

Καύση και Ρύποι

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΣΟΥΦΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



Βιβλιογραφία

- **Εισαγωγή στην Καύση - Αρχές και εφαρμογές, Stephen R. Turns, Εκδόσεις Τζιόλα (Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 59385030)**
- **Εισαγωγή στις βασικές αρχές της θεωρίας και τεχνολογίας της καύσης**, Κούτμος Π., Δόγκας Ε., Πατεράκης Γ., Σούφλας Κ., Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών(Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 320081)
- **Θεωρία Καύσης**, Μ. Φούντη, Δ. Κολαΐτης, Εκδόσεις Φουντάς (Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 41956312)

Βιβλιογραφία για Περαιτέρω Μελέτη

- **Combustion**, by Irvin Glassman, Richard A. Yetter, Nick G. Glumac
- **Combustion Physics**, by Chung K. Law
- **Combustion Theory**, by Forman A. Williams
- **Principles of Combustion**, by Kenneth Kuo
- **Turbulent Combustion**, by Norbert Peters
- **Theoretical and Numerical Combustion**, by Thierry Poinso, Denis Veynante

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή στην έννοια και τον ρόλο της καύσης
2. Θερμοχημεία – Χημική Ισορροπία
3. Χημική κινητική
4. Εισαγωγή στη μεταφορά μάζας
5. Εξισώσεις διατήρησης
6. Στρωτές φλόγες προανάμειξης
7. Στρωτές φλόγες διάχυσης
8. Εισαγωγή στις τυρβώδεις ροές
9. Τυρβώδεις φλόγες προανάμειξης
10. Τυρβώδεις μη προαναμεμιγμένες φλόγες
11. Εκπομπές ρύπων

Εισαγωγή

Σύντομη ιστορία της καύσης

~1.500.000 χρόνια πριν. – Πρώτη χρήση φωτιάς από τον άνθρωπο → Θέρμανση, προστασία, μαγείρεμα → Βασική επιβίωση και καλύτερη διατροφή.

~5.000 π.Χ. – Χρήση καύσης ξύλου σε κεραμική και μεταλλουργία → Ανάπτυξη τεχνολογίας και εργαλείων → Βελτίωση καθημερινής ζωής.

18ος αιώνας (1700s) – Βιομηχανική Επανάσταση, καύση άνθρακα σε ατμομηχανές → Μαζική παραγωγή, συγκοινωνίες, οικονομική ανάπτυξη → Μεγάλη βελτίωση ποιότητας ζωής αλλά και αρχή ρύπανσης.

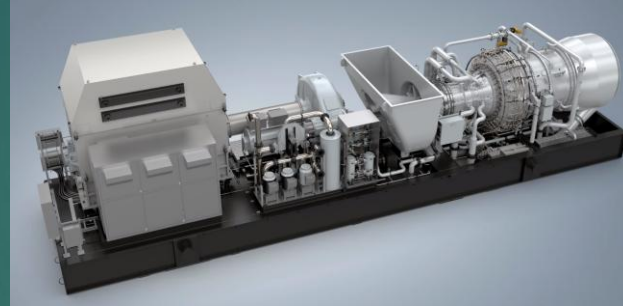
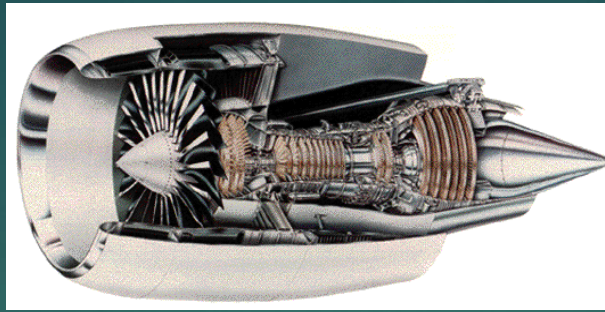
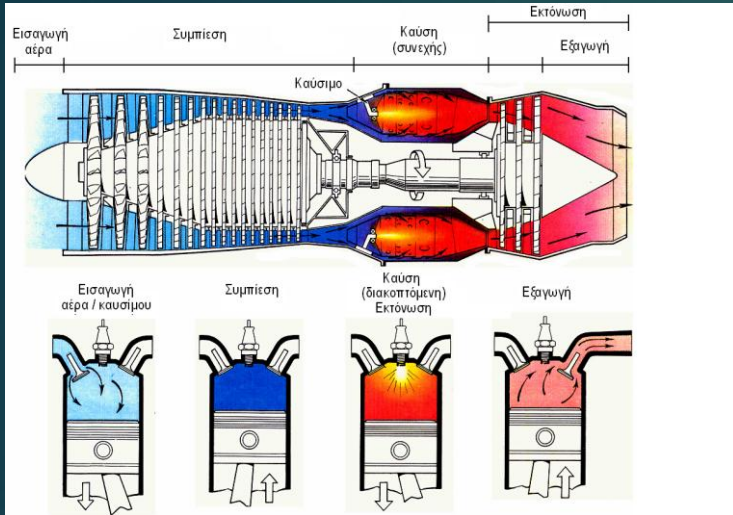
19ος αιώνας (1800s) – Κινητήρες εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, βενζίνη) → Αυτοκίνητα, τρένα, πλοία → Ελευθερία μετακινήσεων, ταχύτερη επικοινωνία.

20ός αιώνας (1900s) – Μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύση άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου → Φωτισμός, οικιακές συσκευές, βιομηχανία → Άνοδος βιοτικού επιπέδου.

Τέλη 20ού αιώνα – Εμφάνιση περιβαλλοντικών προβλημάτων (ρύπανση, φαινόμενο θερμοκηπίου) → Προβληματισμός για βιωσιμότητα.

21ος αιώνας – Έρευνα σε καθαρότερη καύση, βιοκαύσιμα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας → Ισορροπία ανάμεσα σε ενεργειακές ανάγκες και ποιότητα ζωής με σεβασμό στο περιβάλλον.

Εφαρμογές



Η καύση μπορεί να είναι επιθυμητή ή ανεπιθύμητη.

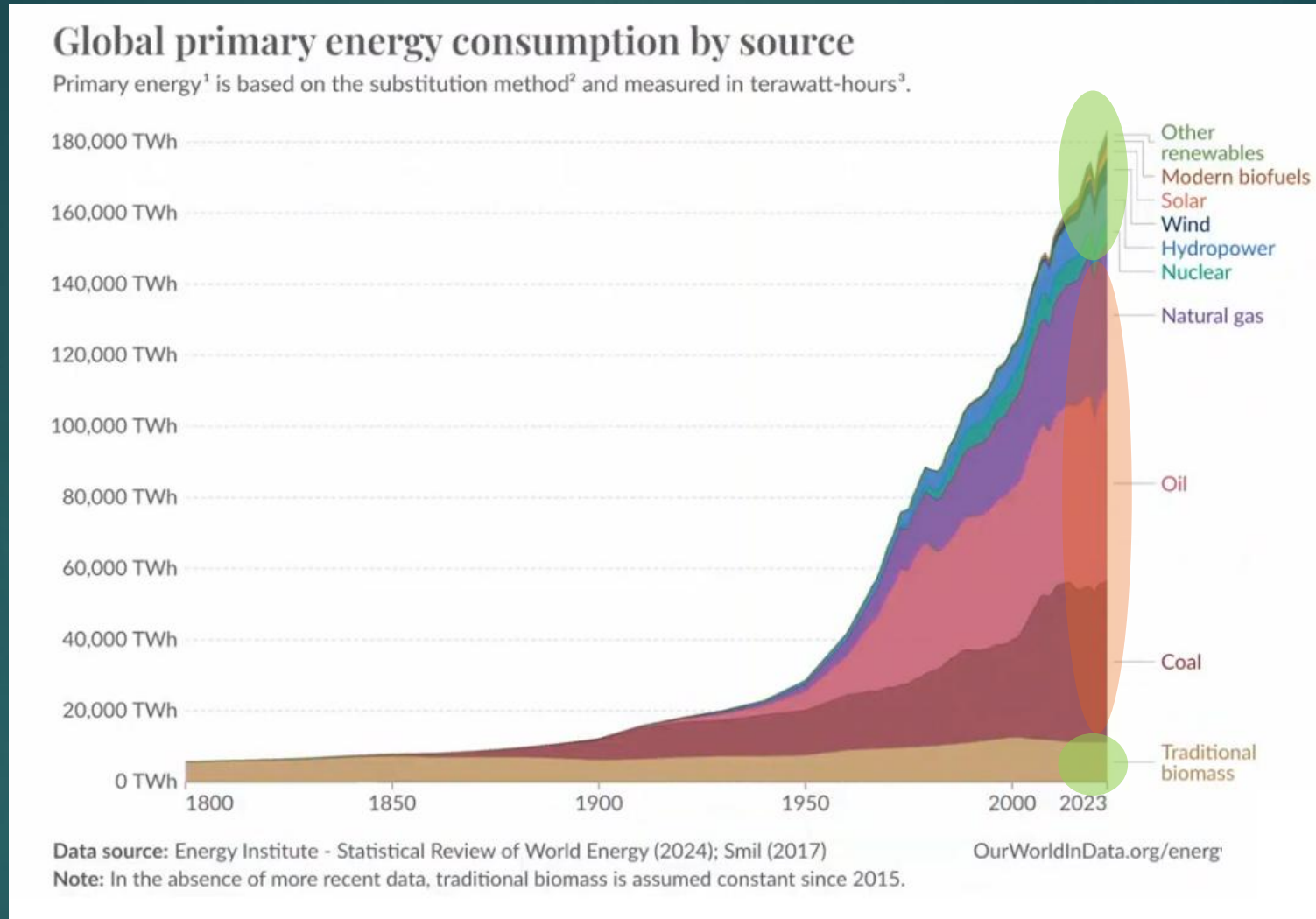
Οι επιθυμητές εφαρμογές της περιλαμβάνουν:

- “παραγωγή” ενέργειας
- μεταφορές
- πρόωση
- θέρμανση
- καταστροφή επικίνδυνων αποβλήτων
- παραγωγή νέων υλικών, π.χ. νανοϋλικά

Οι ανεπιθύμητες εφαρμογές της περιλαμβάνουν:

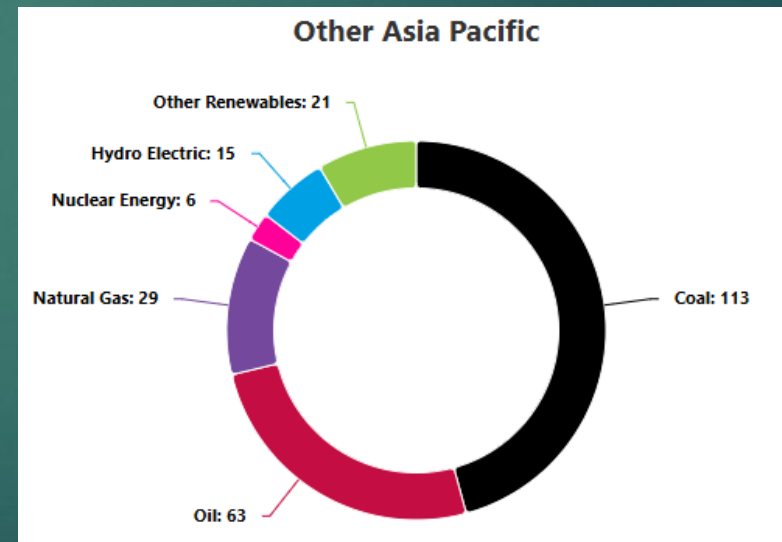
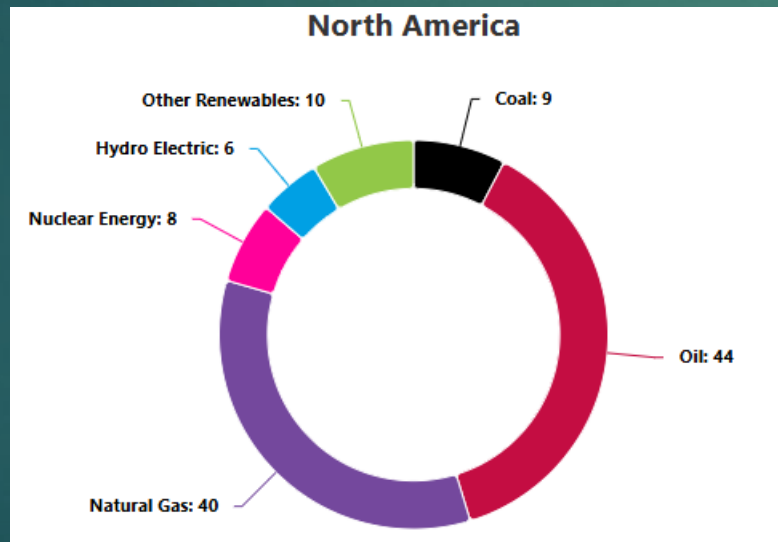
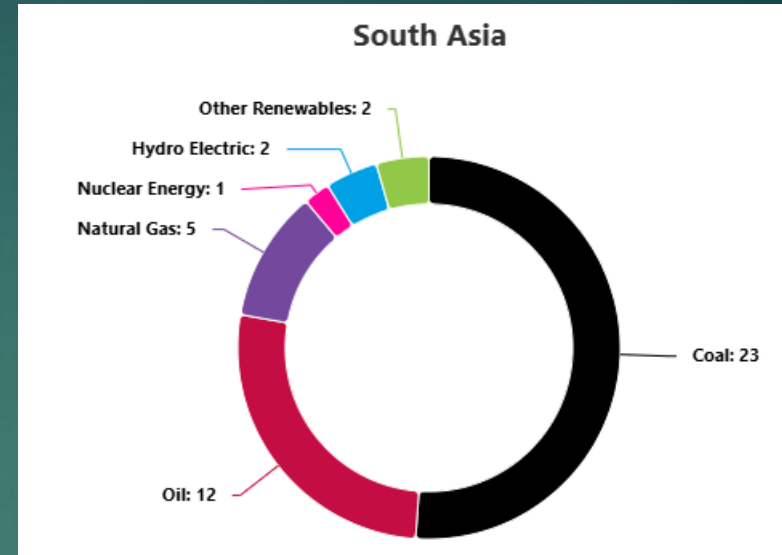
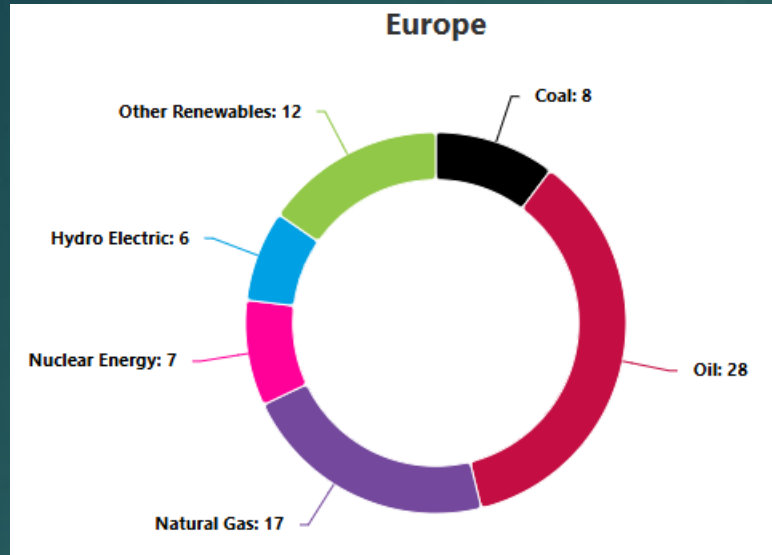
- πυρκαγιές (σε άγρια φύση και αστικές περιοχές)
- εκπομπές ρύπων από αυτοκίνητα και βιομηχανίες
- παραγωγή όπλων μαζικής καταστροφής
- ατυχήματα που προκύπτουν από εκρήξεις

Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά “πηγή”



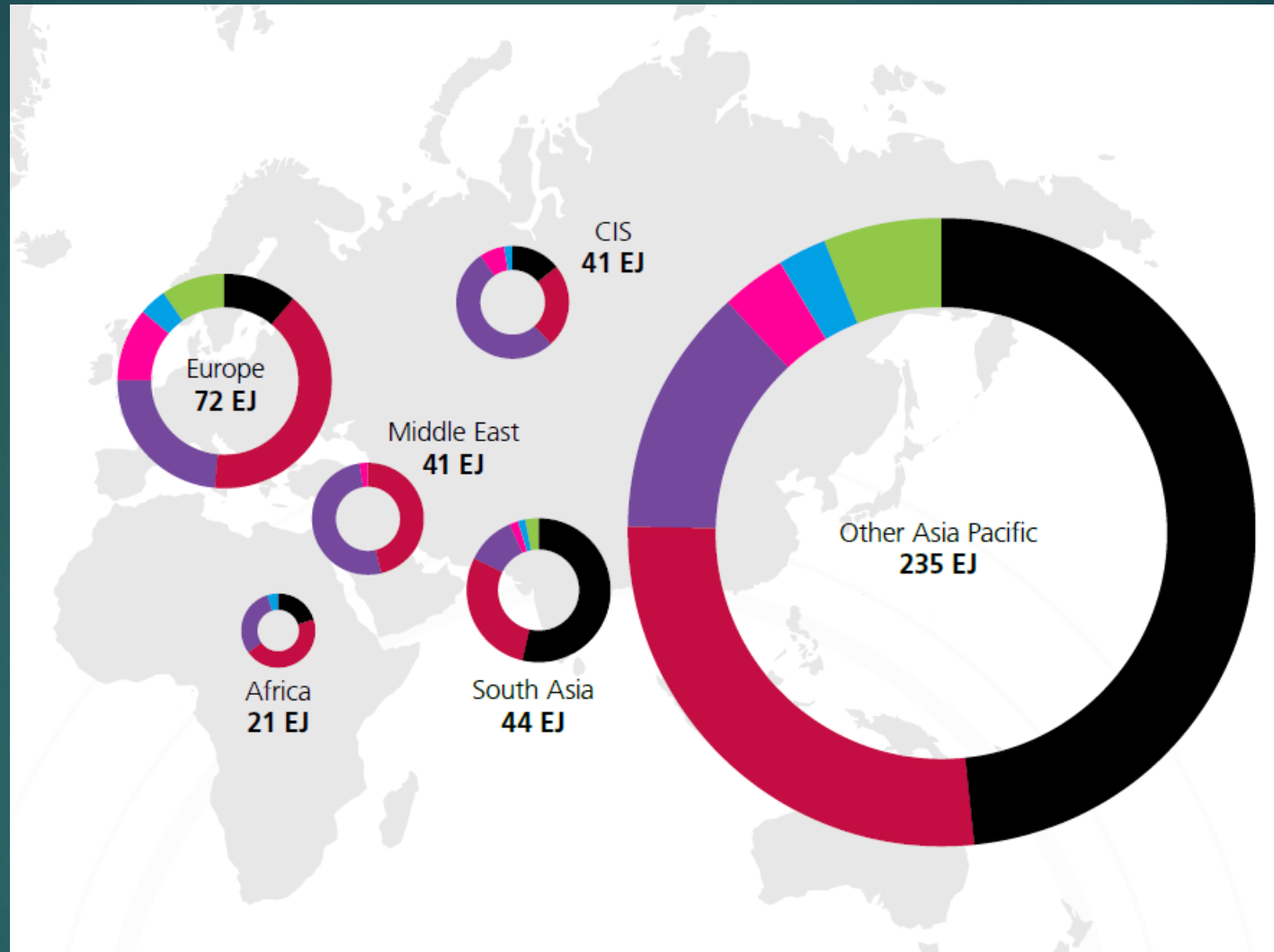
Η ποσοστιαία συνεισφορά των ορυκτών καυσίμων έχει μειωθεί από ~85% το 1980 σε ~78% σήμερα (μείωση περίπου 7% σε 45 χρόνια), αλλά η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας έχει αυξηθεί

Συνολική Παγκόσμια Ζήτηση Ενέργειας



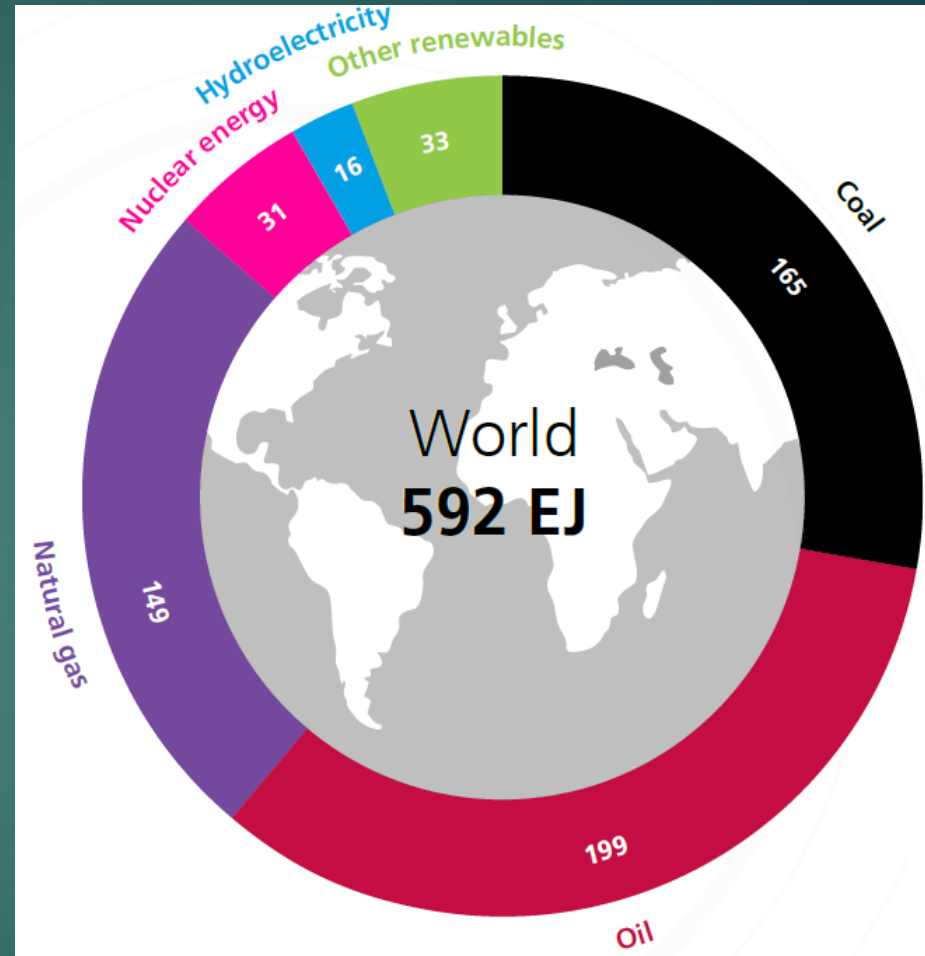
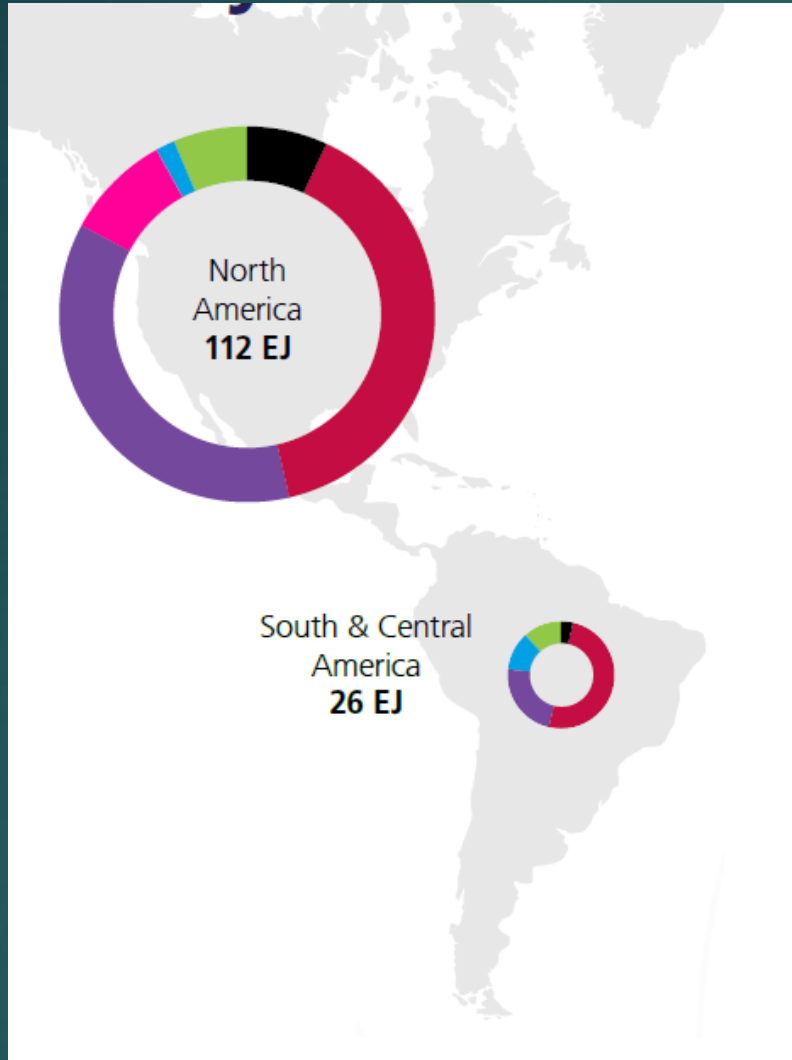
● Coal ● Oil ● Natural Gas ● Nuclear Energy ● Hydro Electric ● Other Renewables

Συνολική Παγκόσμια Ζήτηση Ενέργειας



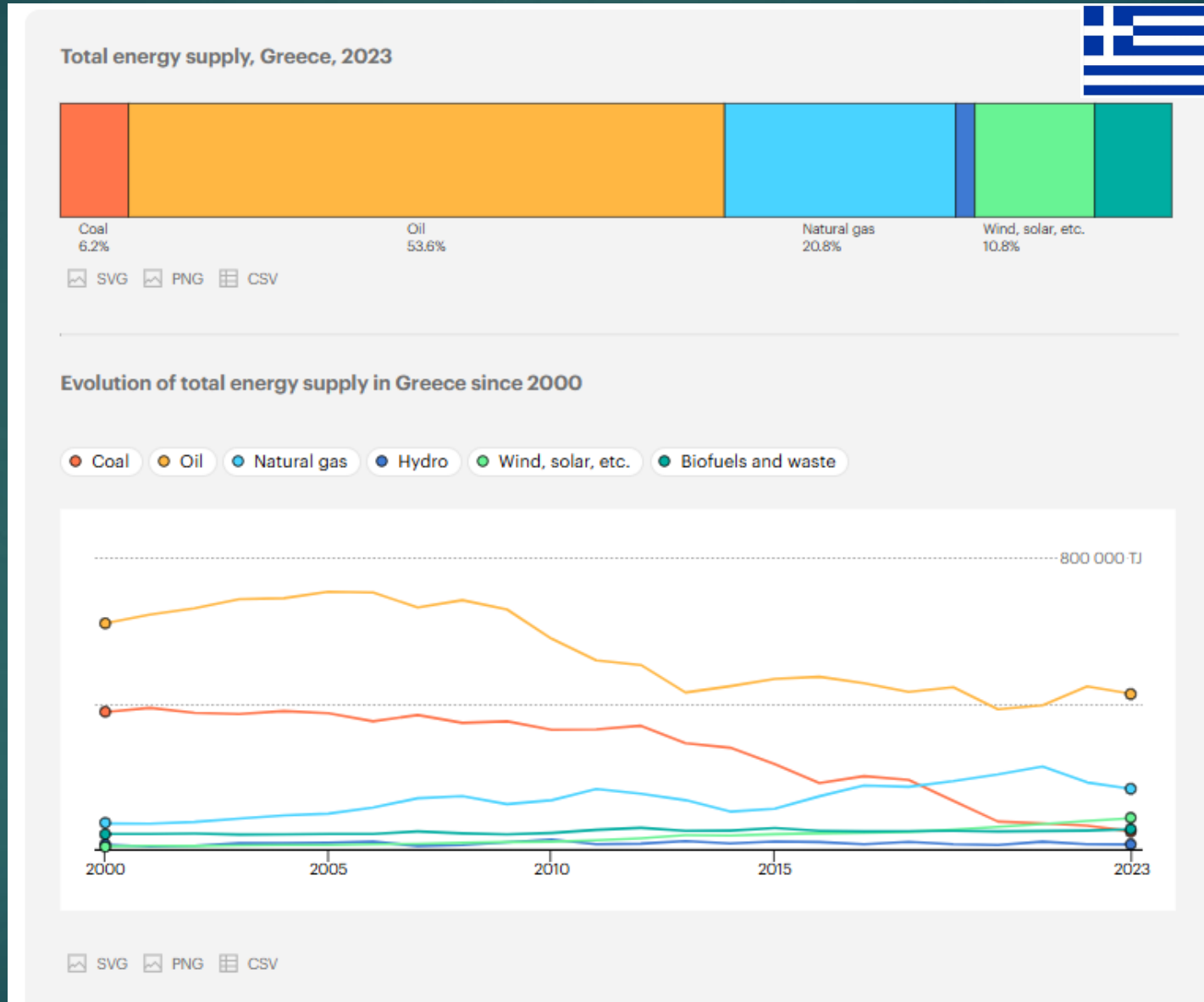
● Coal ● Oil ● Natural Gas ● Nuclear Energy ● Hydro Electric ● Other Renewables

Συνολική Παγκόσμια Ζήτηση Ενέργειας



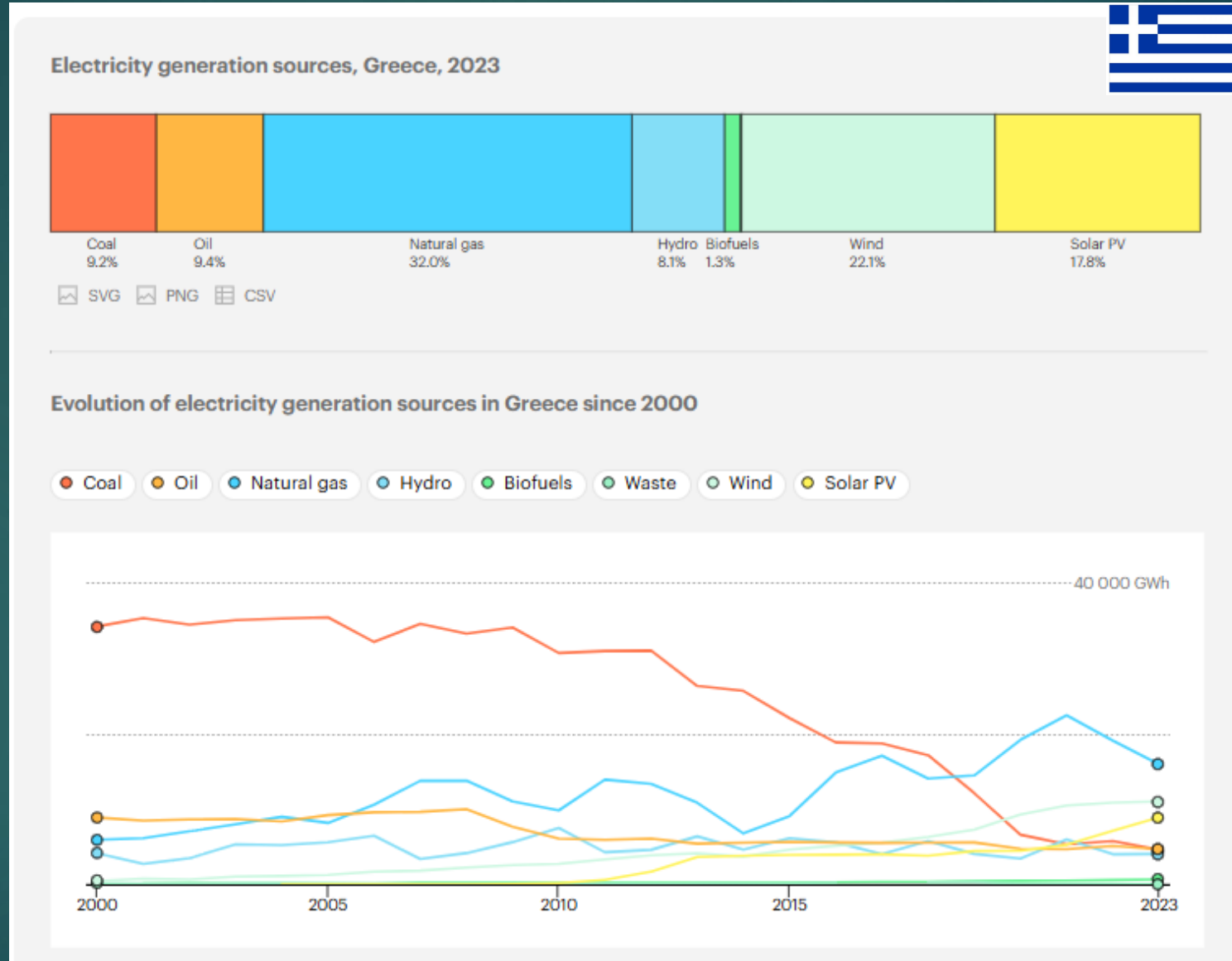
● Coal ● Oil ● Natural Gas ● Nuclear Energy ● Hydro Electric ● Other Renewables

Συνολική Προσφορά Ενέργειας, Ελλάδα



<https://www.iea.org/countries/greece/electricity>

Συνολική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ελλάδα



<https://www.iea.org/countries/greece/electricity>

Total energy supply, global ranking, 2022

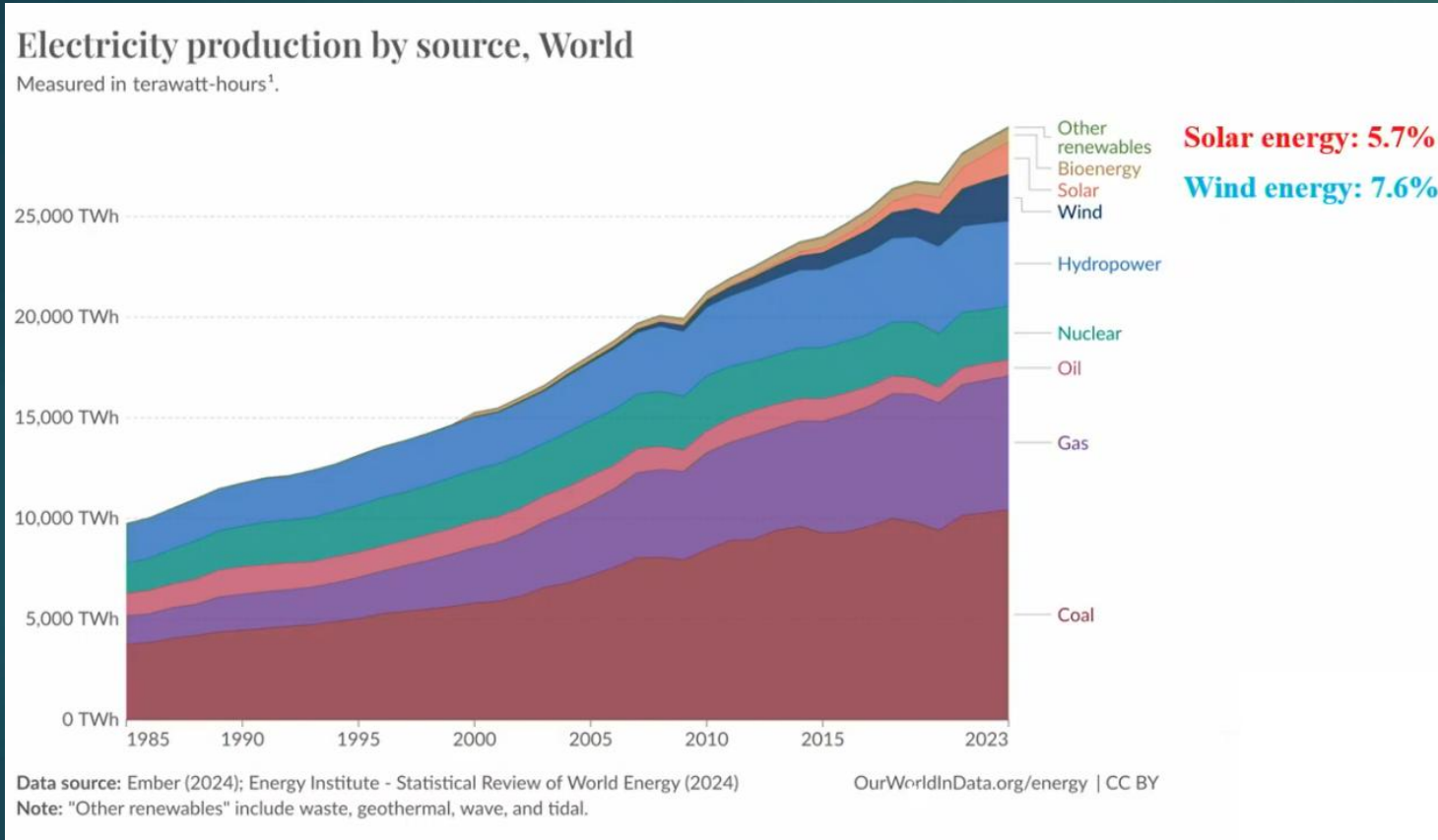
Total energy supply, global ranking, 2022

Rank	Country/Region	TJ	%
-	World	622156806	
1	China	158246846	25.4
2	United States	91063600	14.6
3	India	43440926	7.0
4	Russia	33824455	5.4
5	Japan	16395446	2.6
6	Brazil	12615321	2.0
7	Canada	12353460	2.0
8	Iran	12242084	2.0
9	Korea	11708413	1.9
10	Germany	11359378	1.8

Παγκόσμια “παραγωγή” ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή

Ηλιακή Ενέργεια x6000

Αιολική Ενέργεια x20



Οι αυθόρμητες φυσικές διεργασίες συμβαίνουν προς κατεύθυνση που εξασφαλίζει τη **μέγιστη παραγωγή εντροπίας**

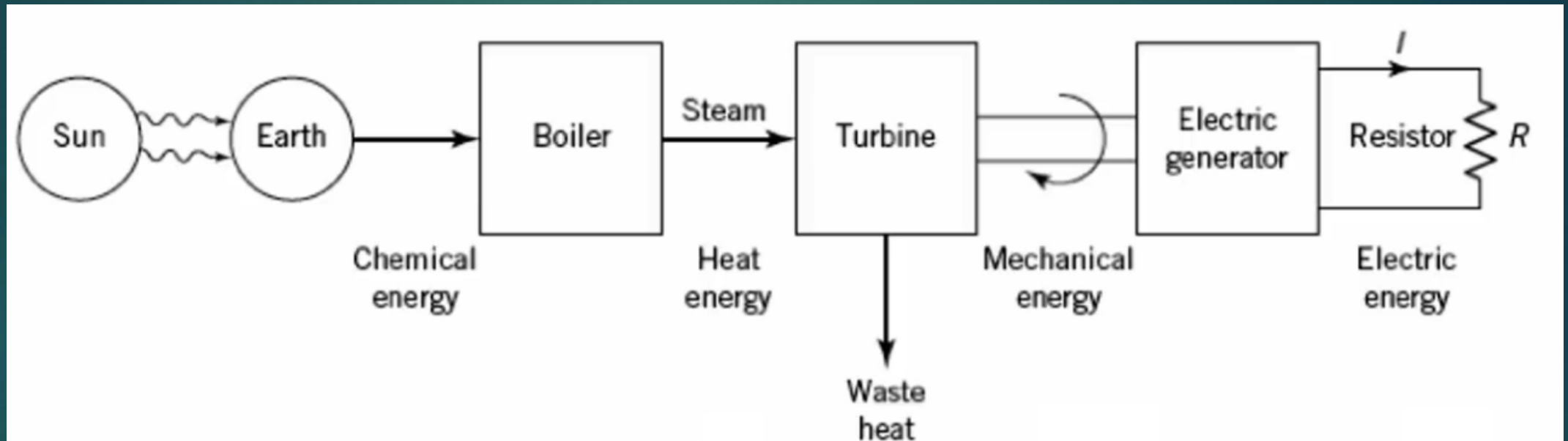
❑ Μέγιστη παραγωγή εντροπίας:

- Υποβάθμιση της ποιότητας της ενέργειας (από υψηλή σε χαμηλή)
 - ❖ Πυρηνική σε θερμική (σχάση & σύντηξη)
 - ❖ Χημική σε θερμική (καύση)
 - ❖ Βίαιες διεργασίες
 - ο Υψηλή πυκνότητα ενέργειας – πολύ πρακτικές/οικονομικές

❑ Ηλιακή σε ηλεκτρική / Αιολική σε ηλεκτρική:

- Σχεδόν μηδενική ή ελάχιστη παραγωγή εντροπίας
 - ❖ Μη βίαιες διεργασίες
 - ο Πολύ χαμηλή πυκνότητα ενέργειας – όχι τόσο πρακτικές και/ή οικονομικές

Η έννοια της μετατροπής ενέργειας



Επιστήμη και
Τεχνολογία Καύσης

Τεχνική
Θερμοδυναμική

Ηλεκτρική Εφαρμοσμένη
Μηχανική

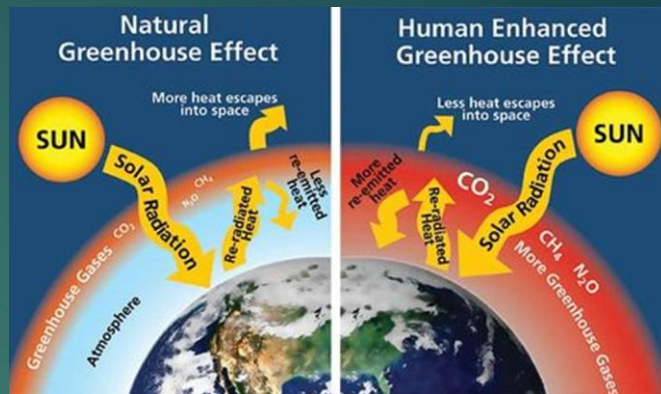
Καύση: λύση ή πρόβλημα;



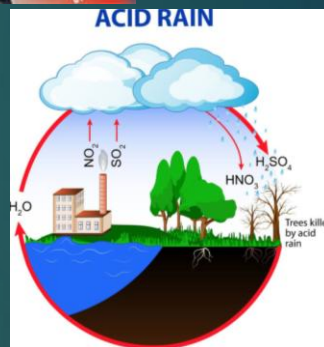
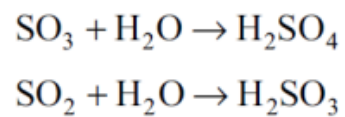
Κύριοι ρύποι

CO_2 , CO , NO_x ,
 SO_x , Soot, UnC_xH_y

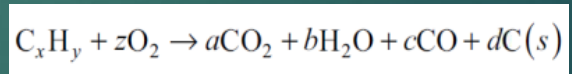
CO_2 →



SO_x →



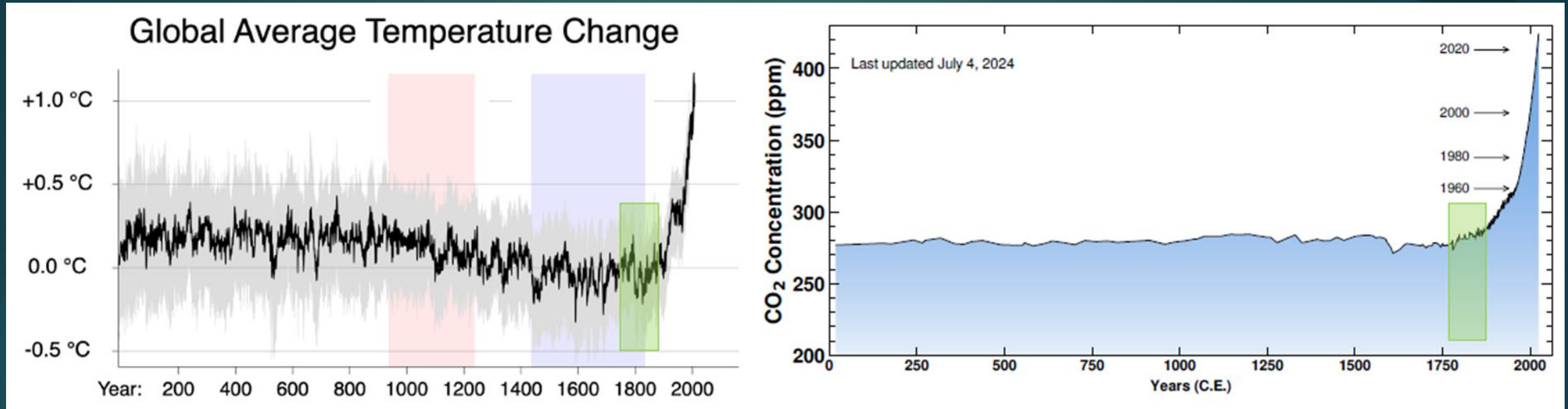
Soot →



NO_x →



Εκπομπές CO₂ και υπερθέρμανση πλανήτη



Η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 400 ppm σήμερα και αυξάνεται

Η συγκέντρωση H₂O στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 25000 ppm

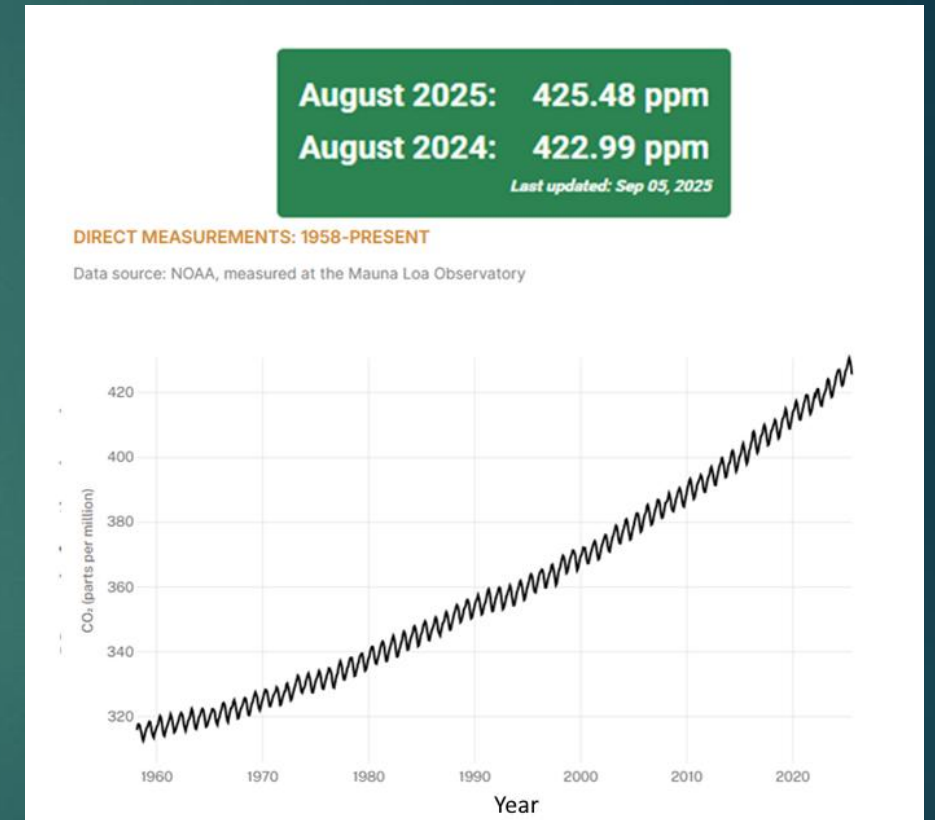
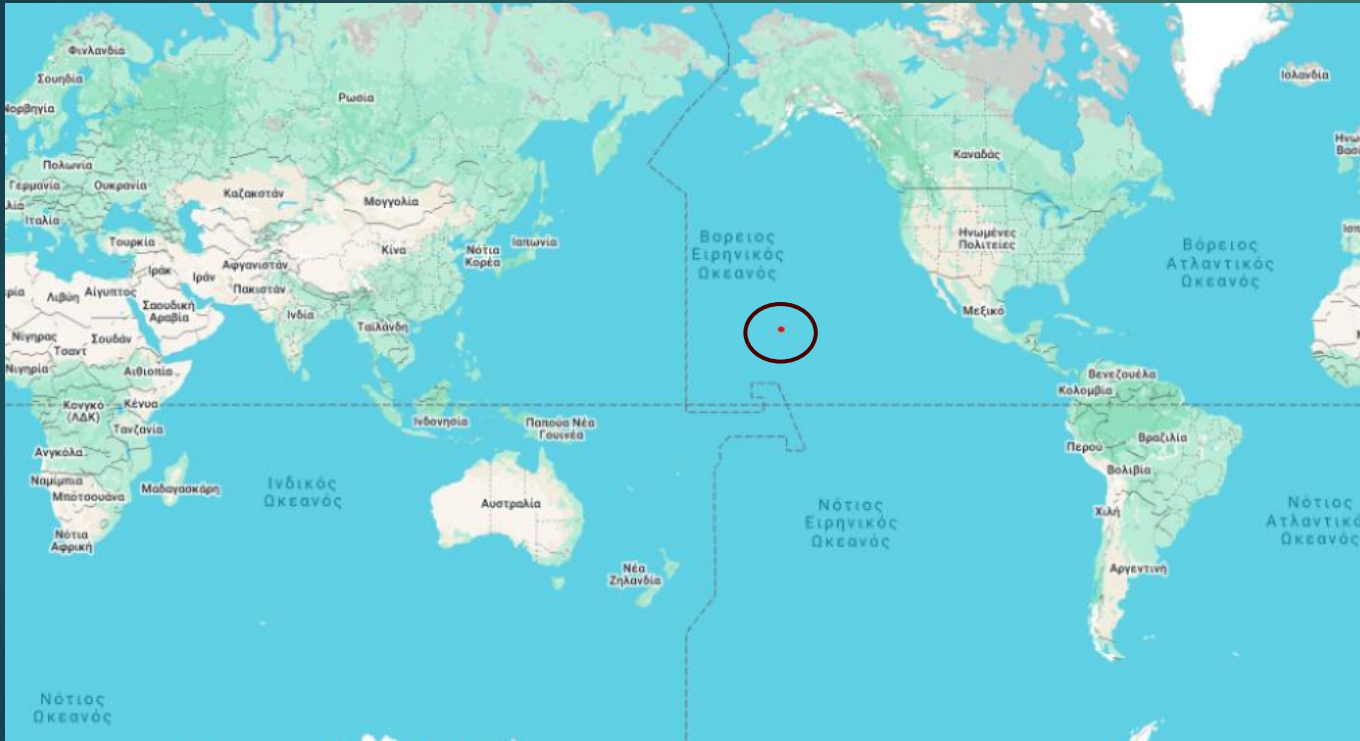
Εύκολο να διαταραχθεί ένας μικρός αριθμός αλλά όχι ένας μεγάλος αριθμός



Εκπομπές CO₂ και υπερθέρμανση πλανήτη

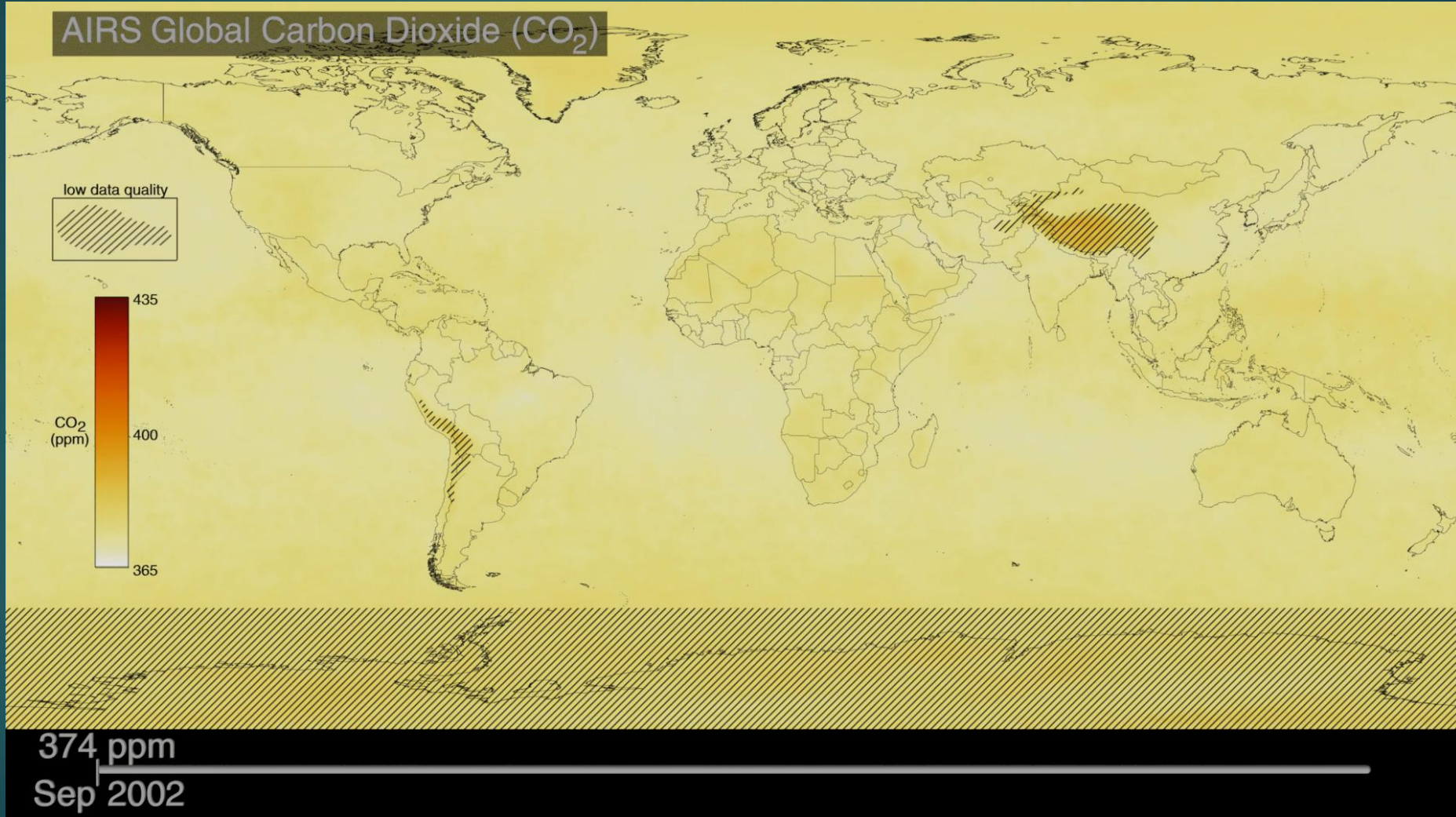
Global Monitoring Laboratory

Πρόσφατες τάσεις του διοξειδίου του άνθρακα από τον σταθμό **Mauna Loa**, Hawaïi

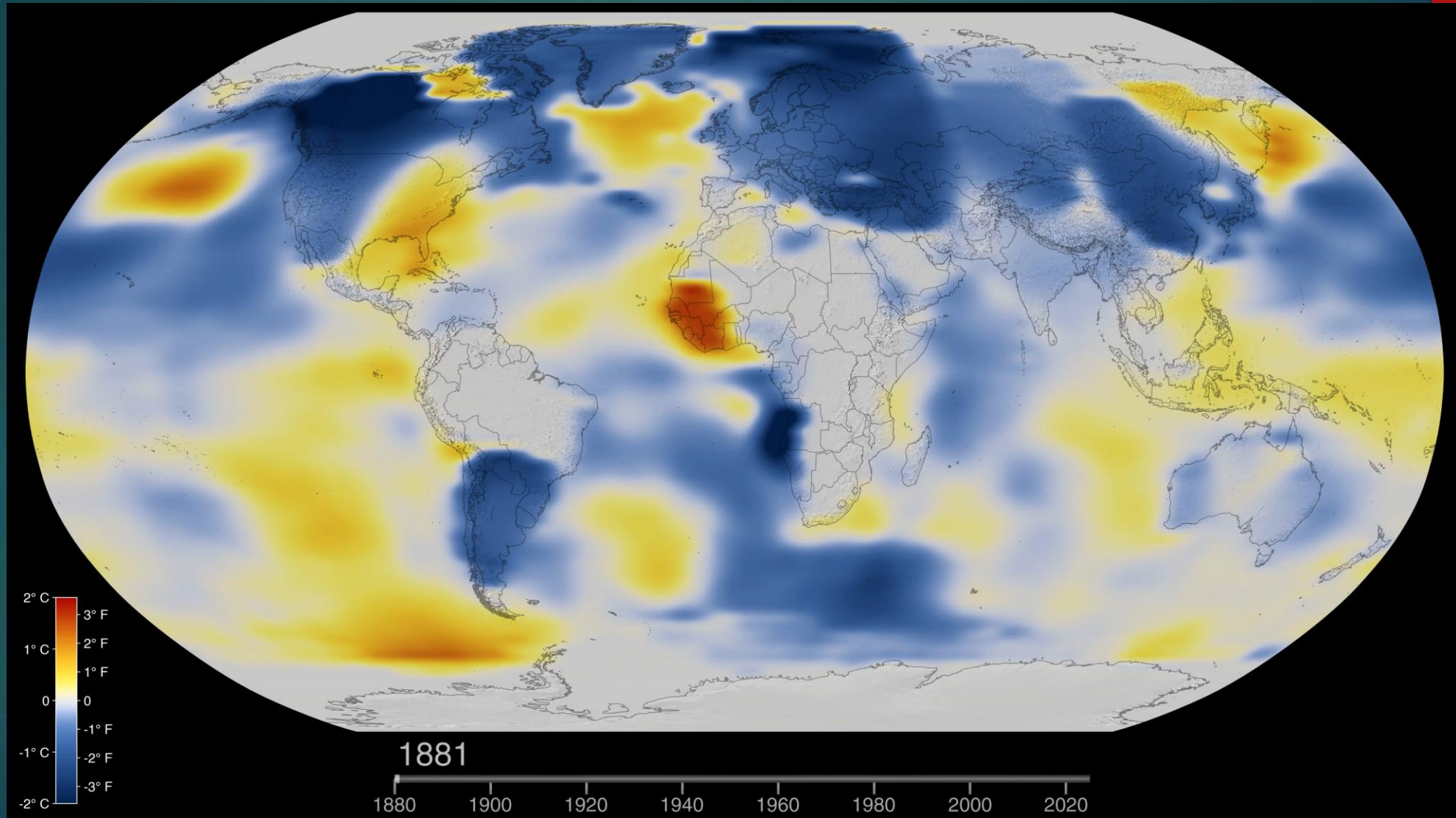


Εκπομπές CO₂ και υπερθέρμανση πλανήτη

20 years of AIRS Global Carbon Dioxide (CO₂) measurements (2002-October 2022)



Εκπομπές CO₂ και υπερθέρμανση πλανήτη



Ετήσιες εκπομπές CO₂ ανά καύσιμο

Annual CO₂ emissions by fuel, 1959-2022

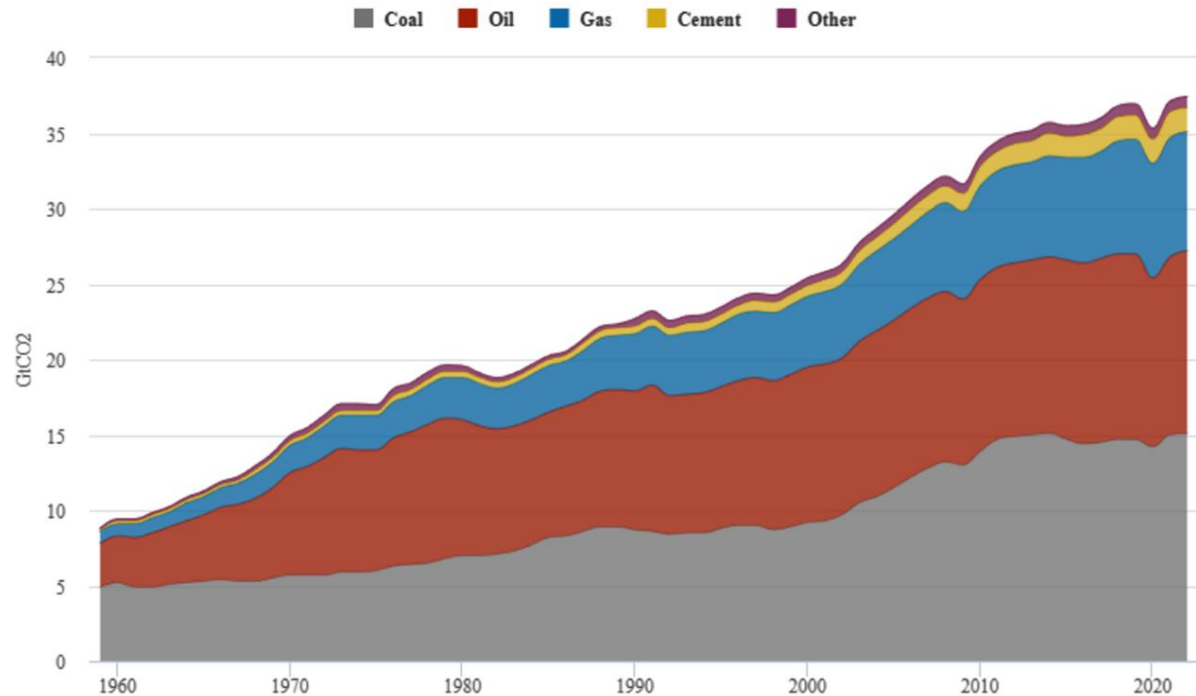
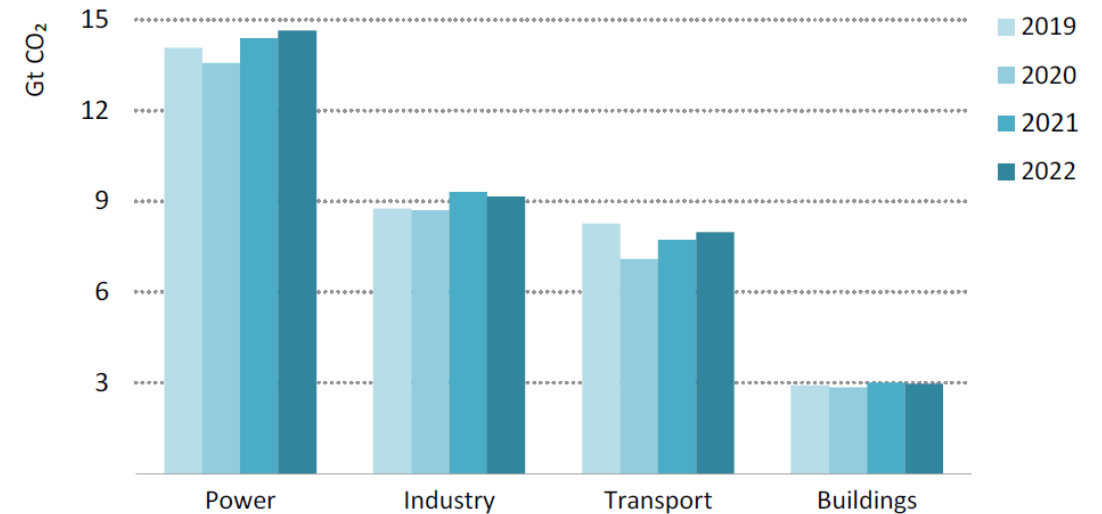


Figure 5: Global CO₂ emissions by sector, 2019-2022



Η καύση που δεν θέλουμε.



Βασικοί ορισμοί

Καύση

Ως **καύση** ορίζεται η εξώθερμη χημική αντίδραση, υψηλής ενέργειας ενεργοποίησης, η οποία περιλαμβάνει την οξείδωση ενός καυσίμου με ένα οξειδωτικό και την απελευθέρωση σημαντικού ποσού θερμότητας. Συχνά συνδυάζεται με την εμφάνιση φλόγας ή λάμψης. Φαινόμενα καύσης παρατηρούνται κατά την μετατροπή της χημικής ενέργειας ενός καυσίμου σε εκμεταλλεύσιμη θερμότητα, η οποία είτε χρησιμοποιείται άμεσα είτε μετατρέπεται σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια.

“Εξωθερμικότητα” (Εκλυση Θερμότητας)

Προκαλείται από τη μετατροπή της ενέργειας των χημικών δεσμών (π.χ., H-H, C-H, C-C, κ.λπ.) σε θερμική ενέργεια - δεν παρατηρείται σε μη αντιδρώσες ροές

Ενέργεια Ενεργοποίησης

Η εξάρτηση (εκθετική) της διαδικασίας καύσης από τη θερμοκρασία, θα οριστεί σωστά στο Κεφάλαιο Χημική Κινητική

“Κατηγοριοποίηση” Καύσης

Η καύση είναι μια οξειδωτική χημική αντίδραση που έχει την ικανότητα να διαδίδεται προς τις περιοχές όπου υφίσταται κατάλληλο μείγμα καυσίμου και οξειδωτικού.

Υποηχητικό κύμα καύσης, Deflagration

- Είναι καύση που **διαδίδεται αργά**, με ταχύτητα **μικρότερη** από τον ήχο.
- Το κύμα καύσης **μεταφέρεται από τη θερμότητα** στις γειτονικές περιοχές του υλικού.
- Παράγει **μέτρια πίεση** — δεν προκαλεί ισχυρό κρουστικό κύμα.
- Πιο **ασφαλής** σε ελεγχόμενες συνθήκες.

Υπερηχητικό κύμα καύσης, Detonation

Έκρηξη/Κρουστική Αντίδραση (Detonation)

- Η χημική αντίδραση διαδίδεται με **κρουστικό κύμα** που κινείται **υπερηχητικά**.
- Προκαλεί **άμεση και βίαιη έκλυση ενέργειας**.
- Χρησιμοποιείται σε **υψηλής ισχύος εκρηκτικά**.
- Πιο **καταστροφική** από την διάδοση υποηχητικού κύματος καύσης (deflagration).

Γενικές Παρατηρήσεις

► Σε πρακτικές εφαρμογές, η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική λαμβάνει χώρα υπό την ταυτόχρονη παρουσία θερμοδυναμικών και ρευστομηχανικών φαινομένων καθώς επίσης χημικής κινητικής και μοριακής μεταφοράς.

► Αυτές οι διεργασίες είναι ανεξάρτητα πολύπλοκες και οι αλληλεπιδράσεις τους αυξάνουν εκθετικά το επίπεδο πολυπλοκότητας.



Γενικές Παρατηρήσεις

Πολυπλοκότητα

Σε πραγματικές μηχανές αντιμετωπίζουμε:

- Τυρβώδεις ροές: Re_t από 10^3 έως 10^5 και παραπάνω
- Χημεία μεγάλων υδρογονανθράκων $C_6 - C_{16}$

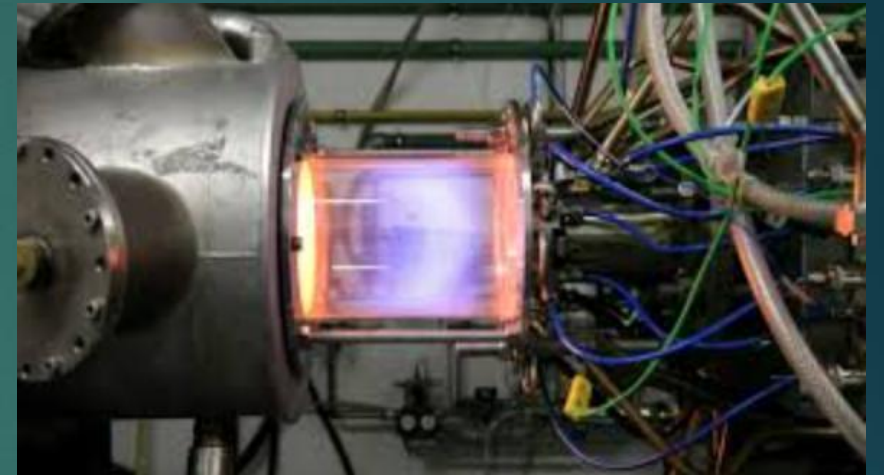
Και τα δύο αποτελούν εξίσου περίπλοκα φαινόμενα

Παλαιότερες προσεγγίσεις της Επιστήμης της Καύσης:

Κοινότητα Ρευστομηχανικής: Έμφαση στα ροϊκά πεδία, Υπεραπλούστευση της χημείας

Κοινότητα Χημείας: Έμφαση στην χημική κινητική, Αγνόηση επιδράσεων ροικού πεδίου

Και οι δύο προσεγγίσεις είναι ανεπαρκείς



Γενικές Παρατηρήσεις

Πολυπλοκότητα

Στα τέλη της δεκαετίας του '70 το ζήτημα της χημικής κινητικής θεωρήθηκε λυμένο. Ωστόσο, δεν ήταν έτσι!

Στη δεκαετία του '80 το ζήτημα της καύσης σε κινητήρες θεωρήθηκε επίσης σχεδόν κλειστό. Λάθος ξανά! Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ανεπαρκή!

Σήμερα, οι πολυπλοκότητες της μηχανικής ρευστών και της χημικής κινητικής έχουν πλήρως κατανοηθεί - αποτέλεσμα πολύ θεμελιωδών μελετών.

Σήμερα, ο στόχος είναι η εκτέλεση Άμεσων Αριθμητικών Προσομοιώσεων (DNS) ή Προσομοιώσεων Μεγάλων Δινών της διαδικασίας καύσης - πώς μπορεί να γίνει αυτό;

Δυνατότητες DNS: Η μοντελοποίηση κύβου $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ είναι εφικτή σε ρεαλιστικά υψηλούς αριθμούς Re .

Δυνατότητες LES: σοβαρές επιπλοκές από τη μοντελοποίηση υποπλέγματος.

Σημείωση: Το 1976, ο George Box (Βρετανός στατιστικολόγος) έγραψε: **Όλα τα μοντέλα είναι λάθος, αλλά μερικά είναι χρήσιμα.**

Γενικές Παρατηρήσεις

Επιστημονικό ενδιαφέρον

- Άμεση μέτρηση ταχυτήτων διάδοσης φλόγας
- Εξαγωγή αυστηρών και καθολικών κριτηρίων για τα κρίσιμα φαινόμενα ανάφλεξης και απόσβεσης
- Εξήγηση του τρόπου με τον οποίο οι φλόγες σταθεροποιούνται γενικά (π.χ. μέσω απώλειας θερμότητας, μηχανικής ρευστών, τοπολογίας φλόγας κ.λπ.)
- Εξαγωγή ακριβών χημικών μοντέλων ακόμη και για απλά καύσιμα όπως το υδρογόνο και οι υδρογονάνθρακες χαμηλής περιεκτικότητας σε C
- Αυστηρή περιγραφή φαινομένων υψηλής πίεσης
- Εξήγηση των διαφόρων μορφών αστάθειας που παρατηρούνται σε κινητήρες,

Θερμοδυναμική/Θερμοχημεία

Θερμοδυναμική: Η επιστήμη της ενέργειας (ο “λογιστής” της ενέργειας)

- Ασχολείται μόνο με καταστάσεις ισορροπίας
- Σε πρακτικές εφαρμογές οι καταστάσεις ισορροπίας δεν επιτυγχάνονται
- Μπορεί να εκτιμήσει ικανοποιητικά τις τελικές καταστάσεις των προϊόντων της καύσης

Θερμοδυναμική/Θερμοχημεία

Θερμοχημεία: Υποκλάδος της θερμοδυναμικής που εξετάζει τη θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται σε “χημικές αντιδράσεις”.

Καύση Μεθανίου-αέρα



Η αντίδραση αυτή στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει ποτέ!

Χημική κινητική

- Ένα βασικό στοιχείο της καύσης
- Υπολογίζει χημικές διεργασίες εκτός ισορροπίας
- Το καύσιμο και το O_2 ΔΕΝ αντιδρούν
- Οι ρίζες είναι απαραίτητες για τη μετατροπή των αντιδρώντων σε τελικά προϊόντα
- Πολύ-βηματική διαδικασία
- Οι πιο σημαντικές ρίζες H, OH και O σε όλες τις πιέσεις
- Η μετατροπή των αντιδρώντων σε προϊόντα περιλαμβάνει **συστατικά** από **10 έως 100** και **στοιχειώδεις αντιδράσεις** από **10 έως 100, έως 1000**
- Εξελισσόμενη επιστήμη με πολλές άγνωστες παραμέτρους και διεργασίες
- Επί του παρόντος, υπάρχουν μεγάλες αβεβαιότητες ακόμη και για απλά μόρια όπως το H_2 και το CH_4

Χημική κινητική

Ασχολείται με την ταχύτητα με την οποία λαμβάνει χώρα μια χημική αντίδραση

Η χημική κινητική προσπαθεί να εκτιμήσει πόσος χρόνος χρειάζεται για πραγματοποιηθεί μια αντίδραση.

Αποτελεί μια ξεχωριστή επιστήμη.

Ας δούμε την πιο “απλή” αντίδραση καύσης



Αρχική κατάσταση → Τελική κατάσταση

Μοιάζει απλό αλλά αυτή η αντίδραση δεν συμβαίνει ποτέ...

Το H_2 δεν θα συναντήσει ποτέ το O_2 ...

Χημική κινητική.



Τι συμβαίνει στην πραγματικότητα;

11-species, 19 reactions

ELEMENTS

H O N

END

SPECIES

H2 O2 OH O H H2O HO2 H2O2 N N2 NO

END

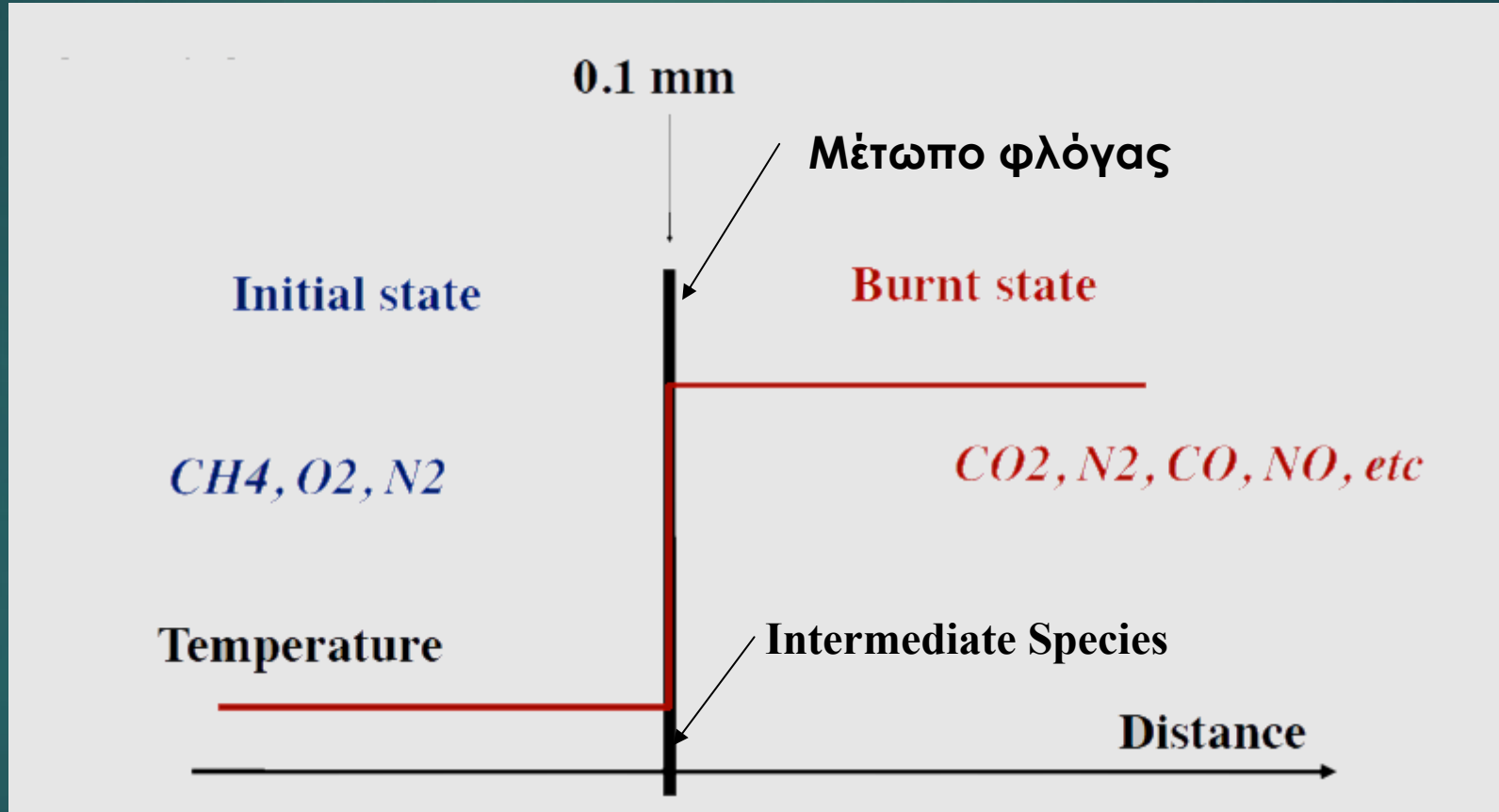
REACTIONS

H2+O2=OH+OH	1.700E13	0.0	47780.
H2+OH=H2O+H	1.170E09	1.30	3626.
H+O2=OH+O	5.130E16	-0.816	16507.
O+H2=OH+H	1.800E10	1.0	8826.
H+O2+M=HO2+M	2.100E18	-1.0	0.
H2/3.3/ O2/0./ N2/0./ H2O/21.0/			
H+O2+O2=HO2+O2	6.700E19	-1.42	0.
H+O2+N2=HO2+N2	6.700E19	-1.42	0.
OH+HO2=H2O+O2	5.000E13	0.0	1000.
H+HO2=OH+OH	2.500E14	0.0	1900.
O+HO2=O2+OH	4.800E13	0.0	1000.
OH+OH=O+H2O	6.000E08	1.3	0.
H2+M=H+H+M	2.230E12	0.5	92600.
H2/3./ H/2./ H2O/6.0/			
O2+M=O+O+M	1.850E11	0.5	95560.
H+OH+M=H2O+M	7.500E23	-2.6	0.
H2O/20.0/			
HO2+H=H2+O2	2.500E13	0.0	700.
HO2+HO2=H2O2+O2	2.000E12	0.0	0.
H2O2+M=OH+OH+M	1.300E17	0.0	45500.
H2O2+H=H2+HO2	1.600E12	0.0	3800.
H2O2+OH=H2O+HO2	1.000E13	0.0	1800.
END			

Standard Chemkin

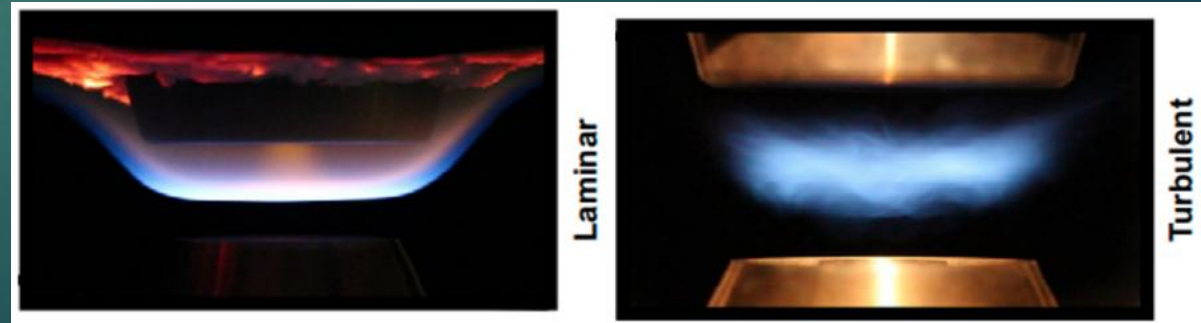
84	$\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{O}$	194	$\text{NH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO} + \text{O}$	260	$\text{NH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HNO} + \text{CO}$
85	$\text{OH} + \text{OH} (\text{or } \text{M}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + (\text{M})$	195	$\text{NH} + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{OH}$	261	$\text{CN} + \text{NO} \rightarrow \text{NCO} + \text{N}$
86	$\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{O} + \text{H}_2\text{O}$	196	$\text{NH} + \text{N} \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}$	262	$\text{NO} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{O}$
87	$\text{OH} + \text{HCO}_2 \rightarrow \text{O} + \text{H}_2\text{O}$	197	$\text{NH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO} + \text{H}_2$	263	$\text{N} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{CO}$
88	$\text{OH} + \text{H}_2\text{CO} \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2\text{O}$	198	$\text{NH} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{OH}$	264	$\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{CO}$
89	$\text{OH} + \text{H}_2\text{N}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{N} + \text{H}_2\text{O}$	199	$\text{NH} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}$	265	$\text{O} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$
90	$\text{OH} + \text{C} \rightarrow \text{H} + \text{CO}$	200	$\text{NH}_2 + \text{O} \rightarrow \text{OH} + \text{NH}$	266	$\text{O} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{H} + \text{CH}_3\text{CHO}$
91	$\text{OH} + \text{CH} \rightarrow \text{H} + \text{HCO}$				
92	$\text{OH} + \text{CH}_3 \rightarrow \text{H} + \text{CH}_2\text{O}$				

Χημική κινητική. Που συμβαίνουν αυτές οι αντιδράσεις;



Ρευστομηχανική

- Η συναγωγή επηρεάζει τον ρυθμό μεταφοράς των αντιδρώντων
- Η ένταση της καύσης μπορεί να επηρεαστεί
- Άμεση σύζευξη μεταξύ καύσης και μηχανικής ρευστών μέσω:
 - Θερμικής διαστολής λόγω απελευθέρωσης θερμότητας
 - Χημικής κινητικής
- Η κίνηση του ρευστού μπορεί να επηρεάσει την τοπολογία της φλόγας, δηλαδή, να αυξήσει ή να μειώσει την επιφάνεια της φλόγας και να οδηγήσει σε σβέση
- Η κίνηση του ρευστού (π.χ., τύρβη) μπορεί να ενισχύσει τη μοριακή ανάμειξη
- Οριακές επιδράσεις στην τυρβώδη καύση σε πρακτικές συσκευές;



Μοριακή μεταφορά

- Μεταφορά θερμότητας και μάζας
- Πάχος φλόγας της τάξης των 10^{-5} έως 10^{-3} m (δηλαδή, 10 μm έως 1000 μm)
- Αλλαγές θερμοκρασίας από 300K σε 2000 K
- Βαθμίδες $dT/dx \sim$ της τάξης των εκατομμυρίων K ανά μέτρο!
- Αλλαγές συγκέντρωσης αντιδρώντων από πεπερασμένες τιμές στο μηδέν
- Οι βαθμίδες θερμοκρασίας και συγκέντρωσης σε μια διαδικασία καύσης είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις μη αντιδρώσες ροές
- Η μεταφορά μπορεί να είναι ένας ουσιαστικός μηχανισμός για τη διατήρηση της καύσης ή την απόσβεση
- Η περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη
- Οι απλοποιημένες προσεγγίσεις μπορούν να εισάγουν σφάλματα όπως για παράδειγμα η διάχυση Fick

Διαχωρισμός καύσης βάσει της ανάμειξης των αντιδρώντων (Premixed or Non-premixed Combustion):

Στην περίπτωση της **προαναμειγμένης καύσης (φλόγες προανάμειξης)** τα αντιδρώντα έχουν πλήρως αναμειχθεί σε μοριακό επίπεδο πριν την έναρξη των χημικών αντιδράσεων.

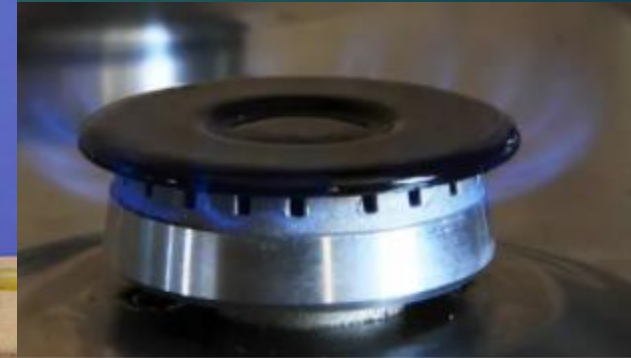
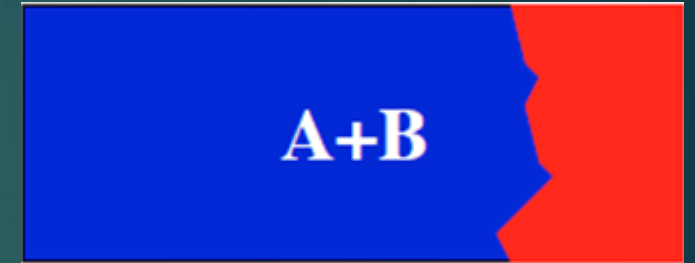
Η εξέλιξη του φαινομένου της καύσης καθορίζεται κυρίως, από τη χημική κινητική (ρυθμό χημικών αντιδράσεων). Η καύση εκδηλώνεται σαν ένα μέτωπο φλόγας που διαδίδεται μέσω των άκαυστων αντιδρώντων.

Σε ένα προαναμειγμένο σύστημα καύσης οι εκπομπές τοξικών ρύπων είναι χαμηλότερες από ότι σε ένα μη-προαναμειγμένο σύστημα.

Ενδεικτικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν προαναμεμειγμένη καύση είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης (SI engines) καθώς και οι καυστήρες αεροστροβίλων.

Premixed Flames

Τα αντιδρώντα αναμειγνύονται πρώτα σε μοριακό επίπεδο και στη συνέχεια καίγονται



Διαχωρισμός βάσει της ανάμιξης των αντιδρώντων:

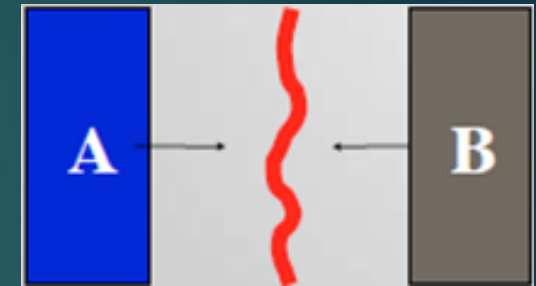
Στην περίπτωση της **μη-προαναμειγμένης καύσης (φλόγες διάχυσης)**, τα αντιδρώντα εισέρχονται στο χώρο καύσης ξεχωριστά έτσι ώστε η έκλυση ενέργειας να εξαρτάται αρχικώς από τον τρόπο και το ρυθμό ανάμειξής τους. Εδώ **η καύση λαμβάνει χώρα στις διεπιφάνειες των δύο ρευμάτων των αντιδρώντων συστατικών**.

Λόγω των εστιών φλογών στοιχειομετρικού και πλούσιου μείγματος που δημιουργούνται τοπικά, αυτές οι εκπομπές είναι γενικά υψηλότερες από την περίπτωση των φλογών προανάμειξης.

Οι φλόγες αυτές χαρακτηρίζονται από πορτοκαλί-κίτρινες αποχρώσεις λόγω του σχηματισμού σωματιδίων αιθάλης (soot) μέσω τοπικής πυρόλυσης (θερμοκρασίες 1300-1600K) των μορίων του καυσίμου στις πλούσιες περιοχές. Στη συνέχεια τα στερεά αυτά σωματίδια άνθρακα πυρακτώνονται στη ζώνη αντίδρασης με έντονη εκπομπή ορατής ακτινοβολίας.

Non-Premixed / Diffusion Flames

Τα αντιδρώντα αναμειγνύονται και καίγονται την ίδια στιγμή



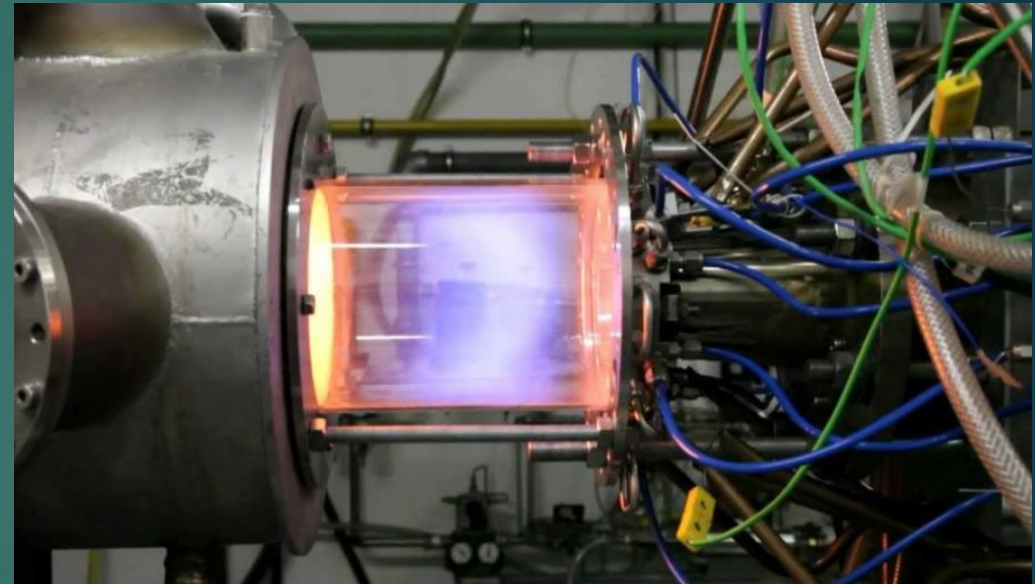
Προαναμειγμένη καύση

Πλεονεκτήματα

- Μείωση εκπεμπόμενων ρύπων (π.χ. CO, NOx, καπνός)
- Αύξηση απόδοσης καύσης
- Δυνατότητα καύσης πτωχού μείγματος (Έλεγχος μείγματος K/A)

Μειονεκτήματα

- Αστάθειες κυρίως κοντά στο πτωχό όριο απόσβεσης
- Οπισθοχώρηση της φλόγας
- Αυταναφλέξεις

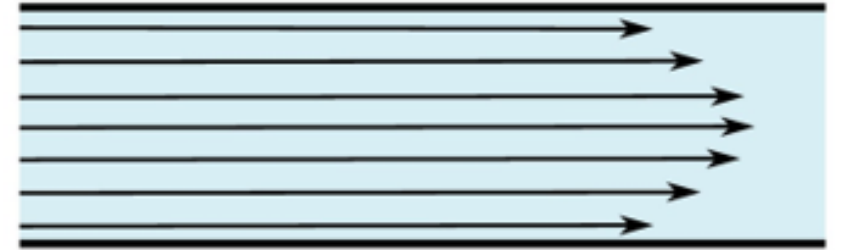


Διαχωρισμός βάσει του ροϊκού πεδίου:

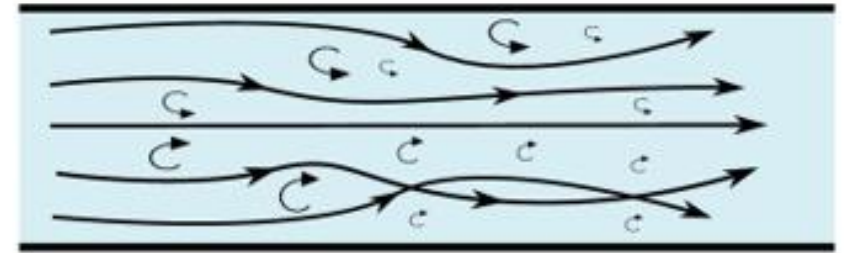
Στη **στρωτή ροή** χρησιμοποιείται η παραδοχή ότι το ρευστό αποτελείται από πολλά λεπτά στρώματα που ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο. Τα γειτονικά στρώματα του ρευστού κινούνται σχηματίζοντας λείες γραμμές ροής, χωρίς να πραγματοποιείται ανάμειξη μακροσκοπικής κλίμακας μεταξύ δυο γειτονικών στρωμάτων.

Στη **τυρβώδη ροή** τα σωματίδια του ρευστού έχουν ακανόνιστη, σχεδόν τυχαία, διακυμαινόμενη κίνηση. Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού μεταβάλλεται στο χρόνο κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση. Η ροή διασπάται πλήρως και υπάρχει έντονη μακροσκοπική ανάμειξη.

laminar flow



turbulent flow



Φλόγες

Στρωτές

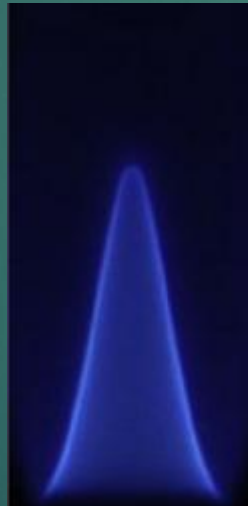
Τυρβώδεις

Διάχυσης

Προανάμειξης

Διάχυσης

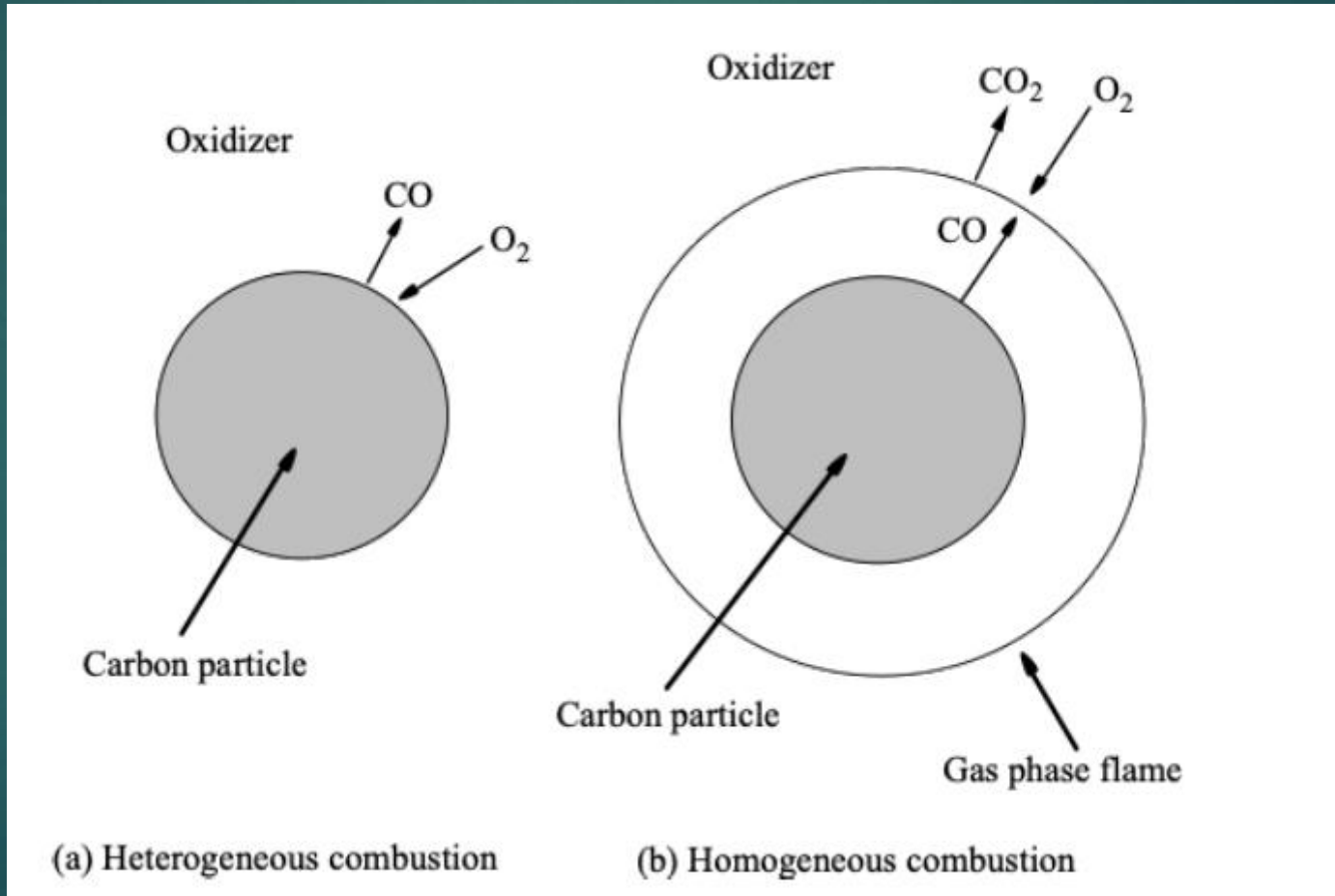
Προανάμειξης



Ομοιογενής – Ετερογενής Καύση

Ομοιογενής: Καύσιμο και οξειδωτικό στην ίδια αρχική φάση.

Ετερογενής: Καύσιμο και οξειδωτικό σε διαφορετική αρχική φάση.



Μέθοδοι σταθεροποίησης προαναμειγμένης καύσης

Αεροδυναμική
σταθεροποίηση



Σταθεροποίηση
με στροβιλισμό



Σταθεροποίηση
με χρήση
σταθεροποιητικών
σωμάτων



Είδη Καυσίμων

Βασικά καύσιμα

Έιδη καυσίμων - ένα σοβαρό ζήτημα:

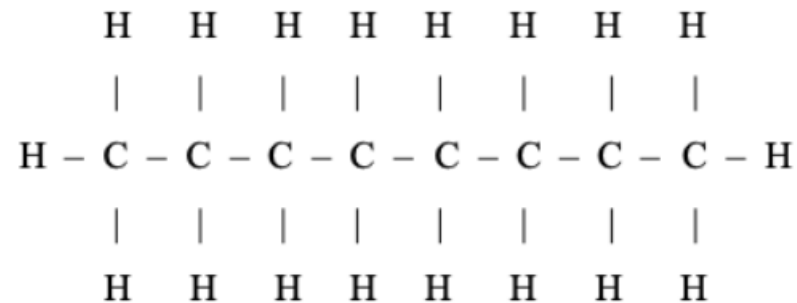
- SIE - ελαφρύτεροι C_xH_y (C_6-C_8)
- Ντίζελ - βαρύτεροι C_xH_y (C_9-C_{16})
- Μεγάλος αριθμός συστατικών σε πρακτικά καύσιμα που υπαγορεύονται από τις απαιτήσεις απόδοσης και εκπομπών
- Αρωματικοί υδρογονάνθρακες αντικαταστήσαν τη χρήση μολύβδου για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αυτανάφλεξης
- Φυσικό αέριο
- Βιοκαύσιμα
- Υδρογόνο (αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας)
- Αμμωνία

Είδη Καυσίμων

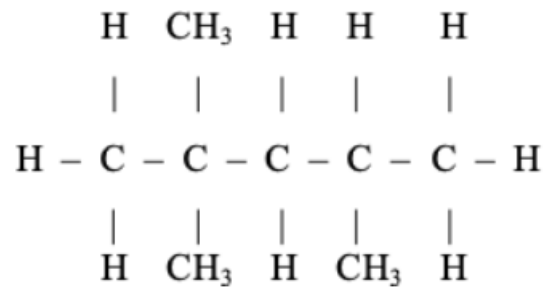
Υδρογονάνθρακες

Αλκάνια
(παραφίνες)
 C_nH_{2n+2}

n-octane (C_8H_{18}):



iso-octane or 2,2,4 - trimethylpentane (C_8H_{18}):



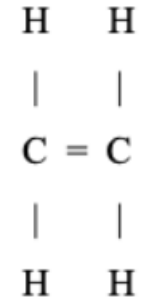
acetylene (C_2H_2):



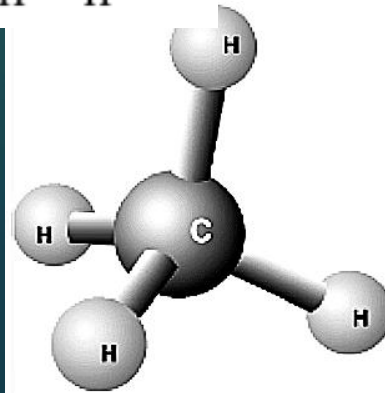
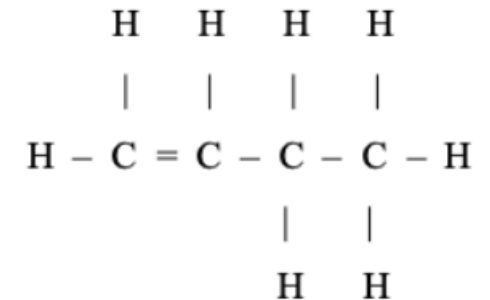
Αλκίνια
(ασετυλίνες)
 C_nH_{2n-2}

Αλκένια
(ολεφίνες)
 C_nH_{2n}

ethylene (C_2H_4):



1-butene (C_4H_8):

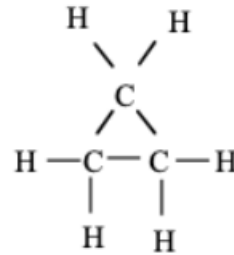


Είδη Καυσίμων

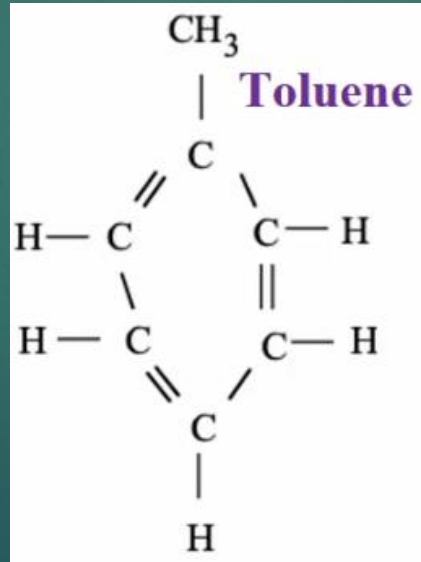
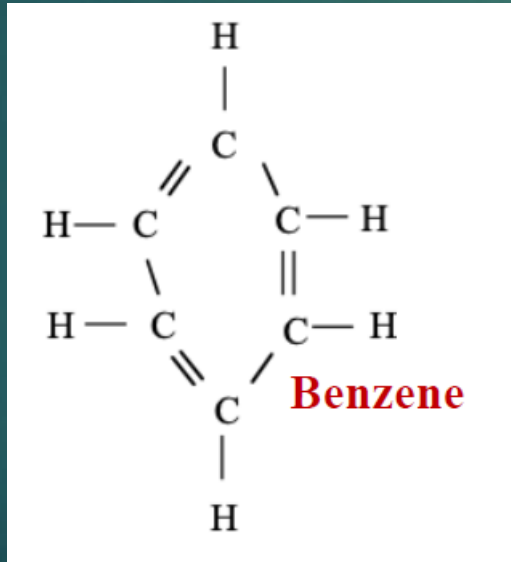
Υδρογονάνθρακες

Κυκλοαλκάνια
(Κυκλοπαραφίνες)
 C_nH_{2n}

cyclo-propane (C_3H_6):



Αρωματικοί
(C_nH_{2n})



Αλκοόλες
(ολεφίνες)
 $C_nH_{2n+1}OH$

Περιέχουν ρίζα υδροξυλίου (OH) R-OH,

Μπορεί να αποθηκευτεί
Μειώνει το knock και τις εκπομπές ρύπων
εκτός από τις αλδεΐδες

Παραδείγματα:

- μεθανόλη CH_3OH

Αντίστοιχος υδρογονάνθρακες CH_4

- αιθανόλη C_2H_5OH

Αντίστοιχος υδρογονάνθρακες C_2H_6

- βουτανόλη C_4H_9OH

Αντίστοιχος υδρογονάνθρακες C_4H_{10}

Είδη Καυσίμων

Υδρογονάνθρακες

Οι διάφορες οικογένειες υδρογονανθράκων (βλ. Πίνακα) διαφοροποιούνται από το αν τα μόρια της κάθε ένωσης περιλαμβάνουν μόνο απλούς δεσμούς άνθρακα ($C-C$) ή ένα διπλό δεσμό ($C=C$) ή έναν τριπλό δεσμό ($C\equiv C$) και από το αν τα μόρια σχηματίζουν ελεύθερες αλυσίδες ή κυκλικές αλυσίδες.

Τα **αλκάνια**, τα **αλκένια** και τα **αλκίνια** χαρακτηρίζονται από ελεύθερες αλυσίδες, ενώ οι **κυκλικές ενώσεις** και οι **αρωματικοί υδρογονάνθρακες** χαρακτηρίζονται από κυκλικές αλυσίδες.

Βασικές οικογένειες υδρογονανθράκων				
Όνομα	Εναλλακτικό όνομα	Γενικός μοριακός τύπος	Δεσμοί άνθρακα	Βασική μοριακή δομή
Αλκάνια	Παραφίνες	C_nH_{2n+2}	Μόνο απλοί	Απλή ή διακλαδισμένη ελεύθερη αλυσίδα
Αλκένια	Ολεφίνες	C_nH_{2n}	Ένας διπλός, οι υπόλοιποι απλοί	Απλή ή διακλαδισμένη ελεύθερη αλυσίδα
Αλκίνια	Ασετυλίνες	C_nH_{2n-2}	Ένας τριπλός, οι υπόλοιποι απλοί	Απλή ή διακλαδισμένη ελεύθερη αλυσίδα
Κυκλοαλκάνια	Κυκλοπαραφίνες	C_nH_{2n} ή $(CH_2)_n$	Μόνο απλοί	Κυκλική αλυσίδα
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Οικογένεια του βενζολίου	C_nH_{2n-6}	Υβριδικοί	Κυκλική αλυσίδα

Είδη Καυσίμων

Η **βενζίνη περιέχει** αλκάνια, αλκένια και αρωματικούς υδρογονάνθρακες (200 ή και περισσότερες ενώσεις συνθέτουν τη βενζίνη). Στον Πίνακα δίνεται μια γενική εικόνα της κατανομής των διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων στις βενζίνες.

Η εκάστοτε σύνθεση της βενζίνης μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά: μια βενζίνη που παρήχθη από αργό πετρέλαιο από τις αραβικές χώρες θα είναι σίγουρα διαφορετική από εκείνη που παρήχθη από αργό πετρέλαιο της Pennsylvania.

Αυτοί οι τύποι των δύο βενζινών ($C_{8.26}H_{15.5}$ και $C_{7.76}H_{13.1}$) παρουσιάζουν διαφορετικές θερμοδυναμικές ιδιότητες.

Σύσταση βενζίνης σε υδρογονάνθρακες	
Οικογένεια υδρογονανθράκων	Εύρος
Αλκάνια	4% – 8%
Αλκένια	2% – 5%
Ισοαλκάνια	25% – 40%
Κυκλοαλκάνια	3% – 7%
Κυκλοαλκένια	1% – 4%
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	20% – 50%

Downloaded from <https://www.cambridge.org/core>. University of Cambridge, on 02 Jun 2020 at 12:00:00, subject to the Cambridge Core terms of use, available at <https://www.cambridge.org/core/terms>. <https://doi.org/10.1017/S0022216X20000509>

Downloaded from <https://www.cambridge.org/core>. University of Cambridge, on 02 Jun 2020 at 10:00:00, subject to the Cambridge Core terms of use, available at <https://www.cambridge.org/core/terms>. <https://doi.org/10.1017/S0022278X20000539>