



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —



**ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
«ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ»**



**ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ
ΕΩΣ ΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ**

Προπτυχιακού Φοιτητή
ΜΠΟΛΩΣΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
A.M. 1111200500083

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μελετώντας την ανθρώπινη ιστορία στα βάθη των αιώνων θα διαπιστώσουμε ότι αυτή διακρίνεται από μια συνεχή και σταθερή τεχνολογική εξέλιξη η οποία κατά κανόνα προέρχεται από τη μεθοδική μελέτη φυσικών και χημικών φαινομένων, πειραματική έρευνα και τεκμηρίωση και εν τέλει εφαρμογή των αποτελεσμάτων και των μεθόδων-προϊόντων που προέρχονται από αυτά στην καθημερινότητα με σκοπό συνήθως την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Πολλές φορές όμως η μεθοδική μελέτη που οδήγησε στην εφεύρεση κάποιων μεθόδων ή προϊόντων ήταν αποτέλεσμα κάποιου ατυχήματος κατά τη διάρκεια διαδικασιών που αποσκοπούσαν σε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Ένα τέτοιο ατύχημα ήταν και η εφεύρεση των εκρηκτικών υλών τα οποία συνέβαλαν τα μέγιστα στις πιο φαινές (κατασκευές-επιτεύγματα) αλλά και στις πιο ζοφερές στιγμές της ανθρωπότητας (πολεμικές συγκρούσεις).

ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Η απαρχές της ανάπτυξης και εφεύρεσης των εκρηκτικών υλών θέτονται περίπου στο 220 π.Χ. όπου υπάρχει το πρώτο καταγεγραμμένο περιστατικό το οποίο οδήγησε σε μια εκτεταμένη έκρηξη η οποία προκλήθηκε από την ατυχηματική ενεργοποίηση πιθανολογούμενης μαύρης πυρίτιδας η οποία ήταν προϊόν προ – αλχημιστικών προσπαθειών. Συγκεκριμένα Κινέζοι, πρόδρομοι των μετέπειτα αλχημιστών, κατά την διάρκεια εξερευνητικών πρακτικών και τεχνουργίας τα οποία είχαν ως σκοπό των διαχωρισμό του χρυσού από ένα μίγμα χρυσού-αργύρου παρήγαγαν , εν αγνοία τους, το σύγχρονο μίγμα της μαύρης πυρίτιδας. Κατά την διαδικασία διαχωρισμού και πριν τοποθετήσουν το μετάλλευμα στο φούρνο διαχωρισμού πρόσθεσαν νιτρικό κάλιο (KNO_3) και θείο (S) , πιθανών στις σωστές αναλογίες , αλλά παρέλειψαν τον άνθρακα που θεωρούνταν τότε απαραίτητο για τον εν λόγω διαχωρισμό. Στην προσπάθειά τους να διορθώσουν το λάθος τους πρόσθεσαν τον άνθρακα στο τέλος της διαδικασίας κατασκευάζοντας εν αγνοία τους μαύρη πυρίτιδα, γεγονός που οδήγησε σε έκρηξη αποτρέποντάς τους από την παραλαβή του πολύτιμου μεταλλεύματος πλην όμως οδηγώντας τους, σε βάθος χρόνου, στην κατασκευή πυροτεχνικών συνθέσεων.

Παρόμοια περιστατικά παρατηρήθηκαν ανά τον κόσμο κατά τη διάρκεια των αιώνων, τα οποία με τη σειρά τους οδήγησαν στη περιστασιακή μελέτη των ουσιών με σκοπό την κατασκευή συνθέσεων οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνταν για «αλχημιστικούς» σκοπούς, σκοπούς εντυπωσιασμού (πυροτεχνήματα) και σπάνια ή ατυχηματικά για εκρήξεις. Η τεχνολογική έλλειψη σε μέσα παρασκευής πρόδρομων συνθέσεων – διαχωρισμού και μεθόδων ασφαλούς κατασκευής αλλά και η αδυναμία μετάδοσης της πληροφορίας και έρευνας έθεσαν το εμπόδιο για την εξέλιξη τους έως τη σύγχρονη σχετικά εποχή. (Akhavan, 2011)



Απεικόνιση αρχαίου Κινέζου Αλχημιστή κατά την διάρκεια άγνωστης τεχνικής διαχωρισμού ουσιών.(Πηγή Chinese libraries net)

Αξίζει να σημειωθεί πως από την αρχαιότητα έως και τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, κάθε κατασκευαστικό έργο ή εργασία εξόρυξης απαιτούσε τεράστιο ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο εργαζόταν συνήθως κάτω από πολύ δύσκολες συνθήκες και με τη χρήση εργαλείων που ελάχιστα είχαν εξελιχθεί από τότε, για να φέρει εις πέρας εξαιρετικά απαιτητικές τεχνικές προκλήσεις που συνήθως παρακωλύονταν από στοιχεία του περιβάλλοντος, όπως τεράστιες δομές βράχων ή μεγάλης μάζας εδάφους. Έργα όπως ανθρακωρυχεία, διάνοιξη δρόμων, λαξευμένοι ναοί σε βράχους γίνονταν αποκλειστικά από ανθρώπινα χέρια και με τη χρήση εργαλείων. Ακόμα και προελάσεις στρατών, όπως η διάσχιση των Άλπεων από τον Ανίβα, έγινε με τη εξουθενωτική και συχνά θανατηφόρα χρήση του ανθρώπινου δυναμικού για την διάνοιξη οδών σε ορεινούς όγκους κατάλληλων για τροχήλατα οχήματα και πλήθους πεζικάριων . Καταστάσεις σαν τις ανωτέρω ώθησαν την ανθρωπότητα για την εξέλιξη τεχνικών που θα τους προσέφερε την ανάλογη κατασκευαστική δύναμη για να ξεπεράσουν τα εμπόδια

αλλά και να μειώσουν τον χρόνο και το κόστος αποπεράτωσης. Μία από αυτές τις τεχνικές ήταν η μελέτη και η εξέλιξη των πυροτεχνικών μειγμάτων που θα έθεταν την απαρχή για την κατασκευή των πρώτων εμπορικών και κατά επέκταση τυποποιημένων στρατιωτικών εκρηκτικών υλών. (Shanley, 1990)

ΤΟ "ΥΓΡΟ ΠΥΡ"

Ένας από τους σημαντικότερους συνδέσμους μεταξύ των αρχαίων προσπαθειών για κατασκευή εκρηκτικών και τον σχετικά σύγχρονων εκρηκτικών υλών (1.300-παρών) αν όχι ο σημαντικότερος, είναι αυτός που περιβάλλεται από μυστήριο, μιας και ελάχιστα είναι γνωστά γι' αυτόν, τα οποία προέρχονται από λίγα γραπτά κείμενα καθώς και από ελάχιστες απεικονίσεις της εποχής. Αυτός δεν είναι άλλος από το φημισμένο 'Υγρό Πυρ' ή σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία ως «Greek Fire». Η απαρχή του λεγόμενου 'Υγρού Πυρ' ανάγεται περίπου στα 673 μ.Χ. όταν ο Σύρος αρχιτέκτονας

Καλλίνικος έφερε μαζί του από την Ηλιούπολη της Συρίας την μυστική συνταγή ως δώρο στον Αυτοκράτορα Κωνσταντίνο Δ'. Οι γνώσεις του αυτές προήλθαν μάλλον από μελέτη του ίδιου σε Αραβικά χειρόγραφα της εποχής τα οποία περιείχαν αποτελέσματα προσπαθειών αιώνων για κατασκευή εκρηκτικών, πυροτεχνικών ή εμπρηστικών υλών τα οποία προήλθαν από την σταδιακή αργή εξάπλωση της χειρόγραφης γνώσης από την Άπω στην Εγγύς Ανατολή. Ο Καλλίνικος με την γνώση που διέθετε ως προς τις φυσικές επιστήμες της εποχής αλλά και από την έμφυτη περιέργεια του κατάφερε να κατασκευάσει αυτό που για τα επόμενα 800 χρόνια θα αποτελούσε την κορωνίδα της αμυντικής θωράκισης της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας.



"Συνοψις Ιστοριών" -Υγρό Πυρ 1070 μ.Χ. Ιωάννη Σκυλίτζη. Εικονογραφημένο χειρόγραφο. (Πηγη:Εθνική Βιβλιοθήκη της Ισπανίας)

Αν και η σύνθεσή του 'Υγρού Πυρ' δεν είναι εξακριβωμένη σύγχρονες έρευνες συγκλίνουν ότι αποτελούνταν από πετρέλαιο ή νάφθα κυρίως. Οι πρώτες ύλες του πιθανολογείται ότι προέρχονταν από κοίλα εδαφικά ανοίγματα στις πλούσιες σε υδρογονάνθρακες περιοχές μεταξύ Μαύρης και Κασπίας Θάλασσας, κοντά στις σημερινές περιοχές του Καζακστάν και Αζερμπαϊτζάν. Το πετρέλαιο

στην ακατέργαστη μορφή του δεν αναφλέγεται εύκολα, αλλά αν διυλιστεί, τα κλάσματα που παράγονται και η ανάμιξή τους με θείο και φυσικές ρητίνες που υπήρχαν άφθονες στην περιοχή δημιουργούν ένα κολλώδες μίγμα το οποίο όταν αναφλεγεί, δύσκολα κατασβήνεται, γεγονός που αποτέλεσε το κύριο χαρακτηριστικό της στρατιωτικής – αμυντικής επιτυχημένης εφαρμογής του. Το μυστήριο που ακόμα όμως δεν έχει λυθεί είναι ο τρόπος που με τα λιγοστά τεχνολογικά μέσα της εποχής, οι παρασκευαστές του κατάφεραν να καταστήσουν ασφαλή την παραγωγή και διύλιση της πρώτης ύλης από την οποία αποτελούνταν.

Η εφεύρεση αυτή κατάφερε να εξυπηρετήσει επιτυχημένα τον σκοπό κατασκευής της για αιώνες και αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής. Κατάφερε όμως να ξεπεραστεί κατά την πτώση της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας το 1453 μ.Χ. από τα Οθωμανικά στρατεύματα τα οποία διέθεταν εκτεταμένα στην κατοχή και χρήση τους αυτό που θα αποτελούσε των σύγχρονο πρόδρομο των εκρηκτικών υλών , την μαύρη πυρίτιδα. (DAVIS, 1975)

Η ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΥΡΙΤΙΔΑΣ

Οι απαρχές της μαύρης πυρίτιδας θέτονται περίπου στα 900 μ.Χ. όταν Κινέζοι αλχημιστές, συνεχίζοντας την παράδοση , πειραματιζόνταν για την



Κανονιοβολητές της Δυναστείας των Ming. Τοιχογραφία σε Κινεζικό ναό-Beijing. (Πηγή:Wikiwand.com)

ανάπτυξη διάφορων τεχνικών ανάληψης πολύτιμων μετάλλων από τα ορυκτά τους, γεγονός που οδήγησε με αργούς ρυθμούς σε συγγραφή χειρόγραφών μυστικών συνταγών για την κατασκευή πυροτεχνικών συνθέσεων προς χάριν εντυπωσιασμού αλλά και για πρωτόλειες στρατιωτικές χρήσεις οι οποίες αποσκοπούσαν κυρίως στην δημιουργία χάους και σύγχυσης στα εχθρικά στρατεύματα μέσω κρότου και λάμψης. Η σπουδαιότητα αυτών των εφευρέσεων και η χρήση τους εν τέλει για στρατιωτικούς σκοπούς οδήγησε τους Κινέζους να θέσουν το 1067 μ.Χ. την εξόρυξη θείου (S) αλλά και την παραγωγή νιτρικού καλίου (KNO_3) , δύο από τα κύρια συστατικά της μαύρης πυρίτιδας , υπό κρατικό- αυτοκρατορικό έλεγχο

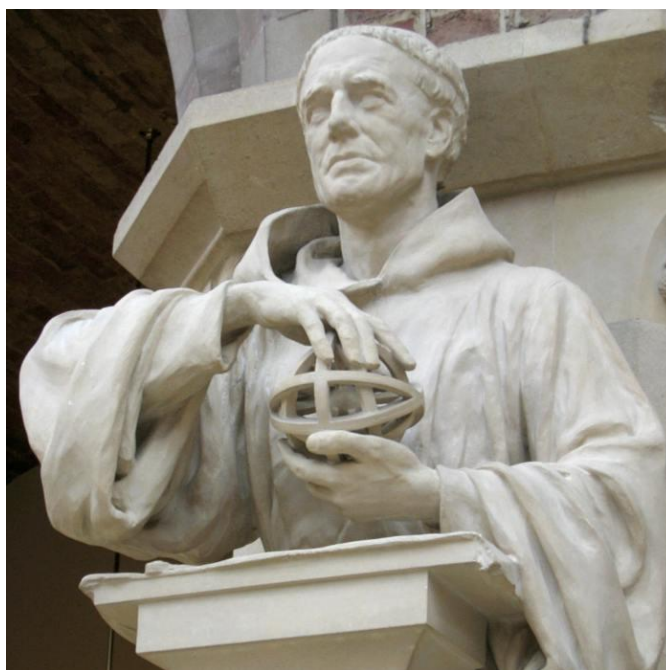
και απαγόρευσαν την διάθεσή τους σε εμπορικά φίλιους λαούς.

Σύγχρονες μελέτες καταδεικνύουν ότι η γνώση για την κατασκευή μαύρης πυρίτιδας άργησε να προσεγγίσει την δύση και κατέστη δυνατή η αναγνώριση της σπουδαιότητά της όταν ένα Πανευρωπαϊκό ρεύμα της εποχής απαιτούσε από τους λόγιους να σπουδάζουν την Αραβική γλώσσα και ιστορία και κατά επέκταση να μελετούν Αραβικά χειρόγραφα της εποχής ως ένα παράθυρο στην εξέλιξη των Φυσικών επιστημών. Κοινωνός αυτής της τάσης ήταν και ο Roger Bacon , ο οποίος θεωρείται ως ο πρώτος εισηγητής της γνώσης για την κατασκευή του θεμελίου λίθου των εκρηκτικών υλών στη Δύση. (J.R., 1960) (Brown, 2010)

ΟΙ ΠΡΩΤΟΙ ΔΥΤΙΚΟΙ ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Ο Roger Bacon γεννήθηκε το 1214 στο Ilchester της Κομητείας Somerset της Νότιας Αγγλίας. Γόνος ευκατάστατης οικογένειας , έδειξε από μικρός την κλίση του για τις φυσικές επιστήμες με αποτέλεσμα κατά την εφηβεία του να σπουδάσει

μαθηματικά και γεωμετρία καθώς και να μελετήσει σε βάθος την Ελληνική γλώσσα , τα Λατινικά αλλά και τα Αραβικά , ικανότητες οι οποίες αργότερα θα αντικατοπτριστούν στις γνώσεις του περί εκρηκτικών μιγμάτων. Μετά την θητεία του στο Πανεπιστήμιο του Παρισιού , Επέστρεψε στην Οξφόρδη όπου και εντάχθηκε στο δυναμικό των Φραγκισκανών μοναχών. Ο Roger Bacon έζησε και άφησε τα γραπτά του κείμενα σε μια πολύ επικίνδυνη εποχή για τις επιστήμες , την ελευθερία του λόγου και την γνώση λόγω ότι η εποχή αυτή ήταν η απαρχή για την μεγάλη διαμάχη επιστήμης-εκκλησίας . Ύστερα από εκτενή μελέτη



Προτομή του Roger Bacon στο μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης. (Πηγή:Oxford University)

Ανατολικών-Αραβικών χειρόγραφών. καθώς και από πρακτική εφαρμογή των γνώσεων αυτών, έγραψε την πραγματεία του «De Secretis Operibus Artis Et Naturae Et De Nullitate Magiae» το 1260 μ.Χ. περίπου , η οποία μεταφράζεται ως ‘‘Η μεγάλη δύναμη της τέχνης και της φύσης και η μηδαμινότητα της μαγείας’’. Η

πραγματεία του αυτή είχε ως αντικείμενο την απόδοση πιθανολογούμενων μελλοντικών εφευρέσεων ως αποτέλεσμα της επιστημονικής γνώσης, οι οποίες εξηγούνται από νόμους της φύσης και δεν είναι αποτέλεσμα πρακτικών μαγείας, σε μια προσπάθειά του να αποφύγει το εκκλησιαστικό κατηγορητήριο. Το πιο διάσημο μέρος της πραγματείας του είναι το σημείο όπου κάνει την εισαγωγή της κρυπτογραφημένης αποκάλυψης της σύνθεσης της μαύρης πυρίτιδας στην οποία αναφέρεται ως ένα υλικό το οποίο "ο ήχος του κεραυνού μπορεί να αναπαραχθεί τεχνητά στον αέρα, με πολύ μεγαλύτερο προκαλούμενο τρόπο, από ότι αν παραγόταν από φυσικά αίτια". Στη συνέχεια αποδίδει την σύνθεση κρυπτογραφημένα αποκαλώντας τα κύρια συστατικά της όπως το νιτρικό κάλιο, το θείο και τον άνθρακα με ονομασίες όπως "αέρινη πέτρα" (KNO_3), "θάμνος" (C)



Μεταχρονολογημένη έκδοση της Πραγματείας του Roger Bacon που περιείχε την πρώτη αναφορά στη κατασκευή μαύρης πυρίτιδας. (Πηγή: Βιβλιοθήκη του Πανεπιστημίου της Σεβίλλης-Ισπανία)

και "ατμό μαργαριταριού" (S), παραθέτοντας και τις αναλογίες μίξης αυτών, στην προσπάθειά του να μεταδώσει την γνώση αυτή "σε αυτούς που γνωρίζουν και μπορούν να την τιθασεύσουν". Αποκρυπτογράφηση της συνταγής αυτής από σύγχρονους ερευνητές κατέδειξε ότι ήταν απολύτως σύμφωνη με τις αρχικές σύγχρονες αναλογίες της παρασκευής μαύρης πυρίτιδας (29.4% άνθρακα, 29.4% θείο, 41.2% νιτρικό κάλιο). Η αποκρυπτογράφησή του αυτή αποκάλυπτε τον φόβο που πιθανόν να ένοιωθε από μια τόσο ριζοσπαστική για την εποχή εκείνη εφεύρεση και την εμπλοκή του σε εκκλησιαστικές κατηγορίες περί εξάσκησης πρακτικών μαγείας.

Ταυτόχρονα όμως με τον Roger Bacon υπήρξαν και άλλοι οι οποίοι την ίδια εποχή περίπου, κατέθεσαν τις γνώσεις τους περί παρασκευής μιγμάτων μαύρης πυρίτιδας όπως ο Albertus Magnus ο οποίος στην πραγματεία του με τίτλο "De Mirabilis Mundi" έγραψε για ένα εκρηκτικό μίγμα

μαύρης σκόνης αποτελούμενης από μίξη κονιορτοποιημένων φυσικών πρώτων υλών. Όποιος και να ήταν όμως ο πρώτος κοινωνός της πληροφορίας αυτής προερχόμενης από την Ανατολή, κατάφερε να θέσει τα θεμέλια για την αλματώδη εξέλιξη στο χώρο των εκρηκτικών υλών η οποία προήλθε από την εκτεταμένη παραγωγή και χρήση, για εμπορικούς και στρατιωτικούς σκοπούς, της μαύρης πυρίτιδας η οποία από σύγχρονους χαρακτηρίστηκε ως "Το υλικό για όλες τις δουλειές" ("The jack of all trades"-Edward Gibbon). (Brown, 2010)

ΟΙ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Τα χρόνια που ακολούθησαν υστέρη από την γνωστοποίηση της ριζοσπαστικής αυτής γνώσης, από τους πρώτους κοινωνούς της πληροφορίας, χαρακτηρίστηκαν από την ακραία αναζήτηση για την εύρεση και παραγωγή των πρώτων υλών που απαιτούνταν για την παραγωγή μαύρης πυρίτιδας καθώς και από την προσπάθεια εξέλιξης των μεθόδων παρασκευής της με πιο αποδοτικούς, ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της, τρόπους με σκοπό να καλυφθούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για αυτό το νέο προϊόν για στρατιωτικούς πρωτίστως λόγους και ακολούθως για τεχνικές-εξορυκτικές ανάγκες.

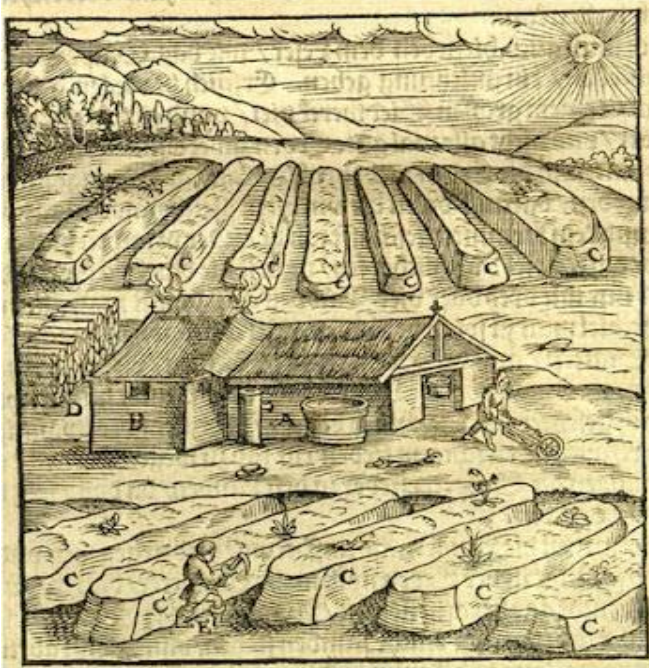
Όπως προαναφέρθηκε τα συστατικά της μαύρης πυρίτιδας είναι το νιτρικό κάλιο, το θείο και ο άνθρακας σε συγκεκριμένες αναλογίες με το σημαντικότερο από αυτά να είναι το νιτρικό κάλιο. Από απαρχές της κατασκευής της μαύρης πυρίτιδας έως τα μέσα του 19^{ου} αιώνα η προμήθεια νιτρικού καλίου προερχόταν μέσω παραλαβής από εξόρυξη πετρωμάτων



Κρυσταλλικό νιτρικό κάλιο.(Πηγή: Britannica)

πλουσίων σε νιτρώδη, καθώς και από τα οργανικά περιττώματα ζώων και κομποστοποίησης αγροτικών προϊόντων. Σήμερα γνωρίζουμε ότι στην αργή αυτή διαδικασία συμμετέχουν βακτήρια τα οποία αποσυνθέτουν την οργανική ύλη αφήνοντας ένα υπόστρωμα πλούσιο σε νιτρικά άλατα και ότι όσο περισσότερο ζεστός και στεγνός είναι ο χώρος, που όλα αυτά λαμβάνουν χώρα, τόσο περισσότερο επιταχύνεται η διαδικασία. Κατά αυτόν τον τρόπο, οπουδήποτε παραγόταν νιτρικό κάλιο σε μεγάλη κλίμακα, οι συνθήκες φύλαξης του ήταν δρακόντειες διότι ανταγωνίζονταν τον χρυσό σε αξία, ειδικά σε περιόδους που

χώρες παρασκευής του όπως η Αγγλία ή η Γαλλία είχαν αυξημένες ανάγκες λόγω εμπλοκής τους σε πολεμικές συρράξεις. Οι ανάγκες αυτές οδήγησαν πολλές χώρες να θέσουν την παρασκευή νιτρικού καλίου υπό κρατικό έλεγχο και κάτω από αυστηρούς νόμους, καθώς και να δημιουργηθούν επαγγέλματα όπως οι νιτροπαρασκευαστές (saltpetriers). Κύρια παραγωγός χώρα του προϊόντος αυτού ήταν η Ινδία που τότε τελούσε υπό Βρετανική κυριαρχία και ειδικά οι περιοχές της



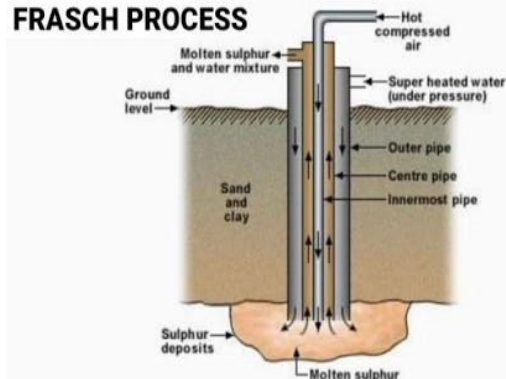
Παραγωγή νιτρικών αλάτων των 14ο αιώνα σε ειδικά διαμορφωμένες περιοχές-Nitre beds-Saltpeter plantations. (Πηγή:firearms History)

αποτέλεσμα την αύξηση της σε τεράστια νούμερα για την εποχή, καθιστώντας τη Γαλλία ως υπερδύναμη μιας και κατείχε σε μεγάλες ποσότητες το ισχυρότερο όπλο της εποχής. Τεράστιο ρόλο στην παραγωγή διαδραμάτισε και η ανακάλυψη στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, τεράστιων κοιτασμάτων από νιτρικά άλατα, στη Χιλή και συγκεκριμένα στην έρημο Ατακάμα. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στη σταδιακή επικράτηση της Χιλής ως τον κύριο προμηθευτή νιτρικών αλάτων στον κόσμο (Νίτρο της Χιλής).

Το επόμενο συστατικό της μαύρης πυρίτιδας σε αξία είναι το θείο οπου και αυτό παραλαμβάνονταν μέσω εξόρυξης, από πλούσιες ως προς αυτό ηφαιστιογενείς περιοχές. Έως το 1900, κύριος προμηθευτής θείου στον κόσμο ήταν οι ηφαιστιογενείς περιοχές της Σικελίας από τα εδάφη της οποίας εξορίσσονταν με τεράστιες δυσκολίες λόγω προβλημάτων στην παραλαβή του από μεταλλικά σουλφίδια (FeS_2, PbS) καθώς και από εδαφικές εναποθέσεις, όπου αυτό περιέχονταν. Παρόμοια προβλήματα προκύπταν και σε περιοχές πλούσιες σε

όπως η δυτική Βεγγάλη, οι οποίες παρήγαγαν και εμπορεύονταν κυρίως προς τις Βρετανικές αποικίες και την Ευρώπη, περίπου 30.000 τόνους νιτρικού καλίου κάθε χρόνο. Ανταγωνίστριες χώρες της Βρετανικής αυτοκρατορίας όπως η Γαλλία προσπάθησαν να ανεξαρτητοποιηθούν από την εισαγωγή νιτρικού καλίου από την Ινδία και να προχωρήσουν σε εγχώρια παραγωγή. Σε αυτό συνέβαλε τα μέγιστα η πρόσληψη μεγάλων Γάλλων επιστημών της εποχής σε κρατικές-επιστημονικές υπηρεσίες, όπως του Antoine-Laurent Lavoisier (1741-1794 μ.Χ.), οι οποίες επόπτευαν την εγχώρια παραγωγή και ερευνούσαν τρόπους βελτιστοποίησης της παραγωγής με

υδρογονάνθρακες, όπως οι περιοχές γύρω από την Κασπία θάλασσα αλλά και περιοχές της Αμερικανικής ενδοχώρας. Όλα αυτά μέχρι την ανακάλυψη από τον εικοσιπεντάχρονο Γερμανό Herman Frasch το 1894, της σύγχρονης μεθόδου παραλαβής θείου από το υπέδαφος μέσω διοχέτευσης θερμού ύδατος και ατμών με αποτέλεσμα τη μεταφορά του στην επιφάνεια. Από εκείνη τη στιγμή και έπειτα η παραγωγή θείου έπαυσε να είναι μια ακριβή διαδικασία. Ο άνθρακας, το τελευταίο συστατικό της πυρίτιδας είχε ως πηγή του την καύση μεγάλων ποσοτήτων ξυλείας, και την λεπτομερή διαδικασία διαχωρισμού του από τρίτα υλικά. Η συγκεκριμένη ουσία κατατάσσεται ως ένα από τα πιο περιζήτητα υλικά της εποχής εκείνης, μιας και η παραγωγή της, πέρα από αυτής για την κατασκευή πυρίτιδας, χρησιμοποιούνταν και στη σαπωνοποιία. Συγκεκριμένες ποικιλίες δένδρων όπως τα φουντουκόδεντρα ή οι ιτιές, προτιμούνταν για την καύση τους και την παραγωγή εξαιρετικής ποιότητας άνθρακα, εύκολα κονιορτοποιήσιμου σε διάφορα μεγέθη. Πρακτική που οδήγησε στην αποψίλωση μεγάλου μέρους των δασών της Ευρώπης. (W.S., 1960)



Μέθοδος παραλαβής θείου-Frasch Process. (Πηγή: Research Gate)

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ-ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Την ίδια βαρύτητα με τις πρώτες ύλες είχε και η διαδικασία παραγωγής της μαύρης πυρίτιδας. Αρχικά η διαδικασία χαρακτηριζόταν από τη ανάμιξη των πρώτων υλών τα οποία αρχικά είχαν κονιορτοποιηθεί δια χειρός σε μεγάλες λεκάνες. Στη διαδικασία εμπλέκονταν ολόκληρες τοπικές κοινωνίες οι οποίες εποπτεύονταν από εμπειρικούς γνώστες-παρασκευαστές, οι οποίοι συχνά οδηγούσαν χρόνιες παρασκευές σε κατασκευαστικά σφάλματα, και τέλος σε μη τελικά χρησιμοποιημένο προϊόν. Οι προσπάθειες αυτές ανέδειξαν σημαντικά προβλήματα της παρασκευαστικής διαδικασίας όπως ατυχηματικές αναφλέξεις λόγω έντονης τριβής καθώς και βελτίωσης σε ποιοτικά χαρακτηριστικά ανάλογα την



Μαύρη πυρίτιδα με την μεζούρα της. Ένας από τους αρχικούς τρόπους πώλησής της. (Πηγή: Wikimedia Commons)

σκοπούμενη χρήση όπως το μέγεθος των κόκκων ,την επιθυμητή πάκτωση και κατα επέκταση τον ρυθμό ανάφλεξης. Σημαντική εξέλιξη σε όλα τα παραπάνω παρατηρήθηκε τα χρόνια πριν τη βιομηχανική επανάσταση όπου σε παραγωγές χώρες όπως η Γαλλία και η Αγγλία κατασκευάστηκαν μύλοι παραγωγής πυρίτιδας οι οποίοι κατάφεραν να εξελίξουν την διαδικασία, να την καταστήσουν σχετικά ασφαλή και να βελτιώσουν στο μέγιστο βαθμό , τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος .

Ανάλογα τον τρόπο χρήσης της πυρίτιδας ,αυτή απαιτούσε και διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η χρήση της σε μικρά όπλα της εποχής απαιτούσε ραγδαία καύση και μικρές πιέσεις .Τα βαρέα όπλα όπως τα κανόνια, απαιτούσαν σχετικά αργή καύση και σταδιακά αυξανόμενες πιέσεις, ενώ οι εξορύξεις αργές καύσεις με ρικτικά αποτελέσματα (διαχεόμενες πιέσεις). Σε κάθε περίπτωση όμως, τα καθοριστικά στοιχεία ήταν η δημιουργία της απαραίτητης πίεσης, με καθορισμένο ρυθμό και η διατήρηση της σε κατάλληλο χρόνο, στοιχεία που υποδείκνυαν ότι η επιφάνεια καύσης διαδραμάτιζε το σπουδαιότερο ρόλο. (Brown, 2010)

Θεωρητική χημική εξίσωση καύσης της μαύρης πυρίτιδας.



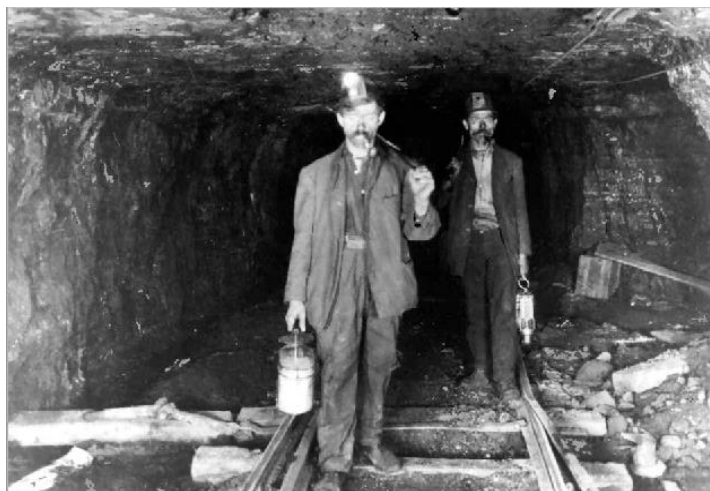
BLACK POWDER FORMULA:					
Potassium Nitrate (a.k.a. saltpeter) [KNO_3] 15 parts (75%) by weight					
Powdered Charcoal (carbon) [C] 3 parts (15%) by weight					
Sulfur (a.k.a. brimstone) [S] 2 parts (10%) by weight					
THEORETICAL CHEMICAL REACTION OF BLACK POWDER EXPLOSION:					
$2\text{KNO}_3 + 3\text{C} + \text{S} \rightarrow \text{K}_2\text{S} + \text{N}_2\uparrow + 3\text{CO}_2\uparrow$					
202.21 g.	+ 36.03 g.	+ 32.06 g.	→ 110.26 g.	+ 28.01 g.	+ 132.03 g.
Potassium Nitrate	Carbon	Sulfur	Potassium Sulfide	Nitrogen	Carbon Dioxide
The combustion of each gram of Black Powder evolves 725.7 calories of heat and 0.2742 liters of remaining gases (measured at STP: 0° Celsius, 760 mm of mercury). These (measured) results indicate by calculation that the explosion of Black Powder produces a momentary temperature of about 3880° Celsius.					

Αναλογίες παρασκευής της μαύρης πυρίτιδας. (Πηγή: Freepyroinfo.com)

Κατά αυτόν τον τρόπο, οι μύλοι παραγωγής πυρίτιδας διαδραμάτισαν σπουδαίο ρόλο στην κατά περίπτωση σωστή κατασκευή της διότι κατάφεραν μέσα από εξέλιξη χρόνιων μεθόδων να κατασκευάζουν διαφορετικής σύστασης, μορφολογίας (κοσκίνισμα), (sifting) και μεγέθους κόκκων πυρίτιδας, χαρακτηριστικά τα οποία επηρέαζαν τον ρυθμό καύσης και κατ' επέκταση καθόριζαν τον τρόπο αλλά και το είδος χρήσης αυτής. Η χρήση της μαύρης πυρίτιδας δεν περιορίστηκε μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς και πολεμικές συρράξεις αλλά παράλληλα εφαρμόστηκε και σε καιρούς ειρήνης, ιδιαίτερα στο τομέα της εξόρυξης (ορυχεία) και της κατασκευής γενικότερα.

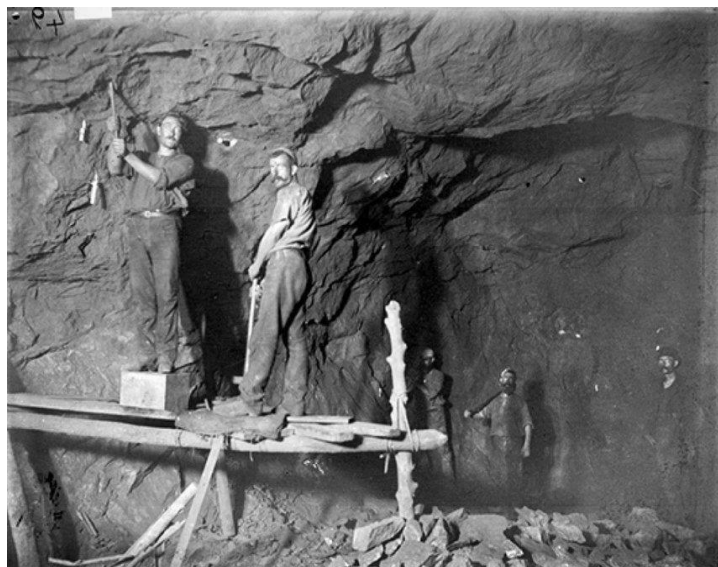
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΩΣ ΕΞΟΡΥΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Πριν τη χρήση των εκρηκτικών για εξορυκτικούς και κατασκευαστικούς λόγους, λίγες μέθοδοι και εργαλεία είχαν εξελιχθεί από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα. Η πρόοδος στις ανωτέρω διαδικασίες προχωρούσε με πολύ αργούς ρυθμούς λόγω απαρχαιωμένων υλικοτεχνικού εξοπλισμού, περιορισμένων ανθρωπίνων δυνατοτήτων καθώς και των φυσικών εμποδίων, όπως μεγάλες βραχώδεις δομές που παρουσιάζονταν σε κάθε εξορυκτική ή κατασκευαστική πρόκληση. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι το 1600 μ.Χ η διαδικασία της τεχνητής ρωγμοποίησης και αποκοπής βραχωδών δομών με σκοπό την εξόρυξη ή μετακίνηση τους, γινόταν διαμέσου διάνοιξης οπών σε καίρια σημεία και πλήρωση τους, με μίγμα οξειδίου του ασβεστίου και νερού με σκοπό την πρόκληση σταδιακών πιέσεων που θα δημιουργούνταν από την εξώθερμη αυτή χημική αντίδραση των υλικών, μια διαδικασία που βασιζόταν πολλές φορές στη τύχη και σε αστάθμητους παράγοντες με πενιχρά τις περισσότερες φορές αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό άλλαξε άρδην με τη χρήση της μαύρης πυρίτιδας ως εκρηκτικού μίγματος στο



Εργαζόμενοι σε ορυχείο στα τέλη του 19ου αιώνα. Στα χέρια τους κρατούν λάμπες ασφαλείας εφεύρεση που έσωσε την ζωή χιλιάδων εργαζομένων σε ορυχεία. (Πηγή US Bureau Of Mines)

τομέα αυτό. Η πρώτη χρήση της μαύρης πυρίτιδας ως εκρηκτικού σε εξορυκτική τεχνική, καταγράφεται το 1627 μ.Χ. σε ορυχείο της Ουγγαρίας, όταν ένας βετεράνος του τριακονταετή πολέμου με μεγάλη εμπειρία στη χρήση της πυρίτιδας, ο Caspar Weindl, εφάρμοσε την καινοτόμο τεχνική της διάνοιξης μικρών οπών και την πλήρωση τους με μίγμα πυρίτιδας που προοριζόταν για χρήση σε βαρέα όπλα. Η εν συνεχεία πάκτωση του μίγματος και η σφράγιση του με κάποιο είδος πηλού δημιούργησε τις ιδανικές συνθήκες για τη δραματική αύξηση της πίεσης στον περιορισμένο χώρο της οπής, κατά την ενεργοποίησή του, η εκτόνωση της οποίας είχε ως αποτέλεσμα τη θραυσματοποίηση ή την αποκοπή της βραχώδους δομής και την εν συνεχεία εξόρυξη ή μετακίνηση της. Η τεχνική αυτή αποδείχτηκε ιδιαίτερα επιταχυντική ως προς τον χρόνο αποπεράτωσης του έργου ή της εξόρυξης, με αποτέλεσμα τη διάδοση της σε όλη την Ευρώπη με μέσο τις εργατικές μεταναστευτικές ροές, που παρατηρήθηκαν το δεύτερο μισό του 15^{ου}



Εργαζόμενοι πυροτέχνες σε ορυχείο. Ο εργαζόμενος στα αριστερά στέκεται πάνω σε κουτί που περιέχει εκρηκτικά-Non existing health & safety measures.(Πηγή Mine History)

αιώνα, οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στην εξέλιξη της η οποία όμως πέραν της τεχνικής αποτελεσματικότητας της, χαρακτηρίστηκε και ως ιδιαίτερα ατυχηματικά επικίνδυνη, κοστίζοντας τη ζωή σε χιλιάδες πυροτέχνες και εργάτες. Συνήθως το πρόβλημα στην τεχνική αυτή, εντοπιζόταν στη διαδικασία έναυσης και ενεργοποίησης του εκρηκτικού μίγματος. Για την ενεργοποίηση ο πυροτέχνης χρειαζόταν να δημιουργήσει ένα εναυσματικό «μονοπάτι» από πουδροποιημένη πυρίτιδα σε ανάμειξη με άργιλο το οποίο κατέληγε στον πυρήνα του μίγματος εντός της οπής. Η

ανάμειξη της πυρίτιδας με άργιλο ενεργούνταν ώστε ο χειριστής να τροποποιεί εμπειρικά τον ρυθμό καύσης της ώστε η ενεργοποίηση του μίγματος να πραγματοποιούνταν στον επιθυμητό χρόνο. Η διαδικασία αυτή οδηγούσε πολύ συχνά σε πρόωρες ή καθυστερημένες εκρήξεις που είχαν θανατηφόρα αποτελέσματα λόγω μη έγκυρης αποχώρησης από το σημείο ή κατά την προσέγγιση του χειριστή, λόγω πιθανολογούμενης αφλογιστίας του μίγματος. Ο θανατηφόρος αυτός παράγοντας κατάφερε να μειωθεί δραματικά με την εφεύρεση της βραδύκαυστης θρυαλλίδας από τον Άγγλο εφευρέτη και πρόην βυρσοδέψη

William Bickford, ο οποίος κατασκεύασε μικρής διαμέτρου σωληνοειδή και ευέλικτες τριχοειδής θρυαλλίδες οι οποίες στον πυρήνα τους περιείχαν συγκεκριμένου τύπου και μορφολογίας πυρίτιδα ώστε να είναι ελεγχόμενος ο χρόνος διάδοσης της καύσης και ανάλογος των εκάστοτε χρονικών τεχνικών αναγκών των πυροτεχνών στα κατασκευαστικά-εξορυκτικά έργα. Η εφεύρεση αυτή κρίθηκε ως ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα στο χώρο της ασφαλούς χρήσης των εκρηκτικών (Health and safety procedures) και κατάφερε να μειώσει τη θνησιμότητα λόγω ατυχηματικών εκρήξεων στο 90% σε ορυχεία και κατασκευαστικά έργα στην Ευρώπη.

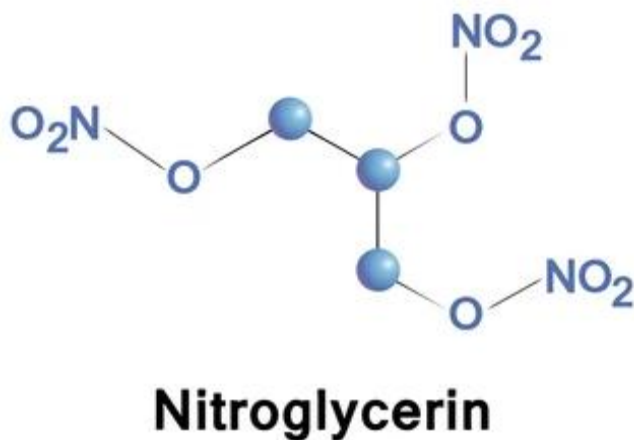
Αν και η μαύρη πυρίτιδα κρινόταν ως ένα εξαιρετικό εκρηκτικό μίγμα για κατασκευαστικούς-εξορυκτικούς σκοπούς, λόγω της σταδιακά αυξανόμενης πίεσης που δημιουργούνταν κατά την ενεργοποίηση της, ειδικά σε κλειστούς χώρους όπως τα ορυχεία, δημιουργούσε μια ιδιαίτερα αποπνικτική και τοξική ατμόσφαιρα λόγω των αερίων που εκλύονται από την καύση της όπως του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και σουλφιδίων του καλίου (K₂SO₄) τα οποία σε συνδυασμό με τον ελλιπή εξαερισμό σε υπόγειες εργασίες καθιστούσαν την εργασία σε αυτές τις δομές εξαιρετικά τοξική και άκρως ανθυγιεινή. Παρόλα αυτά η χρήση της επέτρεψε και επιτάχυνε σημαντικά την πραγματοποίηση ιδιαίτερα απαιτητικών τεχνικών έργων τα οποία βελτίωσαν, εν γένει, κατά πολύ τις εργασιακές συνθήκες μιας και πριν από αυτή κάθε κατασκευαστική προσπάθεια βασιζόταν αποκλειστικά στην ανθρώπινη δύναμη. Αξίζει να σημειώσουμε μερικά κατασκευαστικά έργα που η πραγματοποίησή τους επιταχύνθηκε σημαντικά από τη χρήση της μαύρης πυρίτιδας ως εκρηκτικού.

ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΕΡΓΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
1681	Κανάλι του Μιντί-Γαλλία	Υδάτινος διάυλος 240 χλμ
1757	Κανάλι του Bridgewater-Αγγλία	Υδάτινος διάυλος 50 χλμ
1817	Κανάλι του Erie-Η.Π.Α.	Υδάτινος διάυλος 585 χλμ
1880	Διώρυγα της Κορίνθου-Ελλάδα	Υδάτινος διάυλος 6,3 χλμ

Η πορεία της μαύρης πυρίτιδας ως κύριου εκρηκτικού αλλά και προωθητικού μίγματος διήρκησε περίπου 600 χρόνια από τις απαρχές παρασκευής της σε ευρεία κλίμακα και κρίθηκε ως ένα από τα μακροβιότερα και πιο επιτυχημένα τεχνολογικά επιτεύγματα μιας και κατάφερε να εξυπηρετήσει άριστα τόσο τις χρήσεις της ως στρατιωτικό υλικό, κρίνοντας την στρατιωτική υπερδυναμία χωρών όσο και τις χρήσεις της στο κατασκευαστικό-εξορυκτικό τομέα καθορίζοντας σημαντικά την εμπορική και οικονομική ευημερία ολόκληρων κρατών. (J.Lee, 1994)

ΝΙΤΡΟ-ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΜΙΑ ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ

Η σηματοδότηση μιας νέας εποχής στον τομέα των εκρηκτικών υλών ήρθε με την εφεύρεση μιας ένωσης που αρχικά κατασκευάστηκε για να μπορεί να θεραπεύσει θωρακικούς πόνους που προκαλούνται από καρδιακές παθήσεις μέσω της αγγειοδιαστολής που προκαλούσε. Η ένωση αυτή ήταν η νιτρογλυκερίνη και η



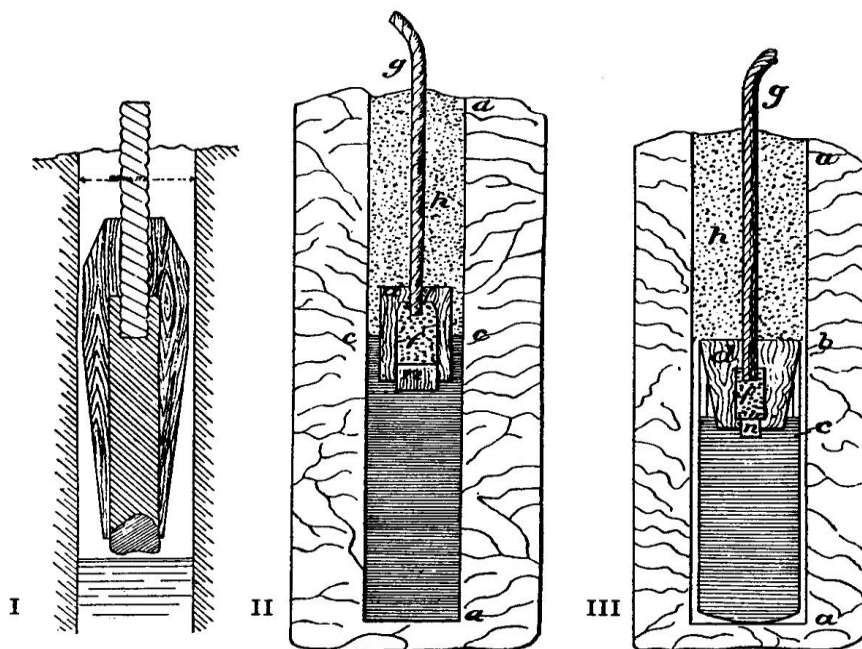
Το μόριο της Νιτρογλυκερίνης που κατασκεύασε ο Ascanio Sobrero το 1847. (Πηγή: American Chemical Society)

εφεύρεση της αποδίδεται στον χημικό-φαρμακοποιό Ascanio Sobrero το 1847 στο πανεπιστήμιο του Τορίνο. Ο Ascanio Sobrero πειραματιζόμενος στο πανεπιστήμιο του Τορίνο, που θήτευε ως καθηγητής εφαρμοσμένης χημείας, κατάφερε να παράξει μια νέα ένωση αναμειγνύοντας εν θερμώ γλυκερόλη με πυκνά διαλύματα θεικού και νιτρικού οξέος. Αυτό που κατάφερε έγινε αργότερα γνωστό ως αντικατάσταση των τριών υδροξειδίων (OH⁻) της γλυκερόλης με τρία νιτρικά (NO) κατασκευάζοντας τελικά την νιτρογλυκερίνη. Στα πρώτα στάδια παραγωγής της, αντιλήφθηκε πως η νέα αυτή ένωση ήταν εξαιρετικά

ασταθής μιας και προκάλεσε πολλές φορές τον τραυματισμό του από θραύσματα υάλινων σκευών που την περιείχαν, μετά από ατυχηματική προκληθείσα έκρηξη μέσω ανακίνησης ή τριβής. Αυτή η έκβαση ατόνησε για πολύ καιρό το ενδιαφέρον του γι' αυτή και τελικά η έρευνα των προοπτικών της εγκαταλείφθηκε, μέχρι την αναγνώριση της αξίας της, από ένα συμμαθητή του Sobrero τον διάσημο Alfred Nobel.

Ο ALFRED NOBEL ΚΑΙ Ο ΔΥΝΑΜΙΤΗΣ

Ο Nobel αντιλήφθηκε από νωρίς τις προοπτικές της ασταθούς αυτής ένωσης ως εκρηκτικό που εφήυρε ο συμμαθητής του Ascanio Sobrero, παρά τις επανειλημμένες προειδοποιήσεις του τελευταίου περί υψηλής επικινδυνότητας στο χειρισμό της. Σε αυτό συνέβαλε και το ιστορικό της οικογενείας του Nobel, μιας και ο πατέρας του Immanuel Nobel ,ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε νάρκες θαλάσσης με κύριο γέμισμα μαύρης πυρίτιδας οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από τη Ρωσική αυτοκρατορία εναντίον του Βρετανικού και Γαλλικού στόλου στη Βόρεια Θάλασσα. Κατά αυτόν τον τρόπο το 1864 έστρεψε όλο του το ενδιαφέρον πρώτα στο πως θα προκαλεί κατά βούληση την εκρηκτική ενεργοποίηση της νιτρογλυκερίνης ,κάτι που αποτέλεσε την πρώτη του από τις τρεις εξαιρετικής σημασίας εφευρέσεις του, στο τομέα των εκρηκτικών. Η εφεύρεση του αυτή ονομάστηκε πυροκροτητής και αποτέλεσε την απαρχή της δεύτερης μεγάλης φάσης στην εξέλιξη των εκρηκτικών υλών.



Nobels tändare.

Fig. I. Tidigare typ. — Fig. II. Senare typ (nedförd i borrhål laddat med nitroglycerin). — Fig. III. Patron för nitroglycerin med isatt tändare. *a)* omgivande berg, *b)* papphylsa, *c)* laddning av nitroglycerin, *d)* tändarens hylsa (av trä), *f)* svartkrutladdning i tändaren, *g)* stubin, *h)* förladdning.

Σχέδια του πρώτου πυροκροτητή (Nobels Blasting cap) τοποθετημένου εντός ή στην επιφάνεια πακτωμένης μαύρης πυρίτιδας Company. (Πηγή: The Norwegian Nobel Institute)

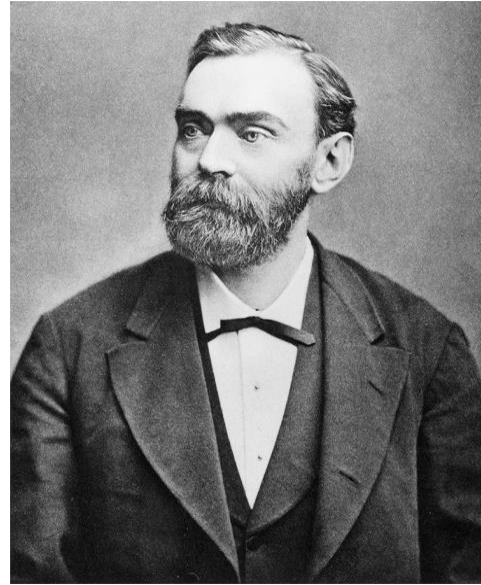
Ο πρώτος πυροκροτητής που κατασκεύασε αποτελούνταν από έναν γυάλινο ή ξύλινο μικροκύλινδρο ο οποίος στο εσωτερικό του αποτελούνταν από πακτωμένη μαύρη πυρίτιδα, τοποθετημένη στο εσωτερικό του κύριου όγκου της επιθυμητής ποσότητας της νιτρογλυκερίνης. Η έναυση της πυρίτιδας στον κύλινδρο πραγματοποιούνταν μέσω βραδύκαυστης θρυαλλίδας, εφεύρεσης William Bickford η οποία προκαλούσε μικρής ισχύος έκρηξη η οποία με τη σειρά της προκαλούσε την επιθυμητή έκρηξη του κύριου όγκου της νιτρογλυκερίνης. Μία ιδέα τόσο απλή στην σύλληψη της, που πλην όμως κανείς δεν είχε σκεφτεί να πραγματοποιήσει. Το πρόβλημα όμως του ασφαλούς χειρισμού της νιτρογλυκερίνης παρέμενε άλυτο, δημιουργώντας τεράστια προβλήματα τόσο κατά την παρασκευή λόγω της ασταθής φύσης της, όσο και στην μεταφορά και χρήση της λόγω ατυχηματικών εκρήξεων που προκαλούνταν από αστάθμητους παράγοντες όπως κρούση, θέρμανση κτλ. (Brown, 2010)



Ρέπλικα του πρώτου περιέκτη με μασούρια Δυναμίτη Παραγωγής Nobels Explosives Company. (Πηγή: Getty Images)

Αυτό αποτέλεσε μεγάλο τροχοπέδη στην αρχική ευρεία εμπορευματοποίηση της που έδινε το πλεονέκτημα στον απαρχαιωμένο ανταγωνιστή της στα έργα πεδίου όπως, ορυχεία-κατασκευές. Ο Nobel προβληματιζόμενος τόσο από τα

προβλήματα κατά την μεταφορά-χρήση της καθώς και από την καταστροφή το 1866 του εργοστασίου του ,παρασκευής νιτρογλυκερίνης, στο Krummel της Γερμανίας, από ατυχηματική έκρηξη, έστρεψε τις προσπάθειες του στο να καταστήσει το εκρηκτικό αυτό ασφαλές. Αυτό το κατάφερε το 1867 μέσω της δεύτερης μεγάλης εφεύρεσης του την οποία και αποκάλεσε «Δυναμίτη» από την Ελληνική λέξη «Δύναμις». Αναλογιζόμενος το πώς θα μπορέσει να σταθεροποιήσει το νέο αυτό εκρηκτικό και να το καταστήσει σχετικά ασφαλές στη μεταφορά και χρήση του, πρόσθεσε στο μίγμα γη διατόμων ,μια αδρανή ουσία η οποία προέρχεται από απολιθωμένα υπολείμματα ενός τύπου πρωτίστου, με σκληρό κέλυφος. Με την βάση αυτή, η οποία



Alfred Nobel (1833-1896). (Πηγή Nobelprize.org)

στην ουσία απορροφούσε την νιτρογλυκερίνη, κατάφερε να κατασκευάσει ένα εύπλαστο, σχετικά μαλακό μίγμα το οποίο είχε μικρότερη εκρηκτική ισχύ από την καθαρή νιτρογλυκερίνη, λόγω της αδρανούς βάσης του, αλλά ήταν λιγότερο ευαίσθητο στους παράγοντες ατυχηματικής ενεργοποίησης όπως κρούση και θέρμανση. Αυτή του η εφεύρεση έμελλε να χαρακτηριστεί ως η μεγαλύτερη επανάσταση στο τομέα των εκρηκτικών μιας και λίγα χρόνια αργότερα και μέσω δεινών επιχειρηματικών του κινήσεων, κατάφερε να υιοθετηθεί σε ευρεία κλίμακα στο σύνολο του κατασκευαστικού-εξορυκτικού κλάδου, καθιστώντας ακόμα ασφαλέστερη τη χρήση εκρηκτικών υλών στον τομέα αυτό. (Shanley, 1990)

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΤΗ

Η αντικατάσταση της μαύρης πυρίτιδας από τον δυναμίτη μόνο τυχαία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί. Με την άνθηση, μετά τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, των τεχνικών έργων αλλά και των έργων εξόρυξης, η ανάγκη για επιτάχυνση αυτών, λόγω αυξημένου κόστους και η κατά συνέπεια εξέλιξη των ήδη υπαρχόντων μεθόδων κρίθηκε αναγκαία. Η πυρίτιδα, που τόσο καλά υπηρέτησε τον ρόλο της στα έργα αυτά, έχριζε αντικατάστασης μιας και ο ρυθμός καύσης της και η εκρηκτική της ισχύ ήταν περιορισμένη σε σχέση με τον όγκο των νέων έργων και τις απαιτήσεις αυτών. Κατά συνέπεια το νέο αυτό εκρηκτικό ήρθε να αντικαταστήσει επάξια την μαύρη πυρίτιδα της οποίας η αυλαία έπεσε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δυναμίτης κατά την

ενεργοποίηση του αναπτύσσει πιέσεις της τάξεως των 275.000 atm σε microseconds σε αντίθεση με τη μαύρη πυρίτιδα η οποία αναπτύσσει 6.000 atm σε milliseconds, καθιστώντας τον ένα υπέρτερο επιταχυντικό μέσο στην ολοκλήρωση τεχνικών έργων. Επίσης αυτή η διάκριση αποτέλεσε το έναυσμα για την κατηγοριοποίηση των εκρηκτικών υλών σε χαμηλά και υψηλά εκρηκτικά με γνώμονα την πίεση και την ταχύτητα του εκρηκτικού κύματος που αναπτύσσεται κατά την ενεργοποίησή τους. Ο Nobel όμως πέρα από ένας ευφυής χημικός και εφευρέτης, ήταν και ένας δεινός επιχειρηματίας, χαρακτηριστικό που του είχε προσφέρει την ικανότητα να αφουγκράζεται τις εκάστοτε απαιτήσεις για βελτίωση των προϊόντων του οι οποίες προέρχονταν από το τεχνικό πεδίο που αυτά απευθύνονταν. Το αρχικό του προϊόν, ο δυναμίτης παρόλο που χαρακτηριζόταν από την σταθερότητα του και την μεγάλη εκρηκτική του ισχύ, υστερούσε στο πεδίο της διατήρησης της σύστασης και της απόδοσης του όταν



Ζελατοδυναμίτιδα-Blasting Gelatine Παραγωγής Nobel Explosives Company.(Πηγή Science Museum Group)

ήταν εκτεθειμένος σε κακές συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, όπως παρατεταμένη υγρασία, υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες λόγω της τάσης που ανέπτυξε για διαχωρισμό της νιτρογλυκερίνης από την βάση απορρόφησης της. Έτσι αφουγκραζόμενος την απαίτηση για την περαιτέρω εξέλιξη του προϊόντος του και

ακολουθώντας τη γενική αρχή της χημείας, ότι «τα όμοια διαλύουν όμοια», οδηγήθηκε στην τρίτη και τελευταία μεγάλη του εφεύρεση η οποία κατάφερε να αντιστρέψει την τάση της εποχής που ήθελε τα τεχνικά έργα, λόγω έλλειψης σε εξέλιξη των μεθόδων που χρησιμοποιούσαν, να προσαρμόζονται στις ελάχιστες επιλογές των εκρηκτικών υλών που διέθεταν και όχι το αντίστροφο. Προσθέτοντας 7-8% νιτροκυτταρίνη σε εν θερμό κατάσταση της νιτρογλυκερίνης κατάφερε να κατασκευάσει ένα ζελατινοειδή τύπο του αρχικού εκρηκτικού που ονόμασε «εκρηκτική ζελατίνη» (blasting gelatin). Το νέο αυτό προϊόν ήταν άριστο στην χρήση του σε σκληρούς βράχους, υπέρμετρα σταθερότερο από τον

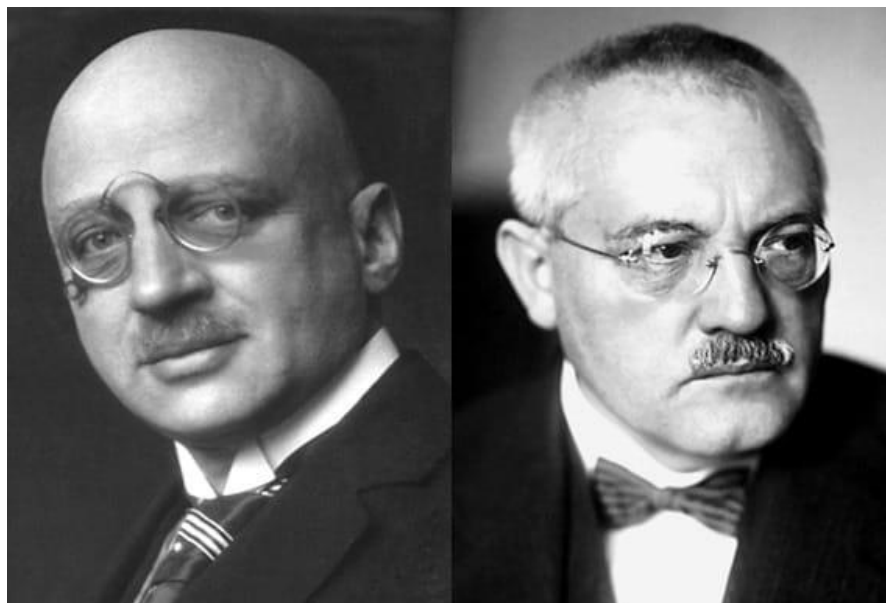
προκάτοχο του, μπορούσε να προσαρμοστεί εύκολα σε οπές λόγω της ζελατινώδους φύσης του, ήταν πλήρως ανθεκτικό στην υγρασία ακόμα και σε υποβρύχια εργασία και ήταν ισχυρότερο από τον απλό τύπο του δυναμίτη σε σημείο που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο σύγκρισης για την εκρηκτική ισχύ άλλων εκρηκτικών υλών γεγονός που ανέτρεψε η μελλοντική εφεύρεση του TNT. Επίσης αποτέλεσε την έμπνευση για την απαρχή κατασκευής παρόμοιου τύπου ζελατινοειδών εκρηκτικών από χημικούς ανά τον κόσμο ,λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητας τους σε κάθε είδους τεχνική πρόκληση. Με τη χρήση των νέων αυτών εκρηκτικών υλών επιτεύχθηκε η πραγματοποίηση μεγάλων κατασκευαστικών προκλήσεων που επιγραμματικά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. (Brown, 2010)

ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΕΡΓΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
1882	St.Gotthard Tunnels- Ελβετικές Άλπεις	84 Τούνελ-324 γέφυρες
1869	Διώρυγα του Σουέζ	Υδάτινος Δίαυλος 193 χλμ
1870	Μετρό του Λονδίνου	Υπόγειος σιδηρόδρομος
1860-1900	Αδαμαντωρυχεία N.Αφρικής	Αδαμαντωρυχεία

Η ΜΕΘΟΔΟΣ HABER-BOSCH ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ

Παράλληλα με τις προσπάθειες του Nobel για κατασκευή νέων εκρηκτικών υλών αλλά και εμπνεόμενοι από αυτές, χημικοί ανα τον κόσμο εργάζονταν για την κατασκευή ισχυρότερων και ασφαλέστερων ως προς τη χρήση τους, εκρηκτικών. Βάση των ενεργειών τους αυτών αποτέλεσε η συνεχείς έρευνα για την παραγωγή νέων νιτροενώσεων οι οποίες τα χρόνια που προηγήθηκαν είχαν αποδείξει την ικανότητα τους για την παραγωγή μεγάλης εκρηκτικής ισχύος. Παρόλο που τα νέα αυτά εκρηκτικά αποδείκνυαν με το πέρασμα του χρόνου την αποτελεσματικότητα χρήσης τους στα τεχνικά έργα, η παραγωγή τους

εξακολουθούσε να είναι άκρως κοστοβόρα. Το παρασκευαστικό κόστος του θειικού οξέος, του νιτρικού οξέος, της νιτροκυταρίνης, του πικρικού οξέος και άλλων βασικών ουσιών για την παραγωγή των εκρηκτικών, εξακολουθούσε να είναι υψηλό λόγω ότι οι πρώτες ύλες προέρχονταν από χώρες όπως η Χιλή και η Ινδία με αποτέλεσμα το κόστος μεταφοράς να επιβαρύνει κατά πολύ το κόστος του τελικού προϊόντος. Επιπροσθέτως οι διαδικασίες παραγωγής των απαραίτητων πυκνών οξέων και κυρίως του νιτρικού οξέος, βασιζόταν σε απαρχαιωμένες και αναποτελεσματικές μεθόδους όπως η Birkeland-Eyde process και η Franko-Caro process οι οποίες με την σειρά τους επιβάρυναν το τελικό



Fritz Haber (Nobel Of Chemistry 1913) και Carl Bosch (Nobel Of Chemistry 1931). (Πηγή: Soci.org)

κόστος αλλά και τη διαθεσιμότητα των εκρηκτικών υλών.

Το γεγονός αυτό άλλαξε άρδην με την εφεύρεση της βιομηχανικής μεθόδου παραγωγής αμμωνίας, γνωστή με την ονομασία, μέθοδος «Haber – Bosch». Το 1905, οι Γερμανοί χημικοί Fritz Haber (Nobel χημείας 1918) και Carl Bosch (Nobel χημείας 1931),

ανέπτυξαν μια βιομηχανική μέθοδο παρασκευής αμμωνίας από το ατμοσφαιρικό άζωτο και το υδρογόνο, το οποίο σήμερα παράγεται κατά κανόνα από το φυσικό αέριο. Η μέθοδος αυτή, γνωστή πλέον ως μέθοδος Haber-Bosch, διαδραμάτισε ακρογωνιαίο ρόλο στην ανάπτυξη της χημικής βιομηχανίας εν γένει, των λιπασμάτων για την γεωργική χρήση, αλλά και των εκρηκτικών υλών, αφού με οξείδωση της αμμωνίας ήταν πλέον εύκολη η παρασκευή νιτρικού οξέος. Η βιομηχανοποίηση της μεθόδου αυτής στη Γερμανία, συνέπεσε σχεδόν με τις αρχές του 1^{ου} Παγκοσμίου πολέμου, γεγονός που προκάλεσε το ιδιαίτερα έντονο ενδιαφέρον για την εξέλιξη εκρηκτικών υλών που βρίσκονταν ακόμα στα πρώτα στάδια παραγωγής τους με σκοπό την μαζική τους παραγωγή για την κάλυψη των πολεμικών αναγκών κάθε αντιμαχόμενης πλευράς. (Brown, 2010)

Ο ΠΟΛΕΜΟΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥ (TNT- PETN-RDX)

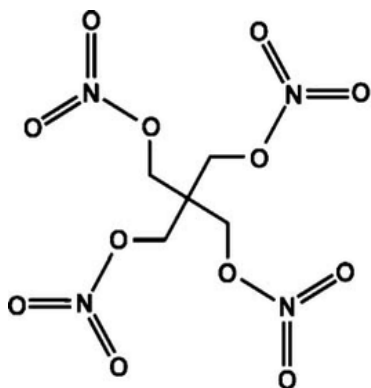
Ένα από τα εκρηκτικά που αναπτύχθηκαν την περίοδο αυτή ήταν το δημοφιλές TNT. Η κύρια ένωση που το αποτελεί είναι το 2,4,6 – τρινιτροτολουόλιο το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά από τον Γερμανό χημικό Julius Wilbrand το 1863, και χρησιμοποιήθηκε ως συστατικό για την παραγωγή κίτρινου χρώματος σε βαφές. Οι εκρηκτικές του ιδιότητες και οι προοπτικές του για την παραγωγή εκρηκτικής ύλης, αναγνωριστήκαν τρεις δεκαετίες αργότερα από τον Γερμανό χημικό Carl Hausserman, ο οποίος εμπνεόμενος από τις δημιουργίες του Alfred Nobel, κατάφερε να το τυποποιήσει και να το θέσει σε παραγωγή. Με την απειλή του 1^{ου} Παγκοσμίου πολέμου να πλανάται αλλά και την συμβολή της μεθόδου Haber-Bosch ως προς την φθηνή και ποσοτική παραγωγή του κατάφερε να διακριθεί ως το κύριο εκρηκτικό υλικό πλήρωσης όλων σχεδόν των τυποποιημένων στρατιωτικών εκρηκτικών υλών σε τέτοιο βαθμό που λόγω της δημοφιλίας και της αξιοπιστίας του, αποτελεί μέχρι και σήμερα το μέτρο εκρηκτικής ισχύος, παγκοσμίως.



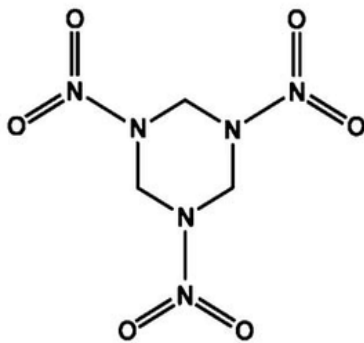
Συσκευασία μίας λίβρας(1 pound) εκρηκτικού TNT.(Πηγή:Marinesmil)

Η εξέλιξη των εκρηκτικών συνεχίστηκε και με το πέρας του 1^{ου} Παγκοσμίου πολέμου. Οι χώρες που συμμετείχαν σ αυτόν, αντιλήφθηκαν την σπουδαιότητα της υπεροπλίας σε κατοχή ισχυρών και αξιόπιστων εκρηκτικών υλών με αποτέλεσμα να προωθούν την εξελιγή τους μέσω ερευνητικών κέντρων και με τη

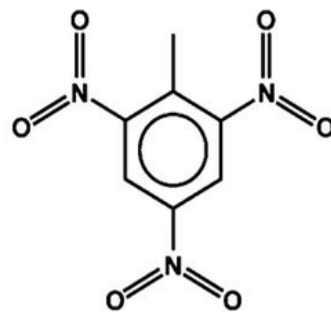
συμβολή μεγάλου όγκου επιστημονικού δυναμικού σε αντίθεση με την εποχή πριν τον Μεγάλο πόλεμο που η ανάπτυξη των εκρηκτικών προερχόταν από ανεξάρτητες επιστημονικές ή εμπειρικές πηγές. Κατ' αυτόν τον τρόπο τη περίοδο του Μεσοπολέμου, αναπτύχθηκαν δύο πολύ ισχυρά εκρηκτικά, με σκοπό να καλύψουν και αυτά με τη σειρά τους, τις μελλοντικές πολεμικές απαιτήσεις και αποτέλεσαν μέσω της εκρηκτικής ισχύος τους το εφαλτήριο για την κατηγοριοποίηση των εκρηκτικών υλών.



PETN



RDX



TNT

Μοριακός τύπος PETN - RDX - TNT.(Πηγή ResearchGate)

Το PETN (Νιτρικός πενταερυθρίτης) το οποίο παρασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1891 από τους Tollens και Wiegand και το RDX (Κύκλο-τριμέθυλο-τρινιτραμίνη) το οποίο παρασκευάστηκε το 1899 από τον Henning για φαρμακευτικούς λόγους, ήταν γνωστά αρκετά πριν τον Μεγάλο πόλεμο. Παρόλο όμως που το PETN τέθηκε σε χρήση το 1912 η παραγωγή τους ήταν περιορισμένη και προορίστηκε για παραγωγή ισχυρών οβίδων. Η αξιοπιστία, η σταθερότητα και η ευκολία παραγωγής του TNT αλλά και οι απαιτήσεις σε ποσότητα αυτού, έθεσαν την παραγωγή τους σε μικρότερη κλίμακα. Οι απαιτήσεις όμως των ισχυρών κρατών κατά τη διάρκεια της εποχής του μεσοπολέμου για πολεμική υπεροπλία οδήγησαν στην περαιτέρω εξέλιξη και χρήση αυτών των ισχυρότατων εκρηκτικών ως ενισχυτικά μαζί με μίγματα άλλων γνωστών εκρηκτικών για τη μεγιστοποίηση και σταθεροποίηση της εκρηκτικής ισχύος σε νέα αλλά και ήδη υπάρχοντα τυποποιημένα στρατιωτικά υλικά όπως χειροβομβίδες, οβίδες πυροβολικού αλλά και ως μίγματα πυροκροτητών τα οποία χρησιμοποιούνται έως τη σημερινή εποχή. (Akhavan, 2011)

ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ

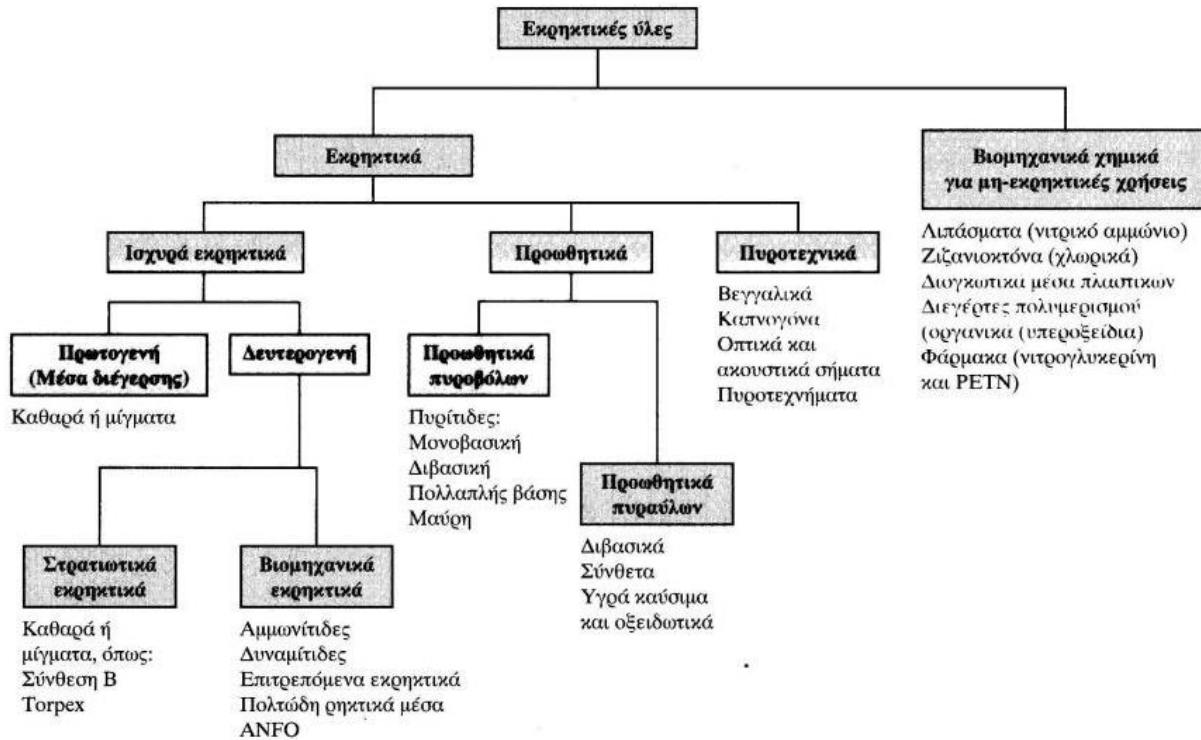
Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των πλαστικών και των πλαστικοποιητικών υλών την δεκαετία του 1930 ενίσχυσαν ακόμα περισσότερο την προσαρμοστικότητα των εκρηκτικών αυτών και πρόσφεραν νέες προοπτικές στο πεδίο εμπορικής και στρατιωτικής χρήσης τους, οι οποίες διατηρούνται ακμαίες έως τη σημερινή εποχή μιας και ανάμιξη τους στις κατάλληλες ανά περίπτωση αναλογίες, προσέδιδε σε αυτά ευπροσάρμοστη πλαστική υφή, σταθερότητα και ασφάλεια κατά την αποθήκευση τους σε ακραίες συνθήκες και δυνατότητα τροποποίησης της εκρηκτικής ισχύος τους κατά περίπτωση.



Συσκευασίες πλαστικών εκρηκτικών Type C και Semtex.(Πηγή Army Technology)

Ενδεικτικά, συνθέσεις που οι καταβολές τους προέρχονται από τις εξελικτικές προσπάθειες της εποχής εκείνης, είναι οι συνθέσεις C (C₁, C₂, C₃, C₄), οι οποίες αναπτύχθηκαν από Βρετανούς χημικούς και η σύνθεση B1 (μετέπειτα "Semtex", Semtex 1A, Semtex 10) το 1958 από τους Τσέχους χημικούς Stanislav Berbera και Radim Fukatko της εταιρείας VCHZ Synthesia. Πέραν όμως της ανάπτυξης και εξέλιξης νέων εκρηκτικών υλών καθώς και λόγω της προσπάθειας μεγιστοποίησης και προσαρμογής της ισχύος τους για τις εκάστοτε χρήσεις τους,

προέκυψε και η ανάγκη κατηγοριοποίησης τους. Μια πρώτη προσέγγιση προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τον Plets το 1953 η οποία έθετε ως κριτήριο διαχωρισμού και κατηγοριοποίησης την χημική ομάδα μορίων η οποία προσέφερε της εκρηκτικές ιδιότητες στην ένωση. Αυτή η κατηγοριοποίηση όμως δεν παρείχε καμία πληροφορία ως προς την απόδοση των εκρηκτικών της κάθε κατηγορίας. Έτσι επικράτησε η κατηγοριοποίηση με βάση την απόδοση ισχύος και ταχύτητας της έκρηξης. Οι εκρηκτικές ύλες κατηγοριοποιήθηκαν κυρίως σε χαμηλές και υψηλές.



Κατηγοριοποίηση εκρηκτικών υλών.(Πηγή Firepyro.info)

Οι χαμηλές εκρηκτικές ύλες έχουν ταχύτητα καύσης μικρότερης της ταχύτητας του ήχου, πλην όμως μπορούν να εκραγούν κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας και χρησιμοποιούνται συνήθως ως πρωθητικές ύλες. Οι υψηλές εκρηκτικές ύλες διακρίνονται ανάλογα με την ευαισθησία ενεργοποίησης τους, σε πρωτογενής και δευτερογενής. Οι πρωτογενής είναι εξαιρετικά ευαίσθητες και χρησιμοποιούνται σε πυροκροτητές, εγκαύματα και θρυαλλίδες, ενώ οι δευτερογενής είναι λιγότερο ευαίσθητες αλλά περισσότερο ισχυρές από τις πρωτογενής, και χρησιμοποιούνται ως η κύρια εκρηκτική ύλη η οποία ενεργοποιείται μέσω της έκρηξης μιας πρωτογενούς. Με

αυτή την κατηγοριοποίηση δόθηκε μια αρκετά σαφή εικόνα ως προς την ισχύ και απόδοση κάθε εκρηκτικού, και τέθηκαν τα κριτήρια ασφάλειας και χειρισμού κάθε κατηγορίας. (Akhavan, 2011)

ΟΙ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΒΟΜΒΕΣ

Κορωνίδα όλων των προαναφερθέντων ενεργειών εξέλιξης στις εκρηκτικές ύλες, στάθηκε η κατασκευή των δύο ατομικών βομβών οι οποίες ρίφθηκαν στις πόλεις Χιροσίμα και Ναγκασάκι της Ιαπωνίας στις 4 και 9 Αυγούστου το 1945. Κάτω από απόλυτη μυστικότητα και με το κωδικό όνομα «Σχέδιο Μανχάταν», η Αμερικάνικη κυβέρνηση σε συνεργασία με επιφανείς επιστήμονες της εποχής από συμμαχικές χώρες και με επικεφαλής διευθυντή τον καθηγητή φυσικής στο πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνια ΗΠΑ Robert Oppenheimer, κατάφερε να αναπτύξει την κατασκευή δύο ατομικών βομβών βάρους τεσσάρων τόνων έκαστος και συνολικής εκρηκτικής ισχύος 35.050 τόνων TNT με σκοπό την χρησιμοποίηση τους σε περίπτωση μη παράδοσης και εξόδου της Ιαπωνίας από τον πόλεμο. Η χρησιμοποίηση 64 Kg απεμπλουτισμένου ουρανίου (U-238) στην πρώτη βόμβα που κατασκευάστηκε (Little boy), και 6,4 Kg πλουτωνίου (PU-239) στη δεύτερη (Fat Man) παρήγαγε εκρηκτική ισχύ που παρόμοια της δεν είχε παρατηρηθεί στο παρελθόν. Η ενεργοποίηση των δύο αυτών βομβών πραγματοποιήθηκε μέσω ενός εκρηκτικού κελύφους που περιείχε τα δυο ραδιενεργά υλικά, αποτελούμενο από 60% RDX και 40% TNT, του οποίου η έκρηξη προκλήθηκε από 32 στρατηγικά τοποθετημένους ηλεκτρικούς πυροκροτητές. Η κατασκευή τους θεωρήθηκε ένα μεγάλο επιστημονικό επίτευγμα του οποίου η χρησιμοποίηση του προκάλεσε τη λήξη του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου με την παράδοση της Ιαπωνίας στους συμμάχους. Ένα επίτευγμα που κόστισε τη ζωή 200.000 ανθρώπων, τόσο κατά την έκρηξη όσο και από την μακροχρόνια επίδραση της ακτινοβολίας που απελευθερώθηκε από



Οι δύο ατομικές βόμβες (Little Man και Fat Boy) που κατασκευάστηκαν στα ερευνητικά εργαστήρια του Los Alamos των Η.Π.Α. (Πηγή: Quora.com)

αυτή. Οι δύο αυτές ατομικές βόμβες παρόλο τον όλεθρο που προκάλεσαν, σηματοδότησαν την αυγή μίας νέας εποχής που στόχο έχει τη χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας, προς όφελος της ανθρωπότητας, αλλά και ως μίας μορφής υπεροπλίας χωρών που έχουν στη κατοχή τους παρόμοια πυρηνικά όπλα, μίας υπεροπλίας που καθορίζει έως σήμερα τις ισορροπίες του πλανήτη. (A., 1984)

Πίνακας 1. Ταχύτητα εκρηκτικού κύματος γνωστών εκρηκτικών υλών.

<i>Explosive</i>		<i>Molecular Weight (g/mol)</i>	<i>Detonation Velocities (m/s)</i>	<i>Vapor Pressure (Torr@25°C)</i>
<i>Primary Explosives</i>				
TATP	Triacetone Triperoxide	222	5300	$3.7 \times 10^{-1} *$
	Lead Styphnate	468	5200	
	Lead Azide	291	4500	
<i>Secondary Explosives</i>				
HMX	Tetranitro-tetrazacyclooctane	296	9110	$1.6 \times 10^{-13} *$
RDX	Trinitro-triazacyclohexane	222	8440	1.4×10^{-9}
PETN	Pentaerythritol Tetranitrate	316	8300	3.8×10^{-10}
Tetryl	Tetranitro-N-methylamine	287	7900	5.7×10^{-9}
EGDN	Ethylene Glycol Dinitrate	152	7800	2.8×10^{-2}
NG	Trinitroglycerin	227	7750	2.4×10^{-5}
NC	Nitrocellulose	327	7300	N/A
TNT	2,4,6-Trinitrotoluene	227	6850	3.0×10^{-6}
N/A – not available		* Extrapolated values		

Πηγή: ResearchGate

Πίνακας 2. Ομόλογες σειρές γνωστών εκρηκτικών υλών.

<i>Chemical class</i>		<i>Explosive</i>	<i>Mol. Wt. (amu)</i>	<i>Formula</i>
Aliphatic nitrate		Nitromethane	61	CH ₃ NO ₂
	DMNB	2,3-Dimethyl-dinitrobutane	176	C ₆ H ₁₂ N ₂ O ₄
	<i>o</i> -MNT	2-Nitrotoluene	137	C ₇ H ₇ NO ₂
Aromatic nitrate	<i>p</i> -MNT	4-Nitrotoluene	137	C ₇ H ₇ NO ₂
	DNT	2,4-Dinitrotoluene	182	C ₇ H ₆ N ₂ O ₄
	TNT	2,4,6-Trinitrotoluene	227	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆
	Picric acid	2,4,6-Trinitrophenol	229	C ₆ H ₃ N ₃ O ₇
	Nitramine	Tetryl	Tetranitro- <i>N</i> -methylamine	287
RDX		Trinitro-triazacyclohexane	222	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆
HMX		Tetranitro-tetrazacyclooctane	296	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈
CL20		Hexanitro-hexaazaisowurzitane	438	C ₆ H ₆ N ₁₂ O ₁₂
Nitrate ester	EGDN	Ethylene Glycol Dinitrate	152	C ₂ H ₄ N ₂ O ₄
	NG	Trinitroglycerin	227	C ₄ H ₅ N ₃ O ₉
	PETN	Pentaerythritol Tetranitrate	314	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂
	NC	Nitrocellulose	327	[C ₆ H ₇ N ₃ O ₁₁] _{<i>n</i>}
Inorganic Salt	AN	Ammonium nitrate	80	NH ₄ NO ₃
Peroxide	TATP	Triacetone Triperoxide	222	C ₃ H ₆ O ₆
	HMTD	Hexamethylene Triperoxide Diamine	208	C ₆ H ₁₂ N ₂ O ₆

Χρονολογικός πίνακας 3. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα στην εξέλιξη των εκρηκτικών υλών.

ΕΤΟΣ	ΓΕΓΟΝΟΣ
220 π.Χ.	Κινέζοι αλχημιστές παράγουν ατυχηματικά μαύρη πυρίτιδα
690 μ.Χ..	Οι Άραβες χρησιμοποιούν πιθανολογούμενη μαύρη πυρίτιδα στην πολιορκία της Μέκκας
1040 μ.Χ.	Οι Κινέζοι κατασκευάζουν δομή παραγωγής μαύρης πυρίτιδας.
1169-1189 μ.Χ.	Οι Κινέζοι ξεκινούν την παραγωγή πυροτεχνημάτων.
1249 μ.Χ.	Ο Roger Bacon εισάγει την γνώση για κατασκευή μαύρης πυρίτιδας στη Δύση.
1320 μ.Χ.	Ο Γερμανός Schwartz μελετά τις μεθόδους παρασκευής μαύρης πυρίτιδας και βοηθά στην εξάπλωσή της στην κεντρική Ευρώπη.
1425 μ.Χ.	Η διαδικασία κονιορτοποίησης και διαλογής της πυρίτιδας αναπτύσσεται.
1627 μ.Χ.	Ο Ούγγρος Caspar Weindl χρησιμοποιεί μαύρη πυρίτιδα ως εξορυκτική τεχνική σε ορυχείο.
1690 μ.Χ.	Ο Γερμανός Johann Kunkel παρασκευάζει βροντώδη υδράργυρο.
1742 μ.Χ.	Ο Γερμανός Johann R.Glauber παρασκευάζει πικρικό οξύ (TNP).
1830 μ.Χ.	Ο Γάλλος Jean-Joseph Welter χρησιμοποιεί πικρικό οξύ για παρασκευή εκρηκτικών.
1846 μ.Χ.	Ο Ιταλός Ascanio Sobrero κατασκευάζει την νιτρογλυκερίνη.
1849 μ.Χ.	Οι Γάλλοι Reise και Millon αναφέρουν ότι η μίξη νιτρικού αμμωνίου με άνθρακα εκρήγνυται με την θέρμανσή της
1863 μ.Χ.	Ο Σουηδός Alfred Nobel κατασκευάζει σε ευρεία κλίμακα νιτρογλυκερίνη.
1863 μ.Χ.	Ο Γερμανός Julius Willbrand κατασκευάζει το 2.4.6-Τρινιτροτολουόλιο.
1864 μ.Χ.	Ο Alfred Nobel κατασκευάζει τον πρώτο πυροκροτητή, πρώτα με μαύρη πυρίτιδα και μετέπειτα με βροντώδη υδράργυρο.

1867 μ.Χ.	Ο Alfred Nobel εφεύρει τον Δυναμίτη.
1867 μ.Χ.	Οι Σουηδοί χημικοί Ohlsonn και Norbin προσθέτουν πειραματικά νιτρικό αμμώνιο στον Δυναμίτη
1871 μ.Χ.	Ο Άγγλος F.Abel συνέστησε ότι το πικρικό αμμώνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκρηκτικό.(Dunnite ή Explosive D)
1875 μ.Χ.	Ο Alfred Nobel ανάμιξε νιτρογλυκερίνη με νιτροκυτταρίνη για την κατασκευή ζελατοδυναμίτιδας.(Blasting gelatine)
1880 μ.Χ.	Ο Γερμανός χημικός Paul Herr παρασκευάζει καθαρό 2.4.6- τρινιτροτολουόλιο
1888 μ.Χ.	Το πικρικό οξύ χρησιμοποιείται ως εκρηκτική γόμωση των Βρετανικών πυρομαχικών.(Liddite)
1888 μ.Χ.	Ο Alfred Nobel εφεύρει τον Βαλιστίτη
1889 μ.Χ.	Οι Βρεττανοί Χημικοί Abel και Dewar κατασκευάζουν το εκρηκτικό Cordite (προωθητικό).
1891 μ.Χ.	Ο Γερμανός χημικός Carl Hausserman θέτει την παραγωγή TNT σε ευρεία κλίμακα στη Γερμανία.
1894 μ.Χ.	Η προετοιμασία του εκρηκτικού PETN ξεκινά σε μικρή κλίμακα στη Γερμανία.
1899 μ.Χ.	Ο Γερμανός χημικός Henning παρασκευάζει το RDX για φαρμακευτικούς σκοπούς.
1902 μ.Χ.	Ο Γερμανικός στρατός αντικαθιστά το πικρικό οξύ με TNT στα πυρομαχικά.
1912 μ.Χ.	Ο Αμερικανικός στρατός ξεκινά να χρησιμοποιεί το TNT στα πυρομαχικά.
1920 μ.Χ.	Ξεκινά η παρασκευή RDX από τον Γερμανό Herz.
1940 μ.Χ.	Ο Αμερικανός W.Bachmann αναπτύσσει την βιομηχανική μέθοδο παρασκευής RDX.
1944 μ.Χ.	Κατασκευή των δύο ατομικών βομβών από την Αμερικανική κυβέρνηση σε συνεργασία με επιστήμονες μέσω του "Σχεδίου Μανχάταν".

(Akhavan, 2011)

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Με την αναδρομή στην ιστορία των εκρηκτικών υλών γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι η εφεύρεση και χρησιμοποίηση τους ανά τους αιώνες, συνέβαλε καθοριστικά στη βελτίωση της καθημερινότητας του ανθρώπου μιας και αποτέλεσε ένα πανίσχυρο εργαλείο υπερκερασμού τεχνικών δυσκολιών και εξόρυξης, τα οποία οδήγησαν στη κατασκευή σημαντικών δομών καθώς και στη δυνατότητα παραλαβής πρώτων υλών από το υπέδαφος. Ταυτόχρονα όμως χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ακόμα στις πιο ζοφερές στιγμές της ανθρωπότητας, αποτελώντας ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα εφεύρεσης που στον πυρήνα της ύπαρξης της, περιέχει μεγάλη ισχύ η οποία μπορεί με τον ίδιο βαθμό να προσφέρει ή να αφαιρέσει. Μια ισχύ με διττή φύση της οποίας το πρόσημο ορίζεται ανάλογα τη σκοπούμενη χρήση και το αποτέλεσμα που αυτή μπορεί να επιφέρει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A., M., 1984. *The Making of the Atomic Age*. s.l.:Oxford University Press.
- Akhavan, J., 2011. *The Chemistry Of Explosives*. 3rd ed. s.l.:Royal Society Of Chemistry.
- Brown, G., 2010. *Explosives:History With A Bang*. 2nd ed. s.l.:The History Press.
- DAVIS, T., 1975. *The Chemistry Of Powder And Excplosives*. Hollywood , CA: Angriff Press.
- J.Lee, P. P. R., 1994. *Rock Blasting and Explosives Engineering*. New York: CRC Press Ltd.
- J.R., P., 1960. *A History Of Greek Fire And Gunpowder*. New York: Barnes & Noble.
- Shanley, S. M. a. E. S., 1990. Industrial Explosives-A Brief History Of Their Development And Use. *Journal Of Hazrdous Materials*, pp. 183-201.
- W.S., D., 1960. *One Thousand Years Of Explosives*. s.l.:New York,Holt,Rinehart & Winston Inc..

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	2
ΤΟ “ΥΓΡΟ ΠΥΡ”	4
Η ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΥΡΙΤΙΔΑΣ	5
ΟΙ ΠΡΩΤΟΙ ΔΥΤΙΚΟΙ ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.....	6
ΟΙ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	8
Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ-ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	10
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΑΥΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΥΡΙΤΙΔΑΣ.	11
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΩΣ ΕΞΟΡΥΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ	12
ΝΙΤΡΟ-ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΜΙΑ ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ.....	15
Ο ALFRED NOBEL ΚΑΙ Ο ΔΥΝΑΜΙΤΗΣ.....	16
Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΤΗ	18
Η ΜΕΘΟΔΟΣ HABER-BOSCH ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ	20
Ο ΠΟΛΕΜΟΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥ (TNT-PETN-RDX).....	22
ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ	24
ΟΙ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΒΟΜΒΕΣ.....	26
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31