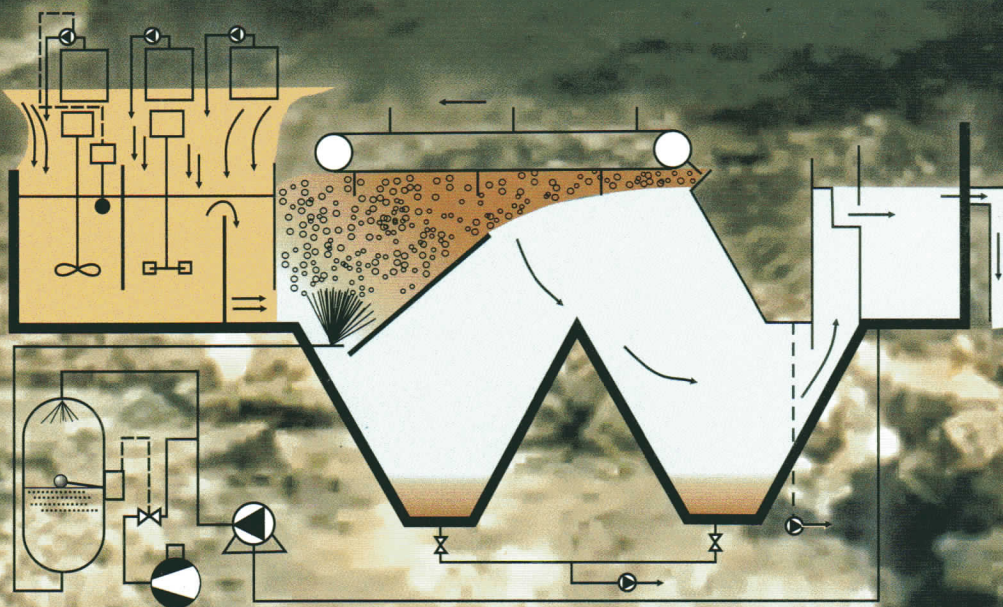


Μανασσής Μήτρακας
Δρ. Χημικός Μηχανικός

ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ

2η Έκδοση



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ



Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	18
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	25
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	31
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	34
1. ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ	39
1.1. Γενικά	39
1.2. Το νερό στη Γη	40
1.3. Υδρολογικός κύκλος	41
2. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ	45
2.1. Δομή και ιδιότητες του νερού	45
2.2. Χαρακτηριστικά ποιότητας του νερού	49
2.2.1. Ανόργανα συστατικά	49
2.2.2. Αιωρούμενα στερεά	56
2.2.3. Οργανικά	57
2.2.4. Ραδιοϊσότοπα	60
2.2.5 Αισθητικά χαρακτηριστικά	62
3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΝΕΡΟΥ	71
3.1. Εισαγωγή	71
3.2. Κατηγορίες μικροοργανισμών σε σχέση με το οξυγόνο	72
3.3. Κατηγορίες μικροοργανισμών σε σχέση με το είδος του μεταβολισμού	72
3.4. Κατηγορίες μικροοργανισμών σε σχέση με την κυτταρική τους δομή	73
3.5. Είδη μικροοργανισμών	74
3.5.1. Ιοί	74
3.5.2. Φυτά	75
3.5.3. Ζώα	82
3.6. Επίδραση του περιβάλλοντος στους μικροοργανισμούς	85
3.6.1. Θερμοκρασία	85
3.6.2. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)	86

3.6.3. Οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα	87
3.6.4. Χημικά ερεθίσματα	87
3.6.5. Ακτινοβολία	88
3.6.6. Οσμωτική πίεση	89
3.6.7. Υδροστατική πίεση	89
3.7. Μικροβιολογικός έλεγχος του νερού	90
3.7.1. Εισαγωγή	90
3.7.2. Μέθοδοι προσδιορισμού μικροοργανισμών	91
3.7.3. Μικροοργανισμοί - δείκτες μόλυνσης του νερού	93
3.7.4. Χαρακτηρισμός νερών - Υγειονομικές διατάξεις	98
4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ	101
4.1. Εισαγωγή	101
4.2. Αρχές διαχωρισμού	101
5. ΚΡΟΚΙΔΩΣΗ - ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ	104
5.1. Εισαγωγή	104
5.2. Συστήματα διασποράς στο νερό	104
5.2.1. Φύση και κατάσταση διασποράς των σωματιδίων στο νερό	104
5.2.2. Σταθερότητα συστημάτων διασποράς σωματιδίων στο νερό	106
5.2.3. Μηχανισμοί σταθερότητας συστημάτων διασποράς	106
5.3. Αποσταθεροποίηση συστημάτων διασποράς	109
5.3.1. Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης	109
5.3.2. Διάκριση των όρων κροκίδωση, συσσωμάτωση	112
5.3.3. Θρόμβωση σωματιδίων	113
5.3.4. Σχεδιασμός διεργασίας θρόμβωσης	119
5.4. Θρομβωτικές χημικές ενώσεις	123
5.4.1. Ανόργανα θρομβωτικά	123
5.4.2. Οργανικά θρομβωτικά	126
6. ΙΖΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ	130
6.1. Εισαγωγή	130
6.2. Ιζηματοποίηση	130
6.2.1. Χημεία ιζηματοποίησης	130

6.2.2. Εξάρτηση της διαλυτότητας από τη θερμοκρασία	133
6.2.3. Εξάρτηση της διαλυτότητας από το pH	135
6.2.4. Επίδραση κοινού ιόντος στη διαλυτότητα	139
6.2.5. Επίδραση μη κοινού ιόντος στη διαλυτότητα	141
6.2.6. Επίδραση της οξειδωτικής βαθμίδας των στοιχείων στη διαλυτότητα	142
6.3. Μη ιδανική συμπεριφορά διαλυμένων ιόντων και μορίων	142
6.4. Στοιχεία ηλεκτροχημείας	146
6.4.1. Δυναμικό ηλεκτροδίου	146
6.4.2. Μέτρηση δυναμικού ηλεκτροδίου	148
6.4.3. Αντιστρεπτά στοιχεία και αντιστρεπτά ηλεκτρόδια	152
6.4.4. Υπολογισμός του κανονικού δυναμικού των στοιχείων	153
6.4.5. Ελεύθερη ενέργεια και ηλεκτρεγερτική δύναμη	154
6.4.6. Υπολογισμός της Η.Ε.Δ. γαλβανικού στοιχείου	156
6.4.7. Υπολογισμός της σταθεράς ισορροπίας K	159
6.5. Απομάκρυνση Σιδήρου και Μαγγανίου	159
6.5.1. Εισαγωγή	159
6.5.2. Προέλευση Fe^{2+} και Mn^{2+}	161
6.5.3. Χημεία της οξείδωσης του Fe^{2+} και του Mn^{2+}	163
6.5.4. Μέθοδοι απομάκρυνσης του Fe^{2+} και του Mn^{2+}	168
6.6. Απομάκρυνση Ca^{2+} , Mg^{2+} και HCO_3^-	174
6.6.1. Ιζηματοποίηση Mg^{2+}	174
6.6.2. Ιζηματοποίηση Ca^{2+} και HCO_3^-	174
6.6.3. Σχεδιασμός της διεργασίας	175
6.7. Απομάκρυνση SO_4^{2-}	177
6.8. Απομάκρυνση PO_4^{3-}	177
6.9. Απομάκρυνση F^-	178
6.10. Απομάκρυνση S^{2-}	178
6.11. Απομάκρυνση πυριτίου	179
6.12. Απομάκρυνση βαρέων μετάλλων	179
6.12.1. Μέθοδος SULFEX	180
6.13. Απομάκρυνση φυσικών οργανικών ενώσεων με ιζηματοποίηση	181

7. ΚΑΘΙΖΗΣΗ - ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ	182
7.1. Καθίζηση	183
7.1.1. Θεωρία της καθίζησης	184
7.1.2. Κατακάθιση διακεκριμένων σωματιδίων	185
7.1.3. Καθίζηση θρόμβων	192
7.1.4. Καθίζηση ζώνης ή παρεμποδιζόμενη καθίζηση	194
7.1.5. Είδη δεξαμενών καθίζησης	198
7.1.6. Πάχυνση λάσπης	210
7.1.7. Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση	211
7.2. Επίπλευση	214
7.2.1. Αρχή λειτουργίας	215
7.2.2. Ταχύτητα ανόδου συναθροίσματος στερεού - φυσαλίδων	217
7.2.3. Είδη επίπλευσης	218
7.2.4. Επίπλευση με διαλυμένο αέρα	218
7.3. Σύγκριση καθίζησης και επίπλευσης	224
8. ΔΙΗΘΗΣΗ	225
8.1. Εισαγωγή	225
8.2. Χαρακτηριστικά σωματιδίων που απομακρύνονται με διήθηση	225
8.3. Διάκριση ειδών διήθησης	226
8.4. Διήθηση χώρου	227
8.4.1. Μηχανισμοί συγκράτησης στερεών στη διήθηση χώρου	227
8.4.2. Χαρακτηριστικά διηθητικών μέσων	233
8.4.3. Ποσότητα αιωρούμενων στερεών που συγκρατούνται	238
8.4.4. Υδραυλική συμπεριφορά	239
8.4.5. Μέθοδοι αντίστροφης πλύσης	244
8.4.6. Είδη διήθησης χώρου	245
8.5. Διήθηση επιφάνειας	251
8.5.1. Είδη διήθησης επιφάνειας	251
8.5.2. Φίλτρα προεπίστρωσης	251
8.5.3. Φίλτρα μικροπλέγματος	254
8.5.4. Φίλτρα κενού	254
8.5.5. Αριστοποίηση διήθησης επιφάνειας	255
8.6. Παράδειγμα	255

9. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ	260
9.1. Εισαγωγή	260
9.2. Παρασκευή ενεργού άνθρακα	261
9.3. Δομή ενεργού άνθρακα	261
9.4. Μηχανισμοί προσρόφησης	263
9.5. Κινητική προσρόφησης	264
9.6. Απομάκρυνση χλωρίου	265
9.7. Εξισώσεις ισόθερμης προσρόφησης	266
9.8. Μαθηματικός σχεδιασμός κλινών ενεργού άνθρακα	269
9.9. Σχεδιασμός κλινών ενεργού άνθρακα με βάση πειραματικά δεδομένα	271
9.10. Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης	273
9.10.1. Εξαρτήματα του συστήματος	276
9.10.2. Συνδυασμός διεργασιών	277
9.10.3. Λειτουργία συστήματος προσρόφησης	278
9.10.4. Αλλαγή άνθρακα	278
10. ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ	283
10.1. Εισαγωγή	283
10.2. Μηχανισμοί απολύμανσης	283
10.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης	284
10.3.1. Χαρακτηριστικά του μέσου απολύμανσης	284
10.3.2. Χρόνος επαφής	285
10.3.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού	285
10.3.4. Άλλοι παράγοντες	286
10.4. Ανθεκτικότητα των μικροοργανισμών στην απολύμανση	287
10.5. Κινητική απολύμανσης	288
10.5.1. Νόμος Chick - Watson	288
10.5.2. Παρεκλίσεις από το νόμο Chick - Watson	290
10.5.3. Άλλα μοντέλα κινητικής	292
10.5.4. Σχεδιασμός δεξαμενής απολύμανσης	294
10.6. Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων	295
10.7. Μη χημικά μέσα απολύμανσης	296

10.7.1. Υπεριώδης ακτινοβολία	296
10.7.2. Αποστειρωτική διήθηση	297
10.7.3. Θερμότητα	297
10.7.4. Ραδιενεργός ακτινοβολία	297
10.8. Μη οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης	297
10.8.1. Μεθυλενοδιθειοκυάνιο (MBT)	298
10.8.2. Διβρωμονιτριλοπροπιοαμίδιο (DBNPA)	298
10.8.3. Χλωριωμένες φαινόλες	298
10.8.4. Ισοθειαζόλες	298
10.8.5. Δι-τριβουτυλοξείδιο του κασσιτέρου (TBTO)	298
10.9. Οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης	299
10.9.1. Αέριο χλώριο	299
10.9.2. Υποχλωριώδη άλατα	302
10.9.3. Διοξείδιο του χλωρίου	302
10.9.4. Χλωραμίνες	304
10.9.5. Τριχλωρο-ισοκυανουρικό οξύ	305
10.9.6. Όζον	305
10.10. Απολύμανση "κλειστών" δικτύων	321
10.10.1. Επιλογή απολυμαντικού	323
10.11. Έλεγχος και ρύθμιση χημικών μέσων απολύμανσης	324
10.11.1. Σταθερή παροχή	324
10.11.2. Μεταβαλλόμενη παροχή	324
11. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ	326
11.1. Αντίστροφη όσμωση	326
11.1.1. Ιστορική εξέλιξη	327
11.1.2. Δομή μεμβρανών	328
11.1.3. Μηχανισμοί μεταφοράς	328
11.1.4. Μαθηματική περιγραφή	328
11.1.5. Απόδοση συστημάτων	331
11.1.6. Είδη μεμβρανών	335
11.1.7. Υλικά κατασκευής μεμβρανών	338
11.1.8. Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας	339
11.1.9. Υπολογισμός του Slit Density Index (SDI)	342
11.1.10. Εφαρμογές της αντίστροφης όσμωσης	344

11.2. Ηλεκτροδιάλυση	344
11.2.1. Μembrάνες ηλεκτροδιάλυσης	344
11.2.2. Απόδοση συστημάτων	346
11.2.3. Πόλωση	347
11.2.4. Μαθηματική περιγραφή	348
11.2.5. Ρύπανση των μεμβρανών	349
11.2.6. Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας	350
11.2.7. Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων ηλεκτροδιάλυσης	350
11.2.8. Εφαρμογές της ηλεκτροδιάλυσης	351
11.3. Σύγκριση αντίστροφης όσμωσης και ηλεκτροδιάλυσης	351
12. ΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΓΗ	353
12.1 Εισαγωγή	353
12.2. Ιστορικό	353
12.3. Χημική δομή ρητινών ιοντοεναλλαγής	355
12.3.1. Ισχυρά κατιονική ρητίνη (SAC)	356
12.3.2. Ασθενώς κατιονική ρητίνη (WAC)	357
12.3.3. Ισχυρά ανιονική ρητίνη (SBA)	358
12.3.4. Ασθενώς ανιονική ρητίνη (WBA)	359
12.4. Κύκλος λειτουργίας των κλινών ιοντοεναλλαγής	360
12.5. Φυσικές ιδιότητες	363
12.5.1. Διόγκωση, περιεκτικότητα σε υγρασία, πυκνότητα	363
12.5.2. Ικανότητα της ρητίνης	364
12.5.3. Μέγεθος σωματιδίου	365
12.5.4. Σταθερότητα της ρητίνης	366
12.6. Χημική ισορροπία ιοντοεναλλαγής	366
12.6.1. Συντελεστής εκλεκτικότητας	367
12.6.2. Παράγοντας διαχωρισμού	368
12.6.3. Διαρροή	372
12.7. Σχεδιασμός κλινών ρητίνης	372
12.8. Εφαρμογές ιοντοεναλλαγής	374
12.8.1. Αποσκλήρυνση	374
12.8.2. Απιονισμός	374
12.8.3. Απαλκαλίωση	375
12.8.4. Άλλες εφαρμογές	376

12.9. Παράδειγμα	376
13. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΑΕΡΑ	378
13.1. Εισαγωγή	378
13.2. Στοιχεία θεωρίας	378
13.2.1. Επίδραση διαλυτότητας στην απομάκρυνση	378
13.2.2. Ισορροπία αερίου - νερού	379
13.2.3. Μεταφορά μάζας	382
13.3. Συστήματα επαφής νερού - αέρα	384
13.3.1. Στήλες με πληρωτικό υλικό	384
13.3.2. Αερισμός με διαχυτήρες αέρα	394
13.3.3. Ακροφύσια ψεκασμού και δίσκοι αερισμού	395
13.4. Παραδείγματα υπολογισμού μηχανικών συστημάτων	397
13.4.1. Πύργοι με πληρωτικό υλικό	397
13.4.2. Διαχυτήρες αέρα σε δεξαμενές νερού	400
13.4.3. Στήλες με ακροφύσια ψεκασμού	401
13.4.4. Συμπεράσματα	401
14. ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ	402
14.1. Εισαγωγή	402
14.2. Κατηγορίες επικαθήσεων	402
14.2.1. Επικαθήσεις κρυστάλλωσης	403
14.2.2. Σωματιδιακές επικαθήσεις	403
14.2.3. Επικαθήσεις χημικής αντίδρασης	403
14.2.4. Επικαθήσεις διάβρωσης	404
14.2.5. Βιολογικές επικαθήσεις	404
14.3. Στάδια δημιουργίας επικαθήσεων	405
14.3.1. Έναρξη	405
14.3.2. Μεταφορά	405
14.3.3. Προσκόλληση	405
14.3.4. Απομάκρυνση	405
14.3.5. Ωρίμανση	406
14.4. Επικαθήσεις κρυστάλλωσης	407
14.4.1. Στάδια επικαθήσεων κρυστάλλωσης	410

14.5. Σωματιδιακές επικαθήσεις	413
14.6. Σχηματισμός ανθρακικού ασβεστίου	415
14.7. Δείκτες ποιότητας νερού	420
14.8. Αντιμετώπιση του σχηματισμού επικαθήσεων	422
14.8.1. Κριτήρια αξιολόγησης μεθόδων αντιμετώπισης επικαθήσεων	425
14.9. Αντιμετώπιση ανθρακικών επικαθήσεων	425
14.9.1. Αναστολείς ανάπτυξης κρυστάλλων	426
14.9.2. Διασπαρτικά	430
14.9.3. Συμπλοκοποιητικά	430
14.9.4. Μείωση της διαθεσιμότητας των ανθρακικών / ασβεστίου	431
14.10. Αντιμετώπιση πυριτικών και θειούχων επικαθήσεων	432
14.11. Αντιμετώπιση βιολογικών επικαθήσεων	432
14.12. Επικαθήσεις στους λέβητες	433
14.13. Κόστος επικαθήσεων	434
14.14. Μέτρηση επικαθήσεων	435
14.15. Χαρακτηρισμός επικαθήσεων	436
14.15.1. Ρυθμός σχηματισμού	436
14.15.2. Ορυκτές φάσεις	437
14.15.3. Χημική ανάλυση	437
14.15.4. Πυκνότητα και πορώδες	437
15. ΔΙΑΒΡΩΣΗ	438
15.1. Εισαγωγή	438
15.2. Θεωρία της διάβρωσης από το νερό	439
15.3. Τύποι διάβρωσης	441
15.3.1. Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση	441
15.3.2. Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση	441
15.3.3. Διάβρωση ρωγμών	442
15.3.4. Διάβρωση με βελονισμούς	445
15.3.5. Διακρυσταλλική διάβρωση	446
15.3.6. Επιλεκτική απομάκρυνση	446
15.3.7. Μηχανική διάβρωση	446
15.3.8. Διαβρωτική θραύση	446

15.4. Θερμοδυναμική θεώρηση της διάβρωσης	447
15.4.1. Διάβρωση του σιδήρου σε όξινο περιβάλλον	447
15.4.2. Διάβρωση του σιδήρου παρουσία οξυγόνου	448
15.4.3. Μη κανονικές συνθήκες	449
15.5. Κινητική της διάβρωσης	450
15.5.1. Πόλωση ενεργοποίησης	451
15.5.2. Πόλωση συγκέντρωσης	455
15.5.3. Παθητικότητα	456
15.6. Ιδιότητες του νερού που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης	457
15.6.1. pH του νερού	459
15.6.2. Διαλυμένο οξυγόνο	463
15.6.3. Θερμοκρασία	463
15.6.4. Ταχύτητα ροής του νερού	465
15.6.5. Χλώριο	466
15.6.6. Διαλυτά άλατα	466
15.6.7. Παρουσία μικροοργανισμών	467
15.6.8. Σχηματισμός επικαθήσεων	468
15.7. Μέτρηση της διάβρωσης	468
15.7.1. Μέθοδος απώλειας βάρους	469
15.7.2. Μικροσκοπική εξέταση	470
15.7.3. Μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης	470
15.7.4. Ηλεκτροχημική μέτρηση	471
15.8. Αντιμετώπιση των προβλημάτων διάβρωσης	472
15.8.1. Επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής	472
15.8.2. Τροποποίηση του διαβρωτικού περιβάλλοντος	473
15.8.3. Βελτιωμένη σχεδίαση μερών που εκτίθενται σε διαβρωτικό περιβάλλον	475
15.8.4. Καθοδική και ανοδική προστασία	476
15.8.5. Επικάλυψη με προστατευτικά στρώματα	478
15.9. Διάβρωση λεβήτων	479
15.9.1. Θεωρία της διάβρωσης του σιδήρου από το θερμό νερό	479
15.9.2. Θεωρία της διάβρωσης του σιδήρου από τον ατμό	485
15.9.3. Διαβρωτικότητα των συμπυκνωμάτων ατμού	486

15.10. Διάβρωση άλλων μετάλλων	487
15.10.1. Αργίλιο	487
15.10.2. Χαλκός	487
15.10.3. Γαλβανισμένος σίδηρος	487
15.10.3. Ορείχαλκος	489
15.11. Ανθεκτικότητα διαφόρων τύπων ανοξειδωτου	
χάλυβα σε νερό με υψηλή συγκέντρωση σε Cl^- και SO_4^{2-}	490
15.11.1. Αντοχή στην έναρξη της διάβρωσης	490
15.11.2. Απαιτούμενος χρόνος για την έναρξη της διάβρωσης	491
15.11.3. Αντοχή σε διάβρωση με ρωγμές	492
15.12. Επίδραση του θαλασσινού νερού	
στο κράμα αργιλίου A95086	493
15.13. Επίδραση του θαλασσινού νερού	
στο κράμα χαλκού C70600	493
16. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ	495
16.1. Εισαγωγή	495
16.2. Άμεση και έμμεση κατανάλωση πόσιμου νερού	495
16.3. Νερό και διατροφή	496
16.3.1. Επίδραση των στοιχείων ποσοτικού χαρακτήρα	496
16.3.2. Ιχνοστοιχεία στο πόσιμο νερό	502
16.3.3. Αμύαντος	510
16.4. Οργανικά	511
16.4.1. Επιπτώσεις των οργανικών συστατικών του πόσιμου νερού στην υγεία	511
16.4.2. Κυριότεροι οργανικοί ρυπαντές	514
16.5. Εναλλακτικές λύσεις προστασίας της υγείας	522
16.5.1. Εμφιαλωμένο νερό	523
16.5.2. Ατομικά συστήματα βελτίωσης της ποιότητας του νερού	524
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	526
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	540