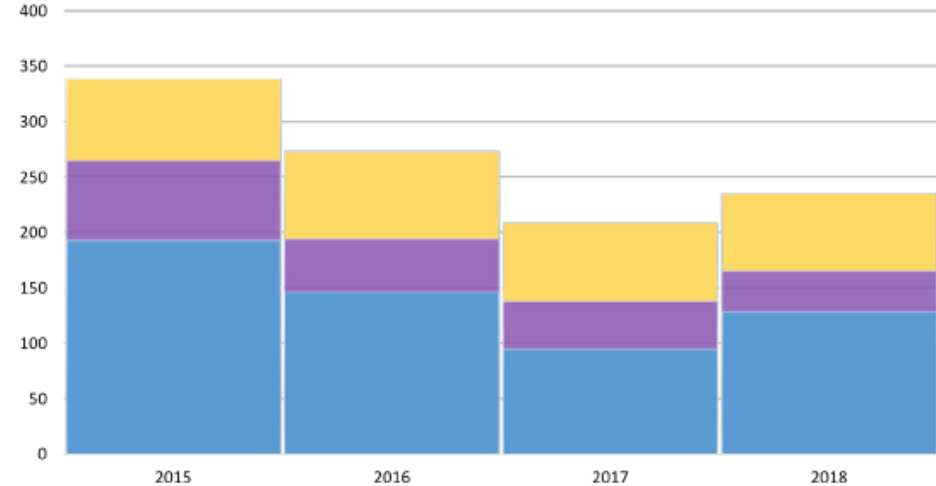
Μείωση προβλεπόμενων νέων ΑΗΣ-Α από 1.090 GW το 2015 σε 339 GW το 2018

China = blue, India = purple, Other = yellow



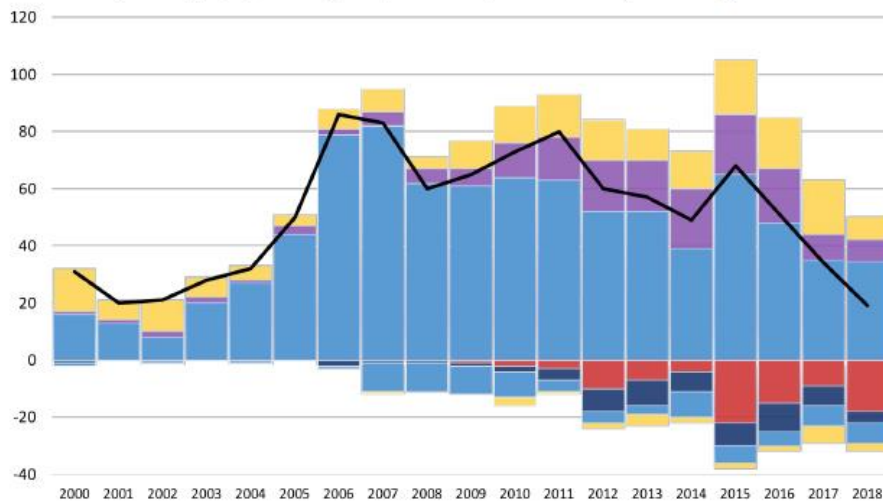
Αύξηση των ΑΗΣ-Α που κατασκευάζονται στην Κίνα το 2018

China = blue, India = purple, Other = yellow



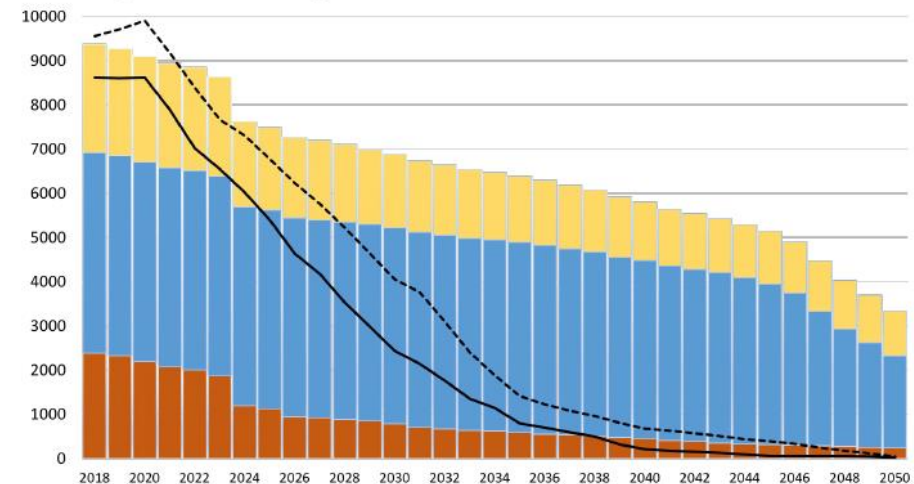
Νέες κατασκευές και οριστική διακοπή λειτουργίας ΑΗΣ-Α από το 2000 ως το 2018

China = blue, India = purple, Other = yellow, USA = red, EU = dark blue, Net change = black line



Απαιτούμενη μείωση λειτουργίας ΑΗΣ-Α για κάλυψη στόχων συμφωνίας Παρισιού

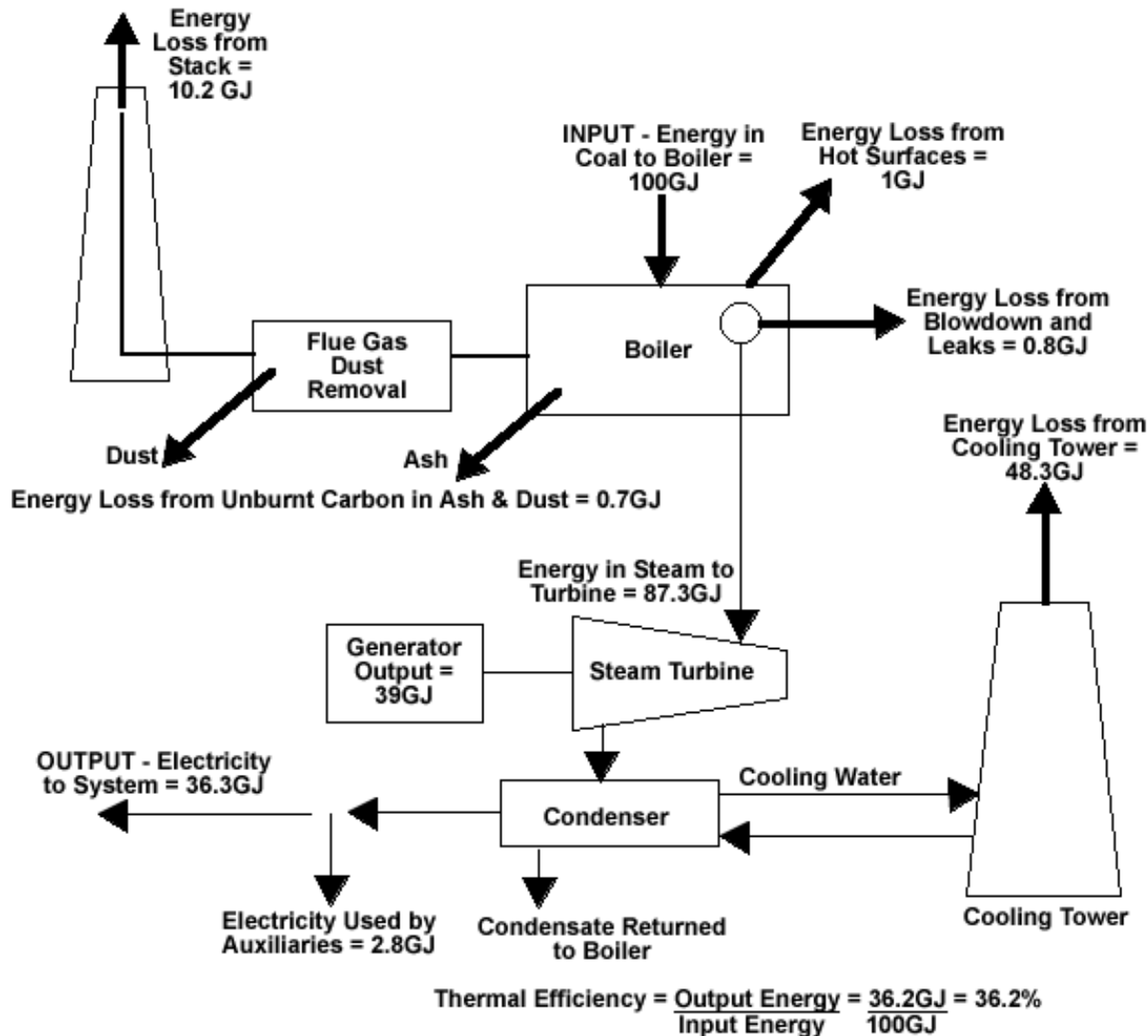
OECD = orange, China = blue, Other = yellow, 1.5°C = solid line, 2°C = dotted line



Διεργασίες παραγωγής Η.Ε. σε τυπική μονάδα με καύσιμο λιγνίτη

- Ο εξορυσσόμενος λιγνίτης μεταφέρεται με μεταφορικές ταινίες στη μονάδα θραύσης
- Θραύεται πρωτογενώς και μεταφέρεται στη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής
- Λειοτριβείται σε λεπτομερές μέγεθος τεμαχίων
- Ο λειοτριβημένος λιγνίτης αναμειγνύεται με αέρα και εισάγεται στο θάλαμο καύσης όπου καίγεται προς παραγωγή θερμότητας (μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμότητα)
- Μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού αντλούνται και κυκλοφορούν σε σωληνώσεις μέσα στο θάλαμο καύσης
- Το νερό προσλαμβάνει την εκλυόμενη θερμότητα από την καύση και μετατρέπεται σε υπέρθερμο και υψηλής πίεσης ατμό
- Ο ατμός οδηγείται με σωληνώσεις σε ατμοστροβίλους που μετατρέπουν την ενέργεια του ατμού σε κινητική ενέργεια
- Η κινητική ενέργεια του ατμοστροβίλου παράγει, με τη βοήθεια μιας γεννήτριας, ηλεκτρική ενέργεια
- Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε υψηλής τάσης Η.Ε. και οδηγείται στο σύστημα μεταφοράς
- Η τάση της Η.Ε. υποβιβάζεται όταν φθάσει κοντά στους καταναλωτές και διανέμεται στους χρήστες
- Ο θερμός ατμός των ατμοστροβίλων οδηγείται στο κύκλωμα συμπύκνωσης και επιστρέφει με τη μορφή νερού στο κύκλωμα ατμοποίησης του θαλάμου καύσης
- Το νερό ψύξης του θερμού ατμού επιστροφής των αεριοστροβίλων θερμαίνεται και αυτό και αφού περάσει από εναλλάκτες θερμότητας επιστρέφει στη λίμνη από την οποία αντλήθηκε έχοντας αυξημένη θερμοκρασία.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Η.Ε. ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΛΙΓΝΙΤΗ



ENERGY BALANCE IN A TYPICAL COAL FIRED POWER STATION
For an Input Energy of 100 Giga Joules (GJ)

Πυκνότητα ισχύος πηγών ενέργειας

Ο όρος «πυκνότητα ισχύος» εκφράζει την πυκνότητα του ενεργειακού περιεχόμενου μιας πηγής ενέργειας. Στα στερεά, υγρά και αέρια ορυκτά καύσιμα το ενεργειακό περιεχόμενό τους εκφράζεται ανά μονάδα μάζας ή όγκου και ορίζεται ως θερμογόνος δύναμη.

Για τα ορυκτά καύσιμα η θερμογόνος δύναμη ορίζεται ως η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση της μονάδας μάζας ή όγκου του καυσίμου που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες.

- Ανωτέρα θερμογόνος δύναμη

Όταν στα προϊόντα καύσης το νερό, ως προϊόν καύσης, βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, δεν έχει απορροφήσει δηλαδή μέρος από την εκλυόμενη θερμότητα καύσης ως λανθάνουσα θερμότητα, για να εξατμιστεί, η θερμογόνος δύναμη ονομάζεται ανωτέρα.

- Κατωτέρα θερμογόνος δύναμη

Όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (υδρατμοί), τότε έχει απορροφήσει μέρος από την εκλυόμενη θερμότητα καύσης και η θερμογόνος δύναμη, που έχει, κατά συνέπεια, μικρότερη τιμή από αυτή της ανωτέρας, ονομάζεται κατωτέρα θερμογόνος δύναμη.

Συνήθως στους ενεργειακούς υπολογισμούς χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

Πίνακας 1.10: Θερμογόνος δύναμη καυσίμων.

Καύσιμο	Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα		Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα	
λιγνίτης	19.700	kJ/kg	5,47	kWh/kg
μαζούτ	40.600	kJ/kg	11,28	kWh/kg
ντίζελ ηλεκτρικής ενέργειας	35.200	kJ/lit	9,78	kWh/lit
ντίζελ θέρμανσης	36.250	kJ/lit	10,07	kWh/lit
βενζίνη	29.900	kJ/lit	8,31	kWh/lit
υγραέριο (60% C ₃ H ₈ - 40% C ₄ H ₁₀)	26.800	kJ/lit	7,44	kWh/lit
φυσικό αέριο (με 93% CH ₄)	40.200	kJ/m ³	11,17	kWh/m ³
ξύλο (με 0% υγρασία)	18.800	kJ/kg	5,22	kWh/kg
συσσωματώματα βιομάζας (pellets)	20.900	kJ/kg	5,79	kWh/kg

Κατσαπρακάκης, 2015
www.kallipos.gr

Ανώτερη θερμογόνοος δύναμη του ελληνικού λιγνίτη

- Για το θεωρητικό υπολογισμό της ΑΘΔ (HHV) του λιγνίτη λαμβάνεται υπόψη η θερμική ενέργεια που παράγει η πλήρης καύση (εξώθερμη αντίδραση) του C προς CO₂, που είναι - **94030 cal/mol** = **-393.5 kJ/mol**.
- $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$ **(-94.03 kcal/mol)**
- Το αρνητικό πρόσημο (**-94.03 kcal/mol**) της αντίδρασης σημαίνει ότι κατά την καύση εκλύεται θερμότητα, δηλαδή η αντίδραση είναι έντονα εξώθερμη.
- Άρα, από την καύση 12 g (1 mole) άνθρακα προκύπτει ενέργεια: $(94030/12) = (7835.8 \text{ cal/g C}) = \mathbf{32.79 \text{ kJ / g C}}$ (υπό μορφή CO₂).
- Επειδή όμως ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας περιέχει μόνο 19% C (Μετρίκνης, 1997), η θερμογόνοος δύναμή του είναι περίπου:
- $7835.8 \text{ cal/g C} \times 0.19 \times 0.9814 = 1461.1 \text{ cal/g ή}$
- **1461.1 kcal/kg λιγνίτη (ΑΘΔ) ή 6.12 MJ/kg λιγνίτη Πτολεμαΐδας**, όπου 98.14% είναι το ποσοστό του οξειδούμενου άνθρακα.

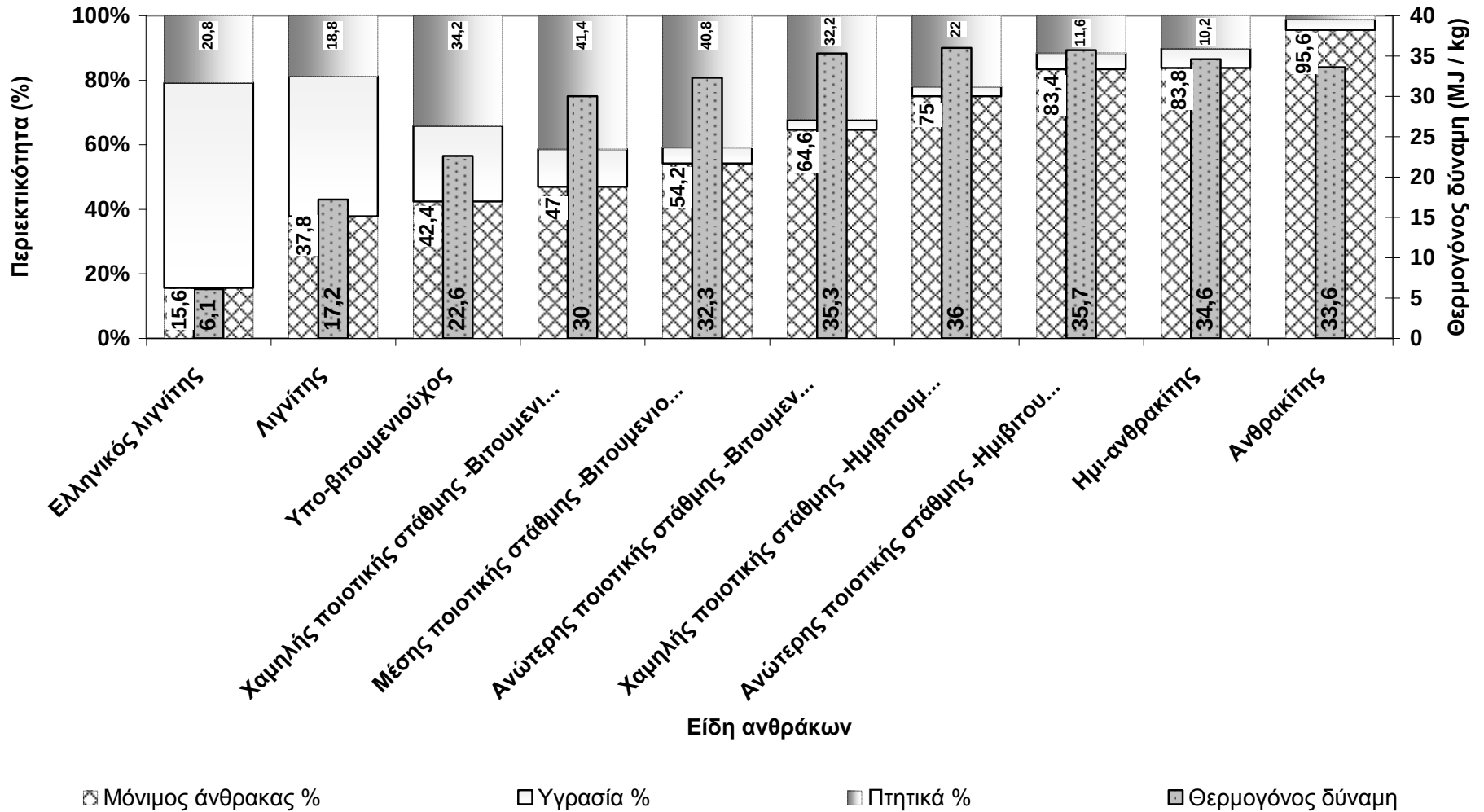
Εξίσωση προσδιορισμού θερμογόνου δύναμης ανθράκων

- Για τον υπολογισμό της Α.Θ.Δ. των ανθράκων έχουν προταθεί εξισώσεις οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις επί τοις % (στοιχειακές) περιεκτικότητες των ορυκτών ανθράκων σε C, H, O, S και N όπως επίσης και την % περιεκτικότητά τους Α σε ανόργανες ύλες (τέφρα) επί ξηρού.
- Μια τέτοια εξίσωση (Channiwala, 1992) είναι η παρακάτω:
- **$HHV \text{ (kJ/g καυσίμου)} = 0.3491 * C + 1.1783 * H - 0.1034 * O - 0.0211 * A + 0.1005 * S - 0.0151 * N$**
- Όπου C, H, O, S, N και A είναι οι % περιεκτικότητες σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, θείο, άζωτο και τέφρα επί ξηρού, αντιστοίχως.

Εξίσωση προσδιορισμού θερμογόνου δύναμης ανθράκων

- Για το λιγνίτη περιοχής Πτολεμαΐδας με υγρασία 55% και ξηρό υλικό 45% και για τα δεδομένα C=44.2%, H=3.5%, O=20.6%, S+N=1.7% και A=30% (Καβουρίδης & Νικολαΐδης, 1997), εφαρμόζοντας την εξίσωση 1 η Α.Θ.Δ. υπολογίζεται:
- **16.95 kJ/g = 4.048 kcal/g ή 4048 kcal/kg**
- Επειδή όμως ανά kg λιγνίτη υπάρχει και υγρασία (0.550 kg) που θα εξατμιστεί κατά την καύση του, η θερμογόνος δύναμη που υπολογίστηκε είναι μικρότερη κατά τη θερμότητα βρασμού και εξάτμισης του νερού.
- Οπότε, η **θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη Πτολεμαΐδας (επί ξηρού)** είναι:
4048 x 0.45 = 342.8 kcal (θερμότητα βρασμού+εξάτμισης νερού) = 1478.8 kcal/kg περίπου.
- Διαφορά (%) μεταξύ των δύο τιμών **Υ-Θ = 1.2%**

Διάγραμμα κατάταξης ανθράκων



Φλώρινα 330 MW
Σε λειτουργία
από τον Ιούνιο 2003

Κομοτηνή 485 MW
Σταθμός Συνδυασμένου Κύκλου
Λειτουργεί από Ιούνιο 2002

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
22 Σταθμοί Παραγωγής
3.060 MW

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
Υπό κατασκευή
170 MW

Δυτική Μακεδονία
5 Σταθμοί Παραγωγής
4.108 MW

**Αυτόνομο σύστημα
των Νησιών**
36 Σταθμοί Παραγωγής
574 MW
Σταθμοί Εναλλακτικών
Μορφών Ενέργειας
15 MW

Μεγαλόπολη
2 Σταθμοί Παραγωγής
850 MW

Εύβοια
1 Σταθμός Παραγωγής
300 MW
1 Αιολικό Πάρκο
5 MW

Κρήτη
Σταθμός Παραγωγής
185 MW
(Υπό κατασκευή)

 **ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**
 **ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**
* 43 MW το 2002

Κρήτη
2 Σταθμοί Παραγωγής 572 MW*
Σταθμοί Εναλλακτικών
Μορφών Ενέργειας
17 MW
2 ΥΗΣ: 1 MW

Ρόδος
1 Σταθμός Παραγωγής
208 MW

Αττική
2 σταθμοί παραγωγής
1.547 MW

Θερμογόνος Δύναμη και Παραγωγή Ρύπων συμβατικών καυσίμων

Καύσιμο	ΘΔ όπως δίνεται συνήθως		Ρύποι %		
	<i>Μικτή</i>	<i>Καθαρή</i>	<i>Θείο</i>	<i>Νερό</i>	<i>Τέφρα</i>
Άνθρακας	30.6 MJ/kg	29.7 MJ/kg	1.2	10.0	8.0
Υπολείμματα ξύλου	15.8 MJ/kg	14.4 MJ/kg	0.4	15	ΐχνος
Μαζούτ	41.2 MJ/litre	38.9 MJ/litre	2.0	0.3	0.04
Βενζίνη	38.3 MJ/litre	36.0 MJ/litre	0.15	0.05	0.01
Φυσικό αέριο	38.0 MJ/m ³	34.2 MJ/m ³	-	ΐχνος	-
Βιοαέριο	20.0 MJ/m ³	18.0 MJ/m ³	ΐχνος	ΐχνος	-
Αέρια ορυχείων	21.0 MJ/m ³	18.9 MJ/m ³	ΐχνος	5.0	-

Πηγή ΚΑΠΕ

Ενεργειακή ένταση συμβατικών ενεργειακών καυσίμων

- Η ενεργειακή ένταση καυσίμων εκφράζεται σε g C/MJ κατώτερης θερμογόνου δύναμης καυσίμου (LHV, lower heating value) και εξαρτάται από το είδος και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου (χημική σύσταση, ποσοστό μόνιμου άνθρακα, υγρασία, άλλα ανόργανα συστατικά κλπ.).
- Η ενεργειακή ένταση των καυσίμων υπολογίζεται από την αντίδραση πλήρους καύσης του καυσίμου, αφού ληφθεί υπόψη η λανθάνουσα θερμότητα που χάνεται στο περιβάλλον (νερό υπό μορφή υδρατμών). Οι παγκόσμιες αλλά και οι εθνικές ετήσιες εκπομπές άνθρακα στην ατμόσφαιρα από την κατανάλωση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια της ενεργειακής έντασης κάθε συμβατικού καυσίμου και από την παγκόσμια ή εθνική κατανάλωσή τους.
- Η ποσότητα του άνθρακα, που εκλύεται υπό μορφή CO₂ ανά μονάδα ενέργειας, που παραλαμβάνεται από το καύσιμο καλείται *ένταση σε άνθρακα* του καυσίμου ή *ενεργειακή ένταση* του καυσίμου.
- Πολλά καύσιμα, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, έχουν σημαντική ένταση σε άνθρακα, ενώ άλλα, όπως τα πυρηνικά και το νερό (υδροηλεκτρική ενέργεια), είναι «απαλλαγμένα» από εκπομπές άνθρακα.

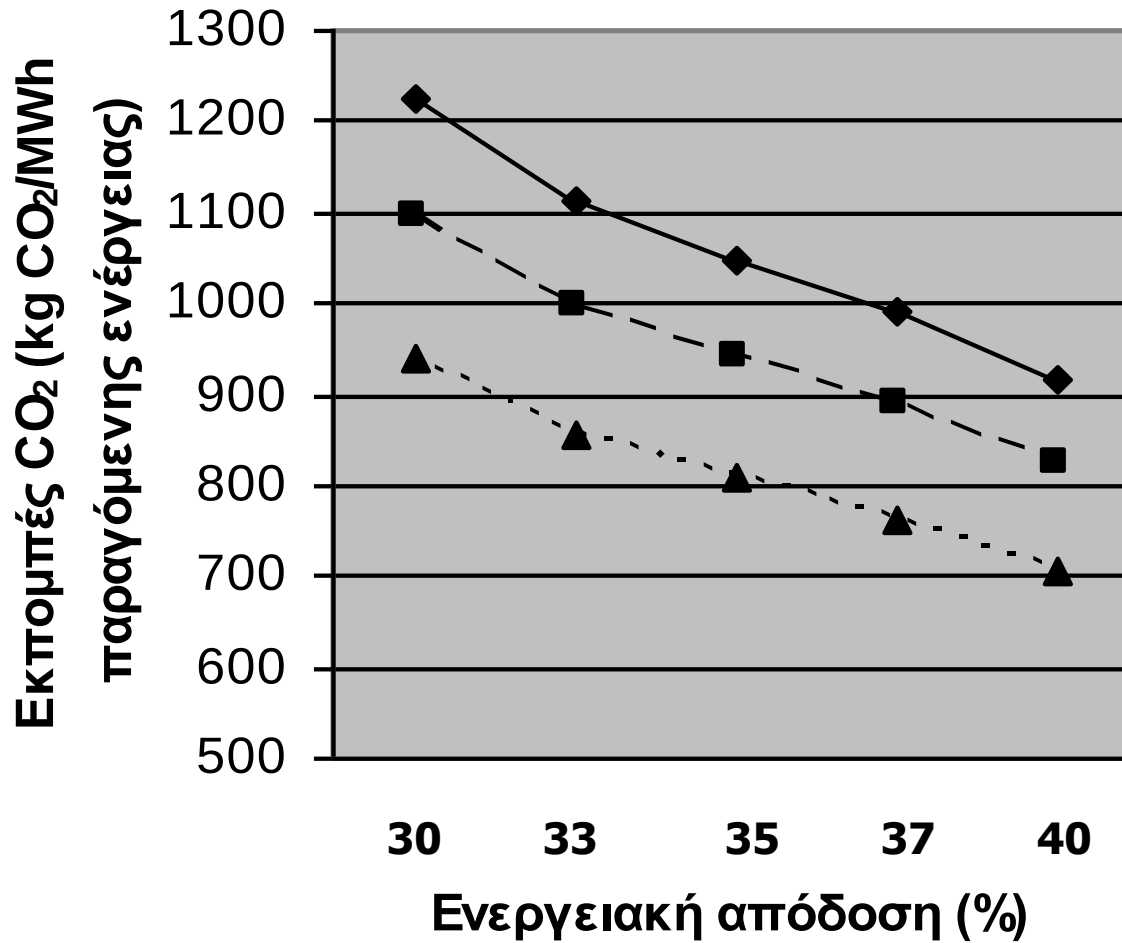
Ενεργειακή ένταση συμβατικών ενεργειακών καυσίμων

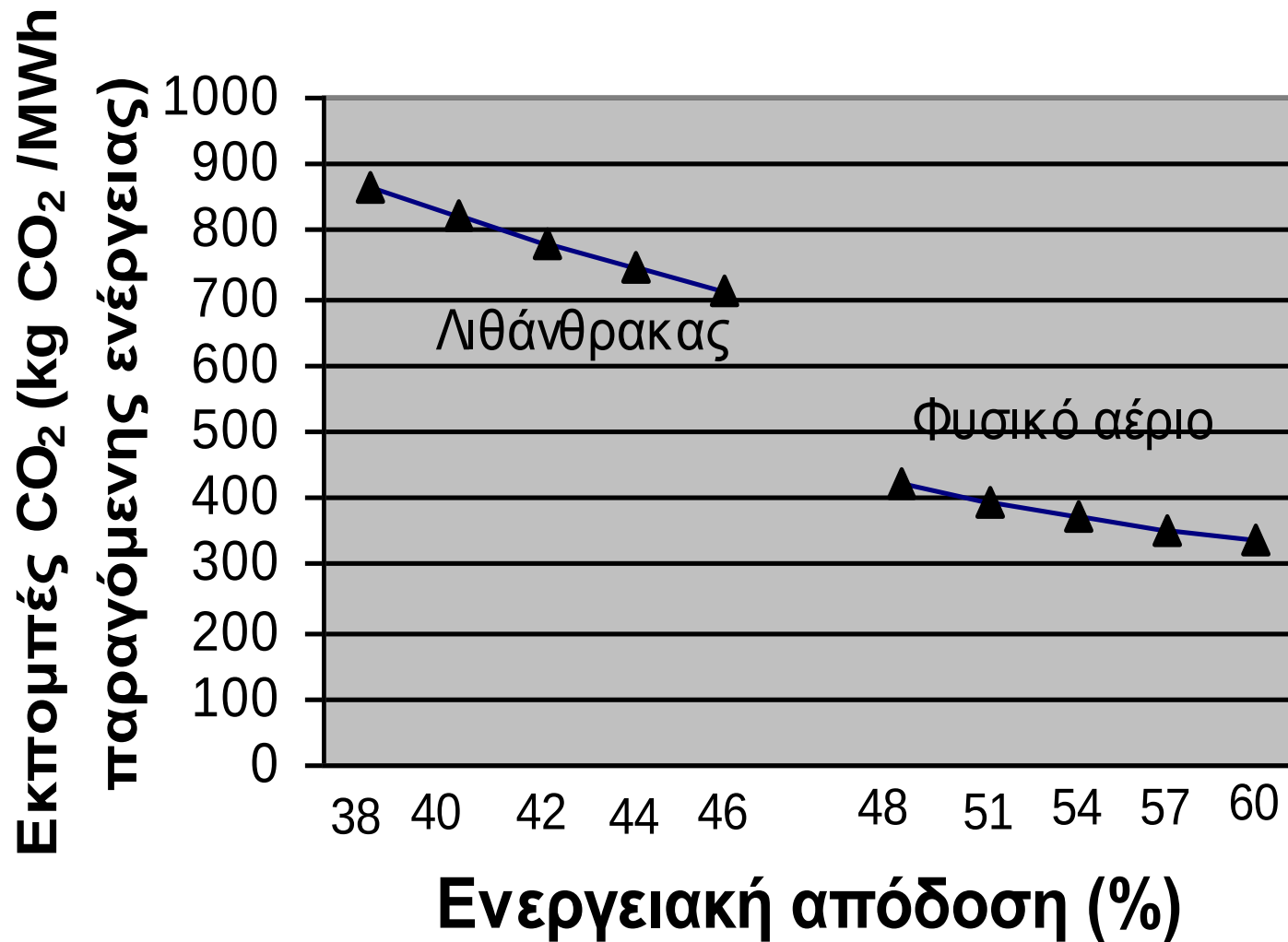
Καύσιμο	Ενεργειακή ένταση καυσίμου (ΑΘΔ) g C/MJ	Ενεργειακή ένταση καυσίμου (ΚΘΔ) g C/MJ (Α)	Εκπομπές CO₂ kg / MJ καυσίμου πολλαπλασιασμός του (Α) με (44/12 = 3.67)
Φυσικό αέριο	13.5	15.3	56.2
Πετρέλαιο Diesel	19.7	20.0	73.4
Άνθρακας	24.2	25.8	94.7
Ελληνικός λιγνίτης	37.1	39.5	145.0
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας + Πυρηνική Ενέργεια	0	0	0

Μέση ετήσια αύξηση συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα σε Gt C / έτος

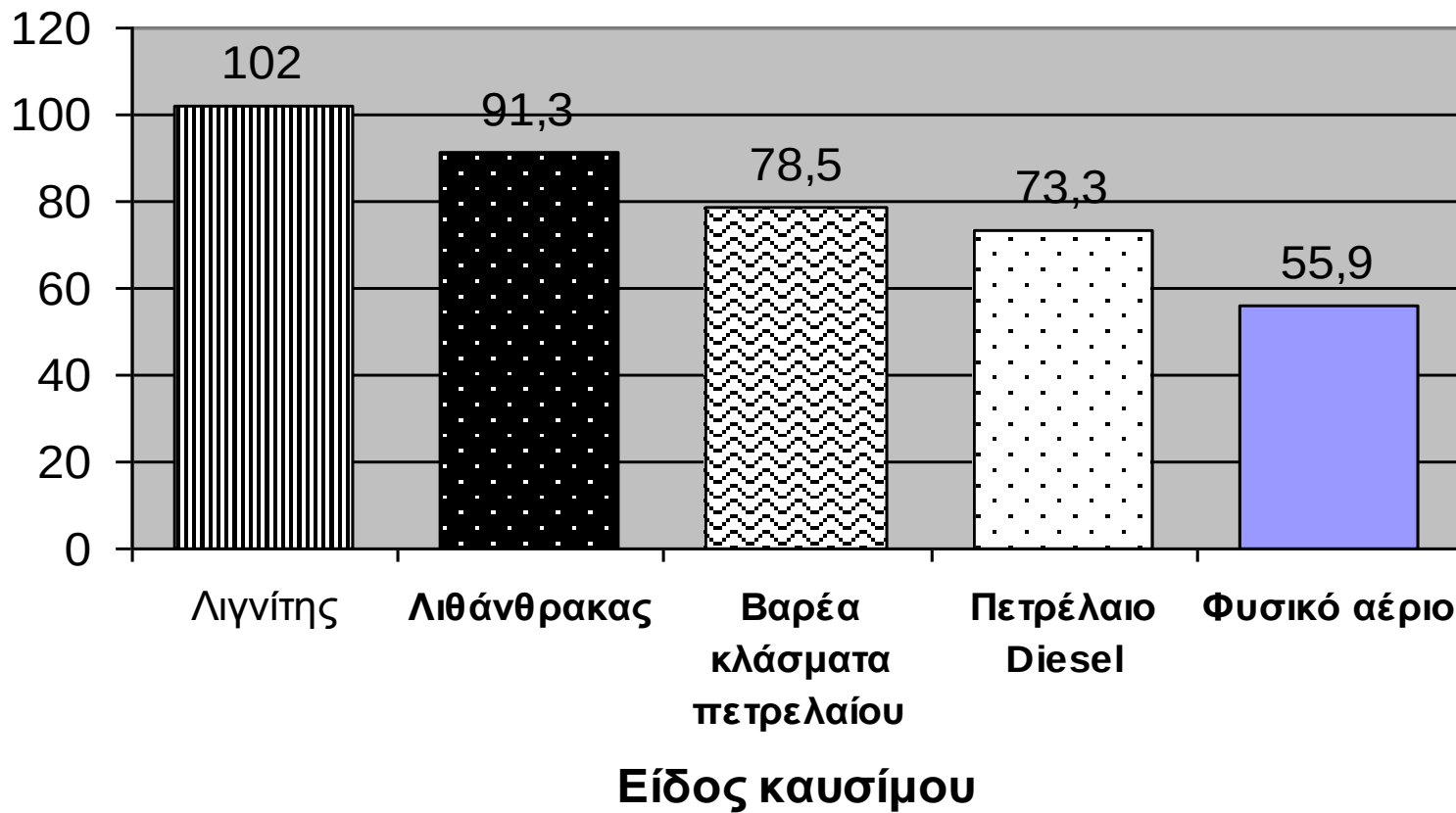
Πηγές Εκπομπών CO₂ • Εκπομπές στην ατμόσφαιρα από την παραγωγή ενέργειας και την τσιμεντοβιομηχανία • Εκπομπές από τη αλλαγή χρήσεων γης (αποψίλωση δασών, πυρκαγιές κ.α.)	Διαφορές (Gt C / έτος)	5.5 ± 0.5 Gt C / έτος 1.6 ± 1.0 Gt C / έτος
Καθαρές ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές		7.1 ± 1.1 Gt C / έτος
Διακίνηση CO₂ μεταξύ των διαφόρων αποδεκτών (Ατμόσφαιρα ξηρά, θάλασσα) • Απορρόφηση μείον απελευθέρωση από τους ωκεανούς • Απορρόφηση για την ανάπτυξη των δασών του βόρειου ημισφαιρίου (φωτοσύνθεση) • Καθιζήσεις στην ξηρά	 92-90 0.5 61.3-60	 2.0 ± 0.8 Gt C / έτος 0.5 ± 0.5 Gt C / έτος 1.3 ± 0.5 Gt C / έτος
Καθαρή αύξηση CO₂ στην ατμόσφαιρα		3.3 ± 0.2 Gt C / έτος

—◆— Λιγνίτης —■— Λιθάνθρακας ···▲··· Πετρέλαιο





Εκπομπές CO₂ (kg CO₂ ανά GJ
εισαγόμενης ενέργειας)



Συγκεντρωτικές εκπομπές CO₂ και ρύπων από θερμικές μονάδες ΔΕΗ (πετρελαϊκές και λιγνιτικές) (ΔΕΗ 2009)

	ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	ΛΙΓΝΙΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
	(kg/MWh)	
CO ₂	860	1346
NO _x	1.3	2.3
SO ₂	10.2	2.8
PM	0.4	1

Εκπομπές CO₂ και ρύπων καυστήρα πετρελαίου

Εκπομπές ρύπων καυστήρα πετρελαίου (g/GJ)			
CO ₂	SO ₂	NO _x	PM
78000	320	110	37

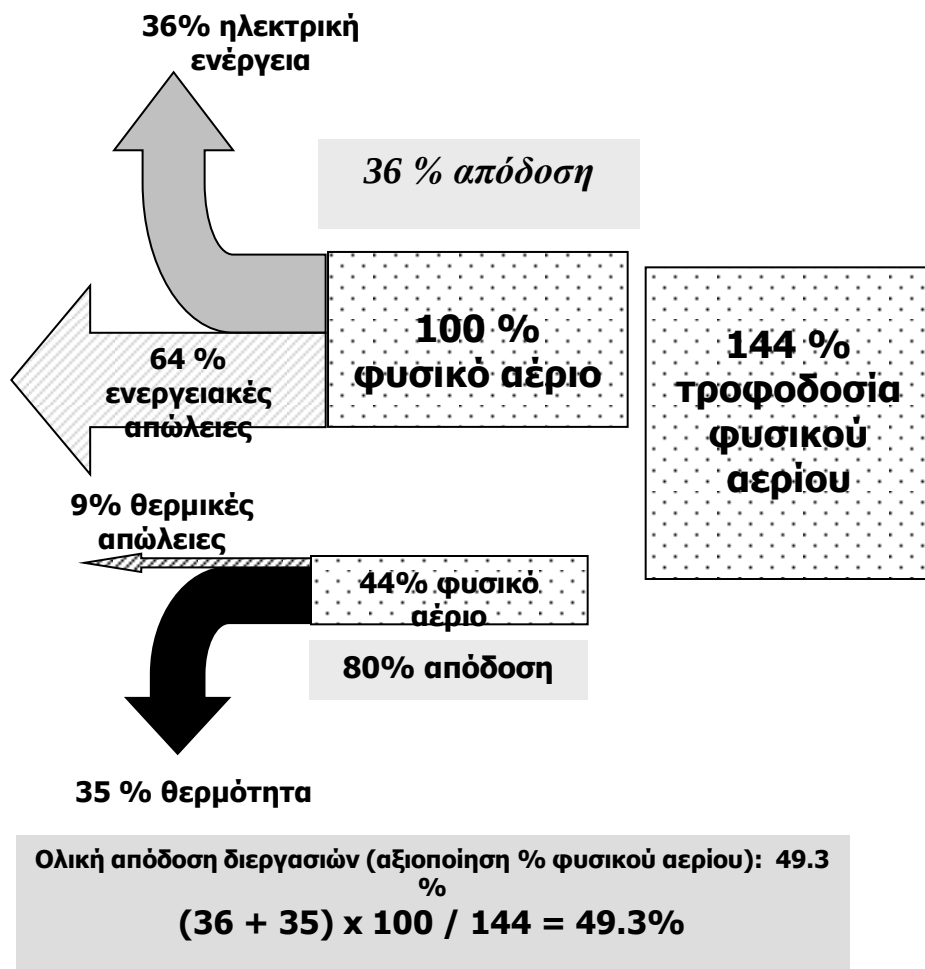
Πίνακας 9 Συγκεντρώσεις βάρους ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
(g/MWh) από καύση Φ/Α

Φυσικό Αέριο

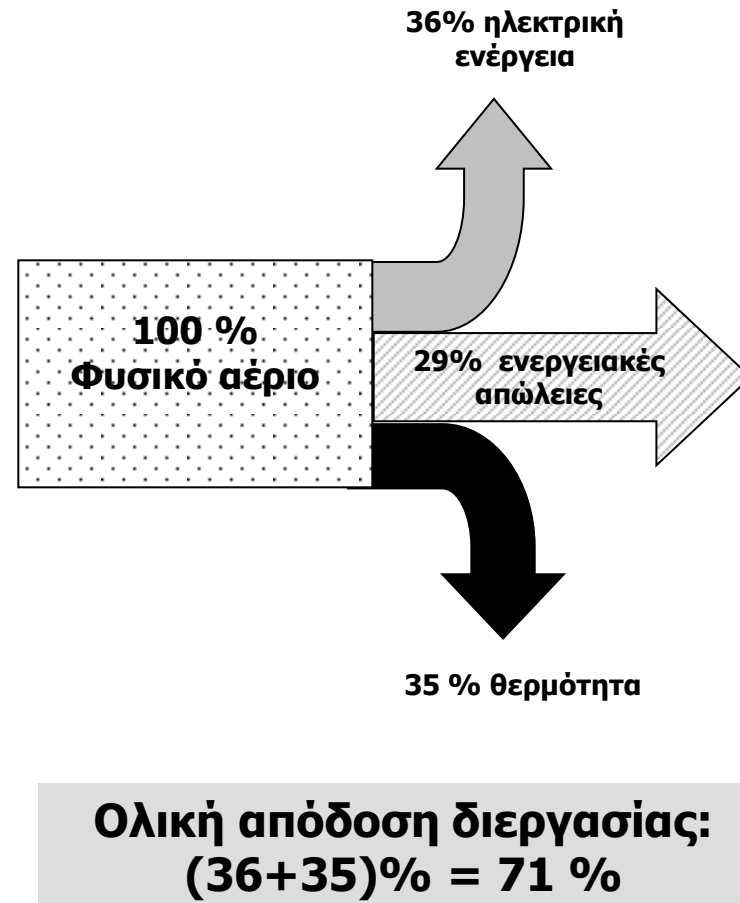
Είδος ρυπαντή	(g/MWh)
NO _x	822
CO ₂	858.000

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

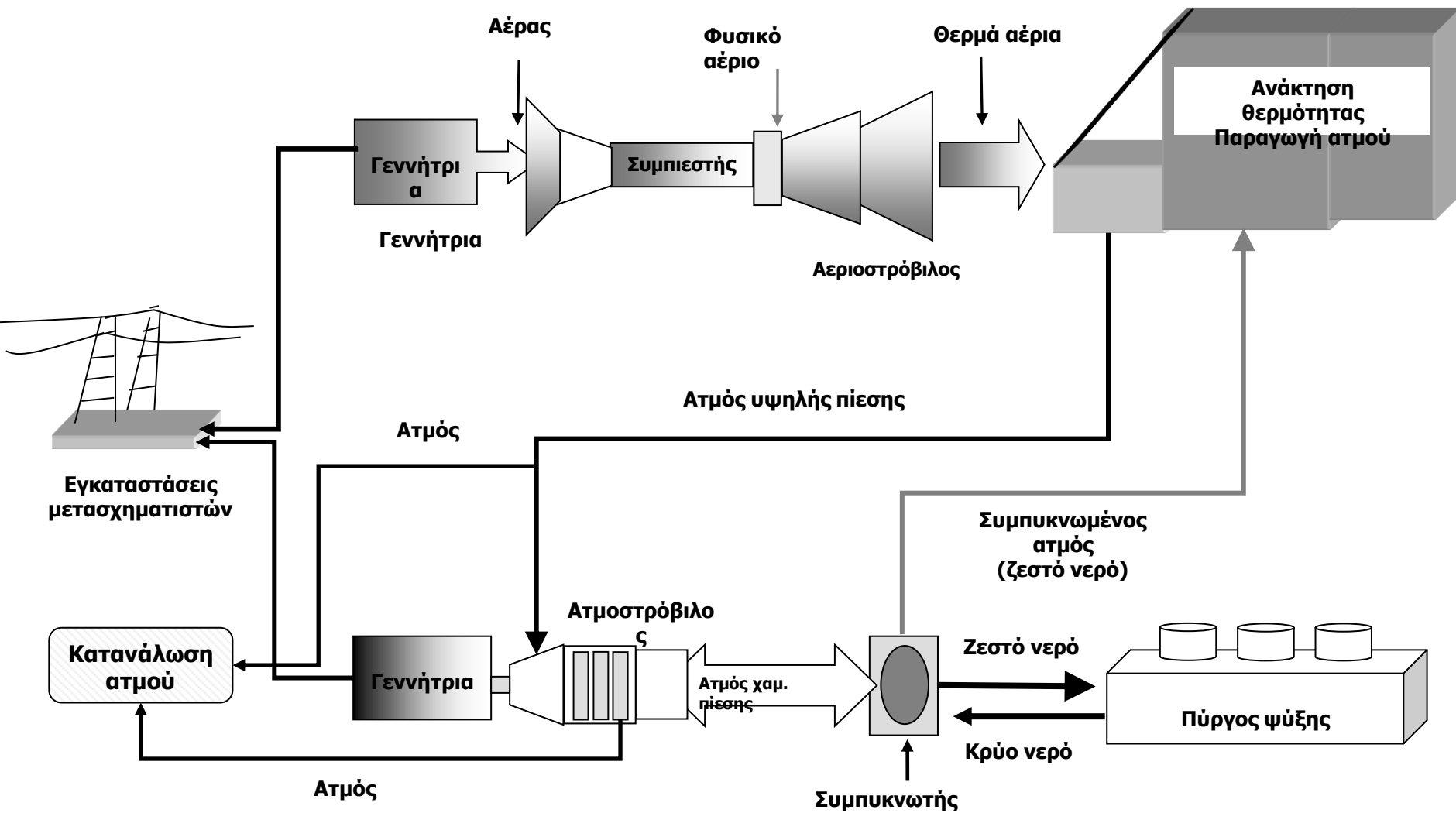
Χωριστή παραγωγή Η.Ε. & θερμότητας



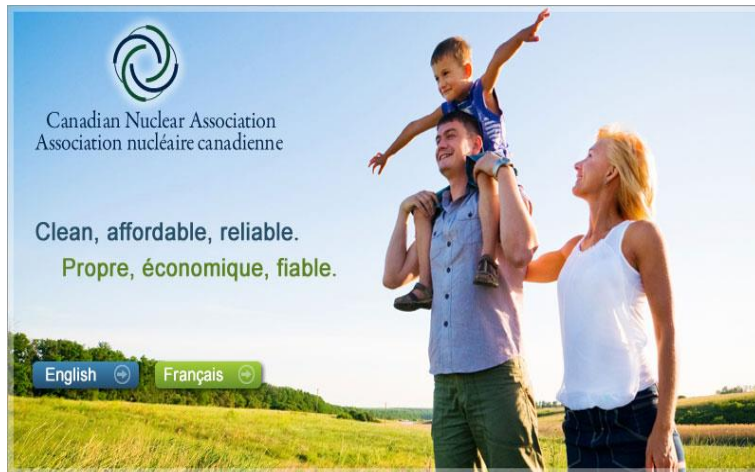
Συμπαράγωγή



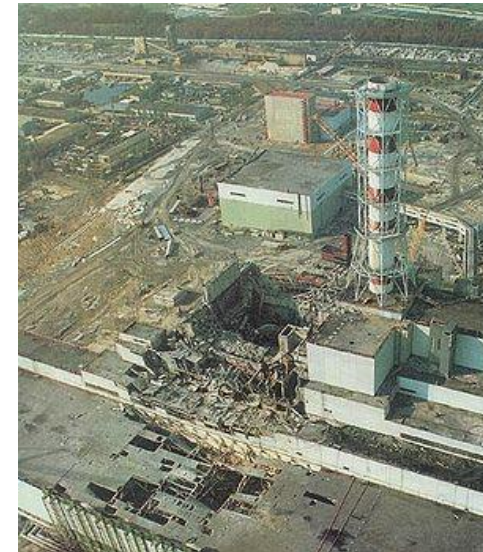
Μεθοδος συμπαραγωγής Η.Ε. και θερμότητας (cogeneration, CHP)



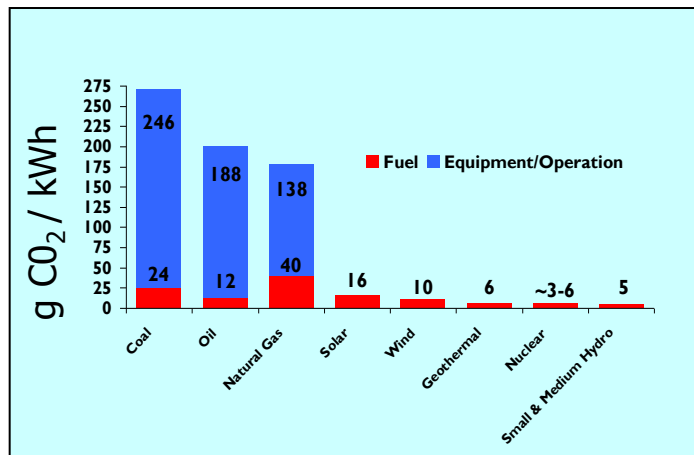
Πυρηνική Ενέργεια



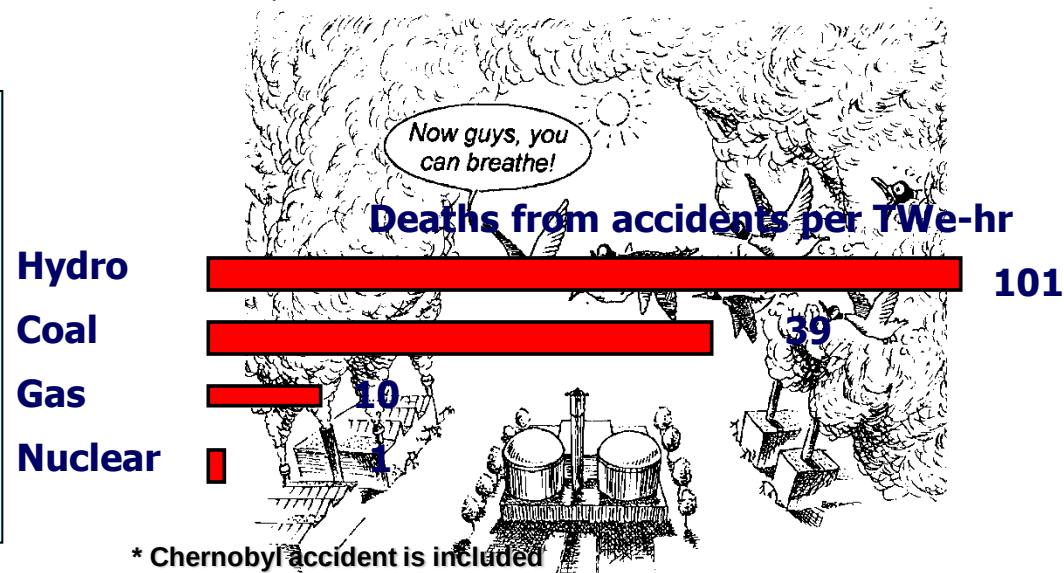
www.cna.ca



http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster



Source: CRIEPI/Japan



Βασικές Έννοιες (1/2)

1. Νουκλίδιο: Οποιοδήποτε πυρηνικό είδος με συγκεκριμένο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων
Νουκλεόνιο: πρωτόνιο ή νετρόνιο, Μαζικός Αριθμός = A = αριθμός νουκλεονίων = $N+Z$
Ατομικός Αριθμός = Z = αριθμός πρωτονίων

2. Ισότοπα: ίδιο Z , διαφορετικό A

12	13	14
C	C	C
6	6	6

3. Ισοβαρή: ίδιο A , διαφορετικό Z

140	140	140	140
Cs	Ba	La	Ce
55	56	57	58

4. Ισότονα: ίδιο N , διαφορετικό A

14	15	16
C	N	O
6	7	8

5. Ατομική Μονάδα Μάζας (amu): $1 \text{ amu} = 1/12$ της μάζας του ^{12}C

6. Μάζες ατομικών σωματίων

$M_p = 1.00783 \text{ amu}$ = μάζα πρωτονίου

$M_n = 1.00867 \text{ amu}$ = μάζα νετρονίου

$M_e = 0.000547860 \text{ amu}$ = μάζα ηλεκτρονίου

Βασικές Έννοιες (2/2)

7. Μονάδες ραδιενέργειας

$$\text{curie (ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ διασπάσεις / δευτερόλεπτο} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

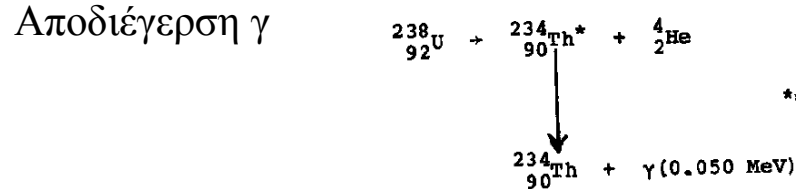
$$\text{millicurie (mci)} = 10^{-3} \text{ ci}$$

$$\text{microcurie (}\mu\text{ci)} = 10^{-6} \text{ ci}$$

8. Τρόποι Ραδιενεργών Αποδιεγέρσεων

$$\text{Αποδιέγερση-}\alpha \quad {}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He} + Q \quad Q=4.28 \text{ MeV}, E_\alpha=234/238 \times 4.28 \text{ MeV} = 4.21 \text{ MeV}$$

$$\text{Αποδιέγερση } \beta \text{ και σύλληψη ηλεκτρονίου} \quad {}_{49}^{116}\text{In} \rightarrow {}_{50}^{116}\text{Sn} + {}_{-1}^0\beta \quad Q_\beta=3.35 \text{ MeV}, E_\beta=0 \text{ έως } Q_\beta$$



9. Νόμος ραδιενεργού αποδιέγερσης

Ραδιενέργεια $A = \text{σταθερά αποδιέγερσης } \lambda \times \text{αριθμό πυρήνων } N$

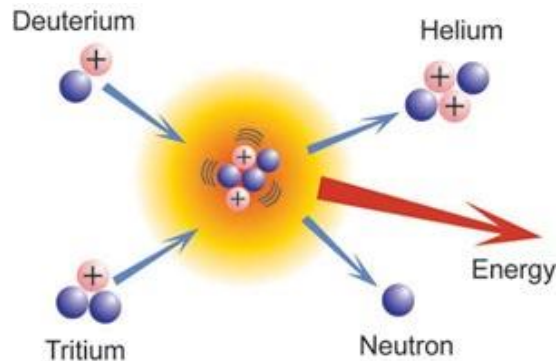
$$\text{ή } \frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \text{ή } N_t = N_o e^{-\lambda t}$$

$$\text{Για } A_t = 0.5 A_o \rightarrow t = t_{1/2} \text{ (χρόνος ημιζωής)}$$

Αντιδράσεις Παραγωγής Πυρηνικής Ενέργειας

Πυρηνική Σύντηξη

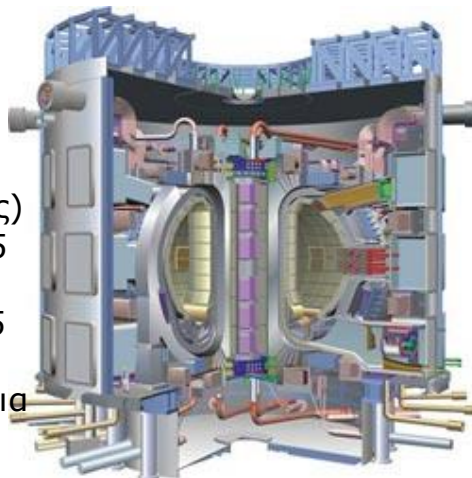
Η ενέργεια σύντηξης προκύπτει όταν δύο ελαφροί πυρήνες ενώνονται για το σχηματισμό άλλων πυρήνων, σωματιδίων και την ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας.



Από το 1950, οι προσπάθειες παραγωγής ενέργειας σύντηξης

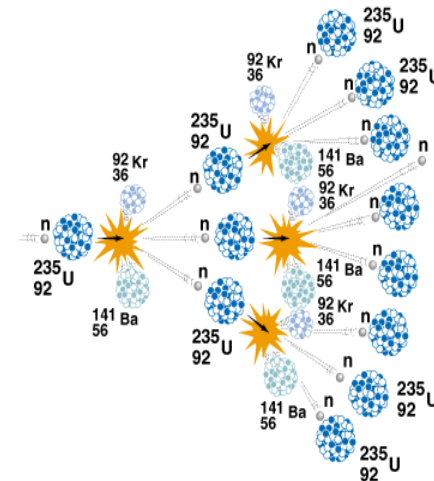
Πρόγραμμα ITER

Ισχύος 500 MW (10 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για τον περιορισμό του πλάσματος σε υψηλές θερμοκρασίες)
Κόστος Κατασκευής (10 χρόνια): 5 G€
Κόστος Λειτουργίας (20 χρόνια): 5 G€
Τόπος κατασκευής: Cadarache, Νότια Γαλλία



Πυρηνική Σχάση

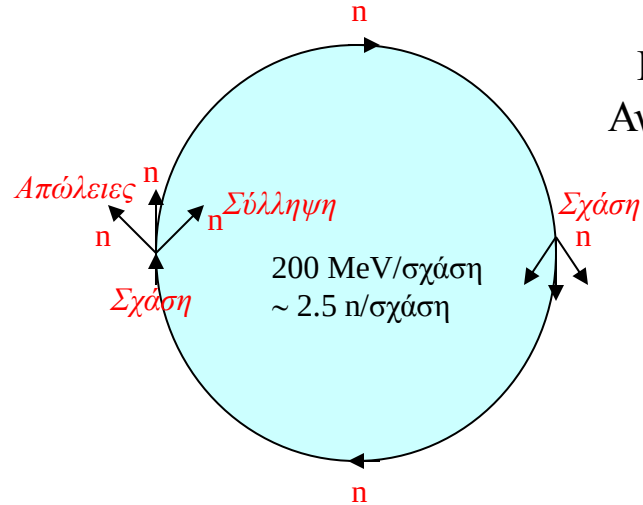
- νετρόνια διασπούν τους πυρήνες ατόμων όπως U-Pu
- απελευθέρωση ενέργειας (θερμότητα) 200 MeV/σχάση, 8.2×10^{13} J/kg
- παραγωγή νετρονίων (2.5 n/σχάση)



Επιλογή στη δεκαετία του 50 ανάπτυξης κύκλου U-Pu και όχι Th-U

Αρχή Λειτουργίας Πυρηνικών Αντιδραστήρων

Αλυσιδωτή αντίδραση



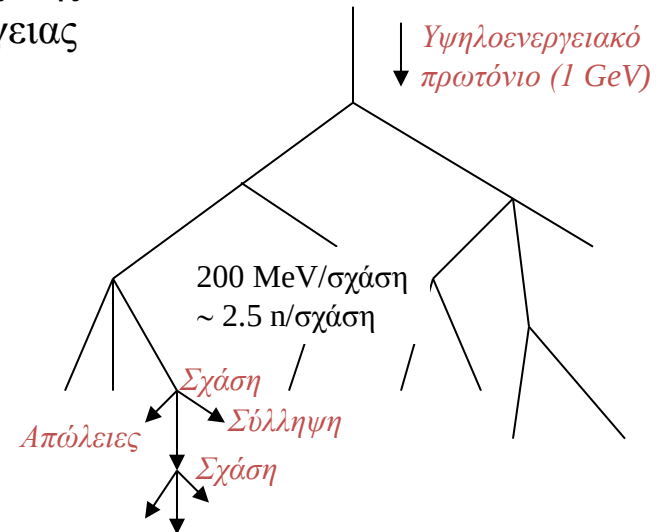
☞ Ενεργός πολλαπλασιαστικός παράγων νετρονίων

$$k = \frac{\text{Παραγωγή}}{\text{Απορρόφηση} + \text{Απώλειες}}$$

- ☞ Αυτοσυντηρούμενη $k=1$
- ☞ $k < 1 \Rightarrow$ αντιδραστήρας σταματά
- ☞ $k > 1 \Rightarrow$ αντιδραστήρας υπερκρίσιμος
- $\Rightarrow$ χρονική παράγωγος ισχύος ρυθμίζεται ίση με το μηδέν

Νέα Πυρηνικά Συστήματα Υποβοηθούμενα από Επιταχυντή Accelerator Driven Systems (ADSs)

Πυρηνικός καταγισμός



☞ Εξωτερικά υποβοηθούμενη διαδικασία:

$$k < 1 (k=0.98)$$

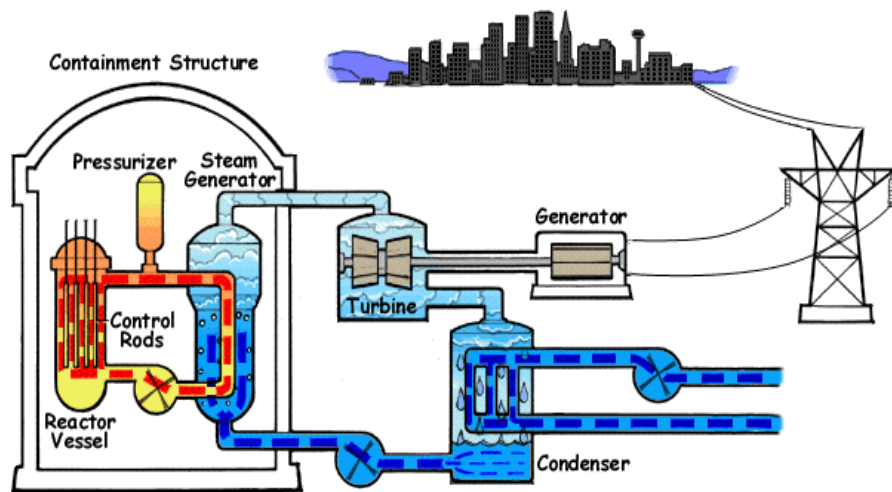
$$E_{\text{tot}} = G \times E_p$$

Παραγόμενη Ενέργεια Ενέργεια Δέσμης
 $\Rightarrow$ Σταθερή Ενίσχυση Ενέργειας

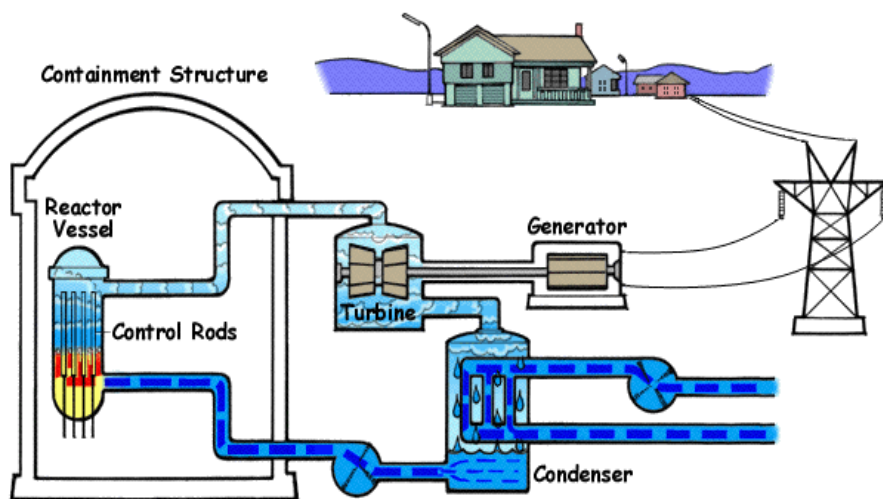
$G=30$, $P_{\text{παραγ}}=1 \text{ W}$ για 10^{18} πρωτόνια/sec με $E_p=1 \text{ GeV}$
 $\rightarrow 1000 \text{ MW EA}$ για $I_p = \text{mA}$

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Ισχύος Γενιάς II

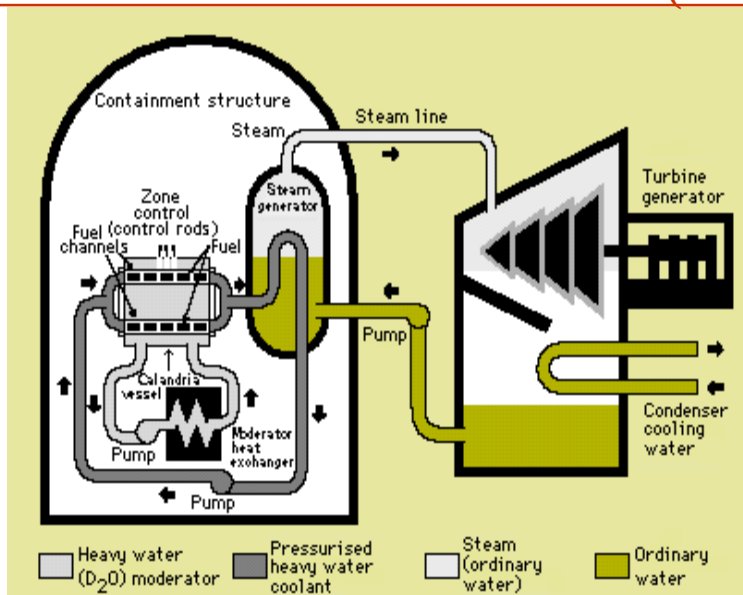
Pressurized Water Reactors (PWR)



Boiling Water Reactors (BWR)



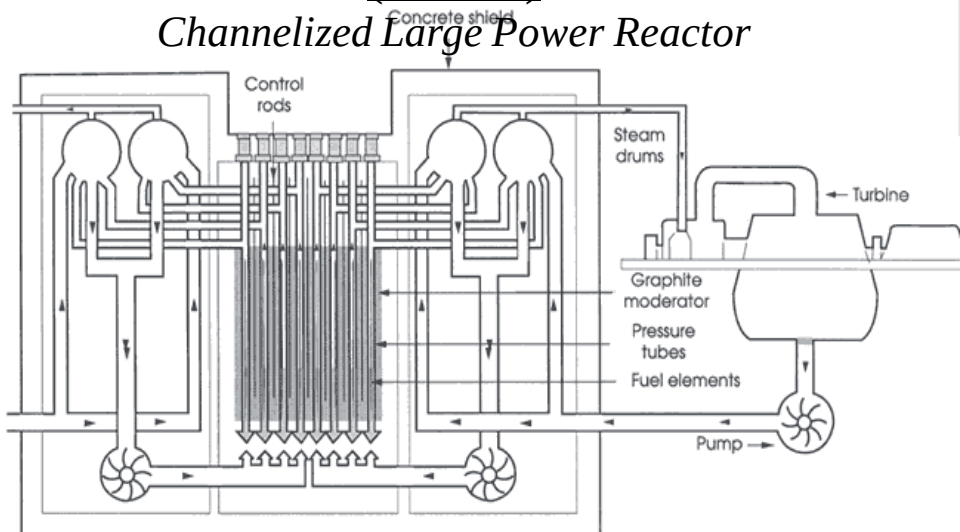
Canadian Deuterium Uranium- PHWR (CANDU)



Reactor Boishoi Moschnosti Kanalnyi

(RBMK)

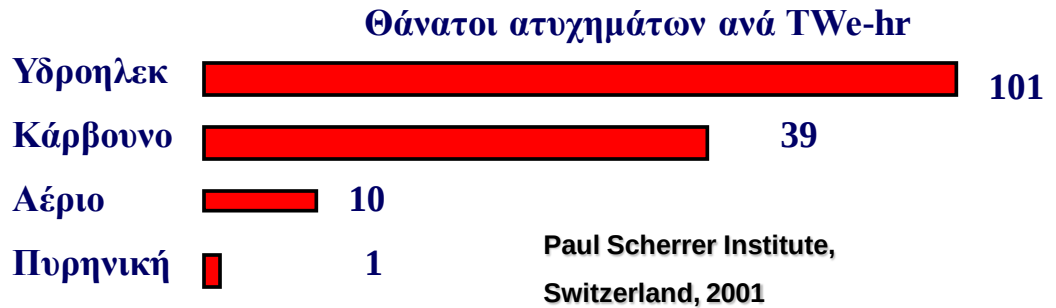
Channelized Large Power Reactor



Πυρηνική Ενέργεια

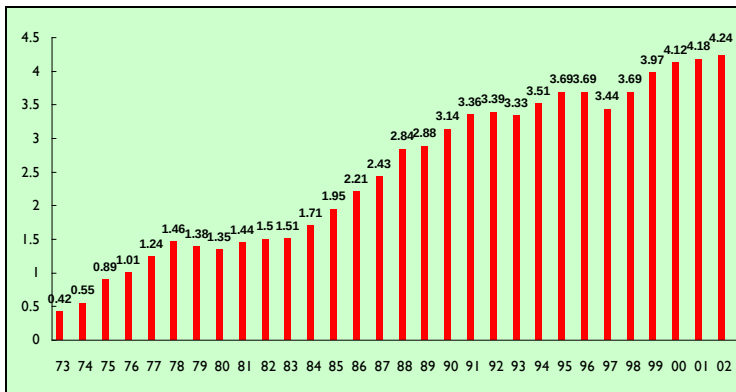
☞ Η πυρηνική ενέργεια στη λειτουργία της είναι φτηνή: π.χ. το 1999 κόστιζε 1.83 σεντς/KWh στις Η.Π.Α., μικρότερη της τιμής του άνθρακα (2.07 σεντς), του πετρελαίου (3.18 σεντς) ή του φυσικού αερίου (3.52 σεντς)

☞ Έχει καλύτερο φάκελο ασφαλείας από τις συμβατικές πηγές



☞ Μπορεί να προσφέρει τεράστια ποσά ενέργειας χωρίς την απελευθέρωση τοξικών νιτρικών και θειικών αερίων και με μικρές εκπομπές CO₂.

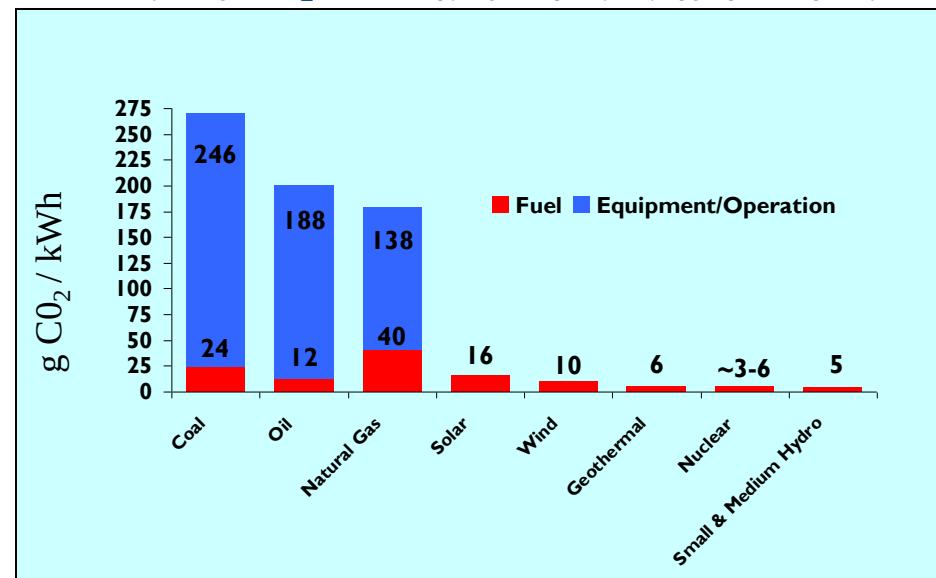
Αποφυγή έκλυσης SO₂ (εκ. τον) (1973-2002)



Source: Nuclear Energy Institute

*Συμπεριλαμβάνεται το Chernobyl

Εκπομπές CO₂ από πηγές παραγωγής ηλεκτρισμού



Source: CRIEPI/Japan

Προβλήματα Πυρηνικής Ενέργειας

Όμως:

Η χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας αμφισβητείται από μεγάλο μέρος του κοινού λόγω:

1. χρήση για στρατιωτικούς σκοπούς
2. διαθεσιμότητα πυρηνικών καυσίμων
3. πυρηνικά ατυχήματα (Τσερνόμπιλ)
4. συσσώρευση πυρηνικών αποβλήτων

Πυρηνικά Απόβλητα

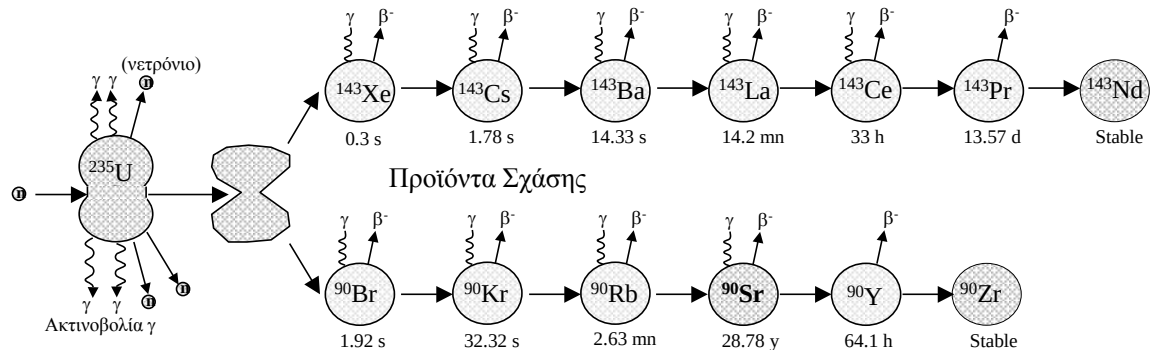
A. Υπερουράνια Στοιχεία (1.1 %)

(Np, Pu, Am, Cm κλπ.)

Παράγονται λόγω νετρονιακής σύλληψης και τις ακόλουθες αποδιεγέρσεις (πχ. $n + {}^{238}\text{U} \rightarrow {}^{239}\text{U}$ ($t_{1/2}$: 23 mn $\rightarrow$ ${}^{239}\text{Pu}$ κλπ.) (100 τον/χρόνο ${}^{239}\text{Pu}$ παράγονται παγκοσμίως στους αντιδραστήρες + Pu γ)

B. Προϊόντα Σχάσεως (98.9 %)

- Μακρόβια (${}^{129}\text{I}$, ${}^{99}\text{Tc}$, ${}^{135}\text{Cs}$
- Βραχύβια (${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{90}\text{Sr}$...)



Στο τέλος της ζωής των σημερινών αντιδραστήρων:

0.33×10^6 τόνοι αποβλήτων, Ραδιενέργεια: 3.3×10^{13} Sv (Επιτρεπτό όριο 2.0 mSv/χρόνο)

Επαναφορά στην αρχική ραδιενέργεια μετά από εκατομμύρια χρόνια

Πυρηνικά Απόβλητα Δύο Κατηγοριών

1. ^{137}Cs - ^{90}Sr : Δημιουργούν το πρόβλημα για τα επόμενα 300 χρόνια

Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στη στερεοποίηση των αποβλήτων μέσω δεσμευτών και την αποθήκευση για μακρά διάρκεια. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κατάλληλος και φτηνός δεσμευτής κεσίου και στροντίου

Προταθέντες Λύσεις: IonsivTM, SrtreatTM, PILCs

2. Ακτινίδες και Προϊόντα Σχάσης (^{129}I , ^{99}Tc , ^{135}Cs) με πρόβλημα > 300 χρόνια

Προβλήματα: Δεν γίνεται να παρακολουθούνται για 10^6 χρόνια

Φόβοι πιθανών διαρροών στη βιόσφαιρα

Φόβοι χρήσης για στρατιωτικούς σκοπούς

Λύσεις: Μόνιμη αποθήκευση σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους χωρίς παρακολούθηση

ή

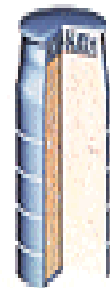
Μεταστοιχείωση σε λιγότερο βλαβερά στοιχεία

Ραδιενεργά απόβλητα Λύσεις?

Πολύ-
φραγματικός
περιορισμός



Γεωλογική εναπόθεση
Επιφανειακή αποθήκευση
Βαθιά στη γη
Θαλάσσια εναπόθεση
Υπο-θαλάσσια εναπόθεση
Ανταρκτική
Διάστημα



Ο Κύκλος του Th-U

Τα νέα συστήματα πυρηνικών αντιδραστήρων Γενιάς IV θα χρησιμοποιούν τον κύκλο του Th-U

Αρχικό καύσιμο: [$^{232}\text{ThO}_2$ (+ $^{233}\text{UO}_2$ ή άλλο σχάσιμο υλικό)]

Αντίδραση: $n + ^{232}\text{Th}$ (1.4×10^{10} y) $\rightarrow$ ^{233}Th (22.3 m) $\rightarrow$ ^{233}Pa (27 d) $\rightarrow$ ^{233}U (1.6×10^5 y)

Κύρια Πλεονεκτήματα:

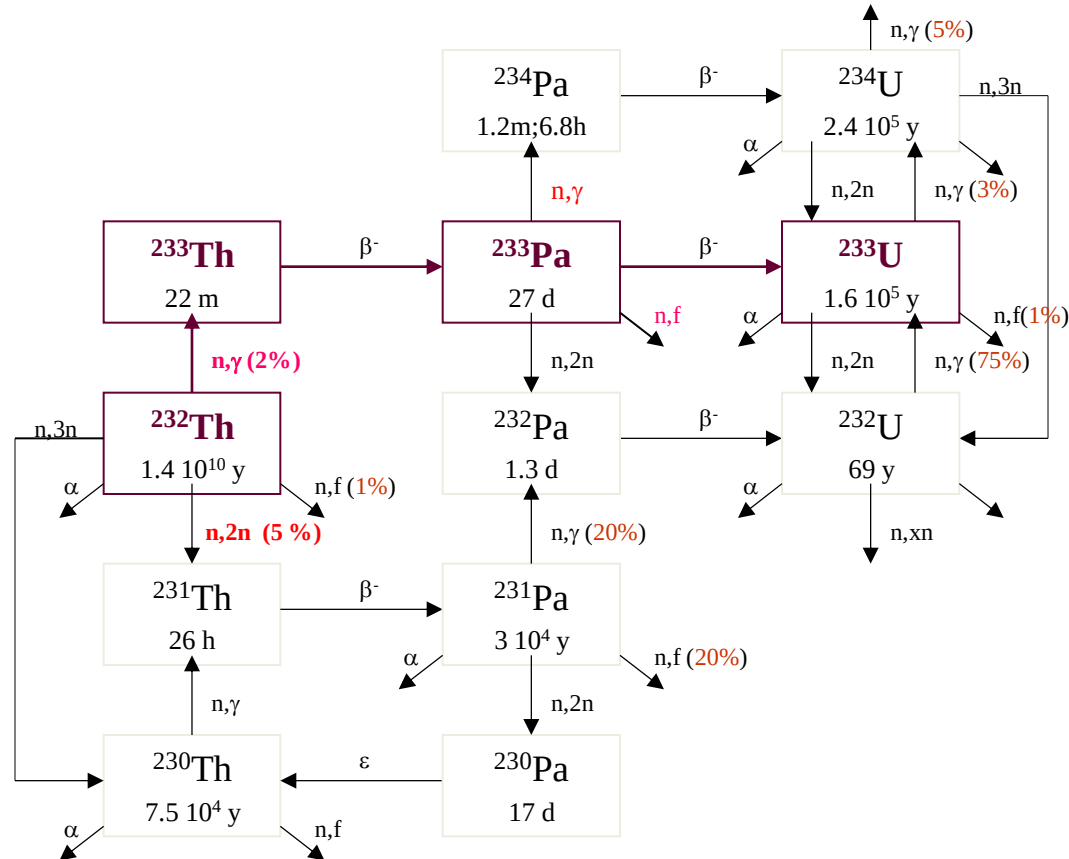
$\Rightarrow$ Ευκολότερη λειτουργία του συστήματος σε κλειστό κύκλο (πιθανότητα σχάσης του ^{233}U κατά 91.8 %)

$\Rightarrow$ Μεγαλύτερη αφθονία του Th-232 έναντι του U-235 (550 φορές)

$\Rightarrow$ Μικρότερη παραγωγή ραδιοτοξικών αποβλήτων (εκατοντάδων και όχι χιλιάδων χρόνων)

$\Rightarrow$ Ελαχιστοποίηση της χρήσης των αποβλήτων για στρατιωτικούς σκοπούς καθώς παράγεται πολύ λιγότερο Pu ενώ παράγεται το ^{232}U που ανιχνεύεται πολύ εύκολα

$\Rightarrow$ Δυνατότητα "καύσης" υπαρχόντων μακρόβιων αποβλήτων



Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς III+ (1)

Εξελεγμένα Συστήματα

Νέες τεχνολογίες οδήγησαν σε σημαντικές βελτιώσεις

- Τεχνολογία πληροφορικής και υπολογιστική ισχύ
Προσομοίωση PCTRAN
- Βελτιωμένα θεμελιώδη μοντέλα και πυρηνικά δεδομένα

- Νέες συσκευές και μηχανήματα

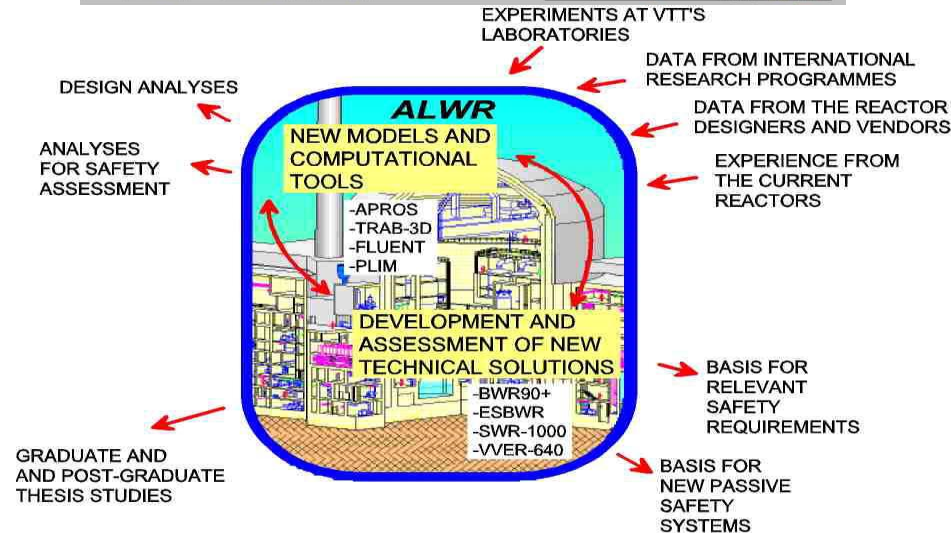
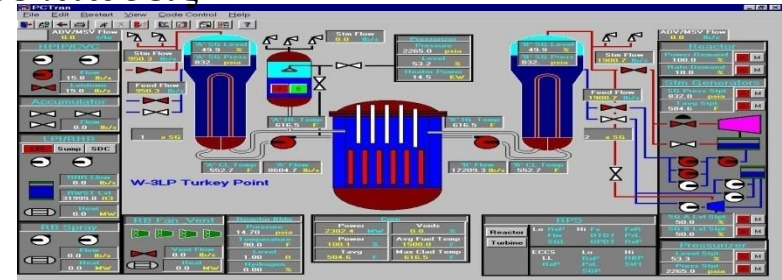
⇒ *Ευκαιρίες για νέες κατασκευές*

- Εξελεγμένοι αντιδραστήρες ύδατος

- Πιστοποίηση σχεδίων
- Σύστημα 80+, ABWR

- Γενιά III+

- κατασκευή εντός της δεκαετίας
- AP-600, ESBWR, PBMR
- AHWR Ινδία

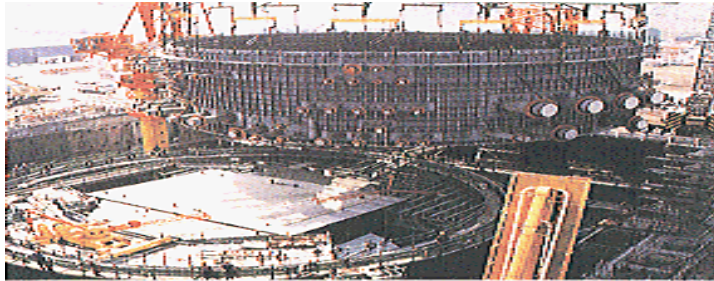
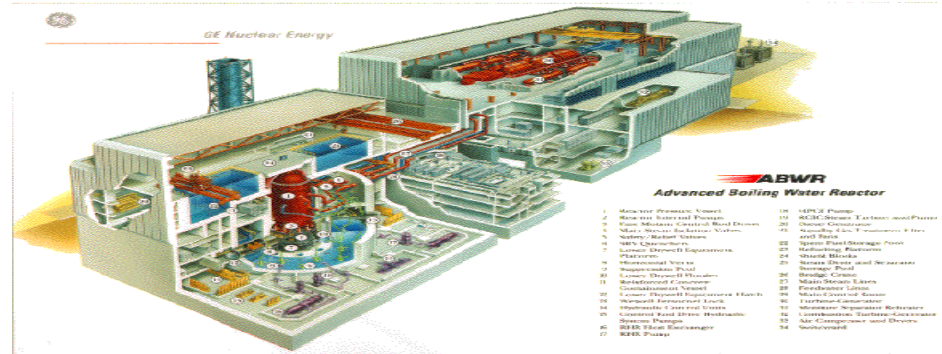


Κύριο στοιχείο αντιδραστήρων νέας γενιάς
*Αντικατάσταση ενεργητικών συστημάτων
ασφάλειας με παθητικά για την αποφυγή της
ανθρώπινης επέμβασης*

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς III+ (2)

Advanced Boiling Water Reactor

- “Εξελιγμένος” πιστοποιημένος σχεδιασμός
- Αναπτύχθηκε από:
 - General Electric, San Jose, California
 - Hitachi/Toshiba, Japan
- 1350-MWe
- 2 μονάδες στην Ιαπωνία (1996)



Ανάλυση πιθανοτήτων ατυχήματος με ανεπάρκεια όλων των μηχανολογικών ελέγχων ασφαλείας $\Rightarrow$ Η θερμική αδράνεια του πυρήνα παρέχει αξιοσημείωτο χρόνο για αποφυγή καταστροφής πυρήνα.

Τρία Επίπεδα Ασφάλειας

A. Αποφυγή επεισοδίων

B. Αποφυγή διάδοσης επεισοδίων

Γ. Πολλαπλά φράγματα από εφεδρικά συστήματα

Πιθανότητα ατυχήματος επιπέδου 7 (Chernobyl) μικρότερη από 10^{-4} ανά εργοστάσιο ανά χρόνο

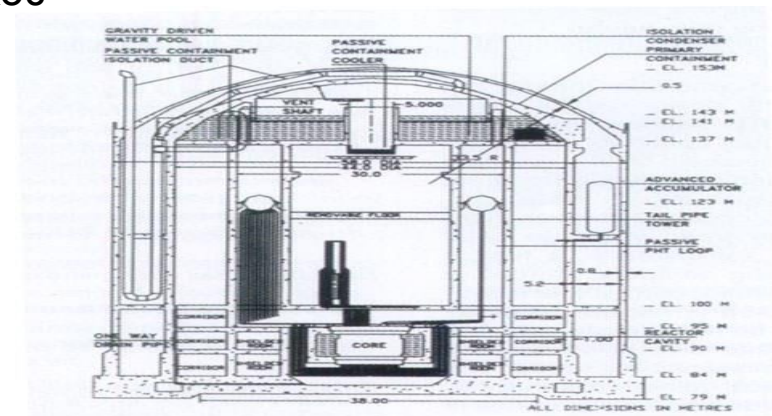
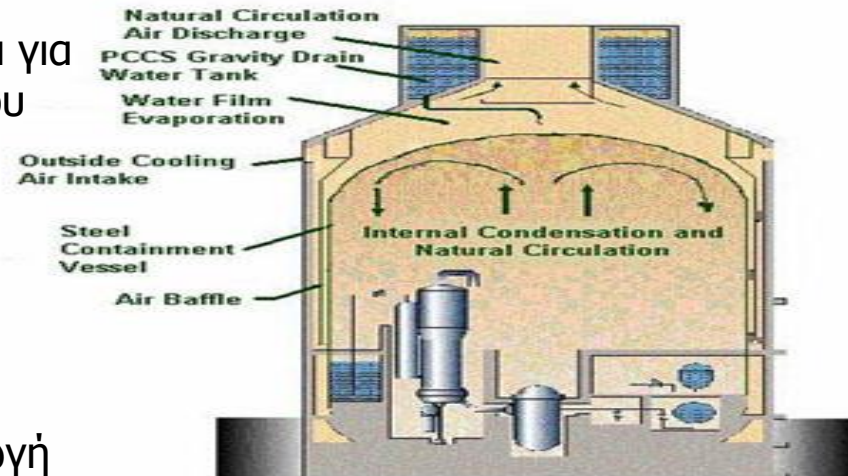
Προκατασκευασμένα τμήματα ελαχιστοποιούν το χρόνο κατασκευής σε 54 μήνες

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς III+ (3)

Ασφάλεια Π.Α. AP600

(Ρ ατυχήματος $< 10^{-7}$ / χρ.)

- Ανακλαστήρες ανοξείδωτου ατσαλιού στον πυρήνα για οικονομία νετρονίων και λιγότερες ράβδους ελέγχου
- Παθητική ασφάλεια ψύξης πυρήνα: τρεις πηγές νερού και ροή βαρύτητας
- Φυσική μετάδοση θερμότητας στην επιφάνεια του ανοξείδωτου χάλυβα
- Παθητική ασφάλεια σοβαρού επεισοδίου με εισαγωγή νερού από δεξαμενές
- 50% < βάνες, 80% < σωληνώσεις, 70% < καλώδια ελέγχου, 35% < αντλίες, και 45% < όγκος αντισεισμικού κτιρίου

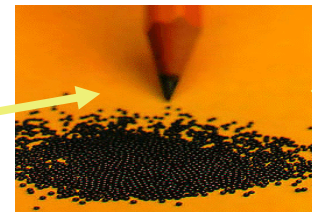
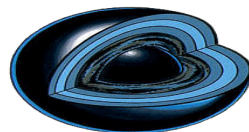
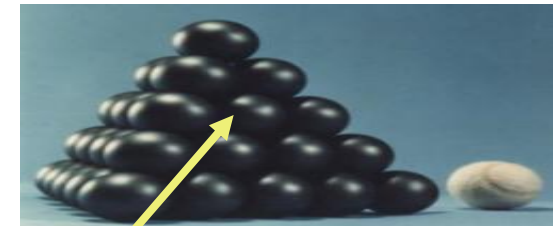
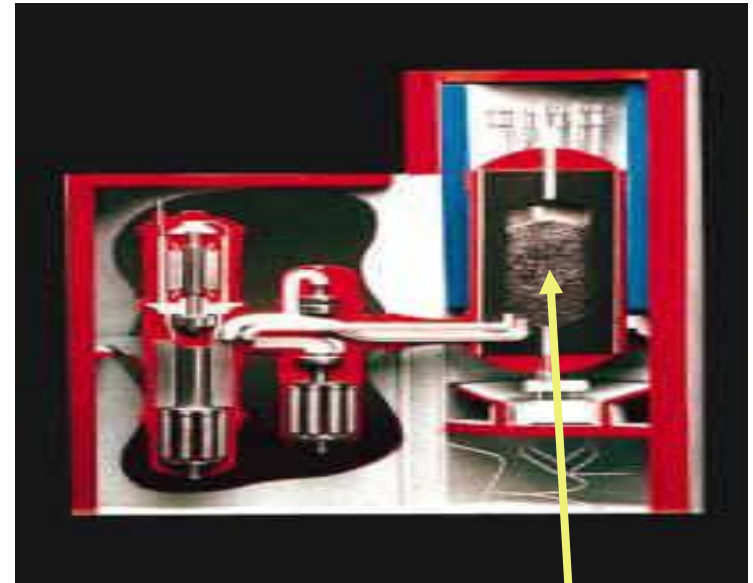


Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς III+ (4)

Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)

• **Χαρακτηριστικά:**

- 115 MWe υψηλής θερμοκρασίας και ψύξης ηλίου αντιδραστήρας
- Βασισμένος στον Γερμανικό 15MWe AVR που λειτούργησε από 1967-1989
- Θερμοκρασίες καυσίμου :
 - Μέση τιμή: 1095°C
 - Μέγιστη πριν τη διακοπή: 1600°C
 - Μέγιστη: >2000°C
- Τουρμπίνα Ηλίου (45% θερμική απόδοση)
- 440,000 σφαιρίδια διαμέτρου 6-cm diameter pebbles
- Έλεγχος ισχύος με εισροή-εκροή ηλίου—όχι ράβδους ελέγχου
- Ανακύκλωση σφαιριδίων για διατήρηση σταθερής ενεργότητας και υψηλή εξάντληση καυσίμου
- Κόστος: \$1,000/kWe
- Διάρκεια Κατασκευής: 24 months

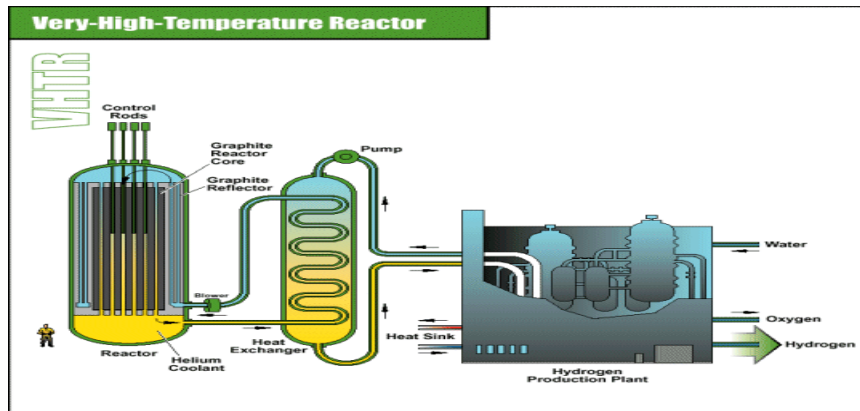
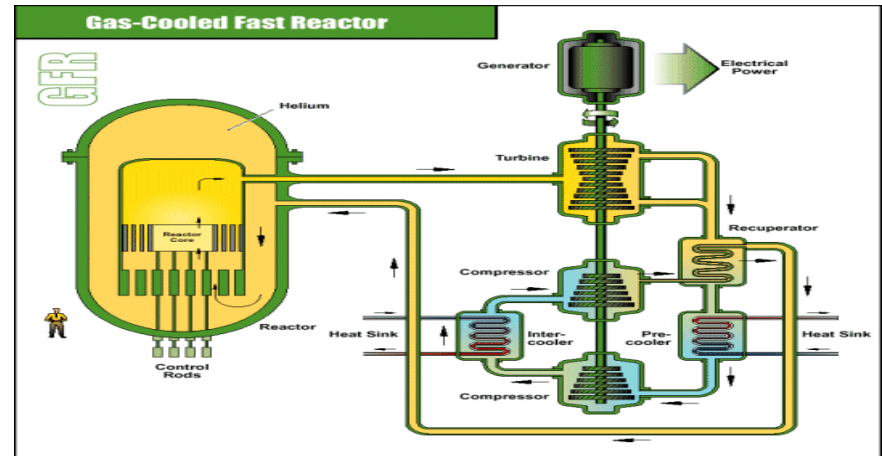


Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς IV (1)

Καινοτόμα Σχέδια - Μετατόπιση προς τον κύκλο Th-U

Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)

- Φάσμα Ταχέων Νετρονίων
- Κλειστός κύκλος καυσίμου με ενσωματωμένη διαχείριση εξαντλημένου καυσίμου και εργοστάσιο επεξεργασίας
- Ψύξη αερίου
- Υποψήφια είδη καυσίμου: συνθετικό κεραμικό, προηγμένα σωματίδια καυσίμου



Very-High-Temperature Reactor (VHTR)

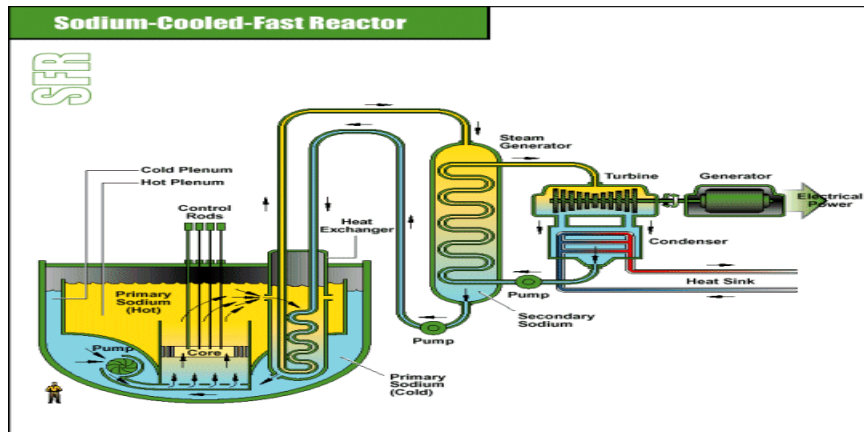
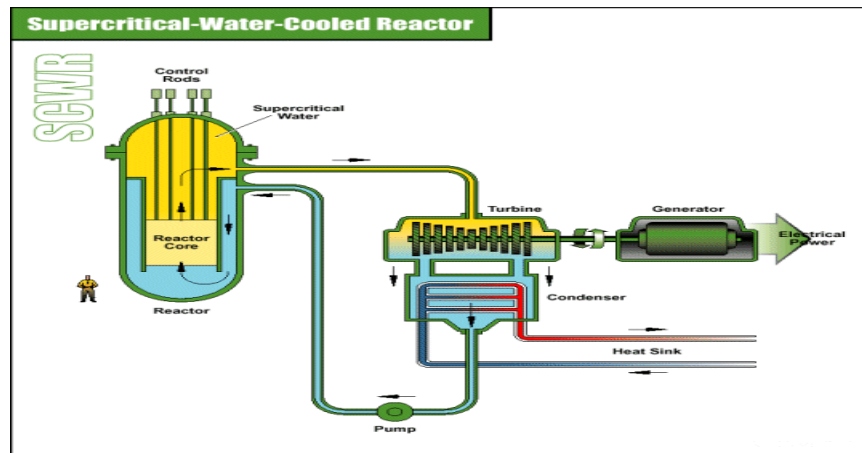
- Επιβραδυντής γραφίτης
- Κύκλος Ουρανίου
- Θερμοκρασίες πυρήνα 1000 °C για επιπλέον παραγωγή υδρογόνου

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς IV (2)

Καινοτόμα Σχέδια

Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR)

- Υψηλής θερμοκρασίας-υψηλής πίεσης αντιδραστήρας ύδατος (374 °C, 22.1 MPa)
- Μεγαλύτερη απόδοση
- Δεν υπάρχουν αλλαγές φάσεις
- Καύσιμο: Οξείδιο του ουρανίου
- Παθητικά συστήματα όμοια με εκείνα των BWR



Sodium-Cooled Fast Reactor

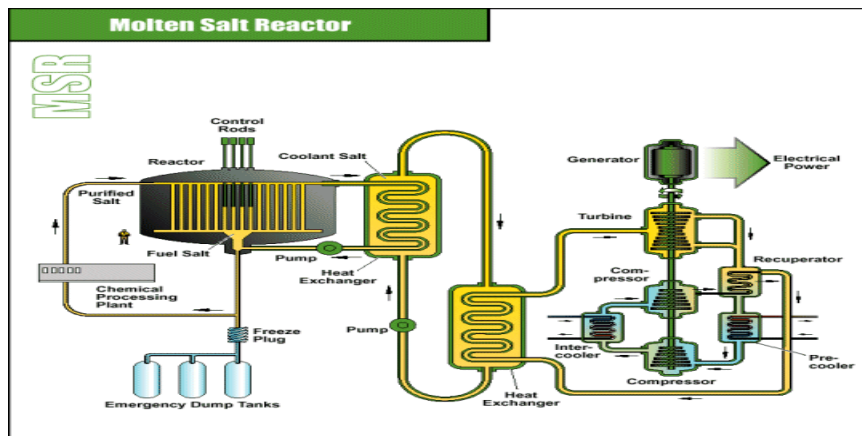
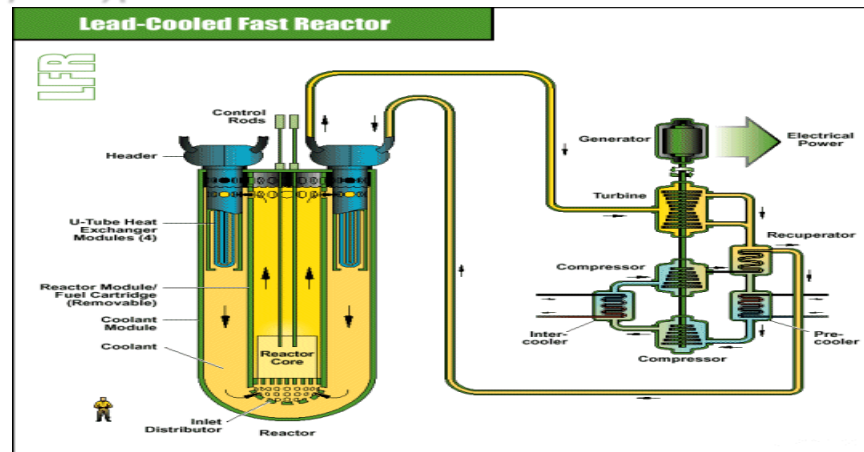
- Φάσμα ταχέων νετρονίων
- Διαχείριση ακτινίδων και μετατροπή ουρανίου
- Δύο επιλογές κύκλου: 150 έως 500 MWe με καύσιμο uranium-plutonium-minor-actinide-zirconium metal alloy. 500 to 1,500 MWe MOX
- Θερμοκρασία 550 °C
- Διαχείριση αποβλήτων
- Χαρακτηριστικά ασφάλειας: αργή θερμική αντίδραση, πρωτογενές σύστημα σε ατμοσφαιρική πίεση, ενδιάμεσο σύστημα νατρίου μεταξύ του ραδιενεργού στο πρωτογενές και του νερού και ατμού

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Γενιάς IV (3)

Καινοτόμα Σχέδια

Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)

- Ψύξη τηγμένου μολύβδου/βισμούθιου και φυσικής κυκλοφορίας
- Κλειστός κύκλος για διαχείριση ακτινίδων
- Θερμοκρασία 550-800 °C



Molten Salt Reactor (MSR)

- Επιθερμικό φάσμα νετρονίων
- Θερμοκρασία 700-800 °C
- Καύσιμο: ροή μίγματος ρευστών φθοριούχων νατρίου, ζirkονίου και ουρανίου
- Κλειστός κύκλος για καύση ακτινίδων