

## Σαχινίδης Συμεών

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOC αποτελούν μία σημαντική κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων, που εντοπίζονται κυρίως σε αστικά κέντρα και βιομηχανικές περιοχές. Στον όρο VOC περιλαμβάνονται εκατοντάδες ενώσεις. Σύμφωνα με τον αυστηρό ορισμό των VOCs, στην κατηγορία αυτή θα έπρεπε να περιλαμβάνονται οργανικές ενώσεις, οι οποίες είναι παρούσες στην ατμόσφαιρα σε αέρια κατάσταση, αλλά οι οποίες, κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, θα ήταν υγρά ή στερεά. Δηλαδή στους 20 C θα είχαν τάση ατμών \* μικρότερη από 760 torr(101,3 kPa) και μεγαλύτερη από 1 torr (101,3 kPa). Όμως, με βάση τον ορισμό αυτό, πολλές οργανικές ενώσεις που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα δεν θα συμπεριλαμβάνονταν στις VOCs. Σύμφωνα με έναν πιο πλατύ ορισμό, ο όρος VOC περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα, με εξαίρεση το στοιχειώδη άνθρακα, το CO και το CO<sub>2</sub>, οι οποίες ευρίσκονται στην ατμόσφαιρα. (Hester et al, 1995).

Οι VOCs εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες (ανθρωπογενείς πηγές), είτε από φυσικές πηγές. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα αυτοκίνητα (κυρίως αλιφατικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες), **οι ατμοί πετρελαιοειδών που εκπέμπονται κατά τη διύλιση**, μεταφορά και χρήση τους, η χρήση διαλυτών, η ταφή απορριμμάτων, η παραγωγή τροφίμων και η γεωργία. Στη δεύτερη κατηγορία εμπίπτουν εκπομπές από φυτά και δένδρα, φωτιές δασών, και διάφορες αναερόβιες διεργασίες.

Η εξόρυξη πετρελαίου και η διύλιση του για την παραγωγή διαφόρων καυσίμων είναι μία σημαντική πηγή VOC σε πολλά μέρη του πλανήτη. Αυτό περιλαμβάνει τον σχηματισμό και την έκλυση διαφόρων αερίων και ατμών κατά τις διάφορες διεργασίες επεξεργασίας του πετρελαίου και την εξάτμιση αργού πετρελαίου και των παραγώγων του κατά τη μεταφορά τους. Στην κατηγορία αυτή πρέπει επίσης να συμπεριλάβουμε και τις εξατμίσεις της βενζίνης κατά το γέμισμα των δοχείων των αυτοκινήτων. Όπως γνωρίζετε, οι εκπομπές από τα αυτοκίνητα οφείλονται στην ατελή καύση του καυσίμου, καθώς και στην εξάτμιση καυσίμου πριν από την καύση του. Είναι προφανές ότι υπάρχει ένα πλατύ εύρος πηγών VOC. Η σχετική συνεισφορά της κάθε δραστηριότητας διαφέρει από χώρα σε χώρα. (Βερούκιος Ξ.,2003).

Οι επιπτώσεις των VOC στην ατμόσφαιρα μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος,

φωτοχημική παραγωγή όζοντος στην επιφάνεια της Γης,

τοξικές ή καρκινογενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο,

συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Πολλές οργανικές ενώσεις είναι αρκετά σταθερές, ώστε να φτάσουν στη στρατόσφαιρα, όπου, μέσω της φωτόλυσης και της αντίδρασης με υδροξυλικές ρίζες, παράγουν ενώσεις που καταστρέφουν το όζον. Κοντά στην επιφάνεια της Γης πολλές οργανικές ενώσεις συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις παραγωγής όζοντος. Εκτός από αυτές τις δευτερογενείς επιπτώσεις των VOCs, πολλές ενώσεις είναι τοξικές ή προξενούν καρκίνο στον άνθρωπο. Οι ενώσεις αυτές περιλαμβάνουν το βενζόλιο και το 1,3 βουταδιένιο που προξενούν λευχαιμία, τη

φορμαλδεΐδη που προξενεί καρκίνο, τους πολυκυρηνικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες που προξενούν καρκίνο του πνεύμονος, τις πολυχλωριωμένες διφενυλικές ενώσεις (PCBs), τις πολυχλωριωμένες τετραφενυλικές ενώσεις (PCTs), τις διοξίνες, τις φουράνες κ.λπ. (Wark et al, 1998).

Ο διαχωρισμός των διεργασιών, που εφαρμόζονται σε διυλιστήρια ως παραγωγικές και διεργασίες μετά την παραγωγική διαδικασία, είναι εξαιρετικά λεπτός και τα όρια μεταξύ των δύο κατηγοριών ασαφή. Αιτία για τα παραπάνω είναι ο ολοκληρωμένος χαρακτήρας των διεργασιών ενός διυλιστηρίου. Ο χαρακτηρισμός διεργασιών ως διεργασίες μετά την παραγωγική διαδικασία με μοναδικό κριτήριο την απουσία εκμετάλλευσης κάποιων ρευμάτων από αυτή τη διεργασία άμεσα ή έμμεσα στην παραγωγή προϊόντων θα οδηγούσε σε ελάχιστες τεχνικές. Γι' αυτό το λόγο ο χαρακτηρισμός των τεχνολογιών ως "μετά την παραγωγική διαδικασία" τεχνολογιών έγινε με βάση την υιοθέτηση αυτής της τεχνικής όχι για την παραγωγή ή αύξηση της παραγωγής κάποιων προϊόντων, αλλά κύρια για την αποτροπή ή μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος χωρίς παράλληλα να γίνεται ιδιαίτερη μεταβολή στην παραγωγή προϊόντων.

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση των ΒΔΤ στην παραγωγική διαδικασία

Πεδίο εφαρμογής		FCC								SRU	ΦΟΡ/ΣΗ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Τεχνικές		Αποθείωση καυσαερίων αναγεννητή με αναγέννηση του SO <sub>2</sub>	Αποθείωση καυσαερίων αναγεννητή με έκπλυση (Wet Gas Scrubbing)	Θερμική μετατροπή NOx καυσαερίων αναγεννητή	Καταλυτική μετατροπή NOx καυσαερίων αναγεννητή	Καταλυτική μετατροπή NOx και SO <sub>2</sub> καυσαερίων αναγεννητή	Κυκλώνας 3ου σταδίου	Εσωτερικό σύστημα κυκλώνων αναγεννητή	Ηλεκτρικός κατακρημιστής καυσαερίων αναγεννητή (precipitator)	Αποτεφοτής τελικών αερίων μονάδας (incinerator)	Σύστημα ανάκτησης ατμών
Παράμετροι Βελτιστοποίησης	SO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	X	X			X				X	
	Nox			X	X	X					
	Σωματίδια		X			X	X	X	X		
	VOCS										X
	Στερεά απόβλητα										
	Υγρά απόβλητα										

Οι τεχνολογίες πρόληψης και μείωσης της ρύπανσης μετά την παραγωγική διαδικασία παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των συνολικών εκπομπών ενός διυλιστηρίου καθώς παρεμβαίνουν στο τελευταίο στάδιο πριν τη διοχέτευση των εκπομπών στο περιβάλλον. Οι περισσότερες από αυτές έχουν χαρακτήρα περισσότερο περιορισμού παρά πρόληψης της ρύπανσης, καθώς επεμβαίνουν, συνήθως, στο τελικό στάδιο εκπομπής των ρύπων και όχι στο σημείο της πρωτογενούς παραγωγής τους (εκεί οι παρεμβάσεις αφορούν κύρια τεχνικές στην παραγωγική διαδικασία). Αυτό βέβαια δεν πρέπει να ερμηνευτεί σαν αδυναμία των μεθόδων καθώς πολλές από αυτές χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις (άνω του 95%).

Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις είναι δυνατό να είναι προβληματική λόγω αυξημένου κόστους σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται σημαντικές μετατροπές ή υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στην εγκατάσταση για την εφαρμογή τους. Οι παραπάνω περιορισμοί και μετατροπές μπορεί να είναι χωροταξικές (π.χ. έλλειψη χώρου) ή μετατροπές στον κύριο παραγωγικό εξοπλισμό για τη συνεργασία των παραγωγικών και μη τμημάτων. Επιπλέον αρκετές από τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες μετά την παραγωγική διαδικασία χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος το οποίο, πολλές φορές, είναι σημαντικά αυξημένο από την απαίτηση παράλληλης υιοθέτησης και άλλης τεχνολογίας.

Έτσι, σήμερα, θεωρείται αποδοτικότερη για την αποτροπή ή μείωση των εκπομπών, η επέμβαση για την τροποποίηση των κύριων παραγωγικών διαδικασιών ή η υιοθέτηση νέων παραγωγικών τεχνολογιών οι οποίες προσανατολίζονται στην οικονομικότερη παραγωγή νέων προϊόντων με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Η μεταβολή ή εισαγωγή νέων τεχνολογιών οδηγεί τόσο σε σημαντικά παραγωγικά οφέλη όσο και σε σημαντική μείωση των εκπομπών ενός διυλιστηρίου, καθώς η βελτιωμένη και ολοκληρωμένη διαχείριση όλων ή επιμέρους ρευμάτων των διεργασιών επιφέρει συνήθως πολλαπλασιαστικές θετικές επιδράσεις στις εκπομπές από διάφορα σημεία.

Εκπεμπόμενοι ρύποι από διεργασίες διυλιστηρίων

Πίνακας.2: Εκπεμπόμενοι ρύποι από διεργασίες διυλιστηρίων

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ	ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
<b>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>			
Αφαλάτωση αργού	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές (H/C)	Ροή=2,1 gal/bbl Έλαια, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , φαινόλες, υψηλές τιμές αιωρούμενων στερεών, διαλυμένα στερεά, υψηλό BOD, υψηλή θερμοκρασία	Λάσπη (σκουριά σιδήρου, πηλός, άμμος, νερό, ελαιώδες γαλάκτωμα, μέταλλα)
Ατμοσφαιρική απόσταση αργού	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C)	Ροή=26 gal/bbl Έλαια, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , αιωρούμενα στερεά, χλωριούχα, μερκαπτάνες, φαινόλες, υψηλό pH	Τυπικά, λίγα ή καθόλου στερεά απόβλητα
Απόσταση υπό κενό	Εκπομπές έκχυσης ατμού (H/C), καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C)		
Θερμική πυρόλυση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια),	Ροή=2,0 gal/bbl Έλαια, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> ,	Τυπικά, λίγα ή καθόλου στερεά

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ	ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
<b>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>			
	εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C)	αιωρούμενα στερεά, φαινόλες, υψηλό pH, BOD και COD	απόβλητα
Coking	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C) και εκπομπές από την απανθράκωση (H/C και σωματίδια)	Ροή=1,0 gal/bbl oil Υψηλό pH, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , αιωρούμενα στερεά, COD	Σκόνη κώκ (σωματίδια άνθρακα και H/C)
Καταλυτική πυρόλυση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές (H/C) και αναγέννηση καταλύτη (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> και σωματίδια)	Ροή=15,0 gal/bbl Υψηλές τιμές ελαίων, αιωρούμενα στερεά, φαινόλες, κυανιούχα, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , υψηλό pH, BOD, COD	Χρησιμοποιημένος καταλύτης (μέταλλα από το αργό και H/C), λεπτόκοκκος καταλύτης από ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή (αργιλλοπυριτικά και μέταλλα)
Καταλυτική υδρογονοδιάσπαση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές (H/C) και αναγέννηση καταλύτη (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> και σκόνη καταλύτη)	Ροή=2,0 gal/bbl Υψηλές τιμές COD, αιωρούμενα στερεά, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , σχετικά χαμηλές τιμές BOD	Λεπτόκοκκος χρησιμοποιημένος καταλύτης (μέταλλα από το αργό και H/C)
Υδρογονοαποθείωση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές (H/C) και αναγέννηση καταλύτη (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> )	Ροή=1,0 gal/bbl H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , υψηλές τιμές pH, φαινόλες, αιωρούμενα στερεά, BOD, COD	Λεπτόκοκκος χρησιμοποιημένος καταλύτης (αργιλλοπυριτικά και μέταλλα)
Αλκυλίωση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , H/C και σωματίδια), εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές	Χαμηλό pH, αιωρούμενα στερεά, διαλυμένα στερεά, COD, H <sub>2</sub> S, χρησιμο-ποιημένο	Λάσπη εξουδετέρωση αλκυλίωσης (θειικό οξύ ή CaF <sub>2</sub> , H/C)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ	ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
<b>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>			
	(H/C)	θειικό οξύ	
Ισομερισμός	Καυσαέρια φούρνου (CO, SOx, NOx, H/C και σωματίδια), HCl (δυσνητικά στα ελαφρά), εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C)	Χαμηλό pH, άλατα Cl, καυστική πλύσεως, σχετικά χαμηλά H <sub>2</sub> S και NH <sub>3</sub>	Λάσπη CaCl <sub>2</sub> από την εξουδετέρωση HCl
Πολυμερισμός	H <sub>2</sub> S από πλύση καυστικής	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , καυστική πλύσεως, μερκαπτάνες και αμμωνία, υψηλό pH	Χρησιμοποιημένος καταλύτης που περιέχει H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Καταλυτική Αναμόρφωση	Καυσαέρια φούρνου (CO, SOx, NOx, H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές (H/C) και αναγέννηση καταλύτη (CO, SOx, NOx)	Ροή=6,0 gal/bbl υψηλές τιμές ελαίων, αιωρούμενα στερεά, COD, σχετικά χαμηλό H <sub>2</sub> S	Λεπτόκοκκος χρησιμοποιούμενος καταλύτης από τον ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή (αργιλλοπυριτικά και μέταλλα)
Εκχύλιση με διαλύτες	Διάχυτες εκπομπές	Έλαια και διαλύτες	Λίγα ή καθόλου στερεά απόβλητα
Αποκήρωση	Φούρνοι, διάχυτες εκπομπές	Έλαια και διαλύτες	Λίγα ή καθόλου στερεά απόβλητα
Απασφάλτωση με προπάνιο	Καυσαέρια φούρνου (CO, SOx, NOx, H/C και σωματίδια), διάχυτες εκπομπές προπανίου	Έλαια και προπάνιο	Λίγα ή καθόλου στερεά απόβλητα

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ	ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
<b>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>			
Κατεργασία Μεροχ	Εξαεριστικά και διάχυτες εκπομπές (H/C και δισουλφίδια)	Λίγα ή καθόλου υγρά απόβλητα	Διάλυμα χρησιμοποιημένου καυστικής Μεροχ, μείγμα ελαίων/δισουλφιδίων
Κατεργασία αερίων και ανάκτηση Θείου	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> και H <sub>2</sub> S από εξαεριστικά και tail gas	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , αμίνες, διάλυμα Stretford	Χρησιμοποιημένος καταλύτης

(ΟΔΗΓΙΑ 96/61/2001).

Η μείωση των εκπομπών VOC από σταθερές πηγές μπορεί να επιτευχθεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους ή συνδυασμούς αυτών:

1 Διαχείριση στην πηγή: βελτίωση της διαχείρισης στην πηγή και του ελέγχου των διεργασιών έτσι, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η παραγωγή και εκπομπή VOC.

2. Επανασχεδιασμός του προϊόντος: μείωση ή εξάλειψη των οργανικών διαλυτών από διάφορα προϊόντα, όπως π.χ. προϊόντα επικάλυψης επιφανειών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη και παραγωγή νέων προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα στερεών και χαμηλή περιεκτικότητα διαλυτών, με τη χρήση προϊόντων βασισμένων στο νερό, με τη χρήση ακτινοβολίας για τη σταθεροποίηση της επικάλυψης και με τη χρήση προϊόντων στη μορφή σκόνης. Επέμβαση στη διεργασία: οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν με βελτιώσεις και διάφορες αλλαγές στη διεργασία παραγωγής ή μεταποίησης προϊόντων.

Τεχνολογίες επεξεργασίας των αποβλήτων: η επεξεργασία των ρευμάτων των διεργασιών που περιέχουν VOC με εξειδικευμένες τεχνολογίες, οι οποίες είτε καταστρέφουν, είτε συγκρατούν τους συγκεκριμένους ρύπους.

Από τις διάφορες τεχνικές ελέγχου των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC), η πλέον διαδεδομένη είναι αυτή της διαχείρισης των βιομηχανικών αερίων ρευμάτων που τις περιέχουν, με στόχο είτε την ανάκτηση των VOCs, είτε την καταστροφή τους. Μεταξύ των τεχνολογιών καταστροφής των VOCs η αποτέφρωση έχει την πρωτεύουσα σημασία. Οι αποτεφρωτές διακρίνονται στους θερμικούς, στους οποίους η θερμοκρασία του αέριου ρεύματος αυξάνεται πάνω από τους 750 °C, και τους καταλυτικούς, στους οποίους η καύση των VOCs γίνεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία (200-300 °C) στην επιφάνεια καταλυτών της ομάδας του λευκοχρύσου. Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται βιολογικές διεργασίες για την καταστροφή των VOCs, όπως π.χ. βιόφιλτρα, στα οποία αναπτύσσεται ένας πληθυσμός μικροοργανισμών, ο οποίος βιοαποικοδομεί τις οργανικές ενώσεις. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ανάκτησης των VOCs είναι η προσρόφηση, συνήθως σε ενεργό άνθρακα, αλλά ακόμα και σε ζεόλιθους και άλλα υλικά. Τα οργανικά μόρια ροφώνται στην επιφάνεια των στερεών αυτών, η οποία επιφάνεια ανά μονάδα μάζας του στερεού είναι πολύ μεγάλη (100-1000 m<sup>2</sup>/g). Όταν η επιφάνεια κορεστεί, ακολουθεί εκρόφηση των VOCs με θέρμανση και ανάκτηση τους. (Βερούκιος Ξ., 2003).

Στα αυτοκίνητα, η καταστροφή των VOCs γίνεται με τους τριοδικούς καταλύτες, οι οποίοι προκαλούν την καύση των οργανικών ενώσεων με αρκετά μεγάλη απόδοση.

Αναλυτικότερα οι τεχνολογίες καθαρισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο πλατιές κατηγορίες: αυτές οι οποίες ανακτούν τις VOCs από τα απόβλητα ρεύματα για ανακύκλωση ή άλλη χρήση και αυτές οι οποίες καταστρέφουν τις VOCs μετατρέποντας τις σε μη ρυπογόνες ενώσεις, π.χ. CO<sub>2</sub>. Η πιο διαδεδομένη τεχνική ανάκτησης των VOCs είναι η ρόφηση στην επιφάνεια κάποιου στέρεου, συνήθως ενεργού άνθρακα, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλα στερεά, όπως οι ζεόλιθοι. (Silver, R.G et al, 1992).

Η τεχνική αυτή είναι βασισμένη στο γεγονός ότι ορισμένα μόρια προσροφώνται στην επιφάνεια ορισμένων στερεών και, με την προϋπόθεση ότι η ρόφηση είναι αρκετά ισχυρή και η ικανότητα του στέρεου προσροφητή αρκετά μεγάλη, με τον τρόπο αυτό μπορεί να καθαρίσει ένα αέριο ρεύμα από ρύπους τους οποίους περιέχει. (Ross, R.D., 1972).

Για τον καθαρισμό αερίων ρευμάτων τα οποία περιέχουν οργανικούς ρύπους (VOC) είναι διαθέσιμα διάφορα συστήματα. Σε πολλά συστήματα χρησιμοποιούνται πολλαπλές κλίνες, ώστε, όταν η ρόφηση επιτελείται σε μία κλίνη, κάποια άλλη αναγεννάται με εκρόφηση. Τα συστήματα ρόφησης/εκρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατακράτηση των περισσοτέρων VOC, αν και είναι περισσότερο αποτελεσματικά όταν επεξεργάζονται απόβλητα ρεύματα τα οποία περιέχουν έναν ρύπο ή σχετικά απλά μείγματα περισσότερων ενώσεων.

Η τεχνική της ανάκτησης των VOCs με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Στη γενική περίπτωση, οι VOCs ανακτώνται και ο άνθρακας αναγεννάται θερμαινόμενος με ατμό ή με κάποιο αδρανές αέριο, όπως το άζωτο. Όμως οι υδατοδιαλυτές VOCs παρουσιάζουν σημαντικό πρόβλημα διαχωρισμού εάν χρησιμοποιηθεί ατμός για την ανάκτηση. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να χρησιμοποιηθεί αδρανές αέριο. Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα μπορεί να μην είναι οικονομικά εφικτή, εάν η συγκέντρωση των VOCs είναι πολύ μικρή. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτούνται πολύ μικρές ροές για να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός προσρόφησης. Αντίθετα, σε υψηλές συγκεντρώσεις η θερμότητα της προσρόφησης μπορεί να προξενήσει αύξηση της θερμοκρασίας σε μη επιθυμητά επίπεδα. Τα όρια συγκέντρωσης, βεβαίως, εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, αλλά έχουν προταθεί ως κατώτερο όριο τα 300 ppm και ως ανώτερο όριο τα 5000 ppm. (Shen. et al, 1993).

Το λειτουργικό κόστος της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα είναι χαμηλό, διότι δεν καταναλώνεται καύσιμο. Το κόστος αντικατάστασης του άνθρακα είναι υψηλό, καθώς και το κόστος διάθεσης των απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένου και του κορεσμένου άνθρακα, εάν δεν αναγεννάται). Τέλος, η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα δεν είναι ικανοποιητική εάν η υγρασία στο αέριο ρεύμα υπερβαίνει το 50%, αφού τα μόρια του νερού φράζουν τους πόρους του ενεργού άνθρακα. (Power, H., and Baldasano, J.M., 1998).

Στις περιπτώσεις στις οποίες η απόδοση του ενεργού άνθρακα δεν είναι ικανοποιητική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα υλικά, όπως, για παράδειγμα, υδρόφοβοι ζεόλιθοι, οι οποίοι ροφούν ελάχιστο νερό μέχρις ότου η σχετική υγρασία στο αέριο ρεύμα υπερβεί το 90%, ενώ παράλληλα έχουν μεγάλη προσροφητική ικανότητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις VOCs. Οι ζεόλιθοι αυτοί αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από SiO<sub>2</sub>. Είναι θερμικά σταθεροί σε υψηλές θερμοκρασίες, μέχρι και 1000° και συνεπώς μπορούν να αναγεννώνται σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, είναι αδρανείς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρόφηση VOCs τα οποία αντιδρούν με τον άνθρακα. Το βασικό μειονέκτημα των ζεολίθων είναι το κόστος τους. Το



κόστος παραγωγής τους είναι υψηλό και συνεπώς δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενεργός άνθρακας.( Dunderdale J., 1990).

### **Βιβλιογραφία.**

Βερούκιος .Ξ .Ατμοσφαιρικοί ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους Ι. Διαχείριση Αέριων ρύπων Τόμος Α. Πάτρα 2003.

Οδηγία 96/61/ΕΚ/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι Ελληνικές προτάσεις για τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές.Αθήνα 2001).

Dunderdale, J. (Editor), Energy and the Environment, The Royal Society of Chemistry, London 1990.

Hester, R.E., and Harrison, R.M., (Editors), Volatile Organic Compounds in the Atmosphere, The Royal Society of Chemistry, London 1995.

Power, H., and Baldasano, J.M., (Editors), Air Pollution Emissions Inventory, Computational Mechanics Publications, Southampton 1998.

Ross, R.D. (Editor), Air Pollution and Industry, Van Nostrand Reinhold, New York 1972.

Shen, T.T., Schmidt, C.E., and Card, T.R., Assessment and Control of VOC Emissions from Waste Treatment and Disposal Facilities, Van Nostrand Reinhold, New York 1993.

Silver, R.G., Sawyer, J.E. and Summers, J.C. (Editors), "Catalytic Control of Air Pollution", American Chemical Society Symposium Series 495, ACS, Washington 1992.

Wark, K., Warner, C.F., and Davis, W.T., Air Pollution, Its Origin and Control, (3rd Edition) Addison-Wesley, New York 1998.