

ΙΕΝΕ, Κοζάνη Δεκέμβριος 2009

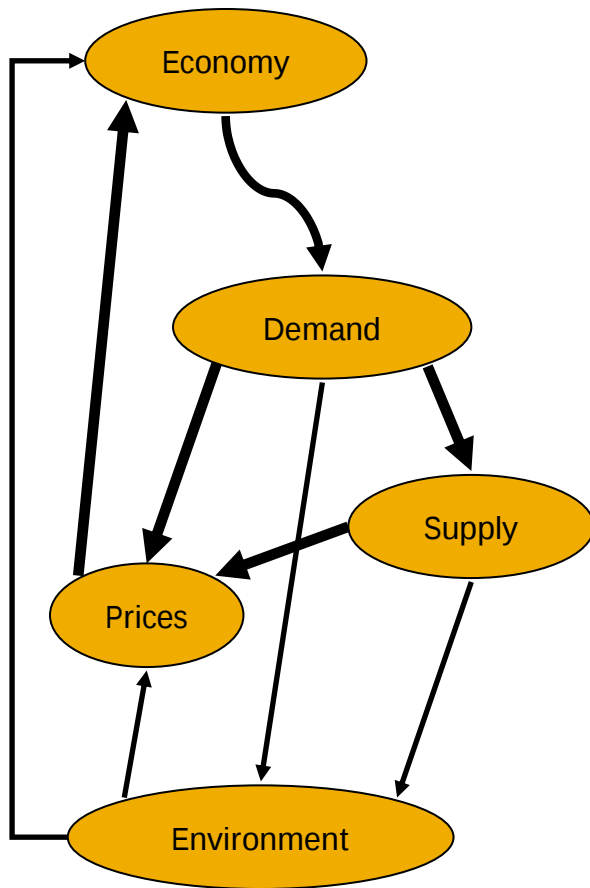
Σενάρια Ανάπτυξης της Τεχνολογίας Δέσμευσης και Αποθήκευσης CO₂ στην Ευρώπη

Παντελής Κάπρος

Σενάρια με το μοντέλο PRIMES για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή

- Μελέτη ανάλυσης επιπτώσεων για τη νομοθετική πρόταση της ΕΕ περί υποχρεωτικού CCS σε νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής
- Σενάρια εξέλιξης ενεργειακού συστήματος
 - Μείωση εκπομπών CO₂: 20% το 2020, 30% το 2030 από το 1990
 - ΑΠΕ: 20% το 2020, συνεχιζόμενη υποστήριξη
 - Πιλοτικά έργα για CCS και υποστήριξη έρευνας

Το μοντέλο PRIMES



Αναπτύχθηκε στο E3MLab του ΕΜΠ και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ΕΕ

- Αναλυτική αναπαράσταση των τεχνολογιών αλλά και της οικονομικής συμπεριφοράς των καταναλωτών και παραγωγών ενέργειας
- Εξειδικευμένα μοντέλα κατά τομέα
- Ολοκληρωμένη ανάλυση των αλληλεπιδράσεων με την οικονομία και το περιβάλλον
- Αναπαράσταση όλων των κρατών μελών της EU-27

Τεχνική αναπαράσταση του CCS στο μοντέλο PRIMES

- Ανάπτυξη του CCS με δύο τρόπους επένδυσης (αποτέλεσμα του PRIMES)
 - Νέοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με CCS
 - Εκ των υστέρων επέκταση σταθμών με CCS
- Τρεις υποψήφιες τεχνολογίες CCS εφαρμόζονται σε διάφορους τύπους σταθμών
 - Post-combustion (δέσμευση μετά την καύση)
 - Pre-combustion (δέσμευση προ καύσης)
 - Oxy-fuel (καύση με οξυγόνο)

Τεχνική αναπαράσταση του CCS στο μοντέλο PRIMES

- Ενδογενείς επενδύσεις στην ηλεκτροπαραγωγή των 27 μελών της ΕΕ σε 250 περίπου τεχνολογίες, τόσο σε νέες μονάδες όσο και σε ανακαίνιση παλαιών μονάδων
- Τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών εξελίσσονται μέσα στο χρόνο ανάλογα με τον όγκο επενδύσεων (learning)
- Μεταφορά CO₂ με αγωγούς και αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς
 - Ειδική μελέτη της TNO για τις δυνατότητες αποθήκευσης κατά χώρα
 - Μη γραμμικό κόστος αποθήκευσης ανάλογα με τον όγκο διαχρονικά

Τεχνικά Δεδομένα για το CCS

	Difference from non CCS plant								
	Capital Cost (€/kW)		Net Thermal Efficiency (rate)		Fixed Cost (€/kW)		Non fuel Variable Cost (€/MWh)		Net CO ₂ avoided
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	
Constant Euros of 2005									
Pulverised Coal Supercritical CCS post combustion	893.5	833.1	-11.8%	-11.7%	7.01	6.85	0.51	0.51	84%
Pulverised Lignite Supercritical CCS post combustion	882.2	818.6	-11.3%	-11.2%	6.97	6.81	0.51	0.52	84%
Fuel Oil Supercritical CCS post combustion	893.5	833.1	-13.0%	-12.6%	7.01	6.85	0.51	0.51	83%
Integrated Gasification Fuel Oil CCS pre combustion	558.6	558.1	-6.7%	-6.5%	14.86	14.45	2.00	1.94	89%
Pulverised Coal Supercritical CCS oxyfuel	685.4	654.8	-8.8%	-8.7%	7.63	7.50	2.00	1.94	99%
Pulverised Lignite Supercritical CCS oxyfuel	666.2	634.9	-8.4%	-8.3%	7.66	7.53	2.01	1.96	99%
Integrated Gasification Coal CCS post combustion	796.6	775.7	-6.7%	-6.5%	14.86	14.45	2.00	1.94	86%
Integrated Gasification Coal CCS pre combustion	467.3	431.2	-7.7%	-7.5%	9.65	9.36	0.51	0.51	87%
Integrated Gasification Coal CCS oxyfuel	434.0	425.3	-6.5%	-6.5%	9.33	9.01	1.40	1.38	99%
Integrated Gasification Lignite CCS post combustion	520.4	505.2	-4.8%	-4.6%	7.12	6.84	1.06	1.04	86%
Integrated Gasification Lignite CCS pre combustion	456.6	417.3	-7.4%	-7.3%	9.56	9.25	0.51	0.52	87%
Integrated Gasification Lignite CCS oxyfuel	434.0	425.3	-6.0%	-6.0%	9.33	9.01	1.40	1.38	99%
Gas combined cycle CCS post combustion	520.4	505.2	-7.0%	-6.5%	7.12	6.84	1.06	1.05	86%
Gas combined cycle CCS pre combustion	400.9	388.2	-8.5%	-8.1%	4.17	3.98	0.47	0.47	87%
Gas combined cycle CCS oxyfuel	434.0	425.3	-8.8%	-8.6%	9.33	9.01	1.40	1.38	99%

Υποψήφια θεσμικά μέτρα της ΕΕ

- Υποχρεωτικό CCS σε όλους τους μεγάλους θερμικούς σταθμούς στερεών καυσίμων εφόσον τίθενται σε λειτουργία μετά το 2020
- Υποχρεωτικό CCS σε όλους τους μεγάλους θερμικούς σταθμούς κάθε καυσίμου εφόσον τίθενται σε λειτουργία μετά το 2020
- Υποχρεωτικά κάθε θερμικός σταθμός σε λειτουργία μετά το 2015 πρέπει να μπορεί να αναβαθμισθεί σε CCS και στη συνέχεια μετά το 2020 υποχρεωτικό CCS σε κάθε σταθμό

Λειτουργία αγοράς

- EU-ETS με πλήρη δημοπράτηση δικαιωμάτων εκπομπής
- Πλήρης ανταγωνισμός σε όλες τις αγορές και εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ
- Μετακύλιση κόστους στα τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας
- Προσομοίωση ζήτησης, παραγωγής, εμπορίου και τιμών με το PRIMES για 13 σενάρια πολιτικής στο CCS και 4 αναλύσεις ευαισθησίας

Περίληψη των σεναρίων με το μοντέλο PRIMES

Σενάρια	Στόχος μείωσης CO ₂	Στόχος ΑΠΕ	Υποχρεωτικό CCS	Υποχρεωτικό CCS για στερεά καύσιμα	CCS-ready	Επιπλέον περιορισμοί
BASELINE	NO	NO	NO	NO	NO	-
BASE-CCS ₁	NO	NO	NO	YES	NO	-
BASE-CCS ₂	NO	NO	YES	NO	NO	-
CVtar-A	YES	NO	NO	NO	NO	-
RVCVtar-A	YES	YES	NO	NO	NO	-
RVCVtar-A-CCS ₁	YES	YES	NO	YES	NO	-
RVCVtar-A-CCS ₂	YES	YES	YES	NO	NO	-
RVCVtar-A-CCS ₁ R	YES	YES	NO	YES	YES	-
RVCVtar-A-CCS ₂ R	YES	YES	YES	NO	YES	-
RVCVtar-A-CCS ₂ N	YES	YES	NO	NO	NO	Υψηλό κόστος αποθήκευσης
RVCVtar-A-CCS ₂ Nuc	YES	YES	NO	NO	NO	Ανάπτυξη Πυρηνικών
RVCVtar-A-noCCS	YES	YES	NO	NO	NO	Αποτυχία CCS
RVCVtar-A-subs	YES	YES	NO	NO	NO	10% επιδότηση CCS

Σύνοψη αποτελεσμάτων

Σενάρια	Τιμή ETS σε Euro ανά t CO2			Οριακή Αξία των ΑΠΕ σε Euro ανά MWh			Σύνολο εκπομπών CO2 (Mt CO2)			Σύνολο ΑΠΕ (Μτοε πρωτογενούς)		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Baseline	22.0	23.0	24.0	0	0	0	4253	4307	4264	197	217	237
Base-CCS1	22.0	23.0	24.0	0	0	0	4229	4277	4159	195	219	246
Base-CCS2	22.0	23.0	24.0	0	0	0	4212	4244	4138	197	219	242
CVtar-A	50.8	54.2	57.6	0	0	0	3419	3301	3012	197	217	240
RVCVtar-A	40.4	43.1	45.9	38.0	44.3	47.5	3323	3216	3050	273	314	347
RVCVtar-A-CCS1	40.2	42.9	45.6	38.0	44.3	47.5	3372	3264	2973	273	314	348
RVCVtar-A-CCS2	40.3	43.0	45.7	38.0	44.3	47.5	3360	3269	2906	273	314	349
RVCVtar-A-CCS1R	38.0	40.6	43.1	38.0	44.3	47.5	3346	3194	2937	273	314	348
RVCVtar-A-CCS2R	37.8	40.3	42.8	38.0	44.3	47.5	3347	3182	2843	273	315	349
RVCVtar-A-CCS2N	40.3	43.0	45.7	38.0	44.3	47.5	3365	3284	2964	273	314	349
RVCVtar-A-CCS2Nuc	40.3	43.0	45.7	38.0	44.3	47.5	3272	3185	2865	273	314	348
RVCVtar-A-noCCS	41.0	44.3	67.0	38.0	44.3	47.5	3367	3256	2925	273	314	349
RVCVtar-A-sub	40.4	43.1	45.9	38.0	44.3	47.5	3373	3261	3045	273	313	347

Σύνοψη αποτελεσμάτων

Σενάρια	Δέσμευση CO2 (Mt/έτος)			Δέσμευση CO2 ως % των εκπομπών από ηλεκτροπαραγωγή			Δέσμευση CO2 ως % των εκπομπών από σύνολο ενεργειακού συστήματος		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Baseline	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Base-CCS1	0.0	4.3	62.0	0.0	0.2	3.6	0.0	0.1	1.5
Base-CCS2	0.0	5.0	90.5	0.0	0.3	5.2	0.0	0.1	2.2
CVtar-A	27.2	150.5	483.3	2.2	11.1	32.8	0.8	4.5	15.9
RVCVtar-A	7.0	19.7	160.7	0.6	1.7	13.2	0.2	0.6	5.2
RVCVtar-A-CCS1	6.9	20.6	266.9	0.6	1.8	22.2	0.2	0.6	8.9
RVCVtar-A-CCS2	6.9	26.5	391.3	0.6	2.2	31.0	0.2	0.8	13.3
RVCVtar-A-CCS1R	37.2	118.1	326.2	3.2	10.0	26.9	1.1	3.7	11.0
RVCVtar-A-CCS2R	75.0	176.5	517.1	6.2	14.4	39.5	2.2	5.5	17.9
RVCVtar-A-CCS2N	0.0	3.5	272.6	0.0	0.3	22.7	0.0	0.1	9.1
RVCVtar-A-CCS2Nuc	7.1	22.6	352.1	0.7	2.1	29.7	0.2	0.7	12.2
RVCVtar-A-noCCS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RVCVtar-A-subs	0.2	21.6	210.7	0.0	1.8	17.3	0.0	0.7	6.9

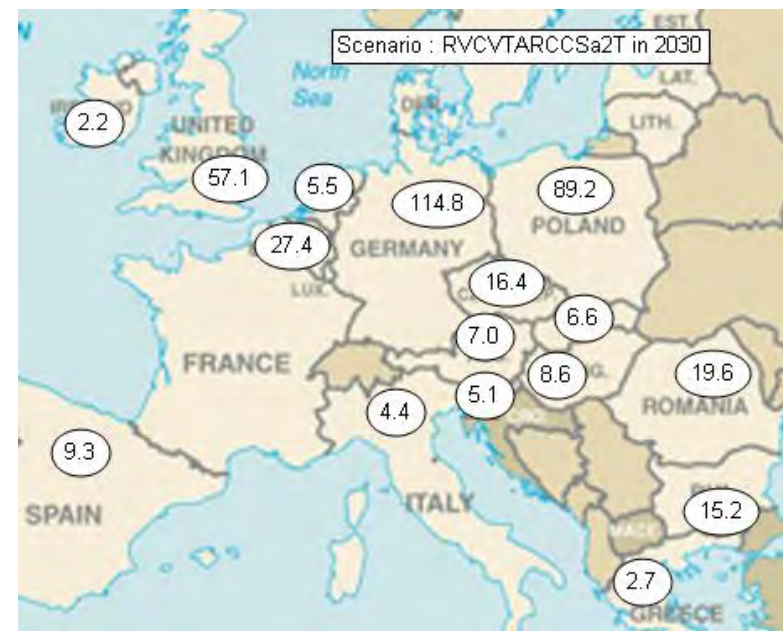
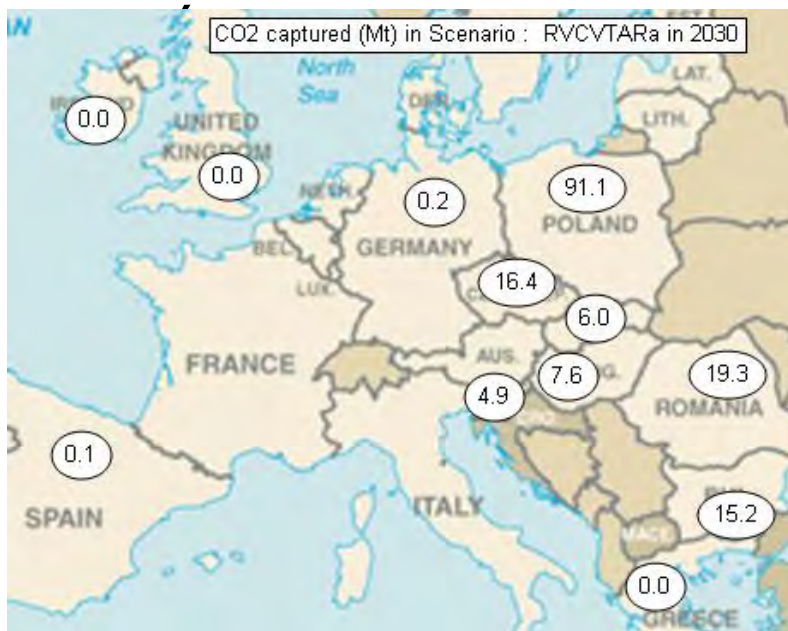
Σύνοψη αποτελεσμάτων

Scenarios	Μέσο Κόστος Ηλεκτροπαραγωγής σε €/MWh			Επενδύσεις σε ηλεκτροπαραγωγή σε δισ. €			Μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας σε €/MWh			Συνολικό Κόστος της Ενέργειας ως % του ΑΕΠ		
	2020	2025	2030	15-2020	20-2025	25-2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Baseline	50.13	50.69	51.49	135	145	228	101.76	103.47	105.03	9.7	9.4	9.1
Base-CCS1	50.28	50.89	52.19	122	127	220	101.99	104.35	107.16	9.6	9.3	9.0
Base-CCS2	50.30	50.91	52.36	91	119	221	102.10	104.31	107.32	9.6	9.3	9.0
CVtar-A	61.96	63.05	63.00	125	193	309	127.72	130.73	129.53	10.2	9.9	9.8
RVCVtar-A	60.24	62.01	63.17	149	192	313	124.08	128.60	130.27	10.1	9.9	9.8
RVCVtar-A-CCS1	60.32	62.24	62.94	148	187	334	124.30	129.36	130.16	10.1	9.9	9.8
RVCVtar-A-CCS2	60.51	62.38	62.87	140	181	361	124.82	129.89	130.12	10.2	9.9	9.8
RVCVtar-A-CCS1R	60.39	62.08	62.84	162	206	319	125.25	129.55	129.96	10.1	10.0	9.8
RVCVtar-A-CCS2R	60.84	62.67	63.04	167	209	350	126.47	130.91	130.22	10.2	10.0	9.8
RVCVtar-A-CCS2N	60.53	62.41	63.05	139	179	350	124.85	129.95	130.71	10.2	9.9	9.8
RVCVtar-A-CCS2Nuc	59.95	61.92	62.42	142	170	314	123.46	128.82	128.89	10.2	10.0	9.8
RVCVtar-A-noCCS	60.36	62.29	66.26	148	193	302	124.39	129.54	137.67	10.2	10.0	10.1
RVCVtar-A-subs	60.22	61.97	63.01	148	193	321	124.00	128.49	129.91	10.1	9.9	9.8

Σύνοψη αποτελεσμάτων

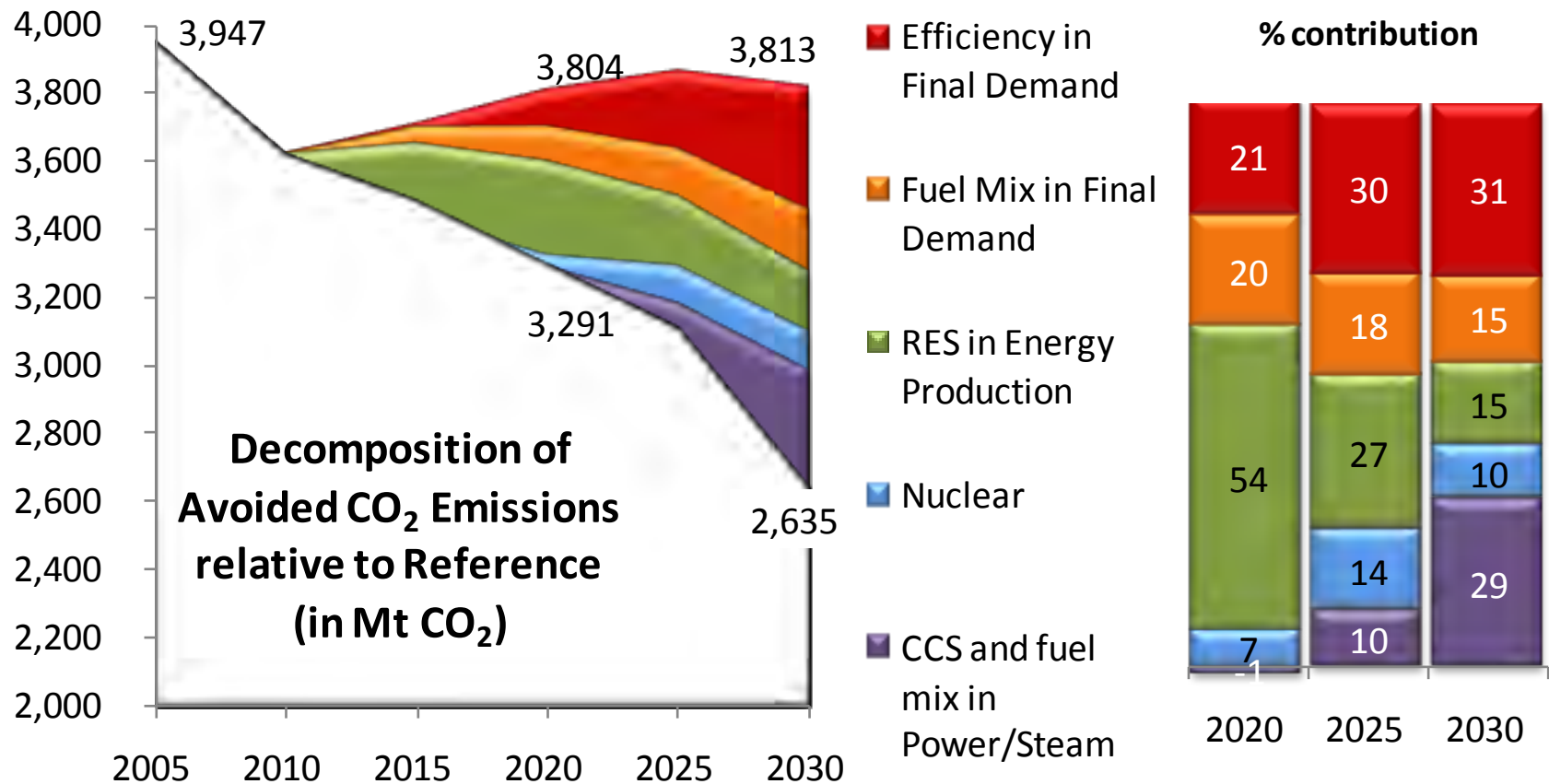
Mt of CO ₂ Captured in 2030	Base-CCS ₁	Base-CCS ₂	CVtar-A	RVCVtar-A	RVCVtar-A-CCS ₁	RVCVtar-A-CCS ₂	RVCVtar-A-CCS ₁ R	RVCVtar-A-CCS ₂ R	RVCVtar-A-CCS ₂ N	RVCVtar-A-CCS ₂ Nuc	RVCVtar-A-subs
Ireland	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	2.2	0.0	5.1	2.2	1.9	1.6
United Kingdom	0.0	0.0	15.9	0.0	1.0	57.1	3.9	62.1	57.1	52.5	9.9
Belgium	1.0	6.6	11.7	0.0	17.3	27.4	22.4	49.8	27.4	18.2	0.0
Luxembourg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0
Netherlands	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	2.7	13.9	5.5	4.9	0.0
Germany	32.5	39.5	129.1	0.2	74.3	114.8	134.7	185.8	114.8	84.2	56.3
France	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0
Spain	0.0	0.0	26.8	0.1	9.2	9.3	11.4	13.0	9.3	14.9	0.8
Portugal	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0
Denmark	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sweden	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Finland	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
Austria	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	7.0	1.1	11.1	7.0	6.7	0.0
Italy	0.0	0.0	17.0	0.0	4.5	4.4	7.8	10.2	4.4	4.3	0.0
Slovenia	1.8	2.7	4.8	4.9	4.9	5.1	4.9	5.2	0.7	5.0	4.9
Czech Republic	10.9	10.3	42.4	16.4	16.1	16.4	18.2	18.2	8.5	19.5	18.3
Slovakia	2.5	2.6	8.0	6.0	5.9	6.6	7.5	9.4	0.5	5.6	6.6
Poland	4.1	16.9	125.8	91.1	91.9	89.2	72.0	77.8	27.0	88.1	93.5
Hungary	1.4	4.0	12.7	7.6	7.7	8.6	7.5	12.0	1.4	8.7	8.2
Latvia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Estonia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
Lithuania	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Romania	7.5	7.9	36.4	19.3	18.2	19.6	12.3	17.1	3.9	19.6	6.9
Bulgaria	0.3	0.0	18.8	15.2	15.2	15.2	14.2	15.9	0.0	15.2	2.6
Greece	0.0	0.0	6.1	0.0	0.8	2.7	0.0	3.2	2.7	2.9	1.0
Cyprus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Malta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EU27	62.0	90.5	483.3	160.7	266.9	391.3	326.2	517.1	272.6	352.1	210.7

Γεωγραφική κατανομή της αποθήκευσης σε δύο ακραία σενάρια

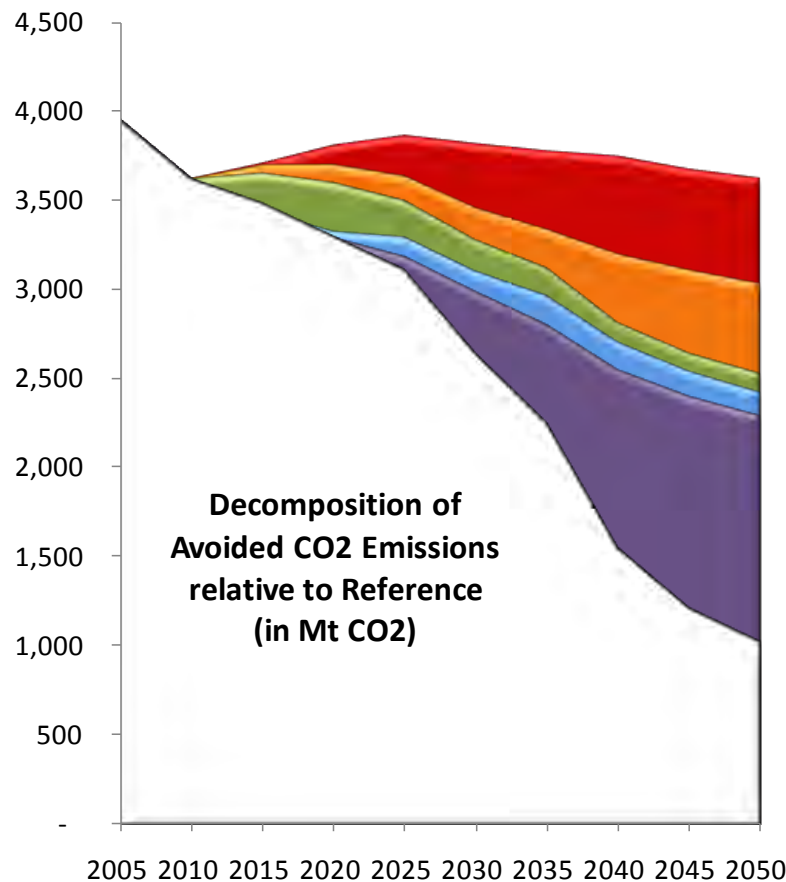


Αποθήκευση CO₂ το 2030 σε εκατ. τόνους

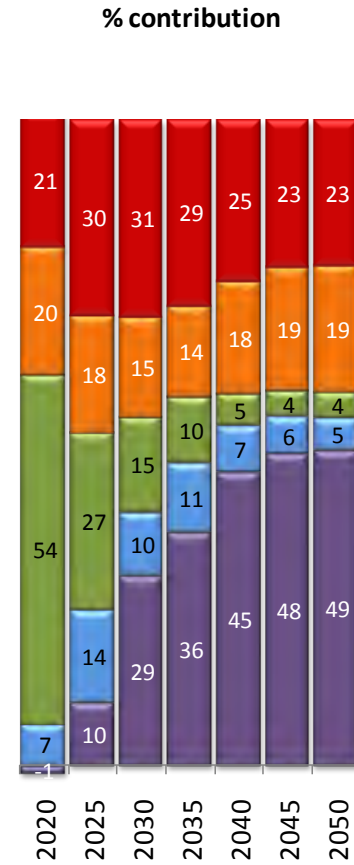
Ανάλυση της συνεισφοράς κάθε μέτρου στη δραστική μείωση των εκπομπών CO₂ στην ΕΕ (μελέτη για την Eurelectric 2009)



Ανάλυση της συνεισφοράς κάθε μέτρου στη δραστική μείωση των εκπομπών CO₂ στην ΕΕ (μελέτη για την Eurelectric 2009)



- Efficiency in Final Demand
- Fuel Mix in Final Demand
- RES in Energy Production
- Nuclear
- CCS and fuel mix in Power/Steam



Συμπεράσματα

- Το CCS αναπτύσσεται μετά το 2020 και ιδίως κοντά στο 2030. Η ανάπτυξη εξαρτάται από την εμπορική και τεχνολογική ωρίμανση
- Το CCS αποτελεί βασικό και οικονομικά ανταγωνιστικό μέσο για τη μείωση των εκπομπών CO₂
- Τυχόν αποτυχία του CCS θα κοστίσει **60 δισ. €** το χρόνο ως πρόσθετο κόστος για την επίτευξη ίδιας μείωσης των εκπομπών

Συμπεράσματα

- Αν το CCS είναι υποχρεωτικό από το 2020, οι επιχειρήσεις θα παρατείνουν τη ζωή των παλαιών σταθμών και θα τους ανακαινίσουν χωρίς CCS
- Αν εξαιρεθούν οι μονάδες φυσικού αερίου από την υποχρέωση του CCS, αυξάνουν υπερβολικά οι εισαγωγές ΦΑ από την ΕΕ
- Η υποχρέωση capture-ready δημιουργεί επιπλέον κόστος με μικρό όφελος
- Αν το CCS είναι υποχρεωτικό χωρίς φιλόδοξους στόχους μείωσης των εκπομπών δημιουργείται επιπλέον κόστος χωρίς λόγο

Συμπεράσματα

- Το μερίδιο του CCS μειώνεται όταν αυξάνεται ο υποχρεωτικός στόχος για ΑΠΕ
- Τυχόν πολιτική επέκτασης του χρόνου ζωής των πυρηνικών στην ΕΕ έχει μικρή επίπτωση στην ανάπτυξη του CCS μέχρι το 2030
- Τυχόν επιδότηση 10% δεν είναι αναγκαία μακροχρόνια όμως διευκολύνει την ανάπτυξη του 2020 στην αρχή της περιόδου και μειώνει την αβεβαιότητα σχετικά με την εμπορική και τεχνολογική ωρίμανση του CCS
- Η αποθήκευση CO₂ μέχρι το 2050 είναι πολύ μικρό ποσοστό των τεχνικών δυνατοτήτων στην ΕΕ

Συμπεράσματα

- Η αποθήκευση CCS λαμβάνει χώρα κυρίως στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη
- Τα νέα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν μειωμένο κόστος αποθήκευσης για γεωλογικούς λόγους
- Τυχόν διπλασιασμός του μέσου κόστους αποθήκευσης (από περίπου 8 €/τόνο CO₂) οδηγεί σε 30% μείωση της ανάπτυξης του CCS. Το κόστος μεταφοράς κυμαίνεται από 1 έως 2 €/τόνο CO₂

Τελικό Συμπέρασμα

- Το CCS είναι θεμελιώδους σημασίας για τη δραστική μείωση των εκπομπών μακροχρόνια και για την αξιόπιστη και ασφαλή λειτουργία του ενεργειακού συστήματος
- Δεν υφίστανται τεχνικά προβλήματα, η δυνατότητα αποθήκευσης είναι ασφαλής και χωρίς περιορισμούς
- Το CCS έχει κόστος αλλά είναι οικονομική λύση συμπληρώνοντας άλλα μέτρα όπως η εξοικονόμηση ενέργειας, οι ΑΠΕ και τα πυρηνικά
- Για να αναπτυχθεί η τεχνολογία και να γίνουν οι επενδύσεις χρειάζεται μακροχρόνια βεβαιότητα για τη χρήση της τεχνολογίας στην ΕΕ και αλλού (Κίνα)
- Στην στρατηγική της ΕΕ, το CCS αναπτύσσεται πιλοτικά το 2020, έχει συνεισφορά το 2030 αλλά έχει μεγάλη σημασία στην προοπτική του 2050 στο πλαίσιο δραστικού περιορισμού των εκπομπών CO₂ (μηδενικές εκπομπές από ηλεκτροπαραγωγή της ΕΕ το 2050)