

Αξιολόγηση Επένδυσης Έγχυσης Υδρογόνου στο Δίκτυο Φυσικού Αερίου Προϋποθέσεις και Σενάρια Βιωσιμότητας

Σ. Κυρίμης¹, Χημικός Μηχανικός, AristEng – Ερευνητικός Συνεργάτης, ΕΜΠ

Π. Δήμας¹, Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, ΕΜΠ – Εντεταλμένος Διδάσκων, Παν. Αιγαίου

Α. Τσακανίκας¹, Καθηγητής, ΕΜΠ

Ε. Βουτσάς², Καθηγητής, ΕΜΠ

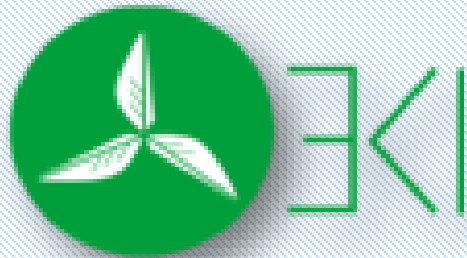
¹Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

²Εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Γενικά για το έργο



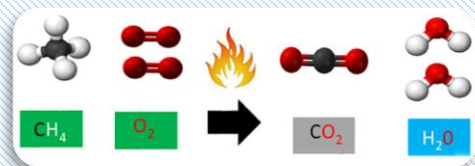
**Έργο SHIMANAGAN: Ασφαλής Διαχείριση
Έγχυσης Υδρογόνου στο Δίκτυο Φυσικού Αερίου**



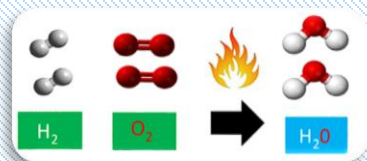
Σημαντικό να διερευνηθεί βιώσιμος τρόπος για την εισαγωγή ενός πράσινου καυσίμου σε ένα ενεργό δίκτυο με υψηλή κατανάλωση

- Μηδενικές εκπομπές διοξειδίου κατά την καύση

Καύση φυσικού αερίου



Καύση υδρογόνου

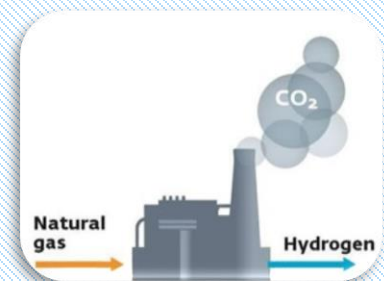
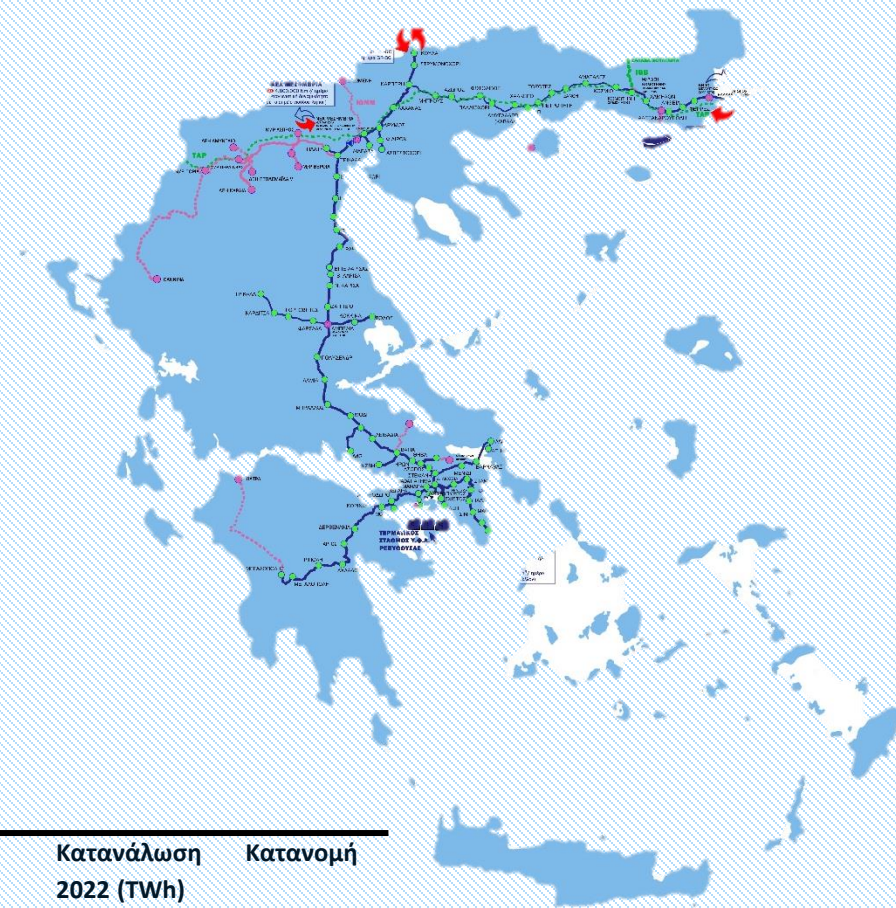


ΟΗΕ, Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης



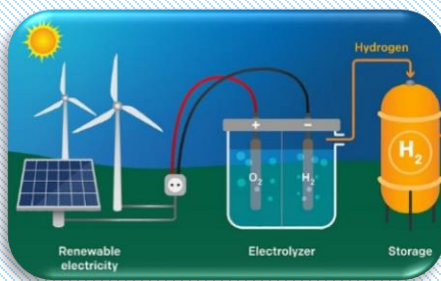
- Πράσινο υδρογόνο:

- Ηλεκτρολυτική διάσπαση νερού σε υδρογόνο + οξυγόνο από ΑΠΕ, μηδενικές εκπομπές διοξειδίου
- Προς το παρόν η παραγωγή είναι κοστοβόρα, αλλά υπάρχει προοπτική για σταδιακή μείωση του κόστους με την ενσωμάτωση του πράσινου υδρογόνου στην αγορά.



Συμβατική παραγωγή (γκρι υδρογόνο)

Καινοτόμα παραγωγή (πράσινο υδρογόνο)



- Δυνητικές εναλλακτικές στη μελλοντική αγορά ενέργειας: Βιοντίζελ, Ηλεκτρική ενέργεια, Αιθανόλη, Φυσικό αέριο, LPG, Ανανεώσιμο ντίζελ, Αειφόρα αεροπορικά καύσιμα (SAF)

Κατηγορία	Κατανάλωση 2022 (TWh)	Κατανομή
Ηλεκτροπαραγωγοί	41.66	73.6%
Δίκτυα διανομής	12.18	21.5%
Βιομηχανίες	2.80	4.9%
Σύνολο	56.64	100.0%

Σκοπός μελέτης και μεθοδολογική προσέγγιση

- Διερεύνηση έγχυσης υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου
- Ποιοτική και ποσοτική-οικονομική αξιολόγηση επένδυσης με προϋποθέσεις βιωσιμότητας για τον διαχειριστή του δικτύου φυσικού αερίου

Αποτύπωση
πρόκλησης

Ποιοτική
αξιολόγηση

Άντληση
δεδομένων και
κατάστρωση
σεναρίων

Εξαγωγή και
αξιολόγηση
αποτελεσμάτων
με ανάλυση
νεκρού σημείου

Ανάλυση
ευαισθησίας και
διερεύνηση
κρίσιμων
παραμέτρων

Έρευνα αγοράς

Οριοθέτηση
μελέτης και
καθορισμός
όγκου ελέγχου

Διαμόρφωση
σκελετού
επένδυσης
(έσοδα, έξοδα)

Προϋποθέσεις
βιωσιμότητας

Έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου: Κομβικό σημείο στην πορεία για μια οικονομία υδρογόνου

Γιατί έγχυση υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου;

- Απανθρακοποίηση
- Όχι δαπάνες για νέα υποδομή υδρογόνου
- Μειωμένη εξάρτηση από μία πηγή ενέργειας
- Ενδιάμεσο στάδιο στο πλαίσιο μετάβασης σε μελλοντική οικονομία υδρογόνου
- Τρόπος μεταφοράς καθαρού υδρογόνου

Ρυθμιστικό πλαίσιο και υποστηρικτικές πολιτικές

- **EU Hydrogen Strategy**
- Renewable Energy Directive
- Clean Hydrogen Alliance
- Gas Market Directive
- **Στρατηγικές και σχέδια κυβερνήσεων**

Μελέτες περίπτωσης καλών πρακτικών

- Έγχυση υδρογόνου
- **Καθιέρωση πράσινου υδρογόνου**
- Διαχωρισμός υδρογόνου από blend
- **Μετασχηματισμός υποδομών φυσικού αερίου**
- **Σκοπιμότητα και ασφάλεια**
- Μετατροπή αστικού δικτύου ώστε να λειτουργεί με 100% υδρογόνο

Ανάλυση SWOT: Μια πρώτη αξιολόγηση

Strengths (S)

- Μείωση ανθρακικού αποτυπώματος
- Χρήση υφιστάμενων υποδομών
- Ενεργειακή ποικιλομορφία

Weaknesses (W)

- Διασφάλιση σταθερής συγκέντρωσης υδρογόνου στο δίκτυο
- Τεχνικές προκλήσεις και πολυπλοκότητες
- Έλλειψη δεδομένων αγοράς, δυσκολία προβλέψεων

Opportunities (O)

- Προσανατολισμός της ΕΕ προς το υδρογόνο, ευνοϊκό ρυθμιστικό πλαίσιο
- Τεχνολογικές εξελίξεις
- Επέκταση της αγοράς

Threats (T)

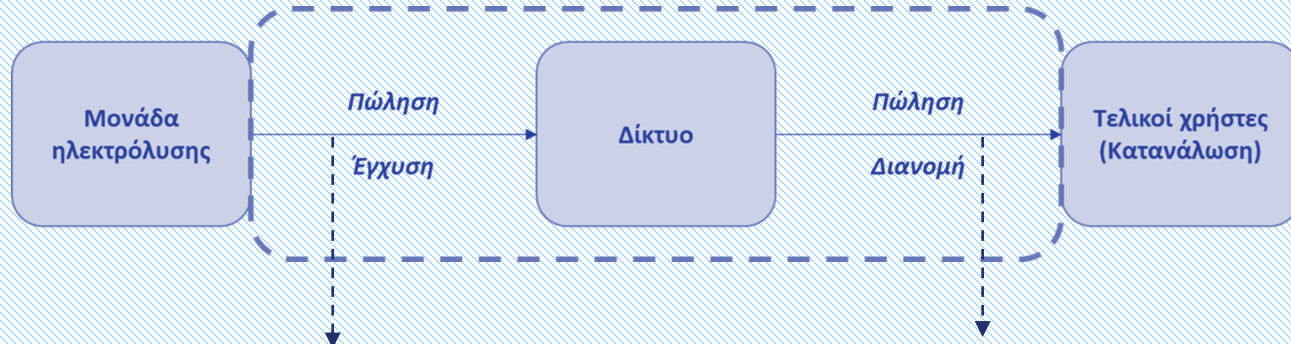
- Ευφλεκτότητα υδρογόνου
- Ανοχή υποδομών στο υδρογόνο
- Μεγάλο κόστος υδρογόνου

Καθοριστικός ο ρόλος των Stakeholders



Μελετήθηκαν 15 σενάρια ροών φυσικού αερίου και υδρογόνου

Υπόθεση για αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου



Κόστος
0.096 €/kWh

Κόστος χρήσης
Προσδιορίζεται μέσω ανάλυσης Νεκρού Σημείου για κάθε σενάριο

Κόστος δεσμευμένης δυναμικότητας
Ίσο με το αντίστοιχο για το φυσικό αέριο

Σενάρια που καταστρώθηκαν κατά τη μελέτη

5 σενάρια
ροών
φυσικού
αερίου (260-
5300 m³/h)



3 σενάρια
περιεκτικότη
τας σε
υδρογόνο (1-
10% v/v)

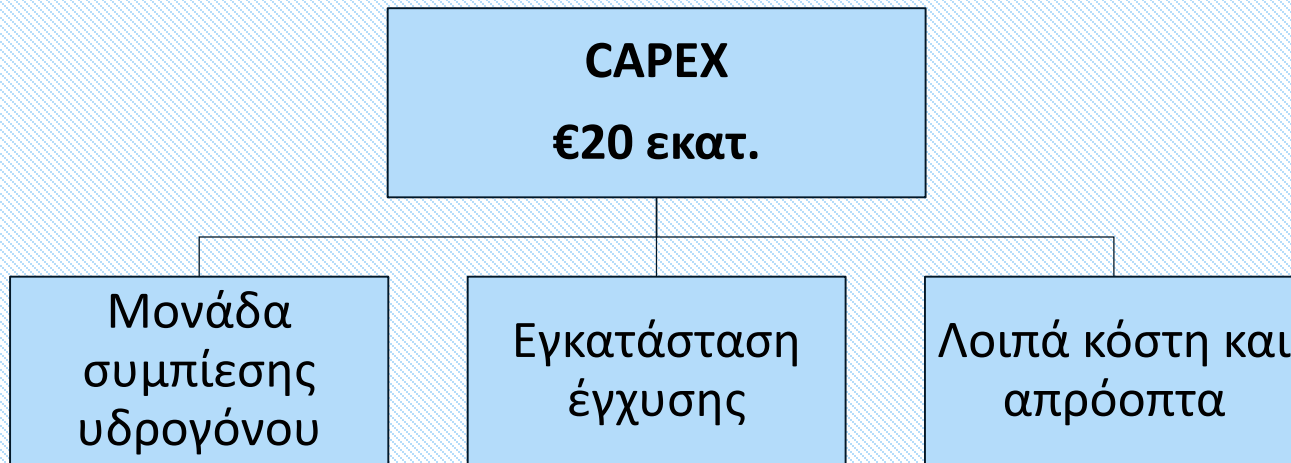


15 σενάρια
ροών
υδρογόνου

Κόστος πράσινου υδρογόνου (Hydrogen Council):
2.5-5.5 €/kg
Base-case scenario:
μέση τιμή, 4 €/kg = 0.096 €/kWh

Έγινε παραδοχή για το κόστος της επένδυσης, ...

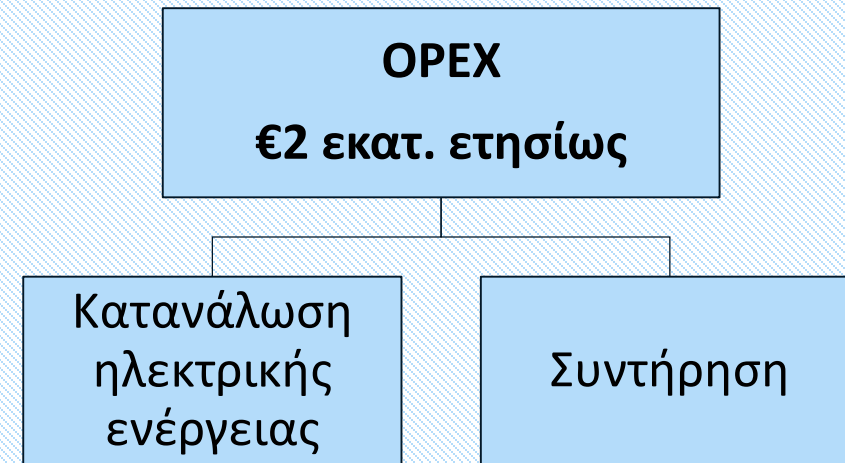
Base-case scenario



Υπόθεση:

Μονάδα συμπίεσης και έγχυσης 1.5 MW

Κανόνας των 2/3 για εκτίμηση κόστους των υπόλοιπων σεναρίων



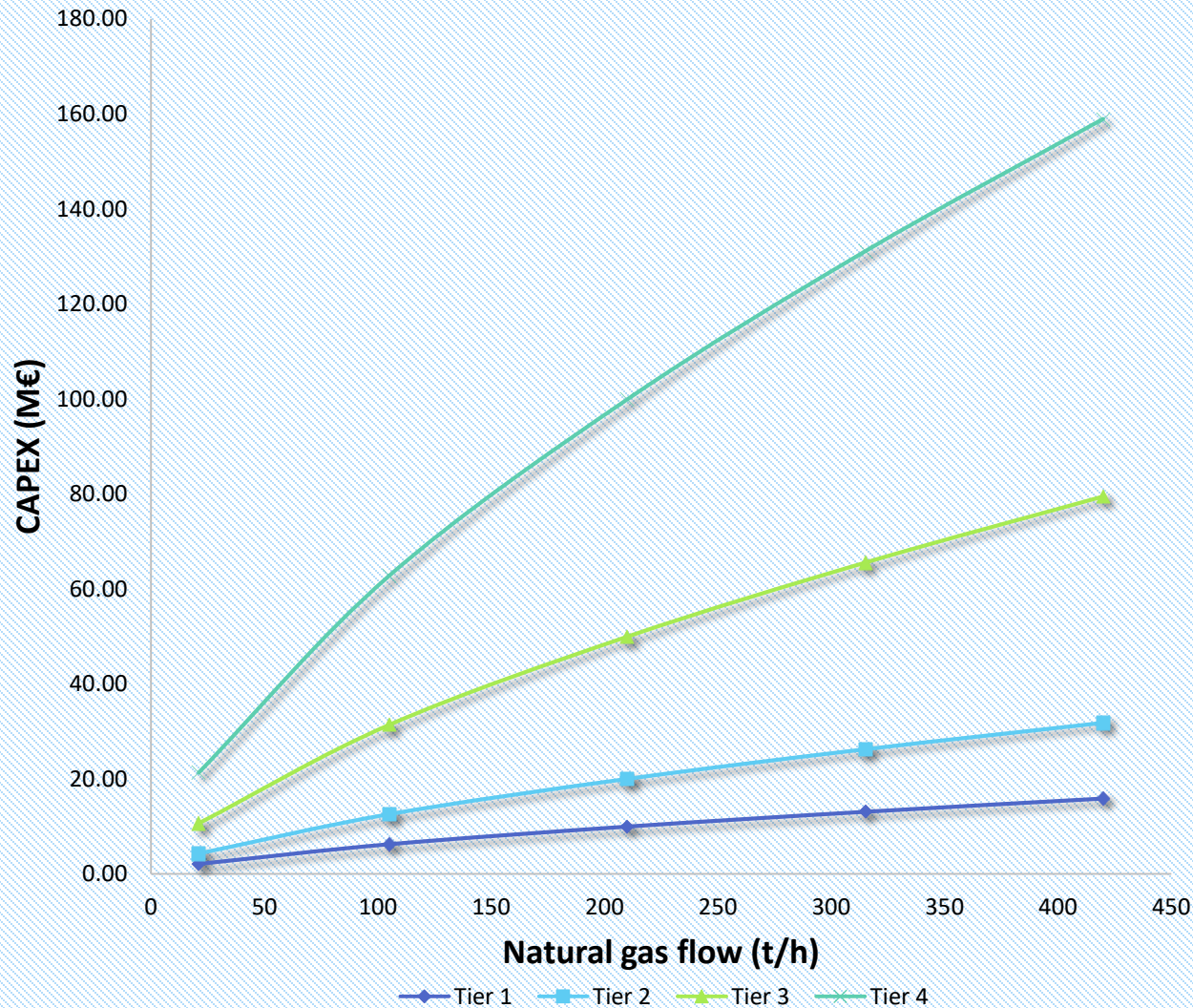
Υπόθεση:

α) 330 ημέρες λειτουργίας ετησίως

β) Κόστος ηλεκτρισμού €75/MWh

γ) Έξοδα συντήρησης στο 6% του πάγιου κόστους εξοπλισμού

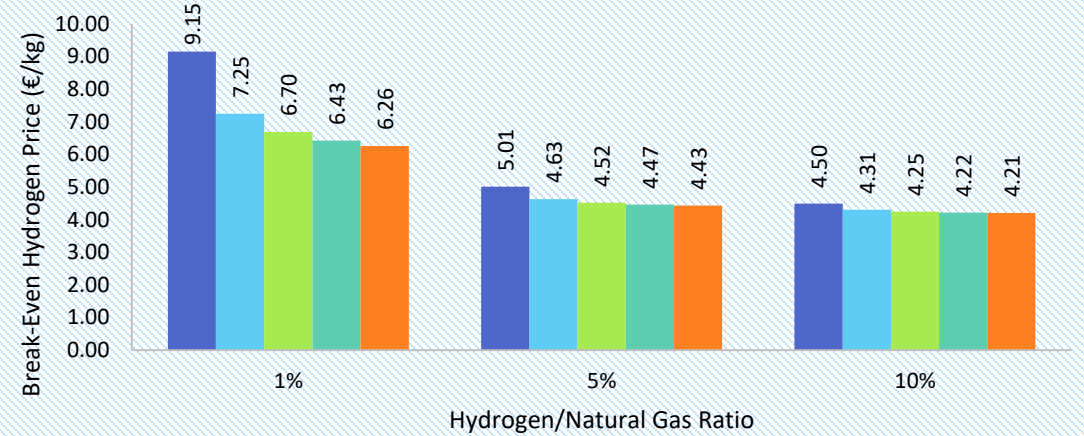
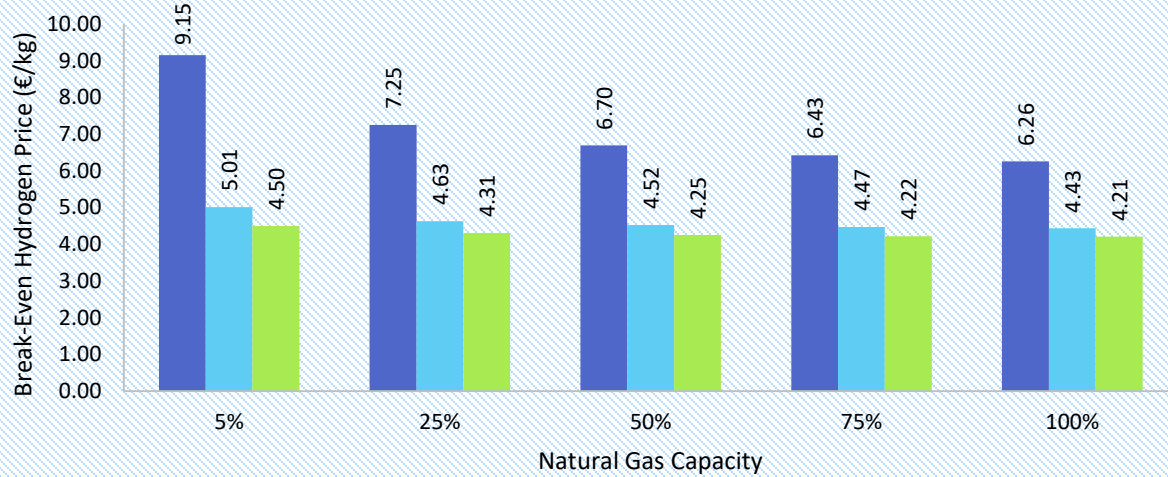
... αλλά λήφθηκαν υπόψη 4 διαφορετικά σενάρια για τις κεφαλαιουχικές δαπάνες λόγω της αβεβαιότητας του κόστους



Λαμβάνονται υπόψη

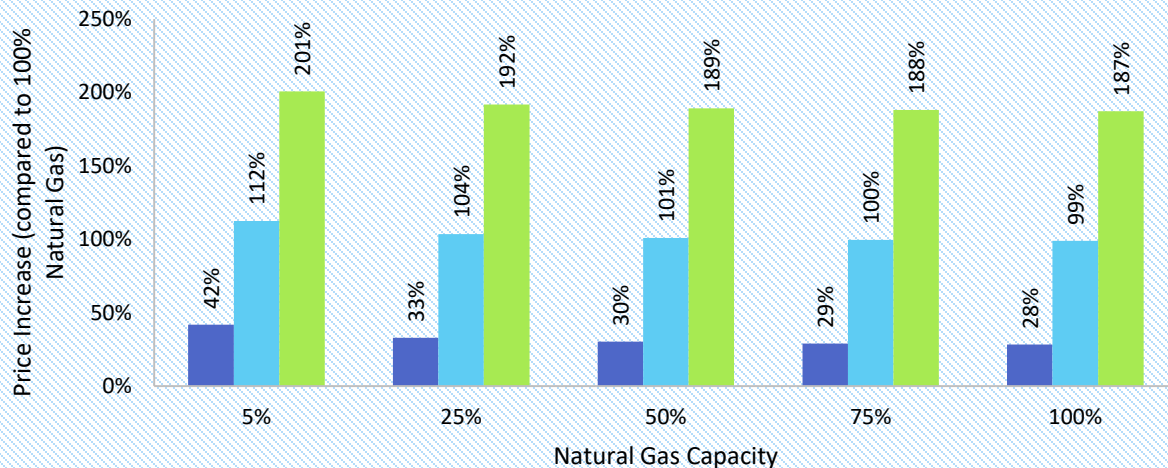
- Μεγαλύτερη απαίτηση για ισχύ συμπίεσης
- Τυχόν απαιτούμενες αναβαθμίσεις υφιστάμενου εξοπλισμού και αγωγών
- Απρόοπτα

5% η βέλτιστη περιεκτικότητα υδρογόνου

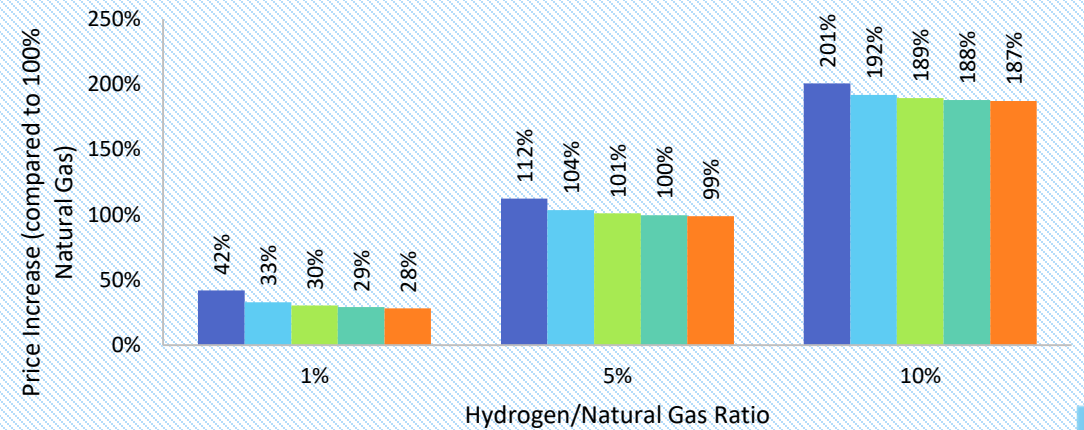


■ Scenario a: 1% Hydrogen ■ Scenario b: 5% Hydrogen ■ Scenario c: 10% Hydrogen

■ Scenario 1: 5% Capacity ■ Scenario 2: 25% Capacity ■ Scenario 3: 50% Capacity
 ■ Scenario 4: 75% Capacity ■ Scenario 5: 100% Capacity

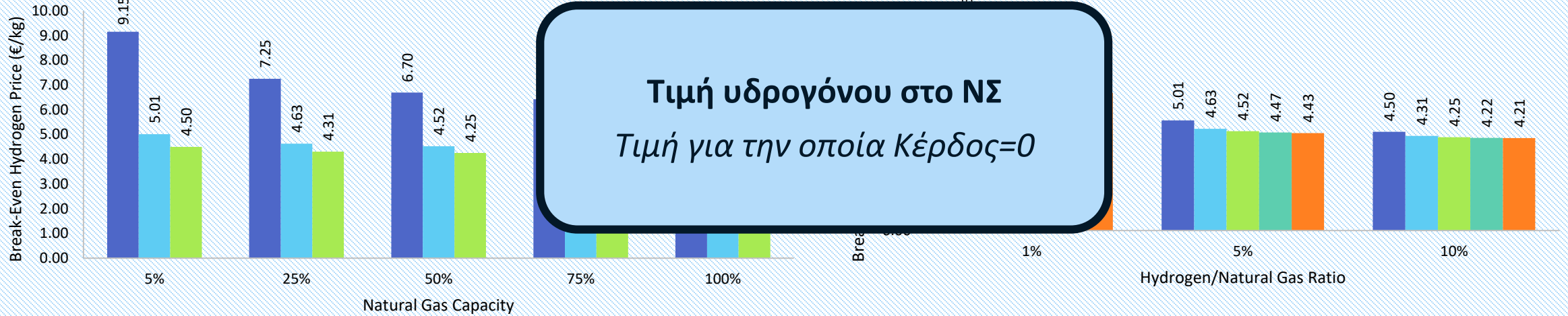


■ Scenario a: 1% Hydrogen ■ Scenario b: 5% Hydrogen ■ Scenario c: 10% Hydrogen



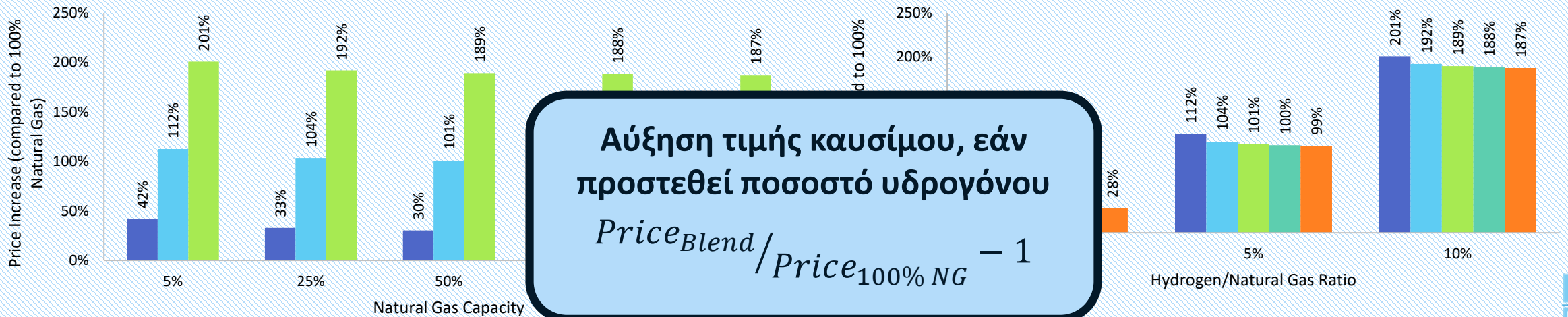
■ Scenario 1: 5% Capacity ■ Scenario 2: 25% Capacity ■ Scenario 3: 50% Capacity
 ■ Scenario 4: 75% Capacity ■ Scenario 5: 100% Capacity

5% η βέλτιστη περιεκτικότητα υδρογόνου



Scenario a: 1% Hydrogen Scenario b: 5% Hydrogen Scenario c: 10% Hydrogen

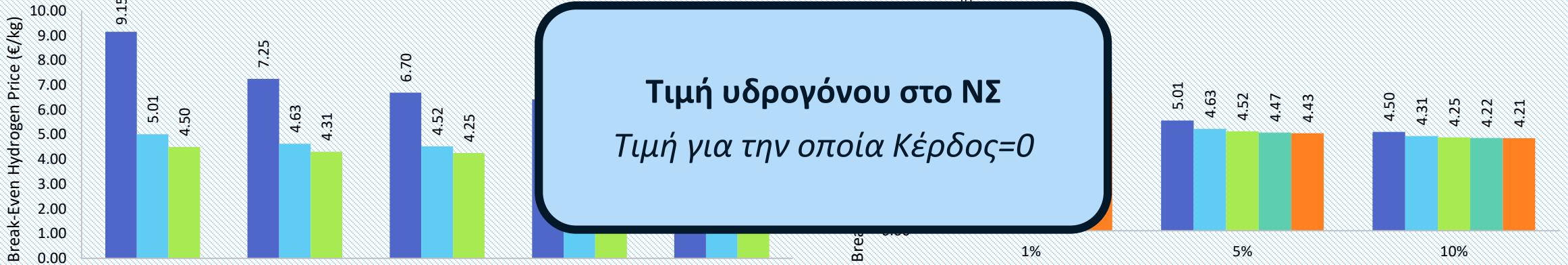
Scenario 1: 5% Capacity Scenario 2: 25% Capacity Scenario 3: 50% Capacity
Scenario 4: 75% Capacity Scenario 5: 100% Capacity



Scenario a: 1% Hydrogen Scenario b: 5% Hydrogen Scenario c: 10% Hydrogen

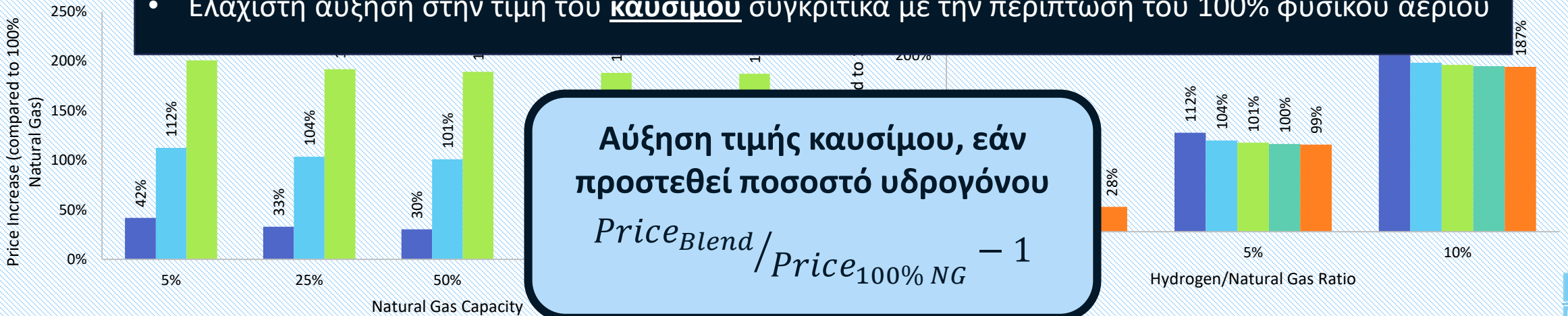
Scenario 1: 5% Capacity Scenario 2: 25% Capacity Scenario 3: 50% Capacity
Scenario 4: 75% Capacity Scenario 5: 100% Capacity

5% η βέλτιστη περιεκτικότητα υδρογόνου



2 κριτήρια αξιολόγησης:

- Καθορισμένα πλαίσια για την τιμή του υδρογόνου (€2.5-5.5/kg)
- Ελάχιστη αύξηση στην τιμή του καυσίμου συγκριτικά με την περίπτωση του 100% φυσικού αερίου

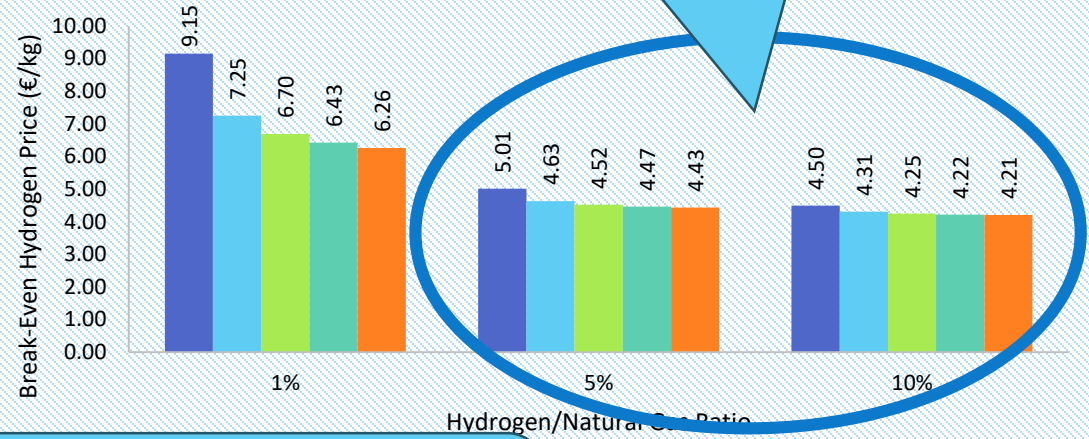
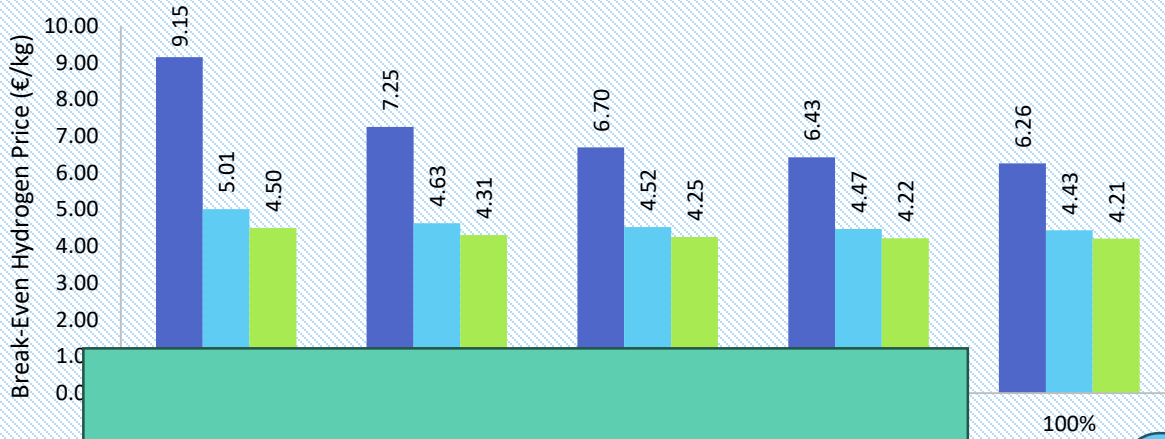


■ Scenario a: 1% Hydrogen ■ Scenario b: 5% Hydrogen ■ Scenario c: 10% Hydrogen

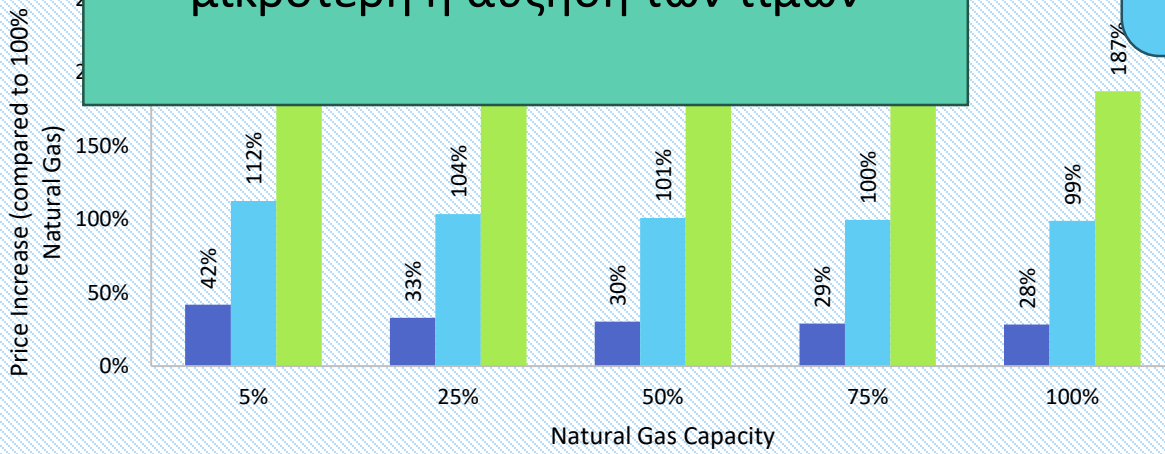
■ Scenario 1: 5% Capacity ■ Scenario 2: 25% Capacity ■ Scenario 3: 50% Capacity
 ■ Scenario 4: 75% Capacity ■ Scenario 5: 100% Capacity

5% η βέλτιστη περιεκτικότητα υδρογόνου

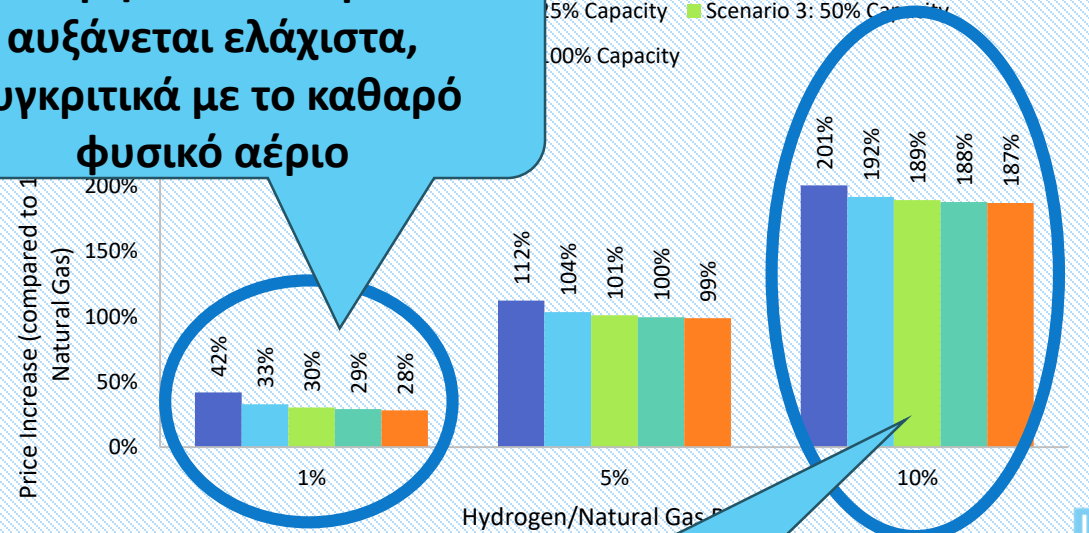
Η τιμή του υδρογόνου παραμένει εντός των καθορισμένων ορίων



Όσο περισσότερη δυναμικότητα του συστήματος αξιοποιείται, τόσο μικρότερη η αύξηση των τιμών



Η τιμή του καυσίμου αυξάνεται ελάχιστα, συγκριτικά με το καθαρό φυσικό αέριο

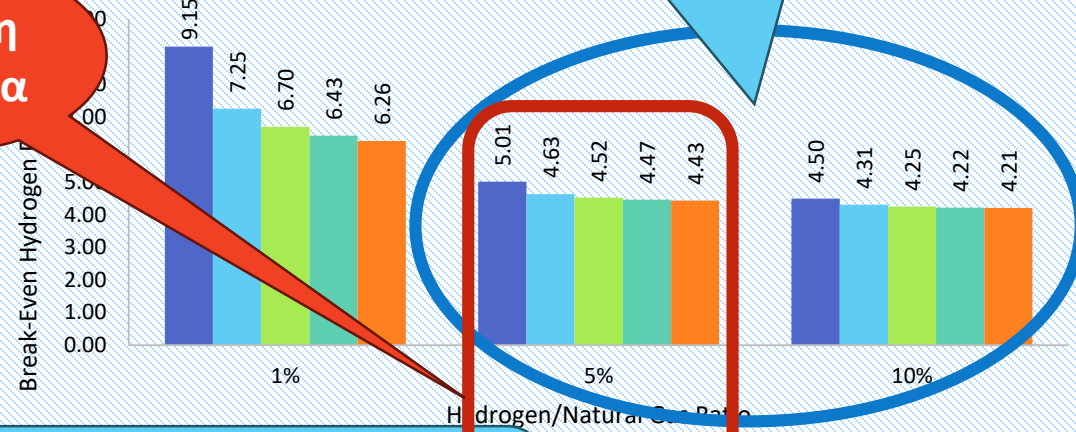
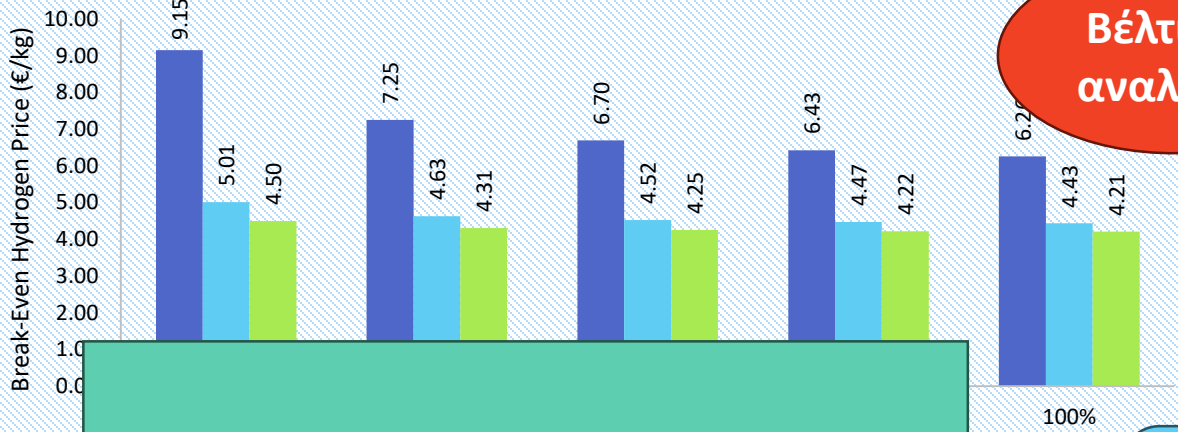


Τριπλασιασμός τιμών καυσίμου

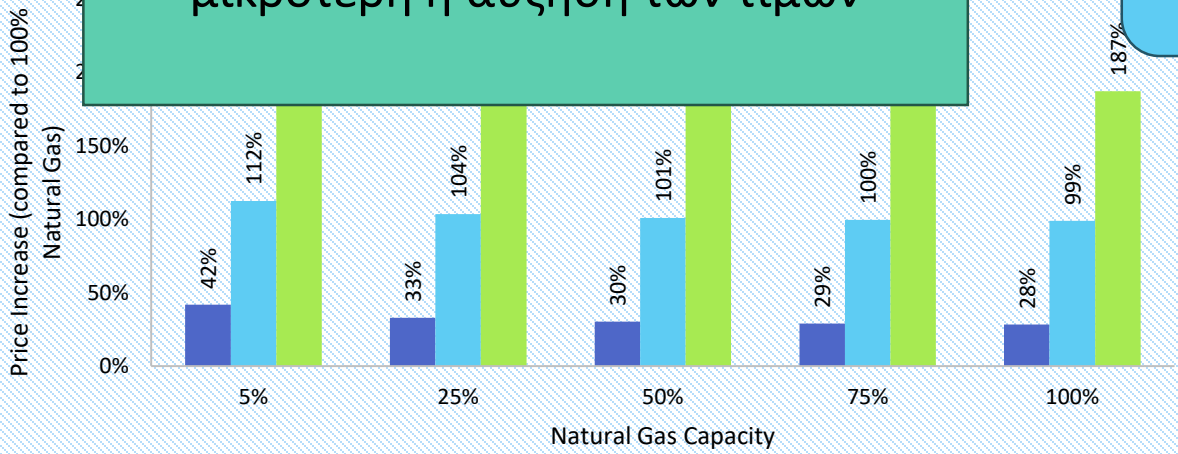
5% η βέλτιστη περιεκτικότητα υδρογόνου

Η τιμή του υδρογόνου παραμένει εντός των καθορισμένων ορίων

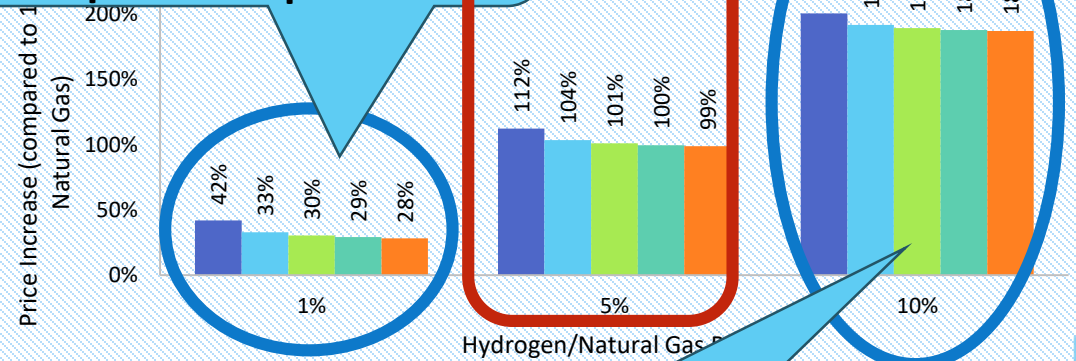
Βέλτιστη αναλογία



Όσο περισσότερη δυναμικότητα του συστήματος αξιοποιείται, τόσο μικρότερη η αύξηση των τιμών



Η τιμή του καυσίμου αυξάνεται ελάχιστα, συγκριτικά με το καθαρό φυσικό αέριο

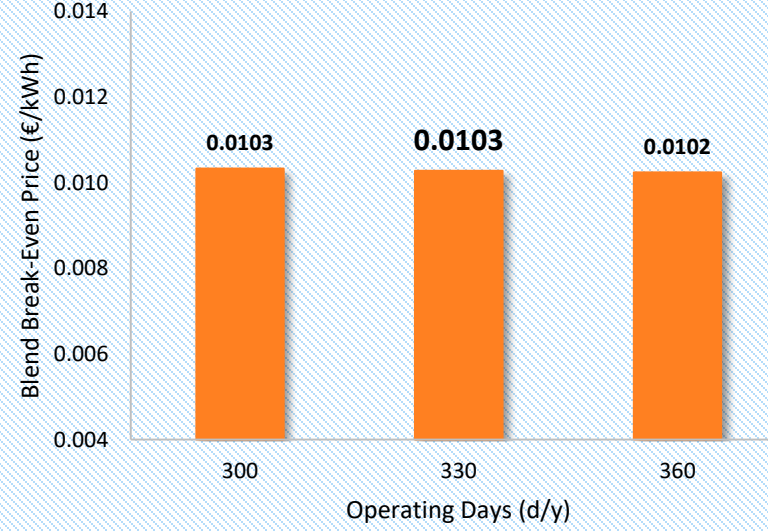
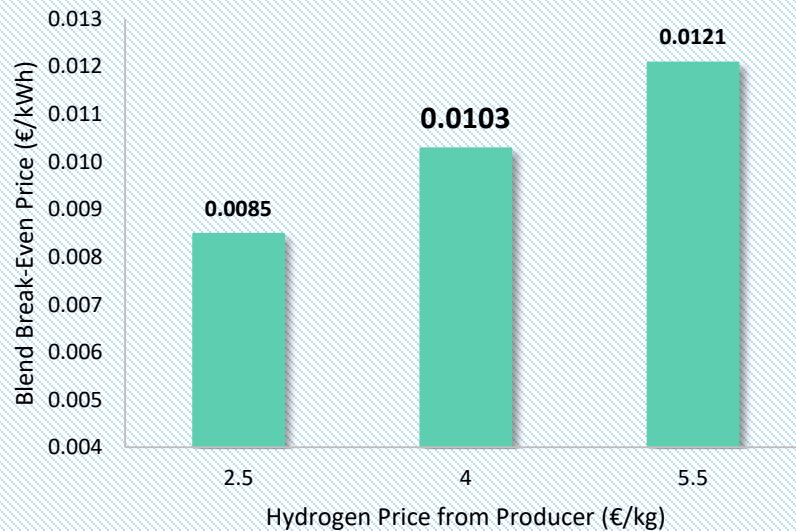
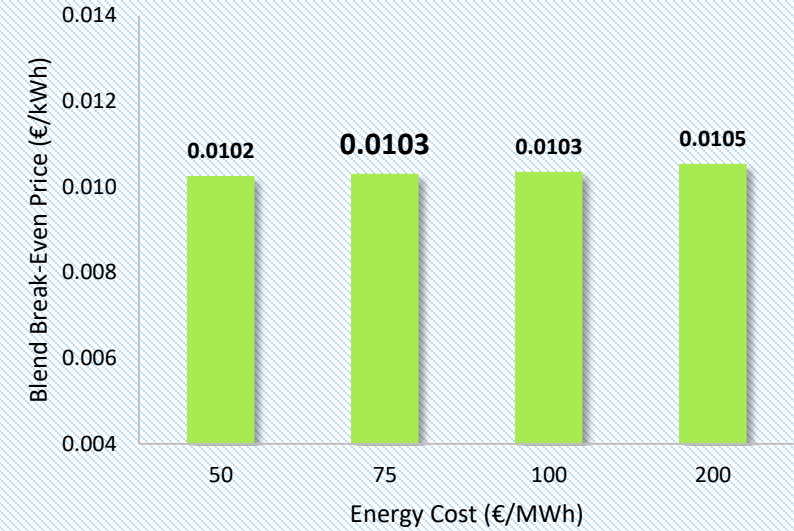
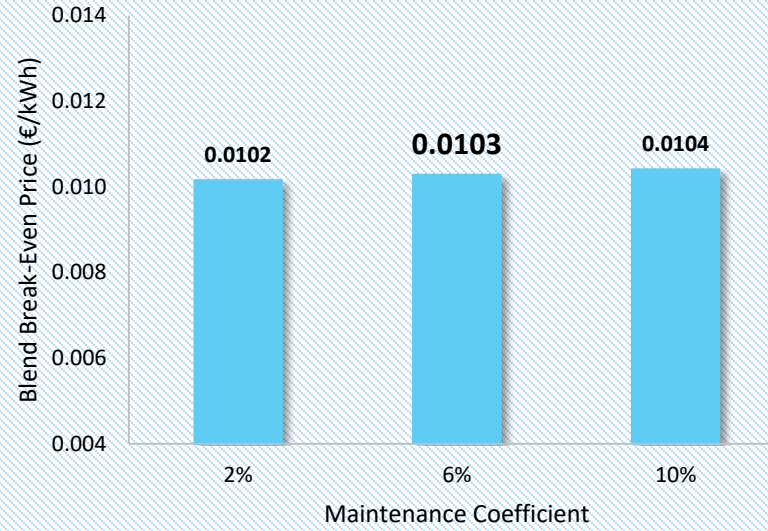
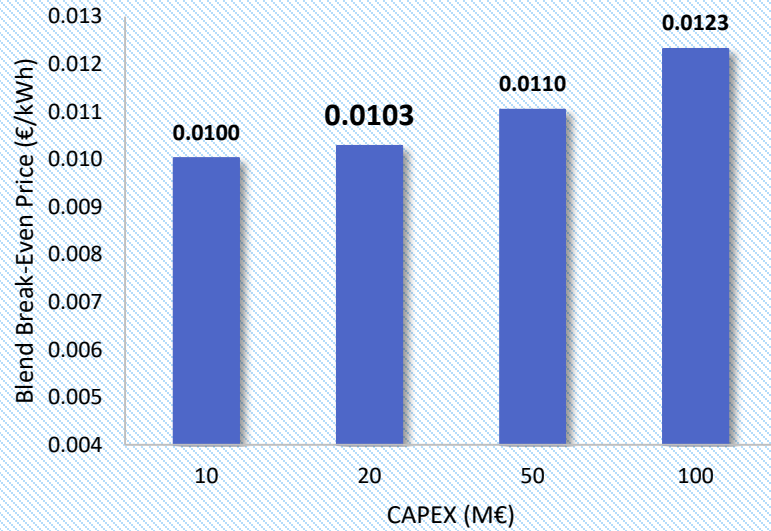


Τριπλασιασμός τιμών καυσίμου

■ Scenario a: 1% Hydrogen ■ Scenario b: 5% Hydrogen ■ Scenario c: 10% Hydrogen

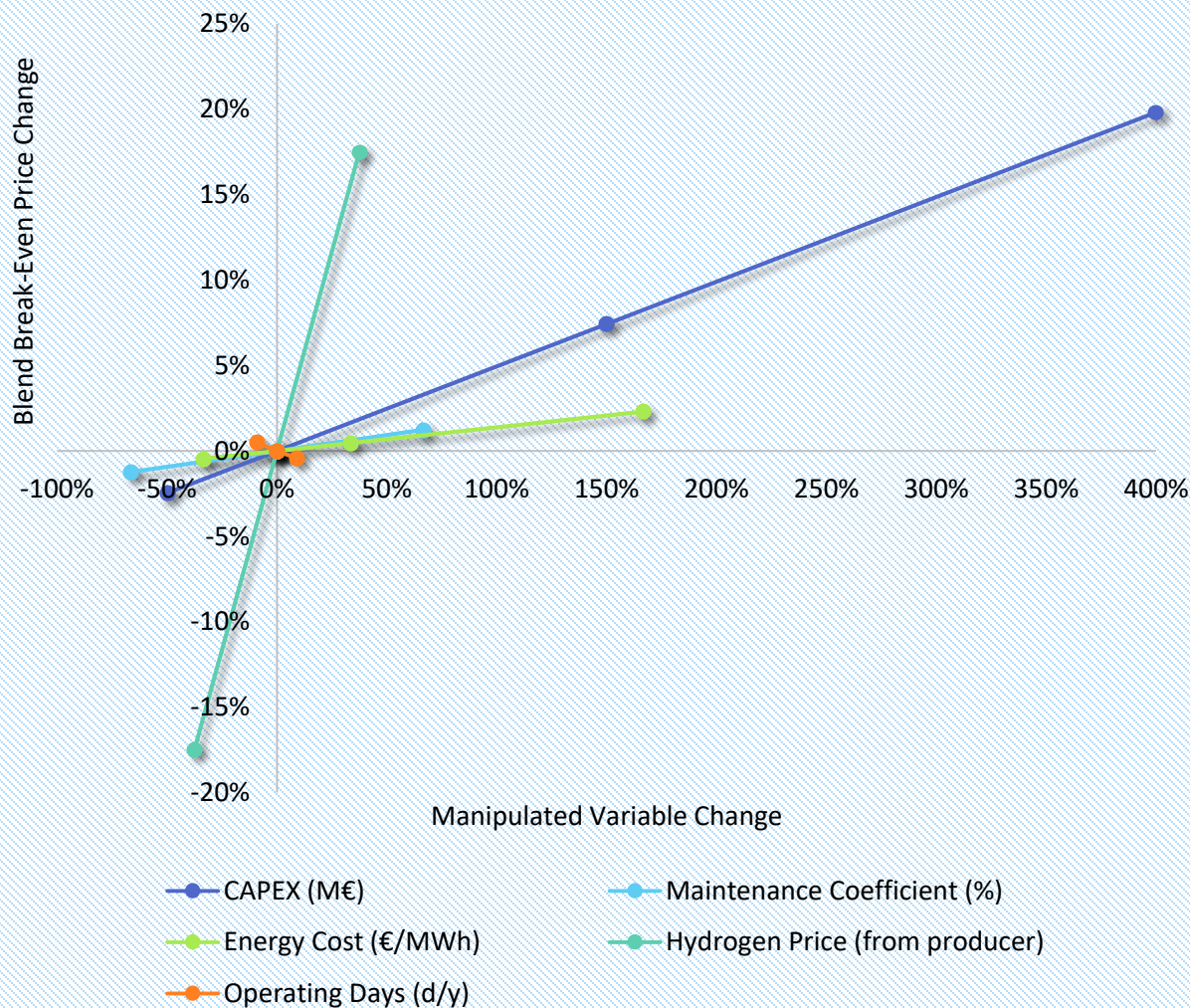
■ Scenario 1: 5% Capacity ■ Scenario 2: 25% Capacity ■ Scenario 3: 50% Capacity

Διερευνήθηκε η επιρροή 5 διαφορετικών παραμέτρων στην οριακή τιμή



Average Natural Gas price taken into account: **€0.0051/kWh**

Κόστος υδρογόνου και κεφαλαιουχικές δαπάνες οι κρισιμότερες παράμετροι



Κατηγορία	Παράμετρος ευαισθησίας	Κρισιμότητα Παραμέτρου
Προμήθεια υδρογόνου από παραγωγό	Κόστος προμήθειας υδρογόνου	Πολύ μεγάλη
Δαπάνες επένδυσης	Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Μεγάλη
	Λειτουργικές ενεργειακές δαπάνες	Μικρή
	Δαπάνες συντήρησης εξοπλισμού	Μικρή
Λειτουργικότητα μονάδας	Ετήσιες ώρες λειτουργίας	Μέτρια

Τι κρατάμε από τη μελέτη;

Η **έγχυση** υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου αποτελεί ένα **σταθμό** στην πορεία για μια οικονομία **υδρογόνου**

Το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο ευνοεί **νέες επενδύσεις** για τη δημιουργία αγοράς

Πρέπει να διερευνηθούν **τεχνικές προκλήσεις** στο δίκτυο φυσικού αερίου

Πιθανή απαίτηση για **αναβάθμιση** του υφιστάμενου εξοπλισμού και αγωγών ώστε ποσότητες υδρογόνου να μην δημιουργούν πρόβλημα

Με **5% υδρογόνο** το κόστος του καυσίμου είναι βέλτιστο

Η τιμή προμήθειας υδρογόνου από τον παραγωγό παραμένει **εντός των καθορισμένων ορίων**.

Περιορίζεται η αύξηση της τιμής του καυσίμου προς τους **καταναλωτές**.

Μπορεί να εφαρμοστεί στο υδρογόνο **τιμολογιακή** πολιτική όμοια με αυτή του **φυσικού αερίου**

Ενδεικτικές επιπλέον **στρατηγικές** για να γίνει πιο ελκυστικό το υδρογόνο, λόγω αυξημένης τιμής:

- εκπτώσεις όγκου
- μακροπρόθεσμες συμβάσεις
- έκπτωση συνέπειας
- ειδικά τιμολόγια για χρήση σε ΒΙΠΕ και δημόσια κτήρια
- εγγύηση σταθερότητας τιμών

Κρισιμότερη παράμετρος η **τιμολόγηση** του υδρογόνου

Ευρεία κατανομή τιμών υδρογόνου, ανάλογα το **κόστος παραγωγής** και το **περιθώριο κέρδους**.



Σας ευχαριστώ για το χρόνο σας!

Spyros Kyrimis • MEng Chemical Engineer

Chemical Engineer, AristEng

Associate Researcher, LIEE-NTUA

sp.kyrimis@gmail.com

