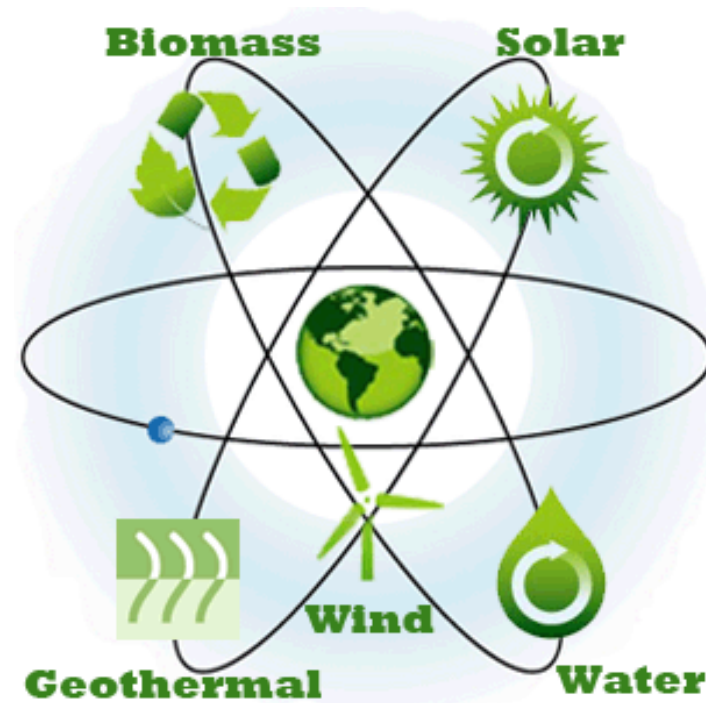


# Ενέργεια & Περιβάλλον: Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας



**Ιωάννης Αθ. Παραβάντης**

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

2019-10

• 1 σε σύνολο 88 •

Αρχικά θα σας μιλήσω για τη **σκοπιμότητα** των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα πλαίσια της εικαζόμενης **παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής** (global climate change) αλλά και γενικότερα.

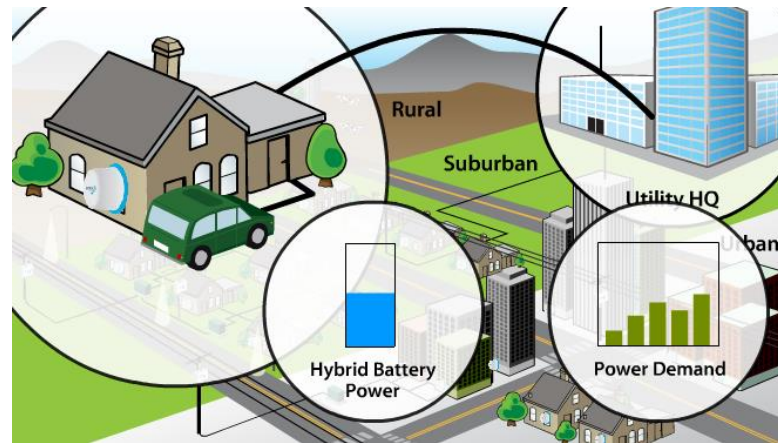
Μετά θα σας παρουσιάσω συγκεκριμένες μορφές ΑΠΕ:

- ✱ **Βιομάζα** (biomass) και **βιοκαύσιμα** (biofuels)
- ✱ **Υδροηλεκτρική** ενέργεια (hydroelectricity)
- ✱ **Αιολική** ενέργεια (wind power)
- ✱ **Ηλιακή** ενέργεια (solar power):
  - ✱ **φωτοβολταϊκά** (photovoltaics)
  - ✱ παθητική **θέρμανση** (heating)
- ✱ **Γεωθερμία** (geothermal)
- ✱ Ενέργεια από **θάλασσες** και **ωκεανούς** (ocean energy)

Θα μιλήσω επίσης για μερικά σημαντικά θέματα που είναι στην καρδιά της αξιοποίησης των ΑΠΕ, όπως:

- ✦ χρήση ΑΠΕ σε μεταφορές και **πράσινες μεταφορές** (green transport)

Θα σας φανεί ενδιαφέρον να ακούσετε ότι τα **έξυπνα δίκτυα** (smart grids) και **έξυπνες πόλεις** (smart cities) πάνε χέρι-χέρι με τις ΑΠΕ στο μέλλον.



Τέλος, θα σας παρουσιάσω μερικές πρωτότυπες σκέψεις για τα **πολύπλοκα συστήματα** (complex systems) τη σημασία της **εκπαίδευσης**, και το μέλλον, που ανήκει σε σας.

*The **fuel** of the future is going to come from **fruit** ... apples, weeds, sawdust - almost anything. There is fuel in every bit of **vegetable** matter that can be fermented. There's enough **alcohol** in one year's yield of an acre of potatoes to drive the **machinery** necessary to cultivate the fields for a hundred years.*

— Henry Ford





Τα **ορυκτά καύσιμα** (fossil fuels) μας εξυπηρέτησαν καλά για έναν περίπου αιώνα. Καθώς όμως τα φυσικά αποθέματά τους εξαντλούνται, ο άνθρωπος θα πρέπει να στραφεί σε άλλες πηγές ενέργειας.



Ας εξετάσουμε ένα βασικό ερώτημα που ακούγεται συχνά:

Τι είναι **βιώσιμη ανάπτυξη**  
(sustainable development);

**Βιώσιμη ανάπτυξη** (sustainable development) είναι

- ✱ **οικονομική ανάπτυξη** που μεταφράζεται σε **ποιότητα ζωής** για **όλους** χωρίς όμως να ξεπερνάμε
  - ✱ την **αφομοιωτική ικανότητα** των αποδεκτών (ρύπανση) ούτε
  - ✱ το **ρυθμό αναγέννησης** των διαθέσιμων πόρων και πρώτων υλών.



Για να αποφασίσουμε αν μια διαδικασία είναι βιώσιμη, αρκεί να σκεφτούμε τι θα συνέβαινε στο περιβάλλον αν η διαδικασία αυτή εκτελείτο για **εκατοντάδες χρόνια!**

Η μεγαλύτερη χρήση των ΑΠΕ καθιστά την οικονομία μας πιο βιώσιμη στο θέμα της χρήσης ενέργειας γιατί:



- ✱ Ο **ήλιος** είναι ανεξάντλητος (η ηλικία του μετριέται σε δισεκατομμύρια χρόνια) η δε ενέργεια του ηλίου, που αξιοποιείται σε πολλές ΑΠΕ, εκπέμπεται έτσι και αλλιώς.
- ✱ Οι **επιπτώσεις** από τη χρήση ΑΠΕ είναι μικρότερες από αυτές των **ορυκτών καυσίμων** ειδικά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- ✱ Η χρήση μη ανανεώσιμων πόρων λίγο πολύ περιορίζεται στα **υλικά** που απαιτούνται για την χρήση ΑΠΕ, π.χ. χάλυβας για την κατασκευή των ανεμογεννητριών.



Ειδικά για την **παγκόσμια κλιματική αλλαγή**, ας δούμε τώρα τη σκοπιμότητα της μείωσης της κατανάλωσης άνθρακα και της στροφής σε ΑΠΕ με τη βοήθεια εννοιών της **Θεωρίας Παιγνίων** (Game Theory):

- ✱ Εάν την παγκόσμια κλιματική αλλαγή την προκαλούμε εμείς, τότε μας συμφέρει να στραφούμε σε ΑΠΕ. Τα να συνεχίσουμε ανέμελα την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων θα ήταν καταστροφικό.
- ✱ Εάν δεν την προκαλούμε εμείς, τότε δεν θα μας έκανε κακό να στραφούμε σε ΑΠΕ αρκεί το κόστος να είναι "εύλογο". Έτσι και αλλιώς, κάποτε θα το κάνουμε!

Συμπεραίνουμε ότι, εφόσον το κόστος μετάβασης σε ΑΠΕ δεν είναι υπερβολικό, αποτελεί **κυρίαρχη στρατηγική** (dominant strategy) η αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας.

# How Game Theory Works The Game Tree

Player One Player Two

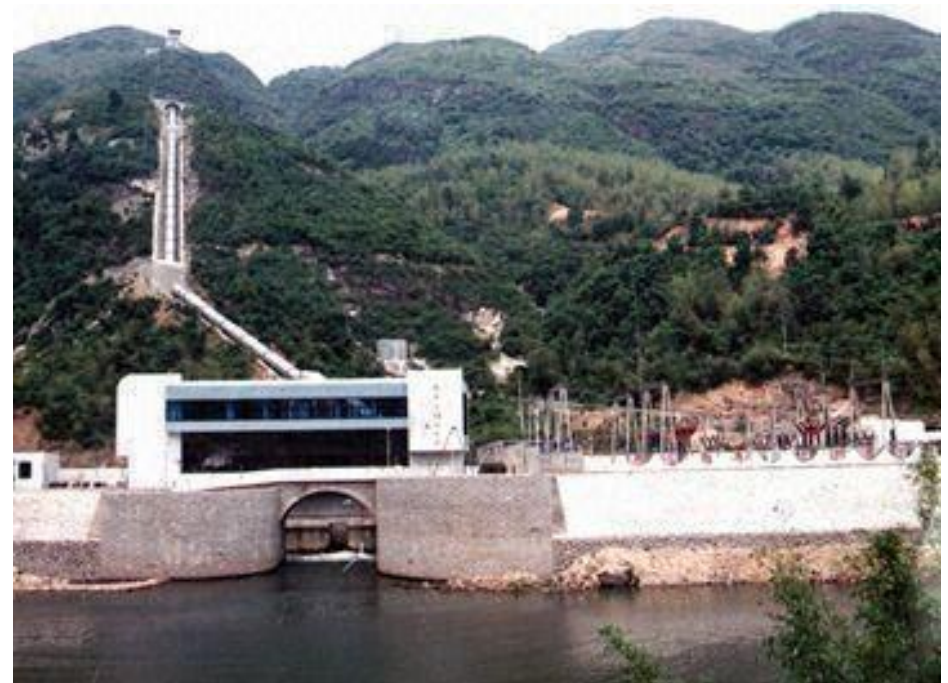


1= 20 years    2= 10 years    3= 5 years    4= Go free

LD ©2008 HowStuffWorks

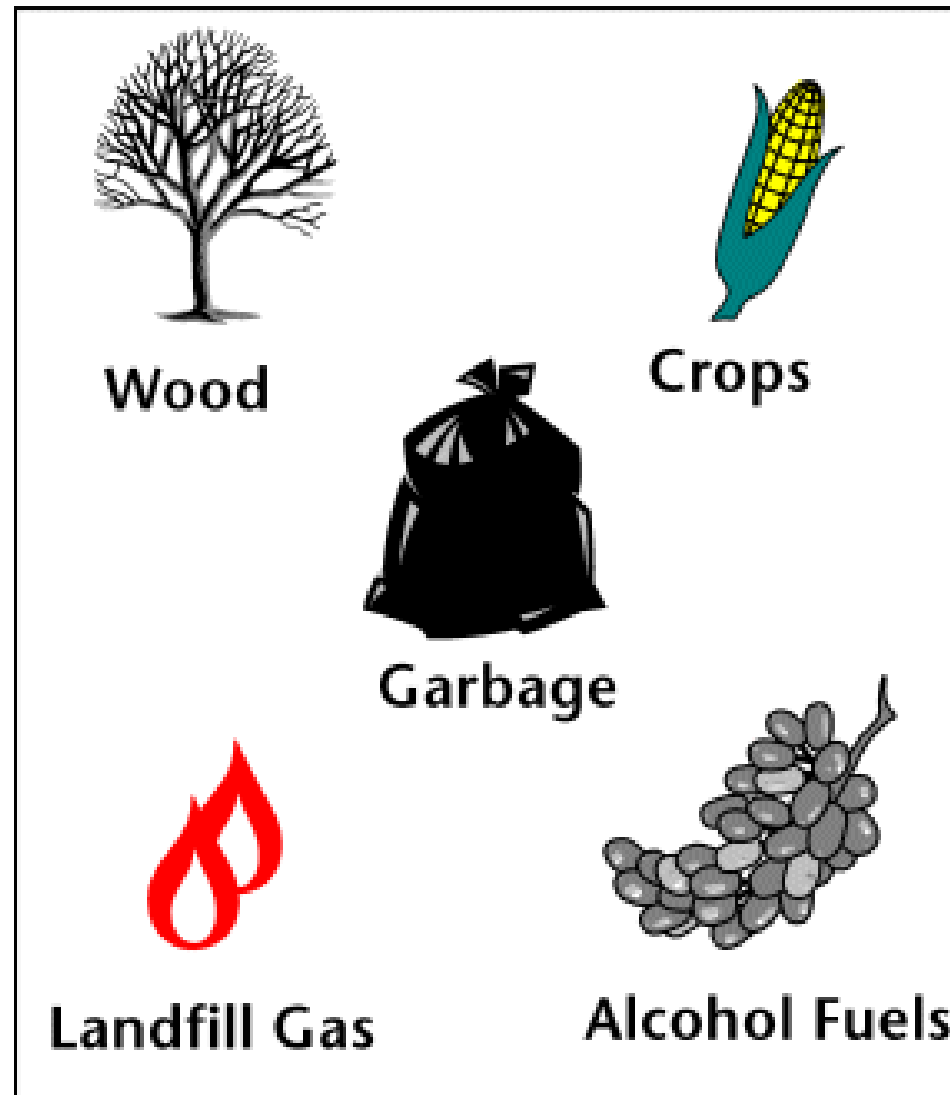
Το **2010**, το **19.4%** της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας προήλθε από **ΑΠΕ**. Τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (ΜΜΕ) δίνουν μεγάλη έμφραση στην **αιολική** και την **ηλιακή** ενέργεια.

Όμως οι μορφές ΑΠΕ που είναι σε μεγαλύτερη χρήση παγκοσμίως είναι η **βιομάζα** και η **υδροηλεκτρική**.



Τα δυο τρίτα της ανανεώσιμης ενέργειας παγκόσμια είναι **BIOMAZA** (biomass), που αναφέρεται σε ζωικά και φυτικά υπολείμματα.

## Types of Biomass





Η βιομάζα αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας για πάνω από **2 δισεκατομμύρια** ανθρώπους (σε σύνολο 7 δις σε όλη τη Γη)!





Το πιο συνηθισμένο είδος βιομάζας είναι το **ξύλο**, χρησιμοποιούμενο ως καύσιμη ύλη (fuel wood).

- ✳ Τα καυσόξυλα είναι η πιο συνηθισμένη πηγή ενέργειας παγκόσμια για **μαγείρεμα** (cooking).
- ✳ Τα καυσόξυλα χρησιμοποιούνται και για **θέρμανση** κατοικιών (heating).
- ✳ Τέλος, το ξύλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** (combustion ή co-combustion).



Παραδοσιακά, ειδικά σε φτωχές και αναπτυσσόμενες χώρες, τα καυσόξυλα καίγονται για **μαγείρεμα σε ανοιχτές εστίες** (open cook stoves). Αυτές έχουν **χαμηλή αποδοτικότητα** και εκπέμπουν **σωματιδιακούς ρύπους** (particulate emissions).





Τέτοιοι ατμοσφαιρικοί ρύποι προκαλούν **λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος** (lower respiratory infections), που δυστυχώς αποτελούν την πιο συχνή αιτία θανάτου των παιδιών σε αναπτυσσόμενες χώρες.



Υπάρχουν προγράμματα φιλανθρωπικών οργανισμών, κυβερνήσεων των αναπτυγμένων χωρών και υπερεθνικών ενώσεων (όπως της ΕΕ), που προσπαθούν να προωθήσουν στον Τρίτο Κόσμο **σόμπες βιομάζας υψηλής αποδοτικότητας** (high efficiency biomass stoves), που μειώνουν κατά πολύ τις ατμοσφαιρικές εκπομπές.





Και μέχρι τον 20ό αιώνα, στις ΗΠΑ το **ξύλο** ήταν η κύρια πηγή **θέρμανσης** των κατοικιών. Κατά τον 20ό αιώνα, η χρήση του ξύλου μειώθηκε καθώς τα νοικοκυριά στράφηκαν σε **ορυκτά καύσιμα** (fossil fuels).

Το ενδιαφέρον για το ξύλο ως καύσιμη ύλη αναβίωσε με τις **πετρελαϊκές κρίσεις** από το **1970** και μετά και αναζωπυρώθηκε με την πρόσφατη **οικονομική κρίση** και την **ενεργειακή φτώχεια** (fuel poverty) των νοικοκυριών (από το 2008 και μετά).





Στην έρευνα της **ενεργειακής φτώχειας** (2009-11, **ΤΟ ΒΗΜΑ**, **ΣΚΑΙ** 15/2/2013), βρήκαμε ότι στην Ελλάδα τα νοικοκυριά έκαναν χρήση των εξής εναλλακτικών πηγών ενέργειας για θέρμανση:

- ✱ σόμπες αλογόνου, γκαζιού, κηροζίνης, ξυλόσομπα, ηλεκτρική κλπ
- ✱ τζάκι και ενεργειακό τζάκι
- ✱ θερμοπομποί, θερμοσυσσωρευτές, αντλίες θερμότητας
- ✱ αερόθερμο.



Βαριά ρούχα, χοντρές κάλτσες και παπλώματα επιστράτευσαν οι Έλληνες τον περυσινό, βαρύ χειμώνα, «παροπλίζοντας» λόγω οικονομικής ανέχειας τα ευρωβόρα συστήματα θέρμανσης. Κλειστός ήταν ο καυστήρας πετρελαίου αλλά και το φυσικό αέριο, εκτός λειτουργίας τα κλιματιστικά, για να γλιτώσουν τον οικογενειακό προϋπολογισμό από το... τσουρούφλισμα των καυτών λογαριασμών. Αν και ο χειμώνας 2011-2012 ήταν περίπου 35% βαρύτερος από εκείνον του 2010-2011, η ενεργειακή κατανάλωση, αντί να αυξηθεί, μειώθηκε κατά 35%. Ιδιαίτερα στα χαμηλά εισοδήματα (από 0 ως 10.000 ευρώ ετησίως) καθώς και στα μεσαία εισοδήματα (20.000 με 30.000 ευρώ ετησίως) παρατηρήθηκε ακόμη μεγαλύτερη μείωση, η οποία έφθανε το 42,5% και το 41% αντιστοίχως. Μάλιστα, είναι αξιοσημείωτο ότι για τα χαμηλά εισοδήματα πολύ σημαντικός αριθμός νοικοκυριών δεν χρησιμοποίησε σχεδόν κανένα σύστημα θέρμανσης για όλον τον χρόνο.

Τι «κάψαμε»  
τον χειμώνα  
2011-12

14%

συνολική μείωση του μέσου καθαρού οικογενειακού εισοδήματος το 2012 σε σύγκριση με το 2011

34,6%

μικρότερη η μέση κατανάλωση του χειμώνα 2011 - 2012 σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος



## Κατοικίες που...

δεν χρησιμοποίησαν θέρμανση

έκαναν χρήση μόνο φυσικού αερίου

έκαναν χρήση μόνο πετρελαίου

έκαναν χρήση μόνο κλιματισμού για θέρμανση

έκαναν χρήση κλιματισμού και φυσικού αερίου

έκαναν χρήση κλιματισμού και πετρελαίου

έκαναν χρήση κλιματισμού, πετρελαίου και φυσικού αερίου

Κλιματισμός

Φυσικό αέριο

Πετρέλαιο

ΡΕΠΟΡΤΑΖ  
ΜΑΧΗ ΤΡΑΤΣΑ

Τα συμπεράσματα της εν εξελίξει έρευνας των Πανεπιστημίων Αθηνών, Πειραιώς, Δυτικής Ελλάδας, των Πολυτεχνείων Κρήτης και Θεσσαλονίκης και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών αποκτούν ακόμη μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς εφόσον τα νέα μέτρα λιτότητας θα ληληλατήσουν έτι

Αποκαλυπτική έρευνα για τη θέρμανση των Ελλήνων τον περυσινό, βαρύ, χειμώνα

# Η κρίση μάς πάγωσε

Η κατανάλωση ενέργειας στις χαμηλές και μεσαίες εισοδηματικές τάξεις ήταν και είναι σε απόλυτες τιμές και ανά τετραγωνικό μέτρο κατοικίας περίπου η μισή απ' ό,τι στις ανώτερες

Και η θέρμανση των κατοικιών με καυσόξυλα είναι υπεύθυνη για την εκπομπή σωματιδιακών ρύπων στην ατμόσφαιρα (αιθάλης). Για την μείωση τους, γίνεται χρήση **προηγμένων συστημάτων ανάφλεξης ξύλου** (advanced wood combustion systems ή AWC), που καίνε τα καυσόξυλα σε θερμοκρασίες ψηλότερες από ένα τζάκι.

Στην παρούσα ενεργειακή κρίση, τα συστήματα AWC έχουν εξαπλωθεί και στην **Ευρώπη**.

- ✱ στην Αυστρία, για παράδειγμα, αναφέρεται ότι υπάρχουν περισσότερα από 1000 εγκατεστημένα.





Τέλος, εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία, που προκαλούν αναπνευστικές λοιμώξεις, η χρήση ξύλου ως καύσιμης ύλης προκαλεί **αποδάσωση** (deforestation) και **ερημοποίηση** (desertification).





Η λιγότερο διαδεδομένη αλλά πιο αποδοτική χρήση του ξύλου είναι για **συνδυασμένη θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** (combined heat and power ή CHP) π.χ. μαζί με άνθρακα (coal).

Η αποδοτικότητα των συστημάτων συμπαραγωγής CHP φτάνει ακόμα και το 90% ενώ με ξύλο μόνο θα είχαμε αποδοτικότητα μέχρι 30%.



Ας δούμε τη χρήση της βιομάζας παγκόσμια:

- ✱ Στην **Σουηδία**, η χρήση βιομάζας πρόσφατα ξεπέρασε τη χρήση πετρελαίου.
- ✱ Στη **Δανία** η βιομάζα παράγει το 10% της συνολικής ενέργειας.
- ✱ Αύξηση της χρήσης βιομάζας παρατηρήθηκε σε **Γερμανία, Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία** και την **Ολλανδία**.

Μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες χρήσεις της βιομάζας είναι για παραγωγή **βιοκαυσίμων** (biofuels).





Η **ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ** ενέργεια (hydroelectricity), δηλαδή η μετατροπή της κίνησης του νερού σε ηλεκτρισμό, είναι η δεύτερη πιο συχνή ΑΠΕ παγκόσμια, μετά την βιομάζα.



Θυμάστε που αναφέραμε ότι το **2010**, το **19.4%** της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας προήλθε από **ΑΠΕ**;

✳ Το **83%** των ΑΠΕ ήταν υδροηλεκτρική ενέργεια!



Τα 4 από τα 5 μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού στον κόσμο είναι υδροηλεκτρικά.

- ✦ Το 1936 ο σταθμός παραγωγής στο φράγμα **Hoover** στα σύνορα των πολιτειών **Arizona** και **Nevada**, ισχύος 1.3 γιγαβάτ (GW) ήταν η μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο.



- ✦ Το 1942 ξεπεράστηκε από τον υδροηλεκτρικό σταθμό ισχύος 6.8 GW στο φράγμα **Grand Coulee** στην πολιτεία **Washington**, που παραμένει το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παντός τύπου στις ΗΠΑ.





- ✦ Το 1984, η υδροηλεκτρική μονάδα στο φράγμα **Tucuruí** («νερά της ακρίδας») της **Βραζιλίας**, ισχύος 8.4 GW, έγινε η μεγαλύτερη στον κόσμο.





- ✦ Σύντομα μετά, το 1986, η **Βενεζουέλα** έθεσε σε λειτουργία την υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής στο φράγμα **Guri**, ισχύος 10.2 GW.



- ✦ Ο υδροηλεκτρικός σταθμός στο φράγμα **Itaipu** της **Βραζιλίας** ξεκίνησε λειτουργία το 1984 και μέχρι το 2007 είχε αναβαθμιστεί σε ισχύ 14 GW.



- ✦ Τέλος, το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στο επιβλητικό φράγμα στα Τρία Φαράγγια (Three Gorges Dam) στην **Κίνα**, ισχύος 18.3 GW είναι η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στον κόσμο, παντός τύπου. Με την υπό κατασκευή αναβάθμιση στα 22.5 GW, θα είναι σχεδόν 4 φορές μεγαλύτερο από τη μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού από άνθρακα.





Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ρεύματος έχουν τις ηπιότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία τους. Όμως, για να κατασκευαστούν, μεγάλες περιοχές πρέπει να **πλημμυρίσουν** με νερό, γεγονός που αλλάζει το χαρακτήρα μεγάλων οικολογικών εκτάσεων και εκτοπίζει μεγάλο αριθμό ανθρώπων από τις κατοικίες τους.

- ✱ Για παράδειγμα, το Three Gorges Dam στην Κίνα έχει ήδη εκτοπίσει 1.4 εκατομμύρια ανθρώπους και υπολογίζεται ότι θα εκτοπίσει ακόμα 4 εκατομμύρια στην τρέχουσα δεκαετία.



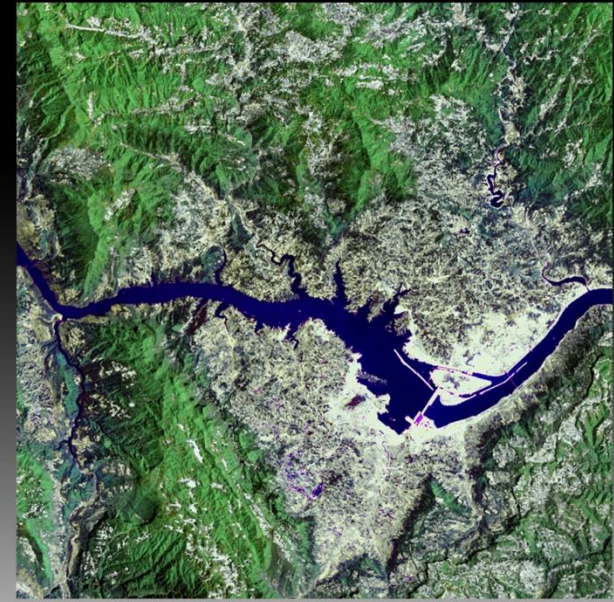
## Three Gorges Dam on the Yangtze River, China



**Landsat Thematic Mapper  
Acquired April 17, 1987**



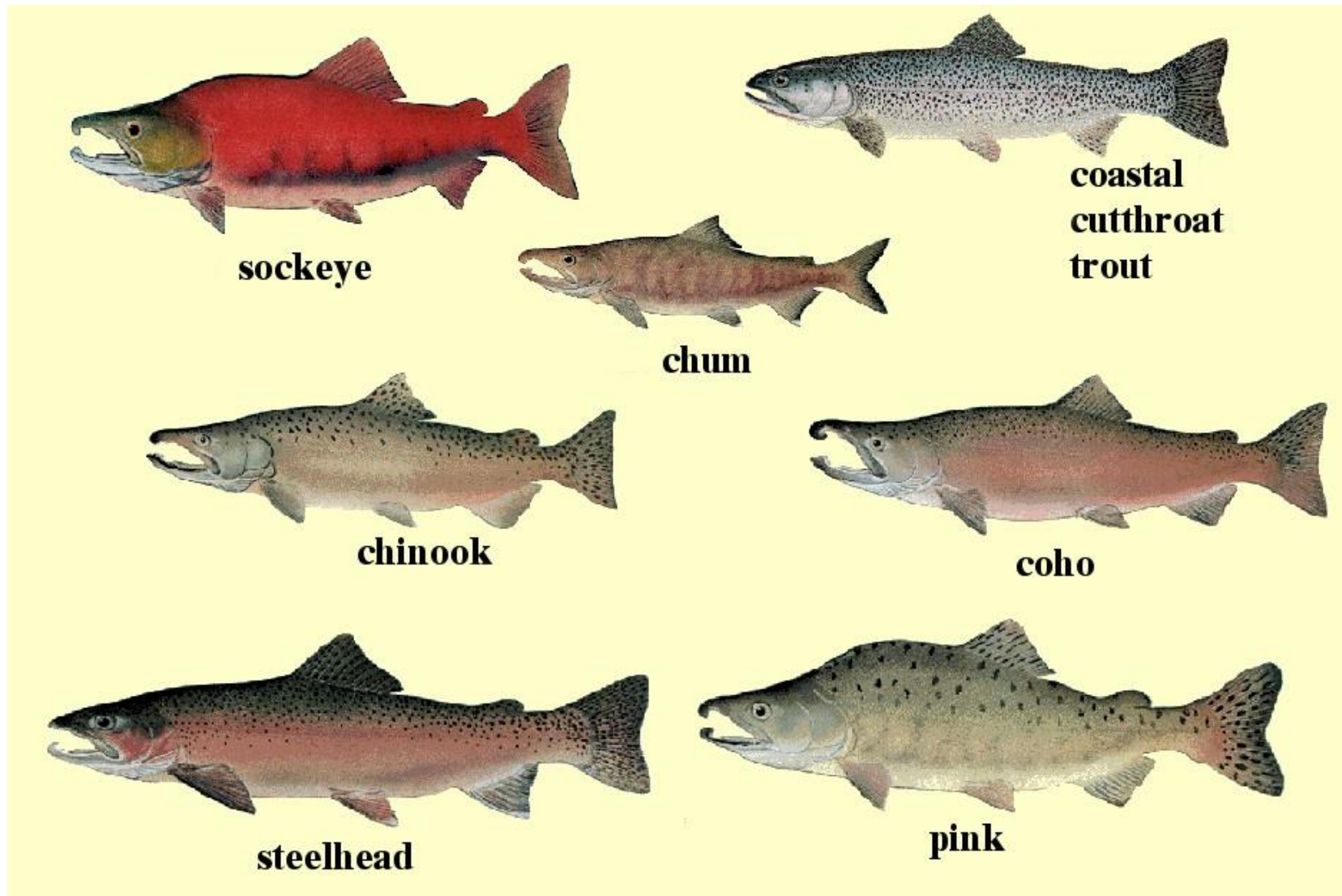
**Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus  
Acquired May 14, 2000**



**Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus  
Acquired May 9, 2004**



- Για την προστασία των **ψαριών**, π.χ. ποικιλιών του σολομού στο βορειοδυτικό τμήμα των ΗΠΑ, γίνεται χρήση διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των διαδρομών και προστασίας του είδους.





Δεν αναμένονται πολλές περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες στον κόσμο γιατί στις καταλληλότερες τοποθεσίες έχουν ήδη κατασκευαστεί τέτοια εργοστάσια.

Εξάιρεση αποτελεί η **Ασία** και ο **Ειρηνικός**, όπου σημειώθηκε υπερδιπλασιασμός των μονάδων κατά την τελευταία δεκαετία και υπάρχει το ένα τρίτο (32%) της παγκόσμιας υδροηλεκτρικής παραγωγής.



Ας έρθουμε τώρα στην **ΑΙΟΛΙΚΗ ενέργεια** (wind power), την ενέργεια του **ανέμου**.

Ο άνεμος δημιουργείται από

- ✱ την ηλιακή ακτινοβολία που δημιουργεί διαφορές **θερμοκρασίας** και **πίεσης** από ένα μέρος σε άλλο,
- ✱ την **περιστροφή** της γης και
- ✱ διαφορές ανάμεσα στην **ξηρά** και τη **θάλασσα**.



Οι **ανεμόμυλοι** των παππούδων μας μετέτρεπαν την αιολική σε **μηχανική** ενέργεια.

Οι σύγχρονες **ανεμογεννήτριες** μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε **ηλεκτρική** ενέργεια!





Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε περιοχές με (όσο γίνεται) πιο σταθερό αέρα.

- ✱ Αυτό γίνεται γιατί δεν έχουμε τεχνολογίες κατάλληλες για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε κλίμακα κατάλληλη για την ικανοποίηση της μαζικής κατανάλωσης.

Συνήθως τοποθετούνται πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, π.χ. 20. Τέτοιες εγκαταστάσεις τις ονομάζουμε **αιολικά πάρκα**.



Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι τεράστιες!

- ✱ Για παράδειγμα, ο πύργος μπορεί να έχει ύψος και **70 m**, ενώ τα πτερύγια μπορεί να είναι και **30 m**.
- ✱ Στις ΗΠΑ υπάρχουν πάρκα με ανεμογεννήτριες που έχουν ύψος όσο μια **πολυκατοικία 33 ορόφων!**



Σημειώστε ότι τα πτερύγια κινούνται πολύ αργά, για παράδειγμα **14** με **20 περιστροφές το λεπτό**. Προτού παραχθεί ρεύμα, στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας η ταχύτητα αυτή ανεβαίνει (με γρανάζια) σε πολύ μεγάλες τιμές όπως **1800 περιστροφές το λεπτό!**





Στο πίσω μέρος της ατράκτου μια ανεμογεννήτριας, υπάρχει ένα μικρό εξάρτημα που ανιχνεύει την ένταση του ανέμου, ώστε εάν αυτός γίνει πολύ δυνατός (για παράδειγμα **90 km/h**) η περιστροφή των λεπίδων να σταματήσει για λόγους ασφαλείας.



Για καλή μας τύχη στην **Ελλάδα** δεν έχουμε σχεδόν καθόλου ακραία καιρικά φαινόμενα. Και χωροθετούμε τις μεγάλες ανεμογεννήτριες μακριά από **οικισμούς**.

Η **αιολική** ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρισμού για πρώτη φορά τον 19ο αιώνα αλλά επεκτάθηκε ταχέως σε πολλά μέρη του κόσμου τις τελευταίες δυο δεκαετίες:

- ✱ το **1996** η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν **6.1 GW**
- ✱ μέχρι το **2010** είχε αυξηθεί κατά 30 φορές σε **200 GW**
  - ✱ από το 2005 έως το τέλος του 2020 αυξανόταν κατά **27%** ετησίως!



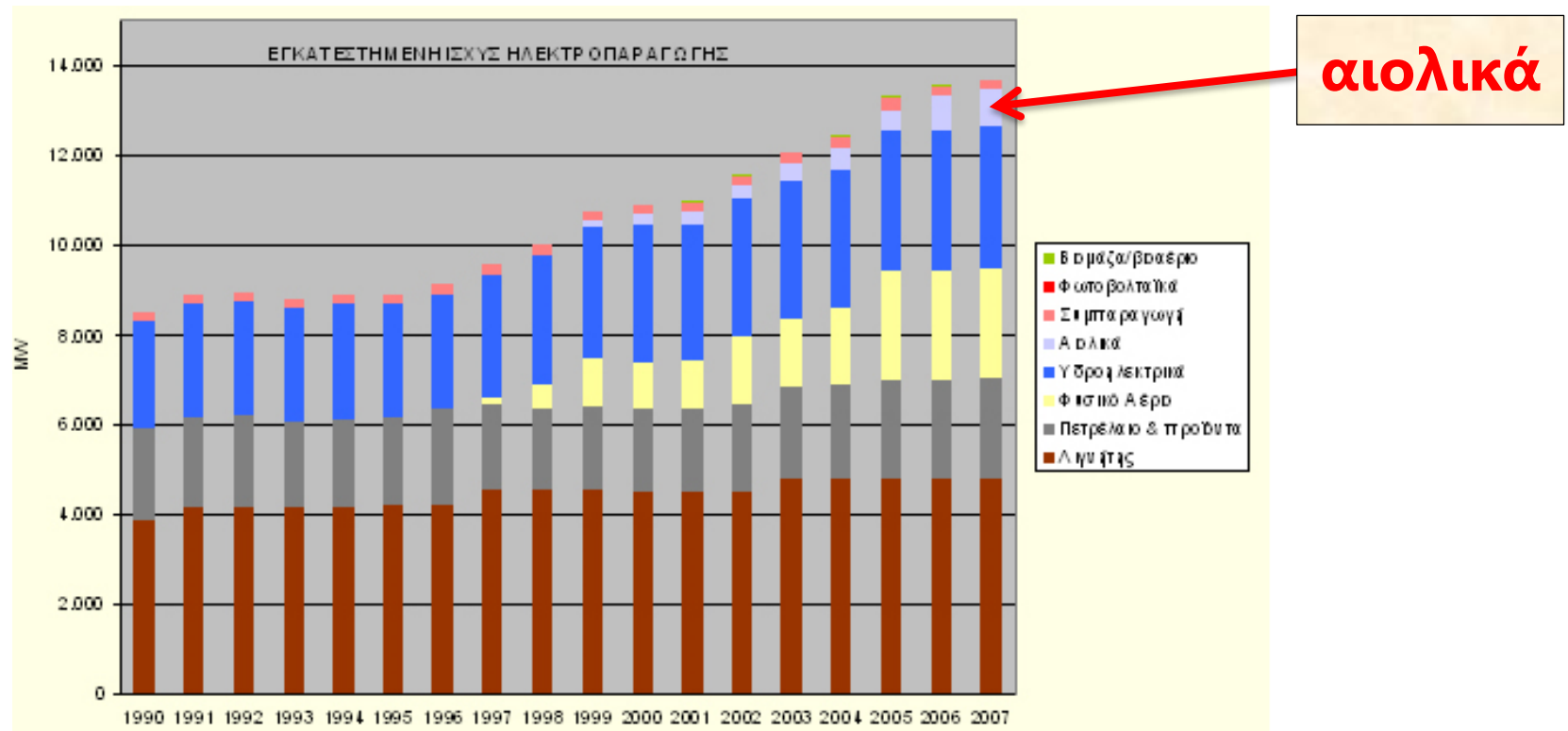
Από χώρα σε χώρα:

- ✱ Το 2010 η **Κίνα** ξεπέρασε τις ΗΠΑ και έγινε η χώρα με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ενέργεια στον κόσμο: 44.7 GW.
- ✱ Οι **ΗΠΑ** παραμένουν δεύτεροι με **40.2 GW**.
- ✱ Τρίτη είναι η **Γερμανία**, με **27.2 GW**.
- ✱ Η **Ισπανία** είναι τέταρτη με **20.7 GW**.
- ✱ Την πρώτη πεντάδα συμπληρώνει η **Ινδία** με **13.2 GW**.

Στο διαδίκτυο αναφέρεται ότι εντός του 2012, σημειώθηκε 20% αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά πάρκα. Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους τοποθετήθηκαν σε ολόκληρο τον κόσμο ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος **45 GW**. **ΗΠΑ** και **Κίνα** εγκατέστησαν από **13 GW**, ενώ ακολούθησαν **Γερμανία**, **Ηνωμένο Βασίλειο** και **Ινδία** 2 GW περίπου η καθεμία ([www.sunblog.org/uncategorized/2013/02/20-αύξηση-της-εγκατεστημένης-ισχύος-από-12333.html](http://www.sunblog.org/uncategorized/2013/02/20-αύξηση-της-εγκατεστημένης-ισχύος-από-12333.html)).



Για σύγκριση, στην **Ελλάδα** έχουμε (2012) εγκαταστημένη ισχύ αιολικών πάρκων ίση με 1749 MW (δηλαδή **1.7 GW**, [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power\\_in\\_Greece](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Greece)).



Πάντως αναφέρεται στο διαδίκτυο ότι η Ελλάδα είναι **8η** στον κόσμο σε εγκατεστημένη ισχύ ανά εκατομμύριο κατοίκους με **151.8 MW/εκατομμύριο κατοίκους** (<http://www.econews.gr/2012/06/06/aioliki-energeia-ellada-isxys-2011>).

Παρά την εντυπωσιακή της αύξηση, η αιολική ενέργεια παραμένει ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Το **2010** η αιολική ενέργεια παρήγαγε μόνο

- ✱ το **2.3%** του ηλεκτρισμού στις **ΗΠΑ** και
- ✱ το **1.2%** του ηλεκτρισμού στην **Κίνα**.



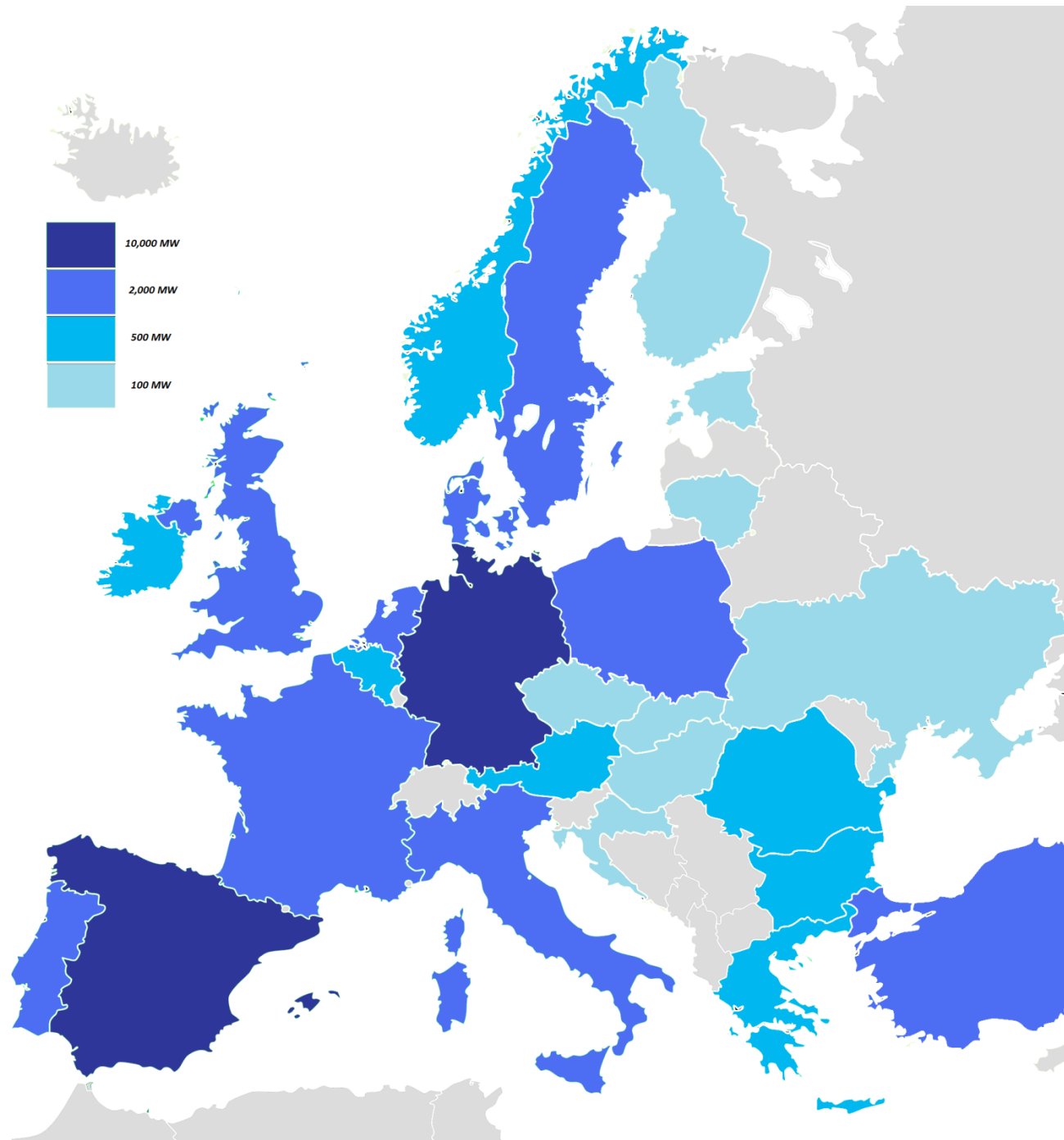
Στην **Ευρώπη** όμως, η αιολική ενέργεια έχει μεγαλύτερα ποσοστά της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας:

- ✳ **21.9%** στην **Δανία**
- ✳ **17%** στην **Πορτογαλία**
- ✳ **16.4%** στην **Ισπανία** και
- ✳ **10.5%** στην **Ιρλανδία**.



Για σύγκριση, το **2010** στις ΗΠΑ η πολιτεία της **Iowa** παρήγαγε το **15.4%** της ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενώ του **Texas** το **7.8%**.





• 50 σε σύνολο 88 •

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι, όταν δεν φυσάει άνεμος, το δίκτυο πρέπει να υποστηρίζεται από back up μονάδες **σταθερής** (fixed) παραγωγής π.χ.

- ✱ από ορυκτά καύσιμα
- ✱ ή ... άλλη μορφή ΑΠΕ!

Η συντελεστής αποδοτικότητας (**capacity factor**) δείχνει πόσο πρέπει να συμπληρώνεται ένα αιολικό πάρκο από άλλες υποστηρικτικές μονάδες σταθερής παραγωγής.

- ✱ Σε τοποθεσίες με μεγάλο αιολικό δυναμικό, ο συντελεστής αυτός μπορεί να ανέρχεται σε **45%**.
- ✱ Τιμές πάνω από **20%** θεωρούνται ικανοποιητικές για νέες επενδύσεις σε αιολικά πάρκα.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια εξαιρετικά φιλική προς το περιβάλλον μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με έμμεσες μόνο επιπτώσεις όπως

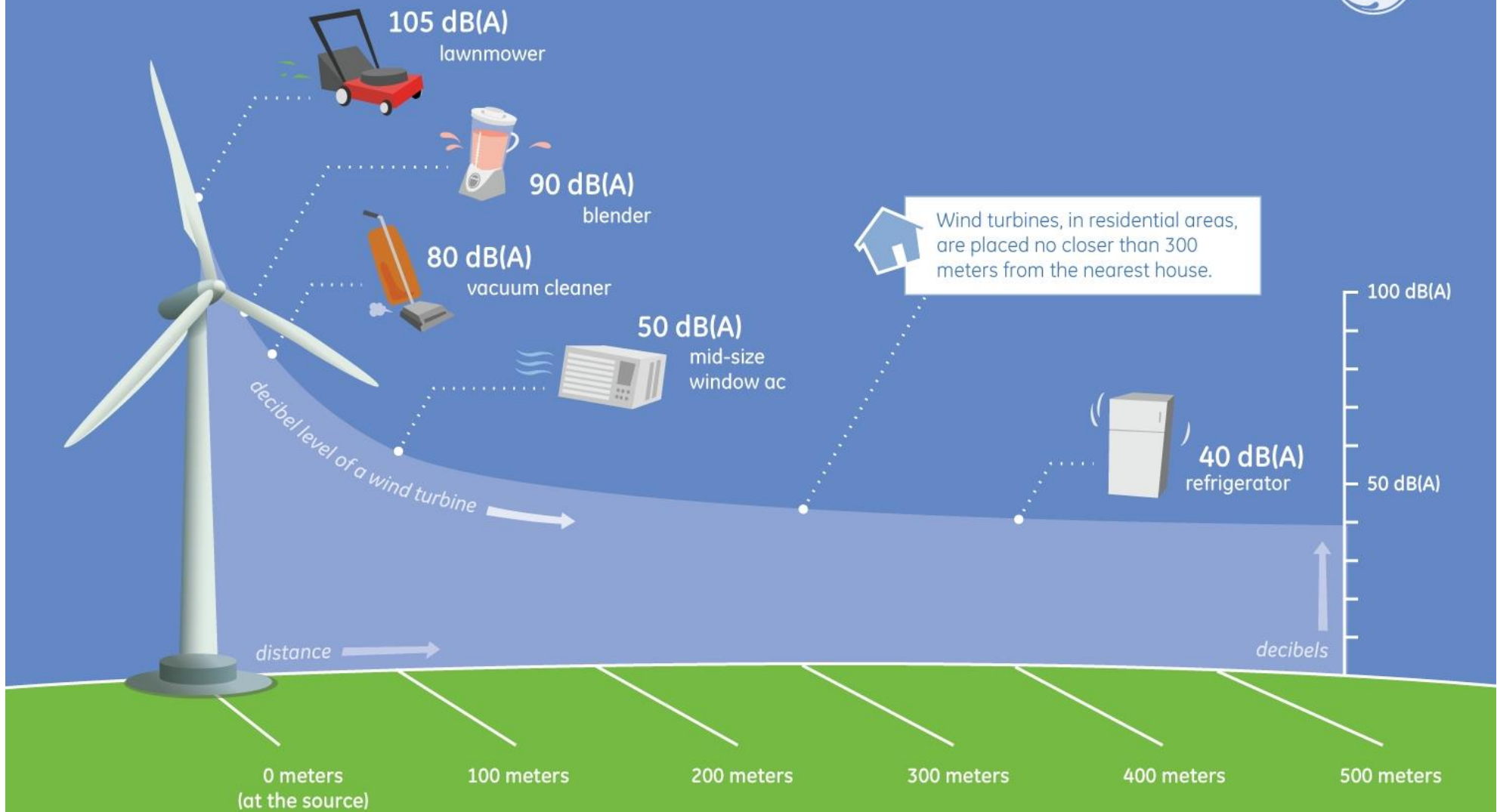
- ✱ χρήση πρώτων υλών όπως **χάλυβα** (steel), που με τη σειρά του εξαρτάται από τον **άνθρακα**, ή **υαλόνημα** (fiberglass) για παραγωγή των πρώτων υλών των ανεμογεννητριών
- ✱ **θόρυβος** (σε χαμηλές συχνότητες), που είναι ανεκτός ακόμα και σε μικρές αποστάσεις από μια γεννήτρια.

Guess which one produces more noise...





# How Loud Is A Wind Turbine?



SOURCE: GE Global Research; National Institute of Deafness and Other Communication Disorders (NIDCD part of NIH)

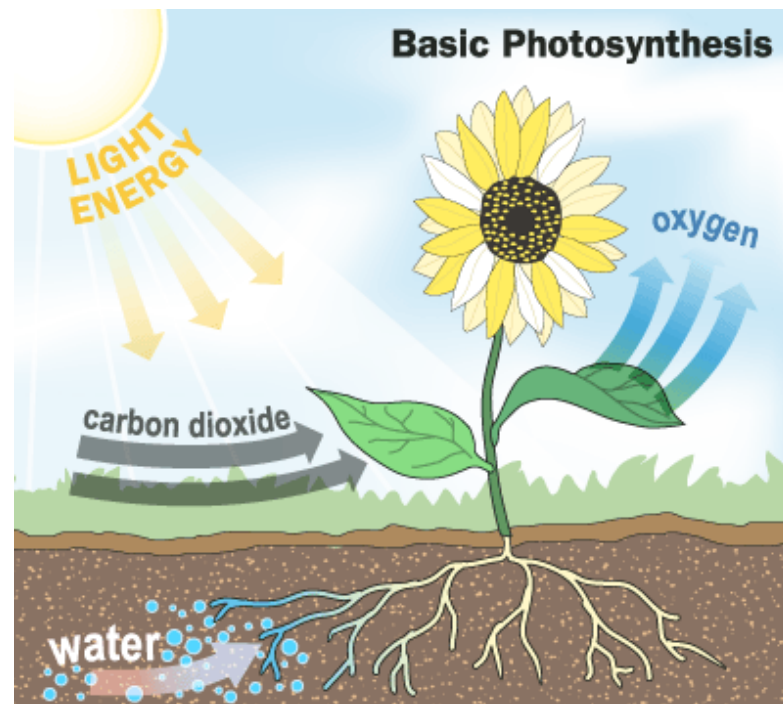
- ✱ **τραυματισμούς** (συχνά θανάσιμους) **πουλιών**, που όμως είναι εντυπωσιακά λιγότεροι από όσους θα περιμέναμε βάσει των όσων ακούμε από τα ΜΜΕ, για παράδειγμα στις ΗΠΑ:
  - ✱ από συγκρούσεις με ανεμογεννήτριες θανατώνονται **150~500 χιλιάδες** πουλιά ετησίως
  - ✱ από συγκρούσεις με αυτοκίνητα θανατώνονται **80 εκατομμύρια** πουλιά ετησίως
  - ✱ από ... **γάτες** θανατώνονται **100 εκατομμύρια** πουλιά ετησίως
  - ✱ από συγκρούσεις με ηλεκτρικά καλώδια και πυλώνες θανατώνονται **130 εκατομμύρια** πουλιά ετησίως
  - ✱ τέλος, από συγκρούσεις με κτίρια, θανατώνονται **550 εκατομμύρια** πουλιά ετησίως!



Ερχόμενοι στην **ΗΛΙΑΚΗ** ενέργεια (solar power), ας θυμόμαστε ότι και τα **ορυκτά καύσιμα** (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) είναι στην ουσία ... αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια!

Η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας είναι σχετικά αναποτελεσματική.

- ✱ Η αποδοτικότητα της **φωτοσύνθεσης**, για παράδειγμα, μπορεί να κατέλθει και σε 0.1%.



- ✱ Εντατικές καλλιέργειες ανεβάζουν αυτό το ποσοστό σε **2~4%**.

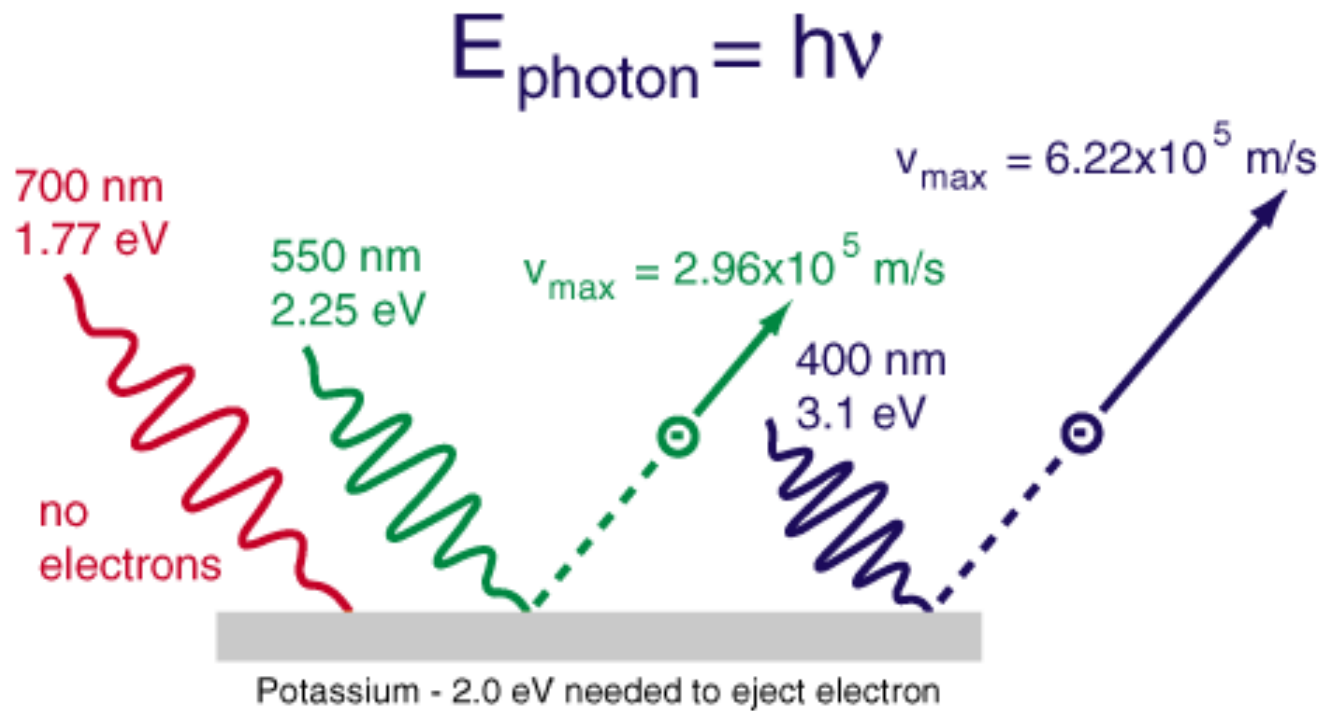


Υπάρχουν τρεις μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο:

- ✱ **φωτοβολταϊκά** (photovoltaics ή PV)
- ✱ **συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια** (concentrating solar power) και
- ✱ **ηλιακή** (παθητική) **θέρμανση**.



Τα φωτοβολταϊκά (**photovoltaics**) είναι κατασκευασμένα από ενώσεις του **πυριτίου** (silicon) ή του **καδμίου** (cadmium) που παράγουν ηλεκτρισμό όταν εκτίθενται σε ηλιακή ακτινοβολία, σύμφωνα με το **φωτοηλεκτρικό** φαινόμενο (photoelectric effect).



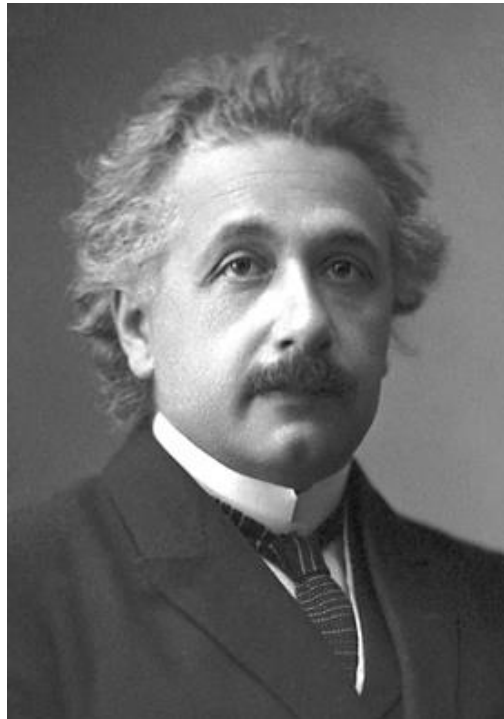
## Photoelectric effect



Ποιος είναι ο κύριος της **φωτογραφίας** και που κολλάει;

ΣΤΟΝ **Albert Einstein** απονεμήθηκε στο βραβείο **Nobel Φυσικής** του **1921**:

*"... for his services to **Theoretical Physics**,  
and especially for his discovery of  
the law of the **photoelectric effect**."*





Η **αποδοτικότητα** των φωτοβολταϊκών

- ✱ Κυμαίνεται από **10** έως **15%**.
- ✱ Πειραματικές μονάδες έχουν ξεπεράσει το **40%** και σιγά-σιγά θα περάσουν στις αγορές.

Τα φωτοβολταϊκά δεν ευδοκιμούν σε υψηλή **θερμοκρασία**.  
Ερευνώνται λεπτότερα υλικά και άλλες τεχνολογίες που θα επιτρέψουν την λειτουργία τους σε θερμοκρασίες ακόμα και **45** (ή και παραπάνω) βαθμών Κελσίου.

# Photovoltaic Cell Efficiency at Elevated Temperatures

by

Katherine Leung Ray

Submitted to the Department of Mechanical Engineering  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of

Bachelor of Science

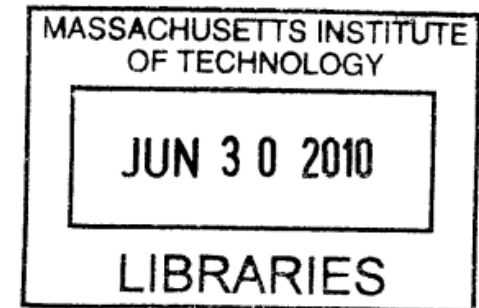
at the

Massachusetts Institute of Technology

June 2010

© 2010 Massachusetts Institute of Technology  
All rights reserved

**ARCHIVES**



## Abstract

In order to determine what type of photovoltaic solar cell could best be used in a thermoelectric photovoltaic hybrid power generator, we tested the change in efficiency due to higher temperatures of three types of solar cells: a polymer cell, an amorphous silicon cell and a CIS cell. Using an AM1.5 G solar simulator at  $973 \text{ W/m}^2$  we took the I-V curve of each of the three cells at increasing temperatures. We used the I-V curve to find the maximum power and determine the efficiency of each cell with respect to temperature. We found that the CIS cell had an efficiency of 10% and the performance decreased with respect to temperature in a non-linear manner. The efficiency at  $83^\circ\text{C}$  was a peak and the same efficiency as at  $40^\circ\text{C}$ . We found that the amorphous silicon cell tested had an efficiency of 4% at  $45^\circ\text{C}$  that decreased with respect to temperature in a linear manner such that an  $80^\circ\text{C}$  increase in temperature resulted in an efficiency of 3%. We further found that the polymer cell efficiency decreased from 1.1% to 1% with a  $60^\circ\text{C}$  increase in temperature, but that the polymer cell is destroyed at temperatures higher than  $100^\circ\text{C}$ . We determined that CIS or amorphous silicon could be suitable materials for the photovoltaic portion of the hybrid system.

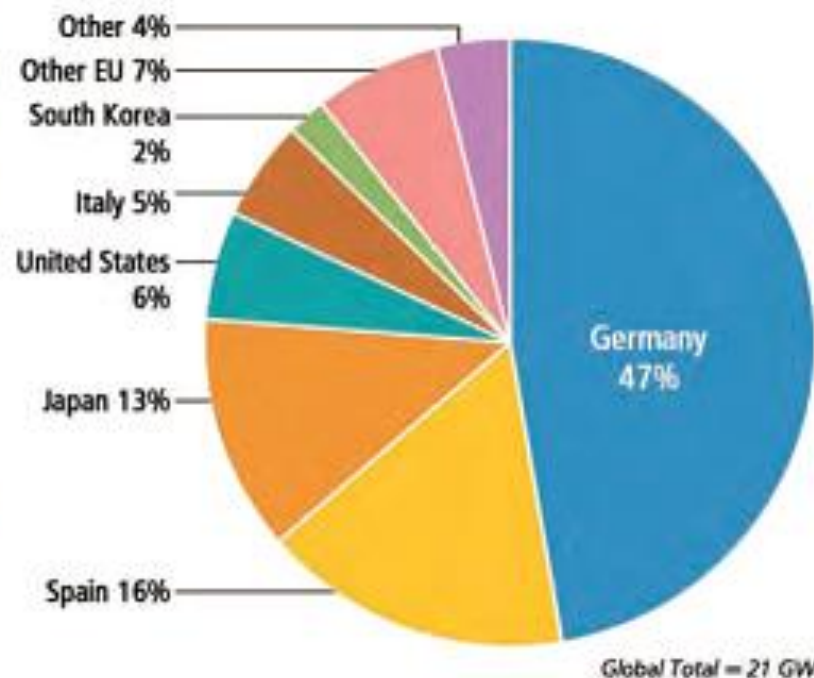
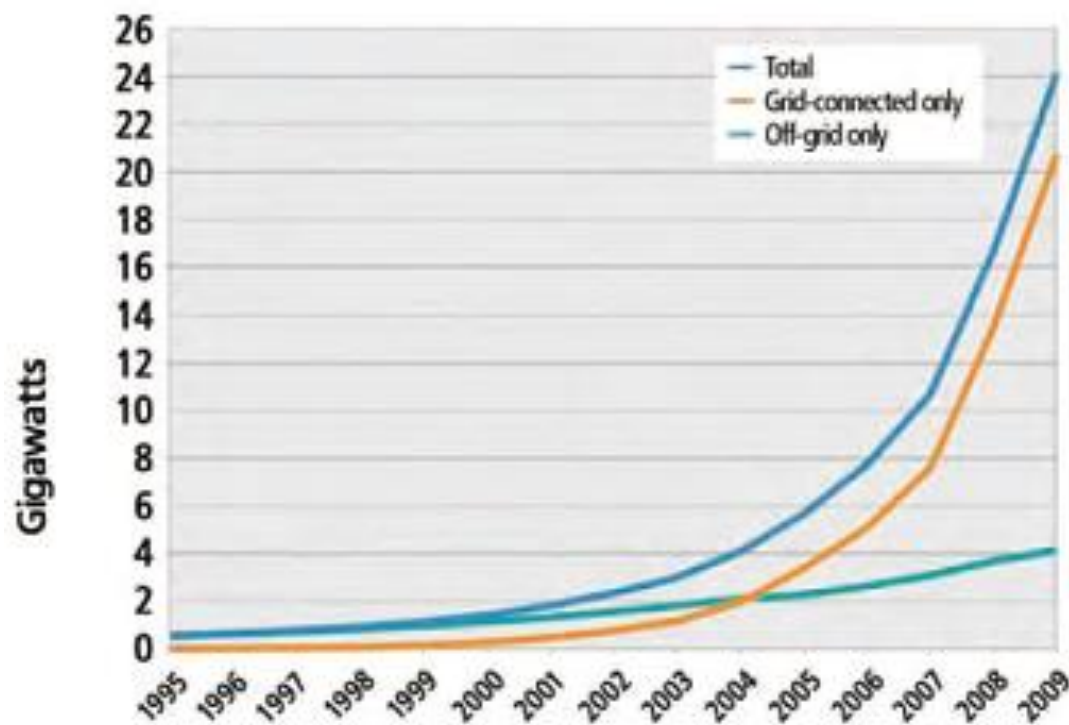
Thesis Supervisor: Gang Chen

Title: Carl Richard Soderberg Professor of Power Engineering



## Η αγορά των φωτοβολταϊκών

- ✱ είναι μικρή σε σχέση με την παγκόσμια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αλλά
- ✱ αυξάνει ταχέως.



Το **2010** προστέθηκαν φωτοβολταϊκές μονάδες σε περισσότερες από **100 χώρες**, φτάνοντας την παγκόσμια δυναμικότητα σε **40 GW**.

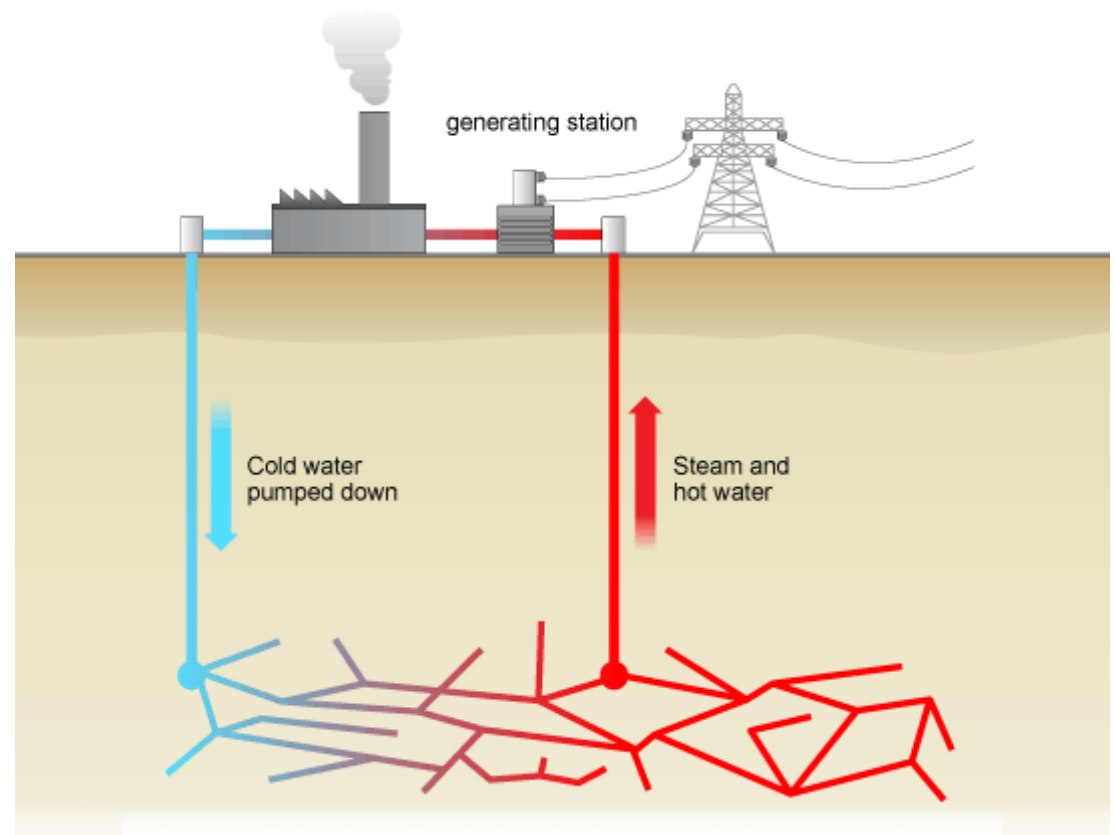
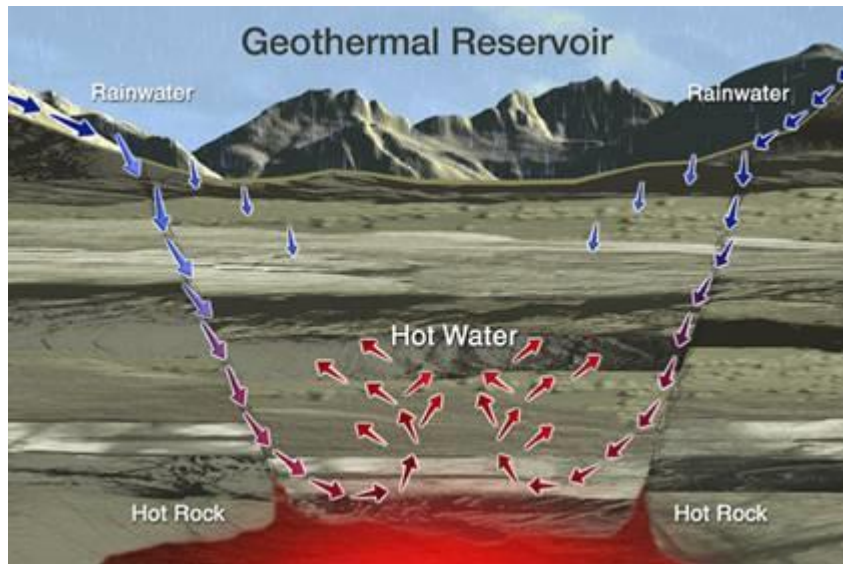
Λόγω πολιτικών που ευνοούν τα φωτοβολταϊκά, η **Ευρωπαϊκή Ένωση** κυριαρχεί στην παγκόσμια δυναμικότητα.

- ✱ Στο τέλος του 2010, η **Γερμανία** είχε μακράν την μεγαλύτερη δυναμικότητα PV στον κόσμο, με **17.3 GW**.
- ✱ Το νούμερο αυτό αντιπροσωπεύει το **44%** της παγκόσμιας δυναμικότητας και είναι μεγαλύτερο από τη συνδυασμένη χωρητικότητα των λοιπών **πέντε χωρών** που είναι στην κορφή της παγκόσμιας κατάταξης!
- ✱ Ακολουθούν η **Ισπανία** με **3.8 GW**, η **Ιαπωνία** με **3.6 GW**, η **Ιταλία** με **3.5 GW** και οι **ΗΠΑ** με **2.5 GW**.

# Παθητική θέρμανση (heating)



# Γεωθερμία (geothermal)

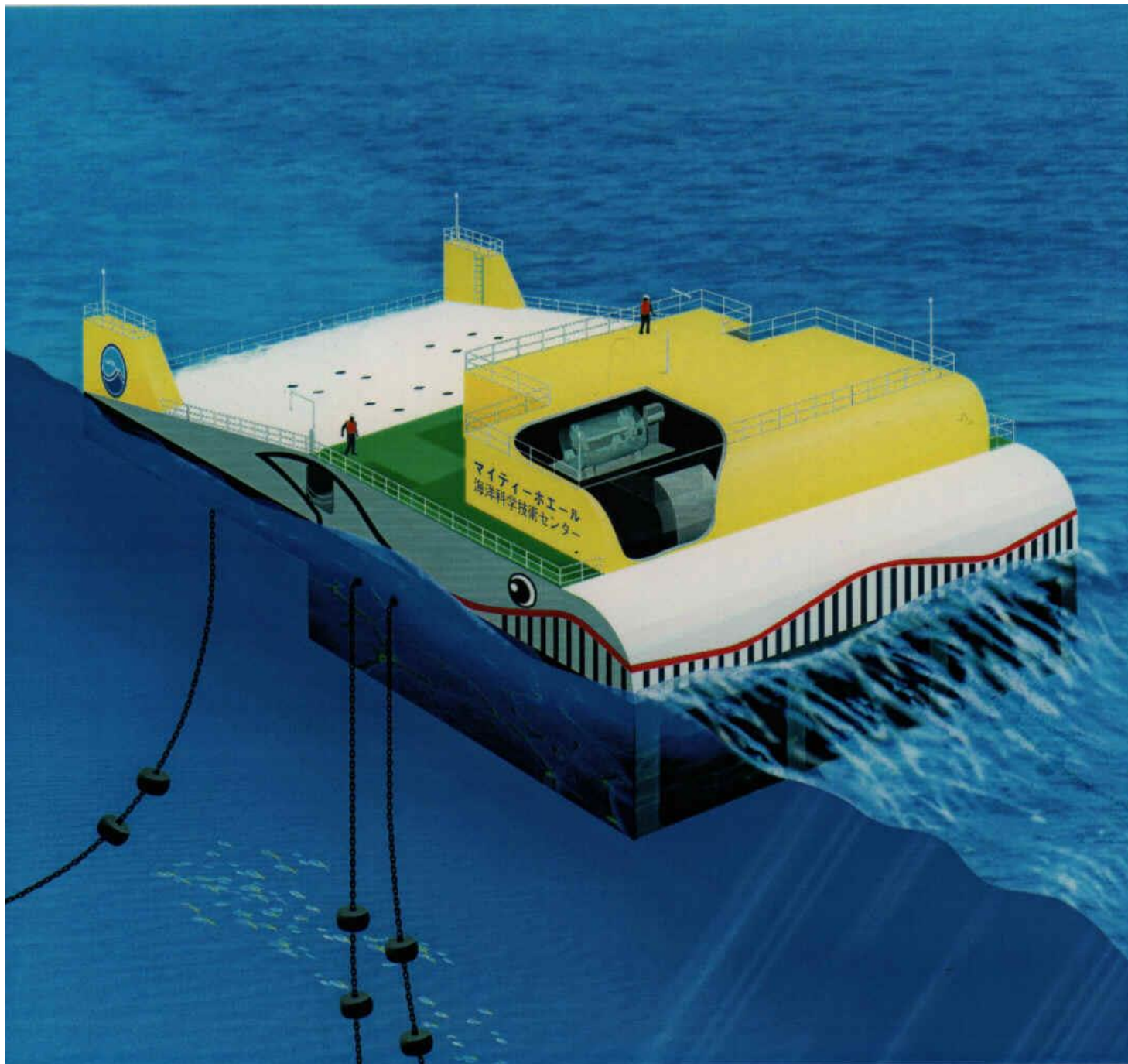




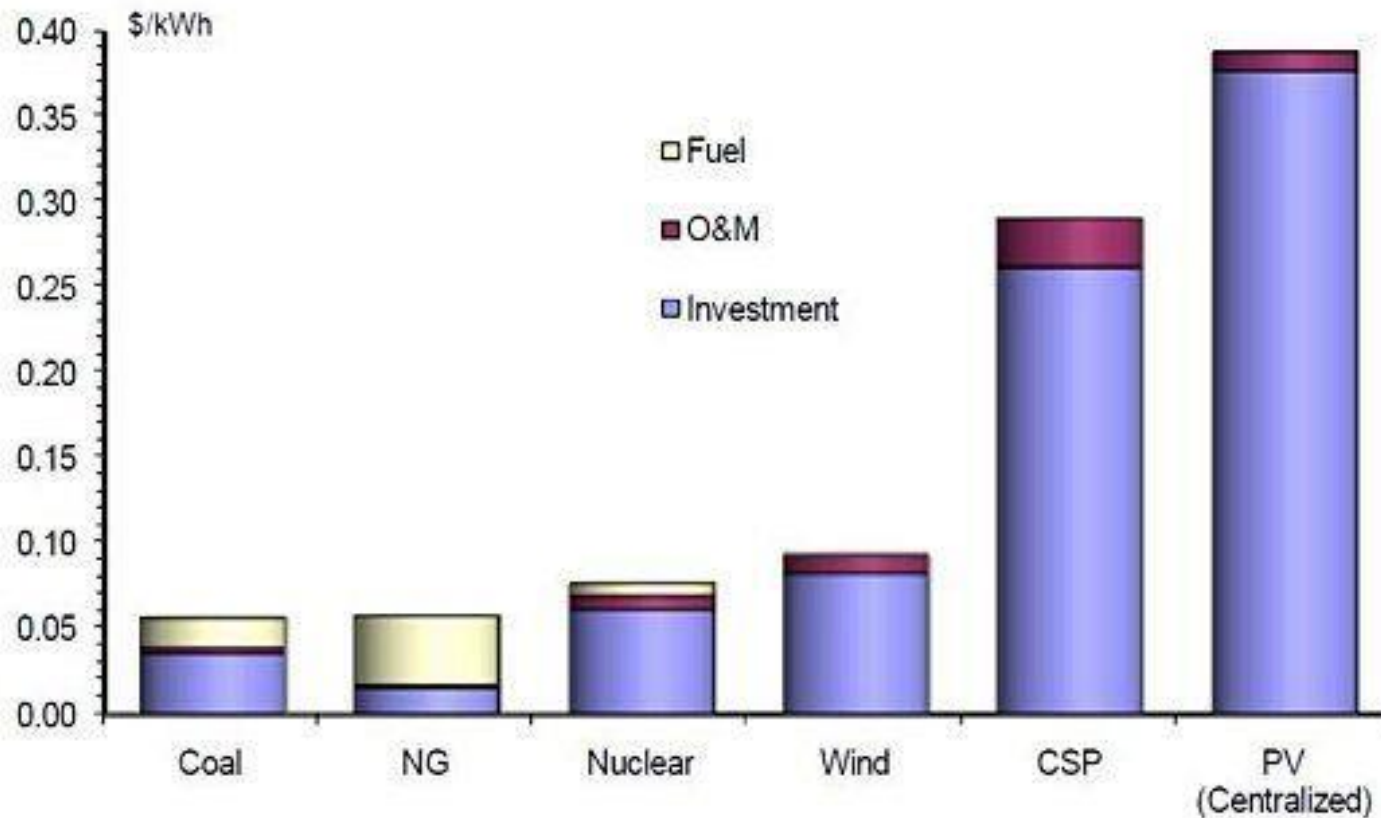
# Ενέργεια από **θάλασσες** και **ωκεανούς** (ocean energy)



Pelamis Wave Energy Converter.  
Photo courtesy: Pelamis Wave Power Ltd.



Η παραγωγή ηλεκτρικής από ηλιακή ενέργεια **κοστίζει** αρκετά περισσότερο από την παραγωγή ρεύματος από συμβατικές πηγές όπως άνθρακα, φυσικό αέριο ή υδροηλεκτρισμό.



Source: Byrne et al, 2008. Data Sources (NEA/IEA 2005, Falk et al 2008, LAZARD 2008, ESMAP/World Bank 2008, IEA 2008)

Το μεγαλύτερο κόστος έχει περιορίσει την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας σε περιοχές που

- ✱ οι παραδοσιακές πηγές είναι πολύ **ακριβές** και/ή
- ✱ προβλέπονται γενναία **κίνητρα** και **επιδότησεις**.

Αν η έρευνα για φθηνότερα φωτοβολταϊκά αποδώσει καρπούς, θα πρέπει να γίνουν τα **PV** ανταγωνιστικά με τον **άνθρακα** μέχρι το τέλος της τρέχουσας δεκαετίας.



Κλείνουμε την ενότητα των ΑΠΕ με την παράθεση των **συντελεστών δυναμικότητας** (capacity factors) για διάφορες πηγές ενέργειας:

- ✱ φυσικό αέριο, άνθρακας και πυρηνική ενέργεια: 85~90%
- ✱ γεωθερμία: 92%
- ✱ υδροηλεκτρισμός: 52%
- ✱ αιολική: 34%
- ✱ ηλιακή, φωτοβολταϊκά και παθητική θερμότητα: 18~25%.

Ας επιχειρήσουμε τώρα να συνδέσουμε τις **ΑΠΕ** με τα **έξυπνα δίκτυα** (smart grids) και τις **έξυπνες πόλεις** (smart cities).





**Smart is the new 'e'**: οι έξυπνες πόλεις είναι της ... μόδας:

- ✱ Είχαμε **email**, **eCommerce** (ηλεκτρονικό εμπόριο), **eHealth** (ηλεκτρονικές υπηρεσίες υγείας), **eVoting** (ηλεκτρονική ψηφοφορία).
- ✱ Έχουμε **smart phones** (έξυπνα τηλέφωνα), **smart transport** (έξυπνες μεταφορές) ακόμα και **smart water** (έξυπνη υδροδότηση).
- ✱ το «δοχείο» που περιέχει όλα αυτά είναι οι **έξυπνες πόλεις** (οι οποίες θα «ζούνε» με ΑΠΕ).

Προβάλλεται ότι τα **έξυπνα δίκτυα** (smart grids) αποτελούν εξαιρετικά καλή λύση για

- ✱ το **ενεργειακό** πρόβλημα και
- ✱ την **ανθρωπογενή** συνεισφορά στο φυσικό **φαινόμενο του θερμοκηπίου** (greenhouse effect), που εικάζεται ότι προκαλεί την **παγκόσμια κλιματική αλλαγή** (global climate change) και την **υπερθέρμανση** του πλανήτη (global warming).

Τα έξυπνα δίκτυα θα **διανέμουν, παρακολουθούν** και **ρυθμίζουν** αυτόματα την παροχή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.



## Παραδοσιακά η **ηλεκτρική ενέργεια**

- ✱ παράγεται από μικρό αριθμό μεγάλων **σταθμών**
- ✱ **μεταδίδεται** (transmission system) σε περιοχές ζήτησης με πολύ υψηλή τάση και
- ✱ **διανέμεται** (distribution network) στον τελικό καταναλωτή με χαμηλή τάση.

Τα παραδοσιακά δίκτυα πάντοτε ήταν σχετικά **έξυπνα** στο δίκτυο μετάδοσης και σχετικά **μη ευφυή** (dumb, δηλαδή άνευ αυτοματισμών) στο δίκτυο διανομής. Οι **ροές** ενέργειας σε τέτοια παραδοσιακά δίκτυα είναι **μονόδρομες** (one way).

Αυτά όλα αλλάζουν με την βαθμιαία μετατροπή των παραδοσιακών δικτύων σε έξυπνα.

- ✱ Δεν θα γίνει **αντικατάσταση** των παραδοσιακών τεχνολογιών αλλά **πρόσθεση** τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (ICTs) πάνω στην παραδοσιακή μη ευφυή υποδομή.
- ✱ Εκτός από μεταβολές στην **τεχνολογία**, θα λάβουν χώρα και σημαντικές αλλαγές στο **θεσμικό/ρυθμιστικό πλαίσιο** και την **κουλτούρα!**

Με όλες αυτές τις αλλαγές, ένα έξυπνο δίκτυο

- ✱ θα μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως την υποδομή ("**sweat the assets**")
- ✱ αλλά θα πρέπει να προστατεύεται από **κακόβουλες** ενέργειες και **επιθέσεις**
- ✱ Δηλαδή τα έξυπνα δίκτυα αναλαμβάνουν αυξημένη σημασία ως **γεωπολιτικός** παράγοντας!



Δεν χωράει αμφιβολία ότι η απειλή της **παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής** με την προβαλλόμενη ως λύση αλλαγή της πορείας μας προς οικονομίες **χαμηλής κατανάλωσης άνθρακα** και τη **βιώσιμη ανάπτυξη** ευθύνεται για την στροφή προς τα στα έξυπνα δίκτυα.



Όμως, η μετάβαση σε οικονομίες χαμηλότερης κατανάλωσης **άνθρακα** σκοντάφτει στο φυσικό **ασταθές** και **απρόβλεπτο** της παροχής των **ανανεώσιμων πηγών ενέργειας** (ΑΠΕ)!

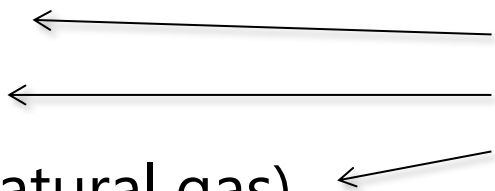
- ✱ Πότε θα λάμψει ο **ήλιος** (ηλιοφάνεια);
- ✱ Πότε θα φυσήξει ο **άνεμος** (αιολικό δυναμικό);

Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό, πρέπει

- ✱ να γίνουμε πιο αποτελεσματικοί στην **αποθήκευση** ενέργειας ή
- ✱ να μπορούμε να προγραμματίσουμε την **κατανάλωσή** ώστε αυτή να συμπίπτει με τις περιόδους μέγιστης **διαθεσιμότητας**.

Επομένως οι μελλοντικοί **καταναλωτές** ενέργειας από έξυπνα δίκτυα θα πρέπει να είναι πιο ενημερωμένοι και αναμεμειγμένοι σε θέματα της ενεργειακής βιομηχανίας!

Το **Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας** (World Energy Council) προβλέπει ότι μέχρι το **2050** η ενέργεια που καταναλώνουμε θα προέρχεται από τουλάχιστον **οκτώ** διαφορετικές πηγές:

- \* άνθρακα (coal)
  - \* πετρέλαιο (oil)
  - \* φυσικό αέριο (natural gas)
  - \* πυρηνική (nuclear)
  - \* υδροηλεκτρική (hydro)
  - \* βιομάζα (biomass)
  - \* αιολική (wind) και
  - \* ηλιακή (solar).
- ορυκτά καύσιμα**  
(fossil fuels)
- 

Ο **ηλεκτρισμός** είναι η λύση!

- \* Θα ενσωματώσει όλες αυτές τις πηγές σε μορφή αξιοποιήσιμη από τους καταναλωτές.

Η μεγαλύτερη αύξηση **κατανάλωσης** ενέργειας πιθανότατα θα εμφανιστεί στους εξής δυο τομείς που επί του παρόντος αποτελούν τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (fossil fuels):

✱ **οικιακή** θέρμανση και ψύξη

✧ π.χ. οι κεντρικές θερμάνσεις (central heating) θα γίνει ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας (electric heat pumps)

✱ **μεταφορές**

✧ π.χ. τα τζιπ θα γίνουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα (electric vehicles).

Η συμμετοχή των **ΑΠΕ** στην μελλοντική αυτή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας θα περιλαμβάνει π.χ.:

- ✱ τεράστια παράκτια **αιολικά** πάρκα (massive offshore wind farms)
- ✱ τοπικές **υδροηλεκτρικές** εγκαταστάσεις (community hydroelectric schemes)
- ✱ οικιακές **ανεμογεννήτριες** (backyard wind farms) και
- ✱ **φωτοβολταϊκά** σε οροφές κατοικιών (roof solar panels).

Δηλαδή θα έχουμε

- ✱ μεγάλο ποσοστό παραγωγής μικρής κλίμακας (**microgeneration**)
- ✱ από καταναλωτές που ταυτόχρονα είναι και παραγωγοί ("**prosumers**").



Επομένως:

- ✱ η ενέργεια θα παράγεται **πλησιέστερα** στην κατανάλωση
- ✱ οι **απώλειες** θα είναι πολύ μικρότερες
- ✱ οι ανάγκες **αποθήκευσης** επίσης
- ✱ το **περιβάλλον** (ακόμα πιο) καθαρό
- ✱ και όλοι θα είναι **ευτυχισμένοι!**

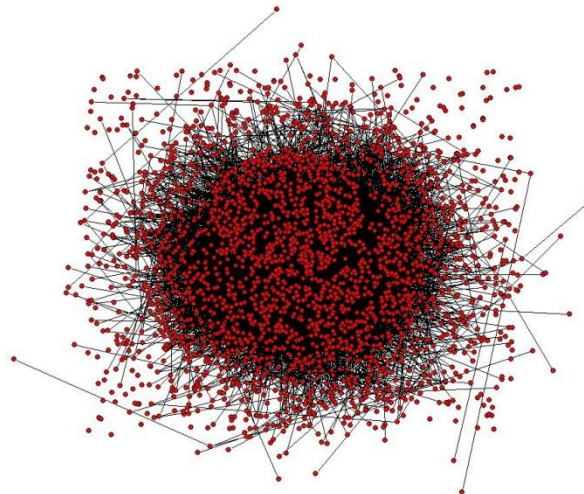
Χμμ ... όχι τόσο βιαστικά. Ο δρόμος προς το μελλοντικό αυτό τοπίο θα έχει δυσκολίες.

Θα πρέπει να αναμένονται αναπάντεχες **αναδυόμενες συμπεριφορές** (emergent behaviors), καθώς οι **δρώντες** (agents, άτομα) και **μεταδρώντες** (meta-agents, νοικοκυριά, κοινωνικές ομάδες) του **πολύπλοκου συστήματος** (complex system) της κοινωνίας, **προσαρμόζονται** (adapt) σε νέα δεδομένα

Η **Θεωρία της Πολυπλοκότητας** (Complexity Theory) μας προειδοποιεί να είμαστε προσεκτικοί και έτοιμοι:

- ✱ Οι μετέχοντες στην αγορά ενέργειας συνθέτουν ένα πολύπλοκο σύστημα με **δρώντες** (άτομα) και **μεταδρώντες**
  - ✱ νοικοκυριά
  - ✱ σύλλογοι
  - ✱ φορείς
  - ✱ συνδικάτα
  - ✱ κοινωνία
  - ✱ εταιρείες κοινής ωφελείας
  - ✱ κράτη
  - ✱ υπερεθνικές οργανώσεις π.χ. Ευρωπαϊκή Ένωση.
- ✱ Δεν είναι εύκολη η **πρόβλεψη** της αντίδρασης τέτοιων συστημάτων σε οποιαδήποτε μέτρα. Οι αρχές πρέπει να είναι προετοιμασμένες για το **απροσδόκητο**.

- ✱ Η **Θεωρία Παιγνίων** (Game Theory) και τα **Συμπεριφορικά Οικονομικά** (Behavioral Economics) μας διδάσκουν ότι οι δρώντες στα πολύπλοκα κοινωνικά συστήματα είναι **ορθολογικοί** παίκτες και επιλέγουν με γνώμονα την υψηλότερη αναμενόμενη ανταμοιβή (και όχι τι είναι καλό για το περιβάλλον).
- ✱ Όχι πάντα όμως – τα ακόλουθα βάζουν νερό στην ορθολογικότητα της λήψης αποφάσεων:
  - ✱ η επιστήμη της **πειθούς** (influence science)
  - ✱ η **διαισθητική** λήψη αποφάσεων (judgment in decision making)
  - ✱ άλλοι **αυτοματισμοί**.

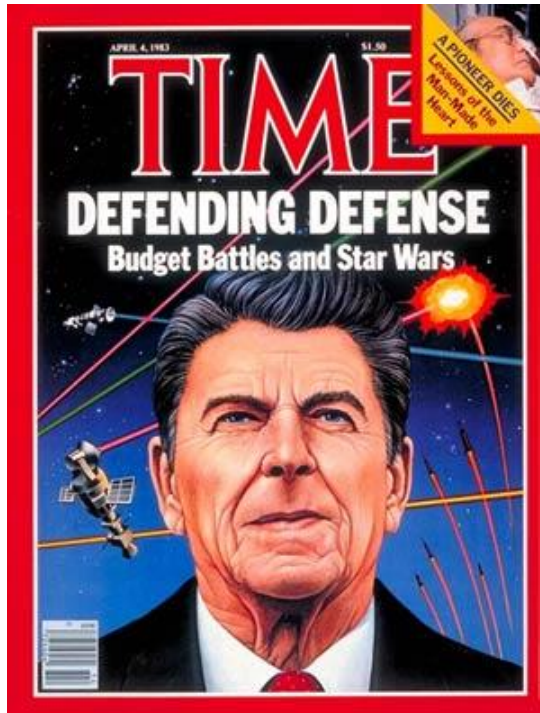




Για παράδειγμα:

- ✱ Πηγές αναφέρουν ότι μέχρι **ένα στα πέντε σπίτια** θα μπορούσε να εγκαταστήσει και να συνδέσει με το δίκτυο μια μικρή **ανεμογεννήτρια** ή ένα **φωτοβολταϊκό** χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά το δίκτυο διανομής.
- ✱ Αν όμως τα σπίτια είναι στην **ίδια γεωγραφική περιοχή**, τα δεδομένα αλλάζουν και θα πρέπει να γίνουν σημαντικές μεταβολές στο δίκτυο.
- ✱ Δυστυχώς όμως τόσο λίγη παραγωγή μικρής κλίμακας (microgeneration, μόνο το ένα στα πέντε σπίτια δηλαδή 20%) δεν θα είναι επαρκής για να πετύχουμε φιλόδοξους στόχους όπως το **20-20-20** της **Ευρωπαϊκής Ένωσης**:
  - ✱ 20% λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO<sub>2</sub>)
  - ✱ τουλάχιστον 20% παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ
  - ✱ 20% καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Έχετε ακούσει για το αμυντικό πρόγραμμα **Star Wars** (Strategic Defense Initiative) του Προέδρου **Ronald Reagan**;



Έτσι θα γίνει και με την **παγκόσμια κλιματική αλλαγή!**

- ✧ Και να μην υπάρχει σημαντική επίδραση του ανθρώπου, στόχοι όπως ο **20-20-20** της **Ευρωπαϊκής Ένωσης** θα συμβάλει στο να γυρίσουμε σελίδα στην παραγωγή, διανομή και κατανάλωση **ενέργειας**, και τελικά στον τρόπο **ζωής** μας.

# Βιβλιογραφία

- ✿ Chiras, D. (2010). *Wind Power Basics. A Green Energy Guide*, New Society Publishers.
- ✿ European Renewable Energy Council (2010). *Renewable Energy in Europe: Markets, Trends and Technologies*. Earthscan/
- ✿ Goldman Sachs (Fall 2007). *Alternative Energy – A Global Survey*. Global Markets Institute.
- ✿ Haven, K. (2011). *Green Electricity: 25 Green Technologies that will Electrify your Future*. Libraries Unlimited, an Imprint of ABC-CLIO, LLC.
- ✿ Rapier, R. (2012). *Power Plays: Energy Options in the Age of Peak Oil*. APress.
- ✿ Seifreid, D. & Witzel, W. (2010). *Renewable Energy – The Facts*. Earthscan.