



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διπλωματική εργασία του  
Παναγιώτη-Θεόδωρου Καραγιαννάκη

**ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ  
ΣΕ ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ**

Επιβέπων: Καθ. Αντώνης Κοκόσσης

Αθήνα, Ιανουάριος 2012



## Περιεχόμενα

Πίνακες .....	5
Εικόνες .....	8
1. Εισαγωγή .....	13
2. Βιο-διυλιστηριακή Μονάδα .....	14
Χαρακτηριστικά Α΄ Υλών και Προϊόντων .....	16
Περιγραφή των Διεργασιών .....	17
Μονάδα Απομάκρυνσης Οξέων .....	20
Μονάδα ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης .....	23
Μονάδα συγκέντρωσης σακχάρων C-5.....	29
3. Τεχνολογία κόμβων ανάσχεσης .....	33
Κόμβος Ανάσχεσης .....	36
4. Εξοικονόμηση νερού-συμβατικές τεχνολογίες .....	39
Υπολογισμός στόχων .....	39
5. Ανάλυση αποκλίσεων τεχνολογίας και αποτελεσμάτων .....	44
5.1 Έλεγχος Υποθέσεων .....	44
5.2 Καινούργιες σχέσεις .....	44
5.3 Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης.....	45
5.3.1 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο ρεύμα εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας αυτών στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη .....	46
5.3.2 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης και κλασματος μάζας οξέων στο ρεύμα στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη .....	48
5.3.3 Βελτιστοποίηση .....	50
5.3.4 Παραμετρική Ανάλυση .....	54
5.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση αριθμού δίσκων στήλης απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας οξέων στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη .....	75
5.4 Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στα ρεύματα εισόδου της στήλης έκπλυσης.....	78
5.4.1 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο πρώτο ρεύμα εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου .....	79
Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου .....	82
Παραμετρική Ανάλυση .....	85

Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο δεύτερο ρεύμα εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου .....	98
Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής του δεύτερου ρεύματος εισόδου στην στήλη έκπλυσης και κλασμάτων μάζας των οξέων στα ρεύματα εξόδου.....	101
Παραμετρική Ανάλυση .....	104
Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα εισόδου της στήλης απογύμνωσης .....	122
Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο ρεύμα εισόδου στην στήλη απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου.....	123
Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου στην στήλη απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας οξέων στα ρεύματα εξόδου .....	125
Παραμετρική Ανάλυση .....	127
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα .....	141
Ασετικό Οξύ .....	141
Φορμικό Οξύ.....	143
6. Αναθεώρηση τεχνολογίας και στόχων .....	145
Αναθεώρηση στόχων.....	145
Γενίκευση συμπερασμάτων .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Περιορισμοί και υπολογιστικές ανάγκες .....	147
Μαθηματικό Μοντέλο.....	163
7. Συμπεράσματα .....	148
Ασετικό Οξύ .....	149
Φορμικό Οξύ.....	150
8. Βιβλιογραφία.....	153
9. Παράρτημα.....	155
Παραμετρική ανάλυση ασετικού οξέος .....	156
Παραμετρική ανάλυση φορμικού οξέος.....	160

## Πίνακες

Πίνακας 1. Σύσταση τροφοδοσίας Λιγνοκυτταρινούχου Διυλιστηρίου .....	16
Πίνακας 2. Σύσταση μίγματος σακχάρων (M. Delmas ,2008).....	17
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά ρευμάτων διεργασίας απομάκρυνσης οξέων .....	22
Πίνακας 4. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση του ασετικού οξέος	39
Πίνακας 5. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση του φορμικού οξέος.....	40
Πίνακας 6. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση των C-5 σακχάρων .....	40
Πίνακας 7. Ρεύμα P014-Όρια συγκέντρωσης.....	45
Πίνακας 8. Κλάσμα μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση .....	51
Πίνακας 9. Κλάσμα μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση .....	52
Πίνακας 10. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	55
Πίνακας 11. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	58
Πίνακας 12. Αποτελέσματα ανάλυσης για AACID <sub>P011bis</sub> =450 Kg/hr.....	61
Πίνακας 13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την διεργασία απομάκρυνσης οξέων.....	61
Πίνακας 14. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 450 Kg/hr<AACID <sub>P011bis</sub> <550 Kg/hr .....	61
Πίνακας 15 . Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	63
Πίνακας 16. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	67
Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την διεργασία απομάκρυνσης οξέων.....	67
Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 250 Kg/hr<FACID <sub>P011bis</sub> <400 Kg/hr .....	68
Πίνακας 19. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 14 .....	70
Πίνακας 20. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P011bis .	71
Πίνακας 21. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 30 .....	72
Πίνακας 22. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P011bis	73
Πίνακας 23. Τιμές συγκέντρωσης ρευμάτων εξόδου υπάρχουσας διεργασίας.....	78
Πίνακας 24. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	85
Πίνακας 25. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 0 Kg/hr<AACID <sub>P011BISN</sub> <193,75 Kg/hr .....	87
Πίνακας 26. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	88

Πίνακας 27. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ρών για για 0 Kg/hr<FACID <sub>P011BISN</sub> <100 Kg/hr.....	89
Πίνακας 28. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 62.....	90
Πίνακας 29. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN .....	91
Πίνακας 30. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 71.....	94
Πίνακας 31. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN .....	95
Πίνακας 32. Συστάσεις ρευμάτων εισόδου-εξόδου αποστακτικής στήλης.....	104
Πίνακας 33. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	106
Πίνακας 34. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	109
Πίνακας 35. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ρών για για 0 Kg/hr<AACID <sub>P021NT</sub> <6000 Kg/hr .....	111
Πίνακας 36. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	112
Πίνακας 37. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ρών για για 0 Kg/hr<FACID <sub>P021NT</sub> <4687,5 Kg/hr .....	114
Πίνακας 38. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 87 .....	115
Πίνακας 39. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN.....	116
Πίνακας 40. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 100.....	119
Πίνακας 41. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN.....	120
Πίνακας 42. Τιμές συγκέντρωσης ρευμάτων εξόδου υπάρχουσας διεργασίας.....	122
Πίνακας 43. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	127
Πίνακας 44. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ρών για για 0 Kg/hr<AACID <sub>P021NT</sub> <412,5 Kg/hr .....	129
Πίνακας 45. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας .....	129
Πίνακας 46. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ρών για για 0 Kg/hr<FACID <sub>P027TER</sub> <6000 Kg/hr .....	131
Πίνακας 47. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 115.....	132
Πίνακας 48. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN.....	133
Πίνακας 49. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακα 125 .....	136
Πίνακας 50. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER για κάθε απαιτούμενη ροή του ίδιου ρεύματος .....	137
Πίνακας 51. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού ασετικού οξέος .....	141
Πίνακας 52. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού ασετικού οξέος .....	142
Πίνακας 53. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού φορμικού οξέος .....	143
Πίνακας 54. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού φορμικού οξέος.....	143
Πίνακας 55. Αναθεώρηση στόχων.....	145

Πίνακας 56. Περιορισμοί αλληλουχίας διεργασιών .....	166
Πίνακας 57. Μεταβολές τιμών παροχής καθαρού νερού .....	169
Πίνακας 58. Μεταβολές τιμών παροχής αποσταγμένου νερού .....	170
Πίνακας 59. Μεταβολές τιμών συνολικής παροχής νερού εισόδου σε διεργασίες .....	171
Πίνακας 60. Μεταβολές τιμών συνολικής παροχής νερού εξόδου από διεργασίες .....	171
Πίνακας 51. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού ασετικού οξέος .....	149
Πίνακας 52. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού ασετικού οξέος .....	149
Πίνακας 53. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού φορμικού οξέος .....	150
Πίνακας 54. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού φορμικού οξέος .....	150
Πίνακας 61. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου .....	151

## Εικόνες

Εικόνα 1. Διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα Λιγνοκουτταρινούχο Διυλιστήριο .....	15
Εικόνα 10. Συνολικό Ισοζύγιο Μάζας Λιγνοκουτταρινούχου διυλιστηρίου σε ξηρή βάση, για τροφοδοσία 100tn/hr.....	16
Εικόνα 3. Διάγραμμα ροής συνολικής διεργασίας (B. Benjeloun, 2010).....	18
Εικόνα 12. Κύριες διεργασίες ενός Λιγνοκουτταριούχο Διυλιστήριο .....	19
Εικόνα 17. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας απομάκρυνσης οξέων .....	21
Εικόνα 18. Διεργασία απομάκρυνσης οξέων-Διάγραμμα ροής.....	21
Εικόνα 75. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας ιζηματοποίησης-κατακάθισης λιγνίνης ...	23
Εικόνα 76. Εννοιολογικό διάγραμμα μονάδας ιζηματοποίησης .....	24
Εικόνα 77. Εννοιολογικό διάγραμμα pressing stage.....	24
Εικόνα 78. Εννοιολογικό διάγραμμα μονάδας έκπλυσης.....	25
Εικόνα 79. Διεργασία ιζηματοποίησης και διήθησης της λιγνίνης-Διάγραμμα ροής .....	26
Εικόνα 12. Ιζηματοποίηση-Διάγραμμα ροής .....	26
Εικόνα 81. Pressing stage-Διάγραμμα ροής.....	27
Εικόνα 82. Μονάδα έκπλυσης-Διάγραμμα ροής .....	28
Εικόνα 126. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας συγκέντρωσης σακχάρων C-5.....	29
Εικόνα 127. Βασικό διάγραμμα μονάδας απόσταξης.....	29
Εικόνα 128. Βασικό διάγραμμα στήλης απογύμνωσης .....	30
Εικόνα 129. Διεργασία συγκέντρωσης σακχάρων C-5.....	30
Εικόνα 130. Στήλη απόσταξης-Διάγραμμα ροής.....	31
Εικόνα 131. Στήλη απογύμνωσης-Διάγραμμα ροής .....	32
Εικόνα 1. Απεικόνιση χρήσης νερού .....	33
Εικόνα 6. Η μείωση της παροχής νερού περιορίζεται από την ελάχιστη δυνατή παροχή ή την μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση στο ρεύμα εξόδου .....	34
Εικόνα 4. Ένα εναλλακτικό profil νερού χρησιμοποιεί περισσότερο νερό αλλά δέχεται ελάχιστα μολυσμένο νερό.....	35
Εικόνα 5. Οριακή γραμμή λειτουργίας.....	35
Εικόνα 6. Περιοριστικές υδατικές ευθείες για τέσσερις τυχαίες διεργασίες .....	36
Εικόνα 7. Σχεδιασμός σύνθετης περιοριστικής καμπύλης .....	37
Εικόνα 8. Σχεδιασμός Κόμβου Ανάσχεσης και Ευθείας παροχής νερού .....	37
Εικόνα 9. Βελτιστοποίηση της υπερδομής.....	38
Εικόνα 13. Περιοριστικές υδατικές ευθείες για όλες τις διεργασίες.....	41
Εικόνα 14. Σχεδιασμός σύνθετης περιοριστικής καμπύλης του συστήματος .....	42
Εικόνα 15. Σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος (κόκκινο χρώμα) .....	42
Εικόνα 16. Οριακή γραμμή λειτουργίας.....	43
Εικόνα 19. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την παροχή του στο ρεύμα P011bis.....	46
Εικόνα 20. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την παροχή του στο ρεύμα P011bis.....	47
Εικόνα 21. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis .....	48
Εικόνα 22. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis .....	49



Εικόνα 23. Παροχή ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση.....	50
Εικόνα 24. Κλάσμα μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση .....	51
Εικόνα 25. Παροχή φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση.....	52
Εικόνα 26. Κλάσμα μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση .....	53
Εικόνα 27. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis .....	56
Εικόνα 28. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις AACID στο ρεύμα P011bis .....	56
Εικόνα 29. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για $AACID_{P011bis}=450$ Kg/hr .....	59
Εικόνα 30. Εικόνα 34 για εύρος τιμών $1000 < AACID_{P014} < 1100$ Kg/hr .....	60
Εικόνα 49. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για $450$ Kg/hr $< AACID_{P011bis} < 550$ Kg/hr .....	62
Εικόνα 50. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis .....	64
Εικόνα 51. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis .....	65
Εικόνα 68. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για $250$ Kg/hr $< FACID_{P011bis} < 400$ Kg/hr .....	68
Εικόνα 69. Εικόνα 72 για εύρος τιμών $200$ Kg/hr $< FACID_{P014} < 210$ Kg/hr.....	69
Εικόνα 70. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P011bis.....	71
Εικόνα 71. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P011bis.....	74
Εικόνα 72. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας τον αριθμό δίσκων στην στήλη απογύμνωσης .....	75
Εικόνα 73. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας τον αριθμό δίσκων στην στήλη απογύμνωσης .....	76
Εικόνα 74. Εξάρτηση κόστους εξοπλισμού από αριθμό δίσκων .....	77
Εικόνα 83. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	79
Εικόνα 84. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	79
Εικόνα 85. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	80

Εικόνα 86. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	80
Εικόνα 87. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	80
Εικόνα 88. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN .....	81
Εικόνα 89. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	82
Εικόνα 90. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	82
Εικόνα 91. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	83
Εικόνα 92. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	83
Εικόνα 93. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	83
Εικόνα 94. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN .....	84
Εικόνα 95. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για $100 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011BISN}} < 200 \text{ Kg/hr}$ .....	86
Εικόνα 96. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011BISN, για $0 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011BISN}} < 100 \text{ Kg/hr}$ .....	89
Εικόνα 97. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ρεύματος P021BISN .....	91
Εικόνα 98. Εικόνα 149 για διάστημα $0 < \text{AACID}_{\text{MASS FRAC}} < 0,02$ .....	92
Εικόνα 99. Εικόνα 149 για διάστημα $0,02 < \text{AACID}_{\text{MASS FRAC}} < 0,04$ .....	93
Εικόνα 100. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN .....	95
Εικόνα 101. Εικόνα 152 για διάστημα $0 < \text{FACID}_{\text{MASS FRAC}} < 0,006$ .....	96
Εικόνα 102. Εικόνα 152 για διάστημα $0,006 < \text{FACID}_{\text{MASS FRAC}} < 0,013$ .....	97
Εικόνα 103. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	98
Εικόνα 104. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	98
Εικόνα 105. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	99
Εικόνα 106. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	99
Εικόνα 107. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	99
Εικόνα 108. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT .....	100

Εικόνα 109. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	101
Εικόνα 110. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	101
Εικόνα 111. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	102
Εικόνα 112. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	102
Εικόνα 113. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	102
Εικόνα 114. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT .....	103
Εικόνα 115. Διάγραμμα ροής αποστακτικής στήλης .....	104
Εικόνα 116. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011BISN, για $0 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011BISN}} < 100 \text{ Kg/hr}$ .....	106
Εικόνα 117. Εικόνα 168 με προβολή της επιθυμητής τιμής ασετικού οξέος .....	107
Εικόνα 118. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για $100 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011NT}} < 6000 \text{ Kg/hr}$ .....	109
Εικόνα 119. Εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS από την ροή του οξέος στο ρεύμα P021NT .....	110
Εικόνα 120. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για $100 \text{ Kg/hr} < \text{FACID}_{\text{P011NT}} < 5000 \text{ Kg/hr}$ .....	113
Εικόνα 121. Εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS από την ροή του οξέος στο ρεύμα P021NT .....	114
Εικόνα 122. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN.....	116
Εικόνα 123. Εικόνα 212 για διάστημα $6118 \text{ Kg/hr} < \text{P021BISN}_{\text{MASS FLOW}} < 7500 \text{ Kg/hr}$ .....	117
Εικόνα 124. Εικόνα 212 για διάστημα $7500 \text{ Kg/hr} < \text{P021BISN}_{\text{MASS FLOW}} < 13500 \text{ Kg/hr}$ .....	118
Εικόνα 125. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN.....	120
Εικόνα 132. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του AACID στο ρεύμα P027TER .....	123
Εικόνα 133. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την παροχή του AACID στο ρεύμα P027TER .....	123
Εικόνα 134. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του FACID στο ρεύμα P027TER.....	124
Εικόνα 135. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την παροχή του FACID στο ρεύμα P027TER.....	124
Εικόνα 136. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER.....	125
Εικόνα 137. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER.....	125

Εικόνα 138. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER.....	126
Εικόνα 139. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER.....	126
Εικόνα 140. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P027TER, για $100 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011NT}} < 500 \text{ Kg/hr}$ .....	128
Εικόνα 141. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P027TER, για $100 \text{ Kg/hr} < \text{FACID}_{\text{P011NT}} < 6000 \text{ Kg/hr}$ .....	130
Εικόνα 108. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος .....	133
Εικόνα 109. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος για το διάστημα $0 < \text{P027TER}_{\text{AACID MASS FRAC}} < 0,02$ .....	134
Εικόνα 110. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος για το διάστημα $0,019 < \text{P027TER}_{\text{AACID MASS FRAC}} < 0,021$ .....	134
Εικόνα 111. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος .....	137
Εικόνα 112. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα $0 < \text{P027TER}_{\text{FACID MASS FRAC}} < 0,03$ .....	138
Εικόνα 113. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα $0,03 > \text{P027TER}_{\text{FACID MASS FRAC}} > 0,01$ .....	139
Εικόνα 114. . Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα $0,01 < \text{P027TER}_{\text{FACID MASS FRAC}} < 0,81$ .....	140
Εικόνα 115. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από την υπάρχουσα διεργασία.....	172
Εικόνα 116. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από το μοντέλο, χρησιμοποιώντας τα ίδια συγκεντρωσιακά όρια με αυτά της υπάρχουσας διεργασίας .....	172
Εικόνα 117. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από το μοντέλο, χρησιμοποιώντας τα νέα συγκεντρωσιακά όρια που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη.....	173

## 1. Εισαγωγή

Το νερό χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία σε μια πληθώρα παραγωγικών διαδικασιών για διάφορους σκοπούς :

- Ως μέσο αντίδρασης (σε υγρή ή αέρια μορφή)
- Σε διεργασίες εκχύλισης
- Ως ατμός σε διεργασίες απογύμνωσης
- Για τον καθαρισμό και απολύμανση του εξοπλισμού

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα των σημερινών βιομηχανιών, τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής πλευράς είναι η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου φρέσκου νερού. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μείωση της ποσότητας του φρέσκου νερού που χρησιμοποιείται σε ένα βιοδιυλιστήριο και η αύξηση της ποσότητας αυτού που ανακυκλώνεται ή επαναχρησιμοποιείται.

Επίτευξη του σκοπού θα σημαίνει μείωση του κόστους που σχετίζεται τόσο με την αγορά όσο και με την επεξεργασία του νερού, πριν αυτό καταλήξει πάλι στο περιβάλλον. Επίσης, η προώθηση της εικόνας της βιομηχανίας μέσω προγραμμάτων κοινωνικής ευθύνης, θα την καταστήσει πιο γνωστή και περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένη στο ευρύ κοινό.

Πιο συγκεκριμένα θα εξεταστεί ένα βιο-διυλιστήριο στο οποίο γίνεται μεγάλη χρήση οξέων κατά την παραγωγική διεργασία τα και τα οποία έρχονται σε επαφή με καθαρό νερό. Σαν αποτέλεσμα το νερο «μολύνεται» αφού η συγκέντρωση των οξέων σε αυτό αυξάνεται. Οι αναλύσεις ευαισθησίας έχουν στόχο την εύρεση των διεργασιών αυτών που επιτρέπουν την χρήση αυτού του «μολυσμένου» νερού, χωρίς βέβαια να επηρεάζουν το τελικό προϊόν. Επίσης εξετάζεται το μέγιστο όριο συγκέντρωσης οξέων στα ρεύματα νερού που χρησιμοποιούνται από τις διεργασίες αυτές, κάτι το οποίο συντελεί στην περαιτέρω ελαχιστοποίηση χρήσης φρέσκου νερού.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας και βελτιστοποιήσεις. Πριν από όλα αυτά όμως πρέπει να διαπιστωθεί σε ποιες μονάδες της συνολικής διεργασίας είναι σκόπιμο να μελετήσουμε τυχόν αλλαγές, έτσι ώστε αυτές να είναι αποτελεσματικές και να έχουν το επιθυμητό οικονομικό αντίκτυπο.

Συνοπτικά η εργασία αποτελείται από τα εξής μέρη,

- Περιγραφή της βιο-διυλιστηριακής μονάδας
- Ανάπτυξη τεχνολογίας Κόμβου Ανάσχεσης
- Συμβατικές τεχνολογίες για την εξοικονόμηση νερού
- Ανάλυση αποκλίσεων συμβατικής τεχνολογίας και αποτελεσμάτων
- Αναθεώρηση υπάρχουσας τεχνολογίας και στόχων
- Συμπεράσματα

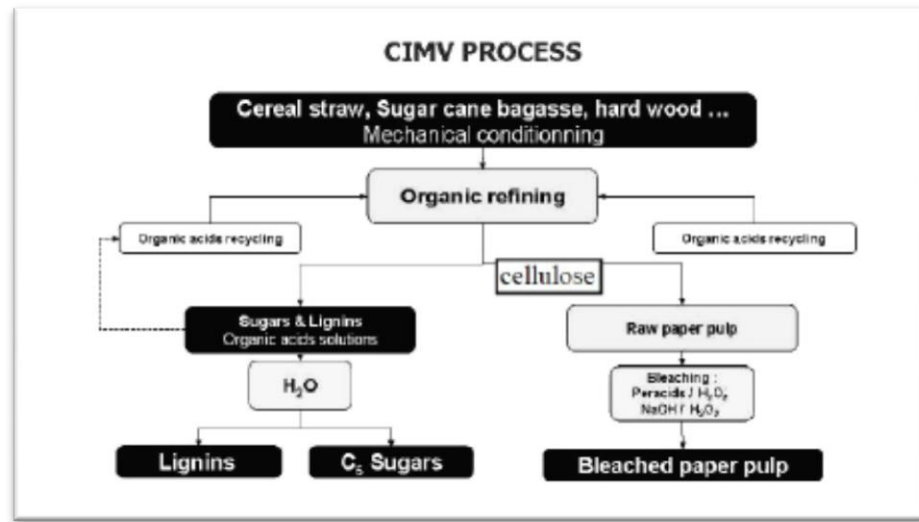
## 2. Βιο-δυλιστηριακή Μονάδα

Τα βίο-δυλιστήρια είναι μονάδες με μεγάλες απαιτήσεις σε νερό. Το παράδειγμα του βιοδυλιστηρίου που εξετάζεται χρησιμοποιεί περισσότερο από 44tn/hr νερό μόνο για την απομάκρυνση συστατικών από ρεύματα διεργασιών, και περίπου 15tn/hr νερό ως διαλύτη σε διάφορες αντιδράσεις. Εφαρμόζεται η τεχνική της ολοκλήρωσης δικτύων νερού (Robin Smith, 2001) έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι νέοι μειωμένοι στόχοι αναγκών φρέσκου νερού και να προταθεί ένα σύνολο δικτύων που εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό.

Παράλληλα μειώνεται η ροή του νερού που, είτε απευθείας είτε κατόπιν επεξεργασίας, αποβάλλεται στο περιβάλλον. Επίσης, δεδομένου ότι το κόστος των μονάδων επεξεργασίας νερού αυξάνεται αναλογικά με την ποσότητα του νερού που επεξεργάζεται, η μείωση του αποβαλλόμενου νερού έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κεφαλαίου των μονάδων αυτών.

Ένα τέτοιο δυλιστήριο εστιάζεται στην παραγωγή πολτού χαρτιού, ο οποίος μετέπειτα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή λιγνίνης, χωρίς θειικά κατάλοιπα, και ξυλόζης (A.D. Mountraki et al, 2011). Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται κυρίως στάχια και σκληρό ξύλο, παραπροϊόντα των γεωργικών καλλιεργιών. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται επιτρέπει στην βιομάζα να διαχωρίζεται χωρίς να αλλοιώνονται σημαντικά τα συστατικά της ενώ παράλληλα προσφέρει ελκυστικές ευκαιρίες για την διατίμηση της κυτταρίνης, της λιγνίνης και της ξυλόζης. Η παρουσία του πυριτίου δεν επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα, αντιθέτως είναι πιθανό να αυξήσει την αξία της συνολικής διεργασίας (M. Delmas, 2008). Όπως ένα συμβατικό δυλιστήριο πετρελαίου παράγει καύσιμα και διάφορα άλλα χημικά προϊόντα, η υπάρχουσα διαδικασία είναι πολύ πιθανό μακροπρόθεσμα να παράγει βιο-καύσιμα και βιολογικά υποκατάστατα διάφορων χημικών προϊόντων και αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο υποψήφιο για ένα μελλοντικό βιο-δυλιστήριο.

Η υπάρχουσα διαδικασία παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 1 και περιγράφει τις βασικές διεργασίες ενός πιλοτικού εργοστασίου εγκατεστημένο στον βιομηχανικό χώρο της εταιρίας ARD, η οποία βρίσκεται βορειοανατολικά της Γαλλίας. Έχοντας τεθεί σε λειτουργία από το 2006, η πιλοτική μονάδα χρησιμοποιεί εξοπλισμό συμβατικής τεχνολογίας και έχει την δυνατότητα επεξεργασίας 100 Kg/hr ξηρής βιομάζας.



Εικόνα 1. Διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα Λιγνοκυτταρινούχο Διυλητήριο

Σύμφωνα με την διεργασία,

- Η βιομάζα αρχικά αναμιγνύεται με τα οργανικά οξέα έτσι ώστε να διαλυθεί η λιγνίνη και να υδρολυθούν οι ημι-κυταρρίνες.
- Έπειτα τα διαλυτικά μέσα απομακρύνονται με φιλτράρισμα και ο ακατέργαστος πολτός λευκαίνεται με χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τα οργανικά οξέα διαχωρίζονται και θέτονται σε επανακυκλοφορία.
- Το υπολειπόμενο σιρόπι αναμιγνύεται με νερό, έτσι ώστε να κατακαθίσει και να διαχωριστεί από την λιγνίνη.
- Το ακατέργαστο σιρόπι, το οποίο μοιάζει με μολάσες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών

## Χαρακτηριστικά Α' Υλών και Προϊόντων

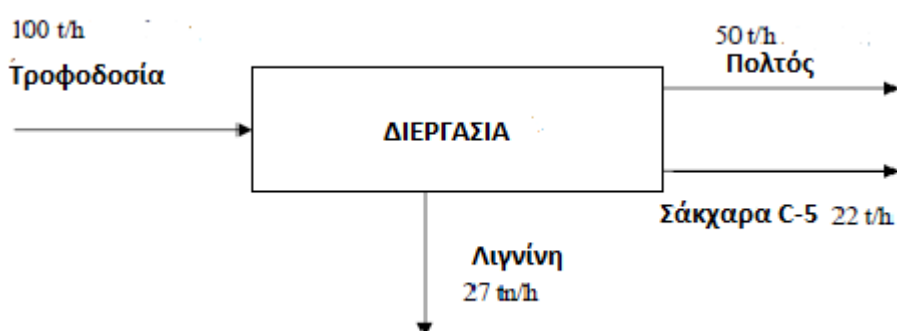
Η σύσταση των πρώτων υλών επηρεάζει σημαντικά τον σχεδιασμό της διεργασίας καθώς και την ποιότητα της παραγόμενης αιθανόλης. Η σύσταση της τροφοδοσίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1,

Πίνακας 1. Σύσταση τροφοδοσίας Λιγνοκυτταρινούχου Διυλιστηρίου

Συστατικό	% Ξηρή Βάση
Κυτταρίνη	50
Ημι-κυτταρίνη	22
Λιγνίνη	26
Λοιπά	1

Καθώς το μίγμα των οργανικών οξέων και νερού διαχωρίζει την κυτταρίνη, την ημι-κυτταρίνη και την λιγνίνη, η πλειοψηφία των παράγωγων του πυριτίου κατακρατείται στον πολτό (όπως προστάζουν οι συνθήκες ανάμιξης με τα οξέα). Αξίζει να σημειωθεί ότι στον παραπάνω πίνακα δεν εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό αγνώστων σε σύσταση διαλυμένων στερεών, τα οποία είτε δεν χαρακτηρίζονται είτε έχουν άγνωστη σύσταση. Στα υπολογιστικά μοντέλα, η συγκέντρωση των «Λοιπών» συστατικών θεωρείται ενσωματωμένη στην σύσταση της λιγνίνης.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα των συστάσεων και θεωρώντας ροή μάζας ακατέργαστης τροφοδοσίας ίση με 100 tn/hr, προκύπτει το σχήμα στην Εικόνα 2. Η λιγνίνη και το μίγμα των σακχάρων C5 αποτελούν τροφοδοσίες προς άμεση εκμετάλλευση για την μετέπειτα παραγωγή άλλων προϊόντων. Η σύσταση του μίγματος σακχάρων απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα και οι φυσικές ιδιότητες των σακχάρων C-5 μοντελοποιούνται με βάση την ξυλόζη.



Εικόνα 2. Συνολικό Ισοζύγιο Μάζας Λιγνοκυτταρινούχου διυλιστηρίου σε ξηρή βάση, για τροφοδοσία 100tn/hr



Πίνακας 2. Σύσταση μίγματος σακχάρων (M. Delmas ,2008)

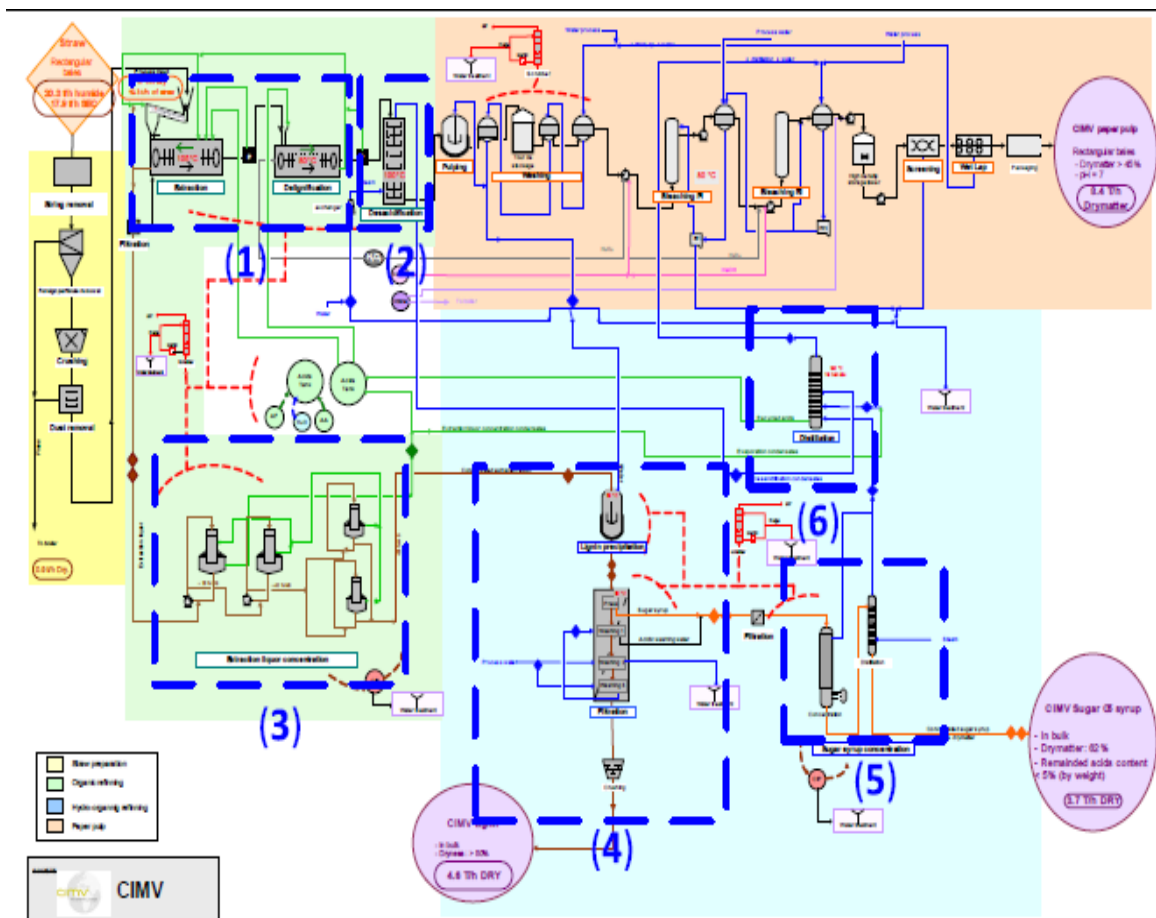
Συστατικά Μίγματος Σακχάρων	Ξηρή Βάση (%)
Ανόργανη ύλη	19
Λιπίδια	3,8
Πρωτεΐνες	6,3
Τανίνες	5,5
Φουρφουράλη	0,02
HFM	-
Ελεύθερη Ξυλόζη	11,8
Ελεύθερη Αραβινόζη	6,25
Ελεύθερη Γλυκόζη	0
<b>Σύνολο ελεύθερων Σακχάρων</b>	<b>18</b>
Bounded Ξυλόζη	27
Bounded Αραβινόζη	2,75
Bounded Γλυκόζη	3,25
<b>Σύνολο bounded Σακχάρων</b>	<b>33</b>
<b>Συνολικά Σάκχαρα</b>	<b>51</b>

### Περιγραφή των Διεργασιών

Οι 6 κύριες διεργασίες παριστάνονται στο διάγραμμα της Εικόνα 3. Αναλυτικότερα, αυτές είναι :

- Διεργασία εκχύλισης –απομάκρυνσης της λιγνινής
- Διεργασία απομάκρυνσης των οξέων
- Διεργασία υγρών εξατμιστήρων
- Διεργασία ιζηματοποίησης και διήθησης της λιγνίνης
- Διεργασία συγκέντρωσης C-5 σακχάρων
- Διεργασία απόσταξης

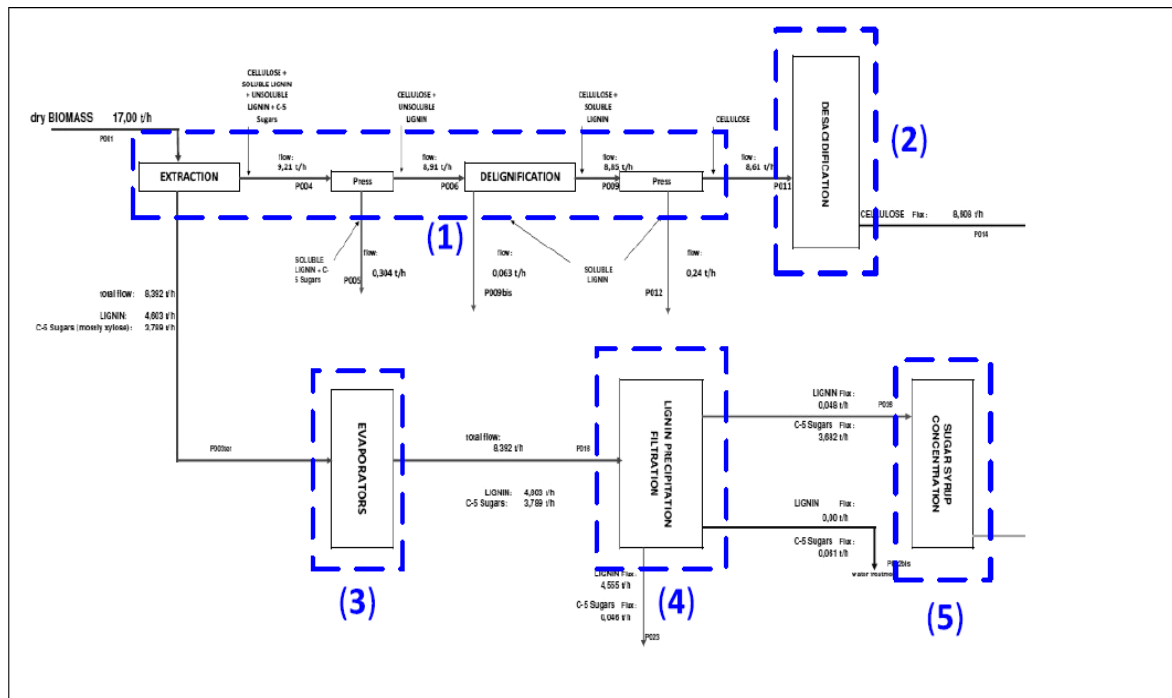
Στο παρακάτω σχήμα οι μονάδες παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές,



Εικόνα 3. Διάγραμμα ροής συνολικής διεργασίας (B. Benjeloun, 2010)

Ένα πιο συνοπτικό και εμπειριστατωμένο διάγραμμα της συνολικής διεργασίας απεικονίζεται στο σχήμα της Εικόνα 4. Σε αυτό δεν περιλαμβάνονται

- Η μονάδα απόσταξης, υπεύθυνη για τον διαχωρισμό οξέων και νερού
- Το δίκτυο ανακύκλωσης
- Οι αποθηκευτικές δεξαμενές των οξέων



Εικόνα 4. Κύριες διεργασίες ενός Λιγνοκυτταριούχο Διαλυστήριο

Σύμφωνα με αυτό :

- Η βιομάζα (19,32 tn; 17 tn ξηρή βάση), μέσω του ρεύματος P001, εισέρχεται στην διεργασία σε μία βαθμίδα δύο αντιδράσεων, όπου υδρολύεται και λευκαίνεται με χρήση οξέων και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Η διεργασία διαλύει την λιγνίνη, την κυτταρίνη και τις ημι-κυτταρίνες, μετατρέποντάς τες σε ολιγο- και μόνο- σακχαρίτες. Οι ροές που προκύπτουν παρουσιάζουν μεγάλη συγκέντρωση σε ξυλόζη. Δυο ενδιάμεσα στάδια φιλτραρίσματος απομακρύνουν και ανακυκλώνουν τους διαλύτες
- Τα υπολειπόμενα οξέα απομακρύνονται από τον πολτό με χρήση ατμού
- Το οργανικό διάλυμα P003ter μέσω των σταδίων εξάτμισης FE1 έως FE4 απομακρύνει τα οξέα, τα οποία και ανακυκλώνονται, μέσω του ρεύματος P015bis. Τελικά, το μίγμα σακχάρων συγκεντρώνεται και απορρέει μέσω του ρεύματος P016.
- Χρησιμοποιώντας νερό και την εφαρμόζοντας πίεση (E3 και FG1), η λιγνίνη κατακάθεται στο ρεύμα P023
- Η ζάχαρη διαχωρίζεται από τα οξέα και το νερό με μια διεργασία δύο σταδίων, η οποία περιλαμβάνει διεργασίες απόσταξης και απογύμνωσης.

Ο ολοκληρωτικός σχεδιασμός δικτύων νερού εστιάζεται στις διεργασίες στις οποίες το νερό χρησιμοποιείται ως μέσο για την απομάκρυνση συστατικών από τις ροές τις διεργασίας. Τα συστατικά τα οποία απομακρύνονται με τον τρόπο αυτό είναι,

- Το ασετικό οξύ (AA)
- Το φορμικό οξύ (FA)
- C-5 σακχάρων (C-5s)
- Η λιγνίνη

Οι διεργασίες όπου το νερό χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό είναι,

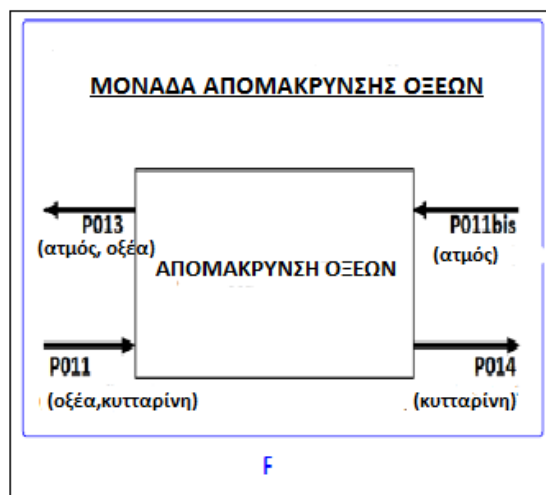
- Η μονάδα απομάκρυνσης των οξέων, όπου 13 tn/hr νερού απομακρύνουν 6,35 tn/hr ασετικού οξέος και 3,87 tn/hr φορμικού οξέος
- Η μονάδα ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης, όπου 24 tn/hr νερού απομακρύνουν 4 tn/hr ασετικού οξέος και 3,3 tn/hr σακχάρων C-5
- Μονάδα συγκέντρωσης σακχάρων C-5, όπου 6,5 tn/hr νερού απομακρύνουν 1,2 tn/hr ασετικού οξέος και 0,03 tn/hr φορμικού οξέος

Παρόλο που η λιγνίνη είναι συστατικό το οποίο απομακρύνεται από την διεργασία ιζηματοποίησης και διήθησης της λιγνίνης, δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς της ανάλυσης. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο ρεύμα δεν καταλήγει στην τελική μονάδα επεξεργασίας ή δεν αποβάλλεται στο περιβάλλον, αλλά συνεχίζει στις διεργασίες συγκέντρωσης των σακχάρων C-5 και της απόσταξης (A.D. Mountraki et al, 2011).

## **Μονάδα Απομάκρυνσης Οξέων**

### ***Περιγραφή Διεργασίας***

Στόχος της διεργασίας είναι η απομάκρυνση των οξέων από τον κυτταρικό πολτό πριν την διαδικασία έκπλυσης αυτού. Τα οξέα απομακρύνονται με την χρήση ατμού και στην συνέχεια ανακυκλώνονται. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με μια διαδικασία απογύμνωσης με τις ροές όπως παριστάνονται στο σχήμα. Το μίγμα οξέων και κυτταρίνης (ρεύμα P011bis) απορέει από την μονάδα Εκχύλισης-Απομάκρυνσης της Λιγνίνης, και πιο συγκεκριμένα από μια δεύτερη πρέσσα. Ο ατμός που χρησιμοποιείται στην απογύμνωση (ροή P011bis) ρέει με φορά αντίθετη του ρεύματος P013, έτσι ώστε να απομακρύνει και να διαχωρίσει τα οξέα που βρίσκονται στο ρεύμα αυτό. Έπειτα η κυτταρίνη, μαζί με στοιχεία οξέων και κυτταρίνης (ρεύμα P014), αποτελούν την τροφοδοσία για την μονάδα παραγωγής πολτού της συνολικής διεργασίας. Η Εικόνα 5 περιγράφει την διεργασία,



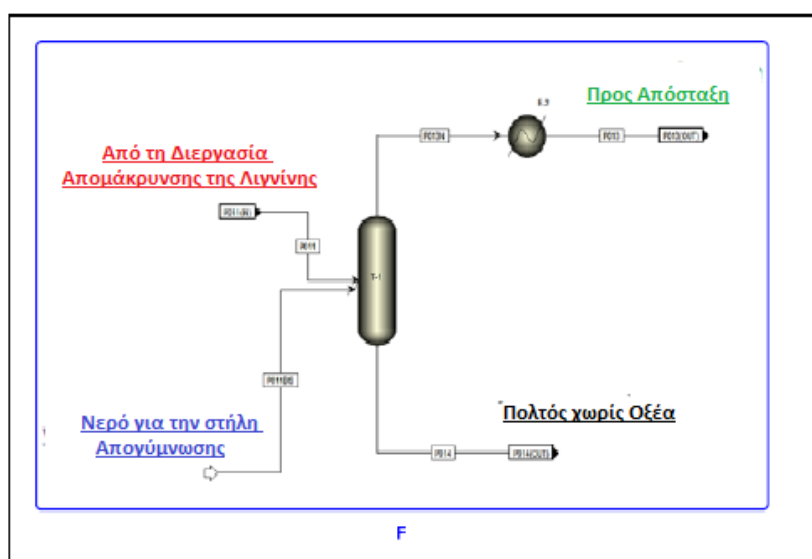
Εικόνα 5. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας απομάκρυνσης οξέων

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία (A.D. Mountraki et al, 2011),

- Η μονάδα έχει 3 δίσκους
- Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται από 90°C έως 100°C
- Η πίεση λειτουργίας είναι ίση με 1atm

### Διάγραμμα ροής

Παρουσιάζονται οι προδιαγραφές σχεδιασμού, οι παράμετροι που έχουν οριστεί και οι παραδοχές για τον περαιτέρω υπολογισμό της ροής των ρευμάτων, μετά την προσομοίωση. Χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*. Η στήλη απογύμνωσης (T-1) σχεδιάζεται με βάση το μοντέλο RADFRAC και το διάγραμμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 6,



Εικόνα 6. Διεργασία απομάκρυνσης οξέων-Διάγραμμα ροής

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία (A.D. Mountraki et al, 2011),

- Η στήλη αποτελείται από τρεις δίσκους (δεν χρησιμοποιείται συμπυκνωτής και αναβραστήρας)
- Το ρεύμα P011 (που προέρχεται από την μονάδα απομάκρυνσης της λιγνίνης) τροφοδοτεί τον πρώτο δίσκο και το ρεύμα P011bis (ατμός) τον τρίτο δίσκο
- Η πίεση λειτουργίας της στήλης είναι 1atm (αμελητέα πτώση πίεσης)
- Οι θερμοκρασίες των ρευμάτων P011 και P011bis είναι 85<sup>0</sup>C και 120<sup>0</sup>C αντίστοιχα

Πιο συγκεκριμένα τα ρεύματα εισόδου P011bis και P011in έχουν τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στον πίνακα 6. Το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά υπολογίζει τα χαρακτηριστικά των ρευμάτων εξόδου P013 και P014. Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά ρευμάτων διεργασίας απομάκρυνσης οξέων**

	<b>P011BIS</b>	<b>P011IN</b>	<b>P013</b>	<b>P014</b>
Substream: MIXED				
<b>Total Flow (kg/hr)</b>	13590,0006	14043,0006	21955,6443	5677,3569
<b>Temperature ( C )</b>	120,568218	85,0000177	100,000018	94,8334389
<b>Pressure (bar)</b>	2,00000064	1,01325009	1,01325009	1,01325009
Mass Flow (kg/hr)				
H2O	12910,0005	2510,00011	11001,282	4418,71863
AACID	440,000018	7463,00031	6848,90483	1054,09548
FACID	240,00001	4070,00015	4105,45742	204,542779
CELLULOS	0	0	0	0
Mass Frac				
H2O	0,94996321	0,17873674	0,50106851	0,77830559
AACID	0,03237674	0,53143915	0,31194279	0,18566659
FACID	0,01766004	0,28982411	0,1869887	0,03602781
CELLULOS	0	0	0	0
Substream: CISOLID				
<b>Total Flow (kg/hr)</b>	0	8610,00038	0	8610,00038
<b>Temperature ( C )</b>	-	85,0000177	-	94,8334389
<b>Pressure (bar)</b>	2,00000064	1,01325009	1,01325009	1,01325009
Mass Flow (kg/hr)				
H2O	0	0	0	0
AACID	0	0	0	0
FACID	0	0	0	0
CELLULOS	0	8610,00038	0	8610,00038
Mass Frac				
H2O	0	0	0	0
AACID	0	0	0	0
FACID	0	0	0	0
CELLULOS	0	1	0	1

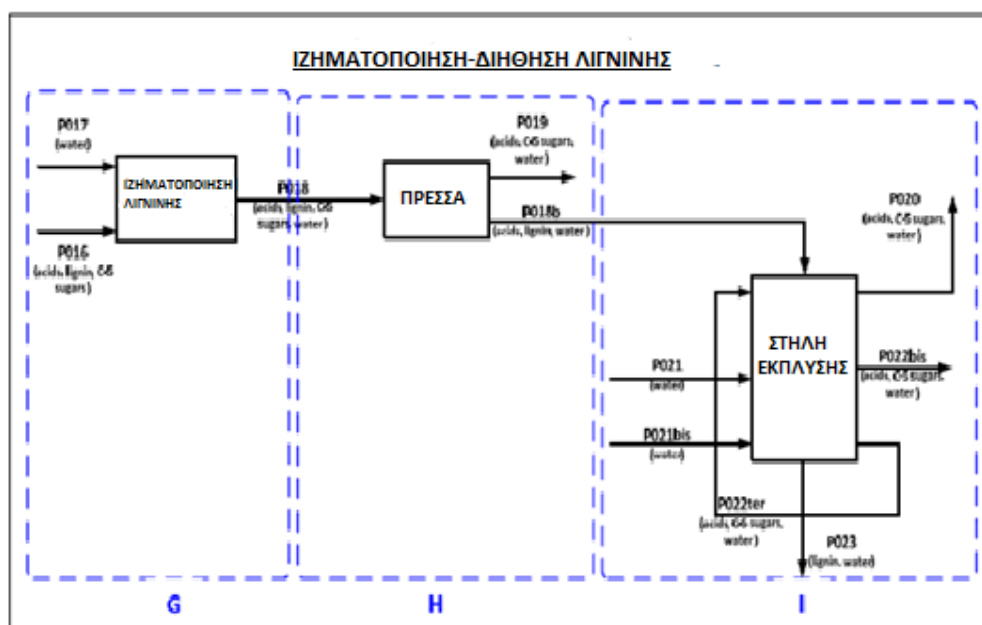
## Μονάδα ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης

### Περιγραφή διεργασίας

Στόχος της μονάδας είναι ο διαχωρισμός της λιγνίνης από τον υπόλοιπο πολτό (A.D. Mountraki et al, 2011). Περιλαμβάνει τρία στάδια,

- Την ιζηματοποίηση
- Την πρέσσα
- Την έκπλυση

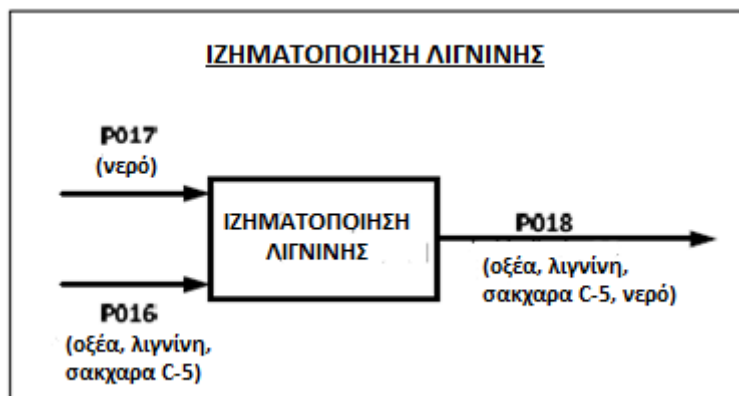
Στο σχήμα παρουσιάζεται η συνολική διεργασία. Κάθε στάδιο περιβάλλεται από διακεκομένες γραμμές. Το σχήμα περιγράφεται στην Εικόνα 7,



Εικόνα 7. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας ιζηματοποίησης-κατακάθισης λιγνίνης

### Ιζηματοποίηση

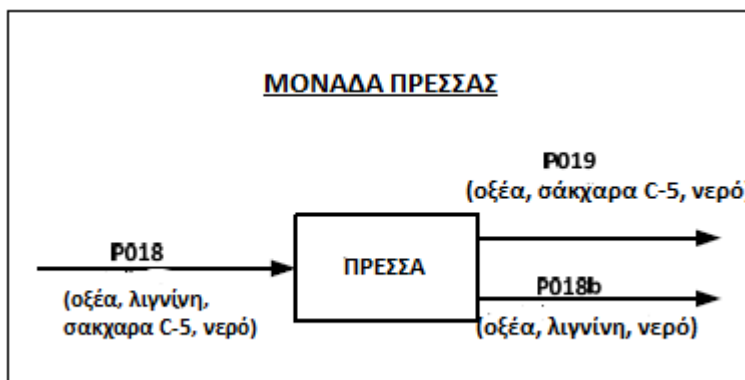
Στο στάδιο αυτό το ρεύμα των προϊόντων που προέρχεται από τους εξατμιστήρες (P016) αναμιγνύεται με νερό (P017) (A.D. Mountraki et al, 2011). Έτσι η λιγνίνη αραιώνεται από 36% σε 18% w/w. Το εννοιολογικό διάγραμμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8. Εννοιολογικό διάγραμμα μονάδας ιζηματοποίησης

### Πρέσσα

Στο στάδιο αυτό τα οξέα, το νερό και τα σάκχαρα C-5 (P019) απομακρύνονται με την χρήση πίεσης (A.D. Mountraki et al, 2011). Το εννοιολογικό διάγραμμα του σταδίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.

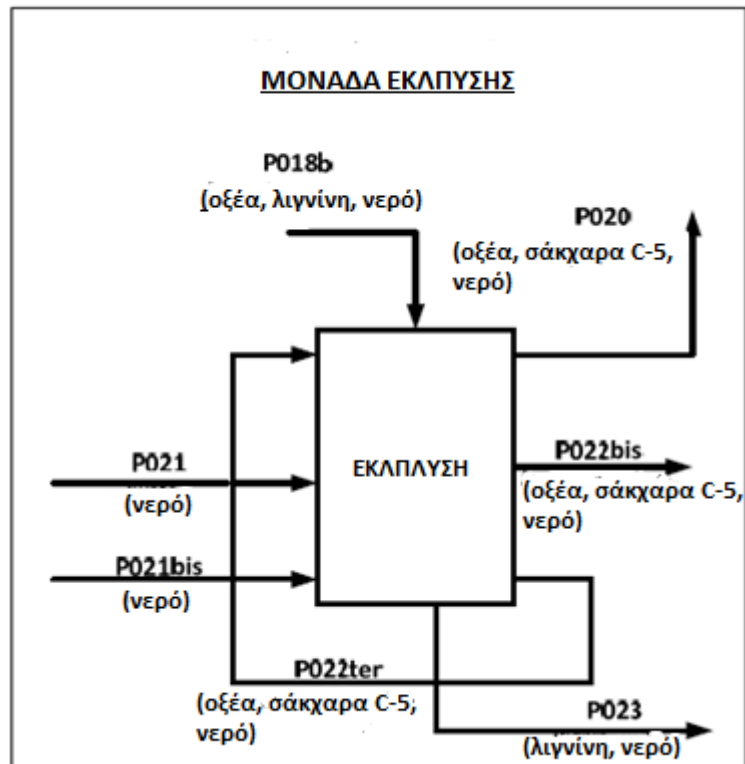


Εικόνα 9. Εννοιολογικό διάγραμμα pressing stage



### Στάδιο έκπλυσης

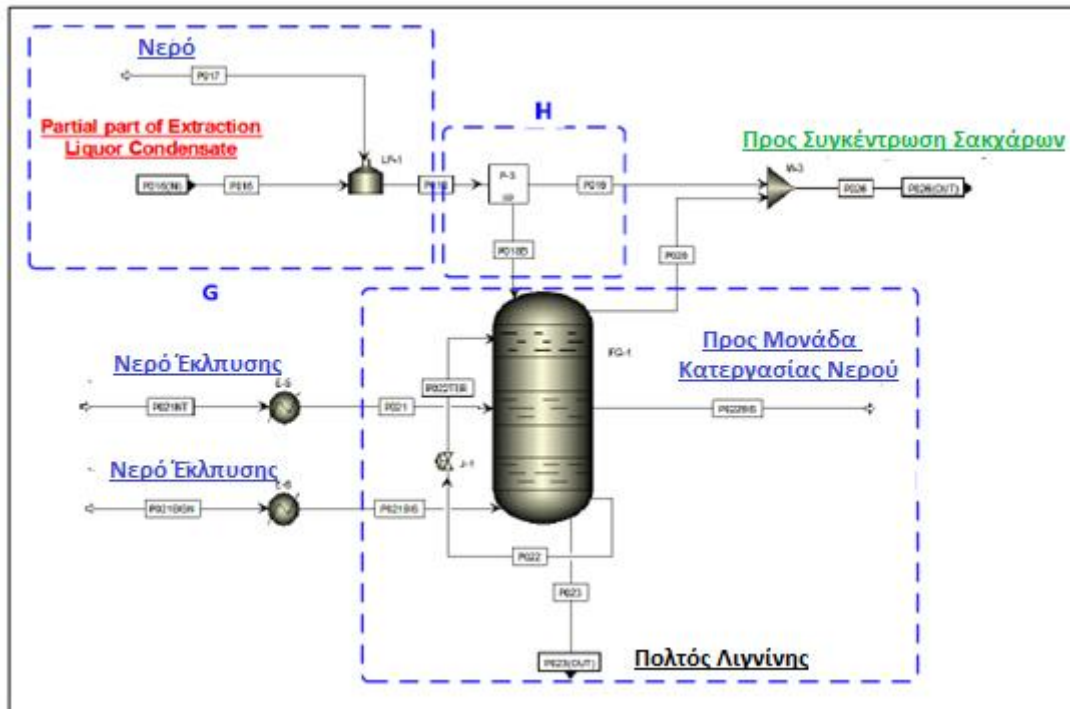
Το πλούσιο σε λιγνίνη ρεύμα (P018) διηθείται σε μία διεργασία έκπλυσης τριών σταδίων, με αποτέλεσμα την παραγωγή πολτού λιγνίνης (P023) περιεκτικότητας 64% w/w. Τα ρεύματα νερού P021 και P021bis χρησιμοποιούνται στο δεύτερο και τρίτο στάδιο αντίστοιχα (A.D. Mountraki et al, 2011). Το ρεύμα νερού το οποίο εξέρχεται από το τρίτο στάδιο (P022ter) ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται στο πρώτο. Το νερό, τα οξέα και τα σάκχαρα C-5 (P020 και P022bis) κατευθύνονται προς την διεργασία συγκέντρωσης σακχάρων για περαιτέρω κατεργασία. Το εννοιολογικό διάγραμμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Εννοιολογικό διάγραμμα μονάδας έκπλυσης

### Διάγραμμα ροής

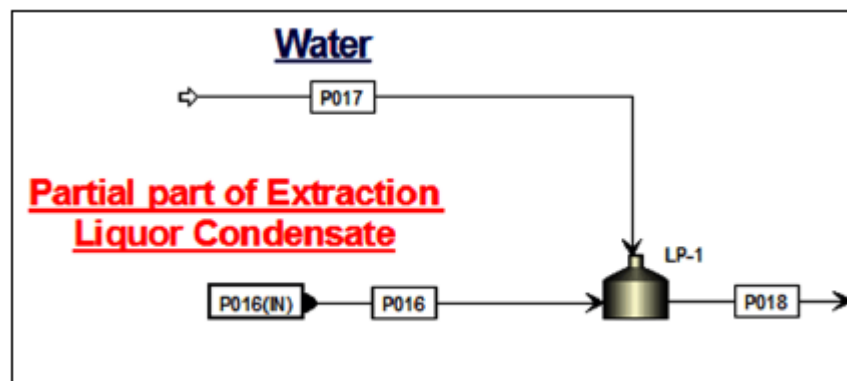
Παρουσιάζονται οι προδιαγραφές σχεδιασμού, οι παράμετροι που έχουν οριστεί και οι παραδοχές για τον περαιτέρω υπολογισμό της ροής των ρευμάτων, μετά την προσομοίωση. Για κάθε μονάδα χρησιμοποιείται διαφορετικό μοντέλο. Χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*. Οι μονάδες διαχωρίζονται με διακεκομμένες γραμμές και το συνολικό διάγραμμα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (A.D. Mountraki et al, 2011).



Εικόνα 11. Διεργασία ιζηματοποίησης και διήθησης της λιγνίνης-Διάγραμμα ροής

### Μονάδα ιζηματοποίησης

Ο σχεδιασμός του εναλλάκτη θερμότητας (LP-1) γίνεται με βάση το μοντέλο HEATER. Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα,



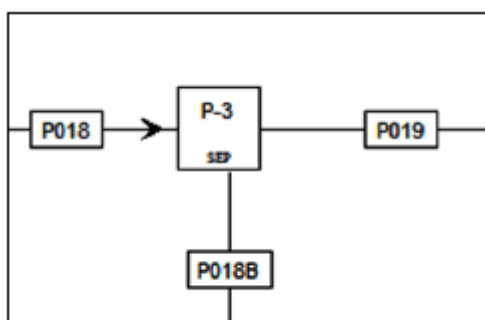
Εικόνα 12. Ιζηματοποίηση-Διάγραμμα ροής

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία (A.D. Mountraki et al, 2011),

- Η θερμοκρασία λειτουργίας του εναλλάκτη είναι 50°C
- Η πίεση λειτουργίας είναι 1atm
- Το ρεύμα νερού (P017) εισέρχεται στους 15°C (1atm) με παροχή 12,91 tn/hr. Περιέχει 12,2 tn/hr νερό και 0,73 tn/hr οξεία

### Πρέσσα

Ο σχεδιασμός του διαχωριστή (P-3) γίνεται με βάση το μοντέλο SEP. Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα,



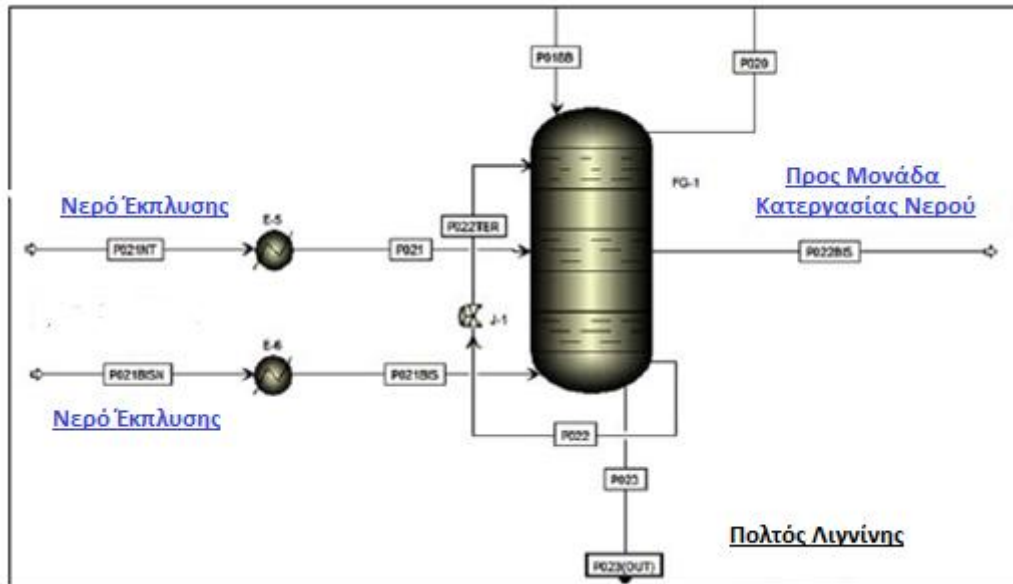
Εικόνα 13. Pressing stage-Διάγραμμα ροής

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία (A.D. Mountraki et al, 2011), η σύσταση του ρεύματος εξόδου P018b με συνολική ροή 7,08 tn/hr έχει οριστεί ως εξής

- 1,64 tn/hr νερό
- 0,42 tn/hr οξεία
- 0,46 tn/hr ξυλόζη
- 4,56 tn/hr λιγνίνη

### Μονάδα έκπλυσης

Η διήθηση της λιγνίνης έχει σχεδιαστεί ως μια μονάδα έκπλυσης πολλών σταδίων. Ο σχεδιασμός της γίνεται με βάση το μοντέλο CCD. Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα,



Εικόνα 14. Μονάδα έκπλυσης-Διάγραμμα ροής

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία (A.D. Mountraki et al, 2011),

- Η μονάδα αποτελείται από τρία στάδια
- Η πίεση λειτουργίας είναι 3 bars
- Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 50°C
- Στο πρώτο στάδιο εισέρχονται τα ρεύματα P018b, P022ter και P020
- Στο δεύτερο στάδιο εισέρχονται τα ρεύματα P021 και P022bis
- Στο τρίτο στάδιο εισέρχονται τα ρεύματα P021bis, P023 και P022
- Το νερό που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των οξέων παρέχεται από τα ρεύματα P021 και P021bis, με ροή 6,12 tn/hr το κάθε ένα

Για την απλοποίηση της ανάλυσης η συνολική διεργασία ιζηματοποίησης και Διήθησης της Λιγνίνης χωρίζεται σε δύο τμήματα, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει

- Τμήμα Α: μονάδα ιζηματοποίησης και την πρέσσα
- Τμήμα Β: μονάδα έκπλυσης

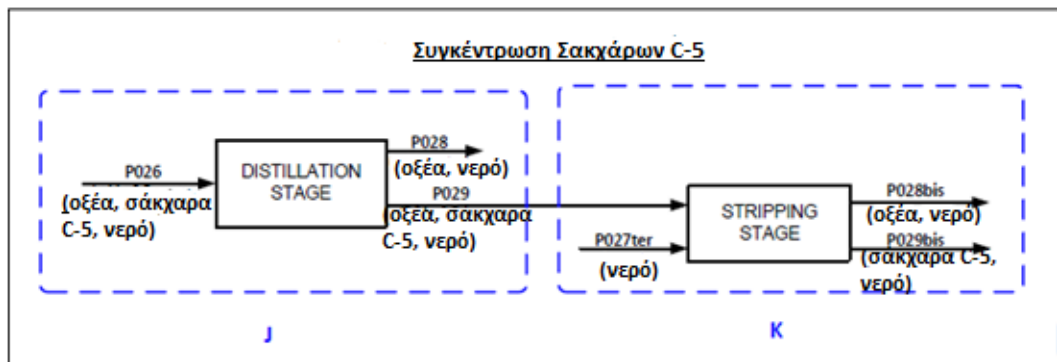
## Μονάδα συγκέντρωσης σακχάρων C-5

### Περιγραφή διεργασίας

Στόχος της μονάδας είναι ο διαχωρισμός των σακχάρων C-5 από τα οξέα και το νερό (A.D. Mountraki et al, 2011). Περιλαμβάνει δύο στάδια,

- Την απόσταξη
- Την στήλη απογύμνωσης

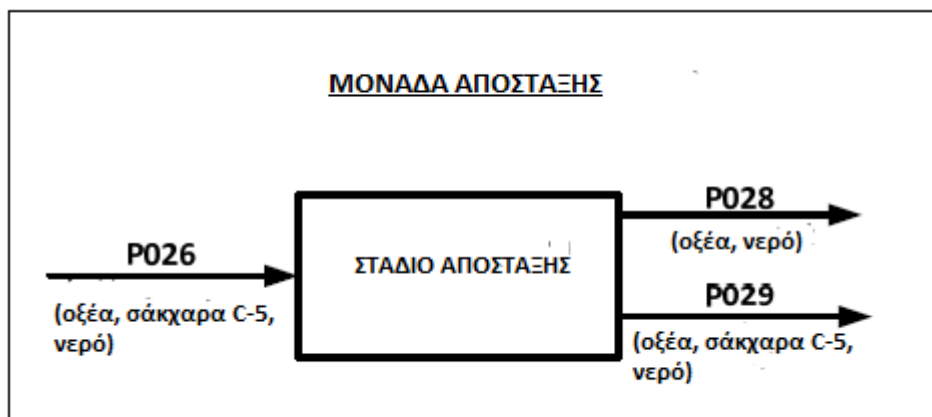
Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η συνολική διεργασία. Κάθε στάδιο περιβάλλεται από διακεκομμένες γραμμές.



Εικόνα 15. Εννοιολογικό διάγραμμα διεργασίας συγκέντρωσης σακχάρων C-5

### Απόσταξη

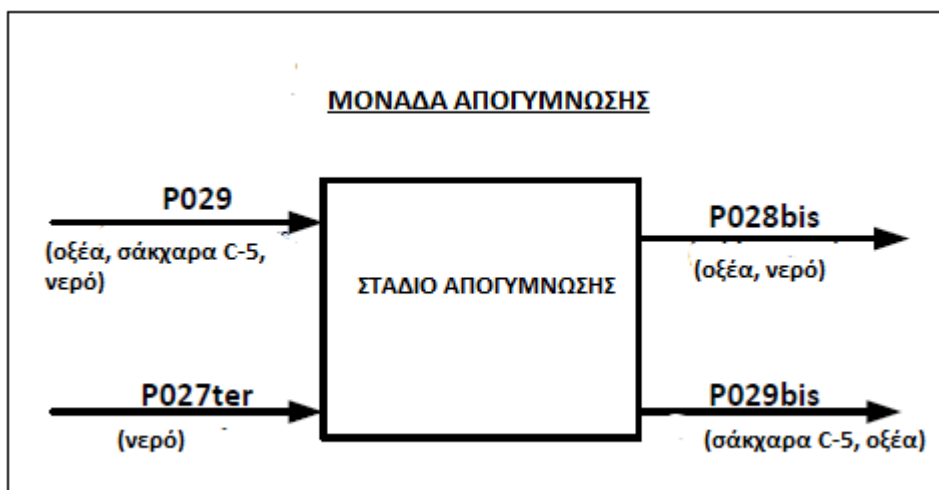
Στο στάδιο αυτό το μίγμα των οξέων με το νερό διαχωρίζεται με απόσταξη από τα σάκχαρα C-5 (ρεύμα P026) (A.D. Mountraki et al, 2011). Έτσι το ρεύμα P029 περιέχει 57% συγκέντρωση σε βιόμαζα και 17% συγκέντρωση σε οξέα. Το βασικό διάγραμμα της διεργασίας φαίνεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16. Βασικό διάγραμμα μονάδας απόσταξης

### Στήλη απογύμνωσης

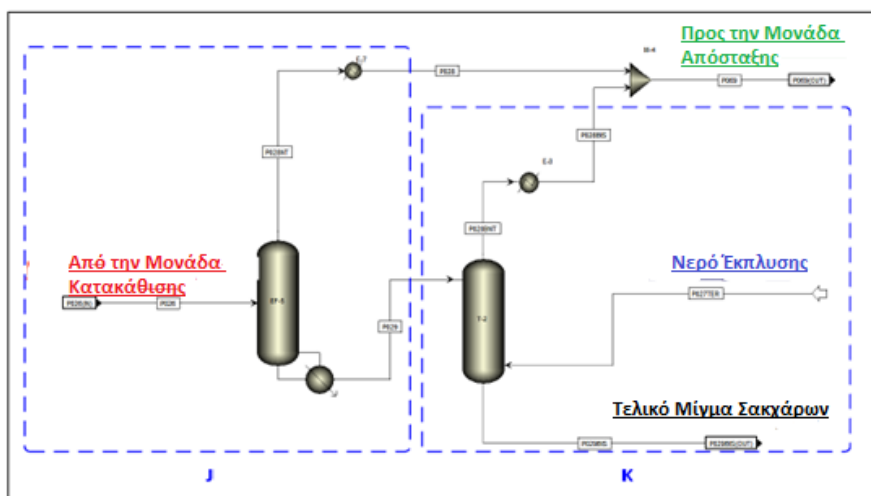
Στο στάδιο αυτό τα οξέα απομακρύνονται από το μίγμα του ρεύματος P029 με χρήση ατμού ( ρεύμα P027ter) (A.D. Mountraki et al, 2011) . Έπειτα το ρεύμα των οξέων και νερού (P028bis) που προκύπτει υφίσταται περαιτέρω κατεργασία στην τελική μονάδα απόσταξης. Έτσι η συγκέντρωση βιομάζας στο ρεύμα P029bis γίνεται 62%. Το βασικό διάγραμμα της διεργασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Βασικό διάγραμμα στήλης απογύμνωσης

### Διάγραμμα ροής

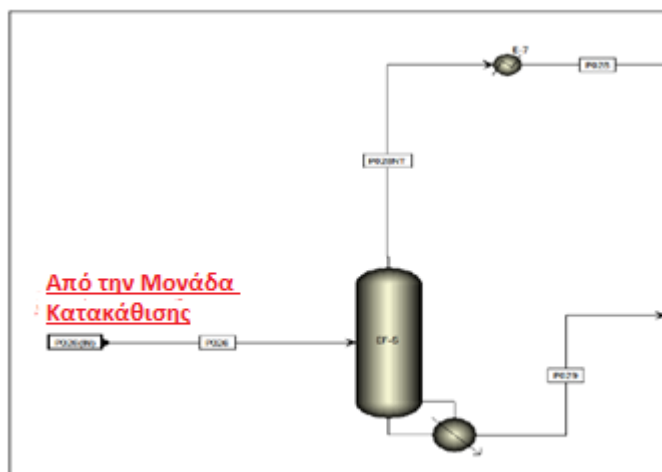
Παρουσιάζονται οι προδιαγραφές σχεδιασμού, οι παράμετροι που έχουν οριστεί και οι παραδοχές για τον περαιτέρω υπολογισμό της ροής των ρευμάτων, μετά την προσομοίωση. Για κάθε μονάδα χρησιμοποιείται διαφορετικό μοντέλο. Χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*. Οι μονάδες διαχωρίζονται με διακεκομμένες γραμμές και το συνολικό διάγραμμα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (A.D. Mountraki et al, 2011).



Εικόνα 18. Διεργασία συγκέντρωσης σακχάρων C-5

### Μονάδα απόσταξης

Ο σχεδιασμός της αποστακτικής στήλης (EF-5) γίνεται με βάση το μοντέλο RADFRAC (A.D. Mountraki et al, 2011). Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα,



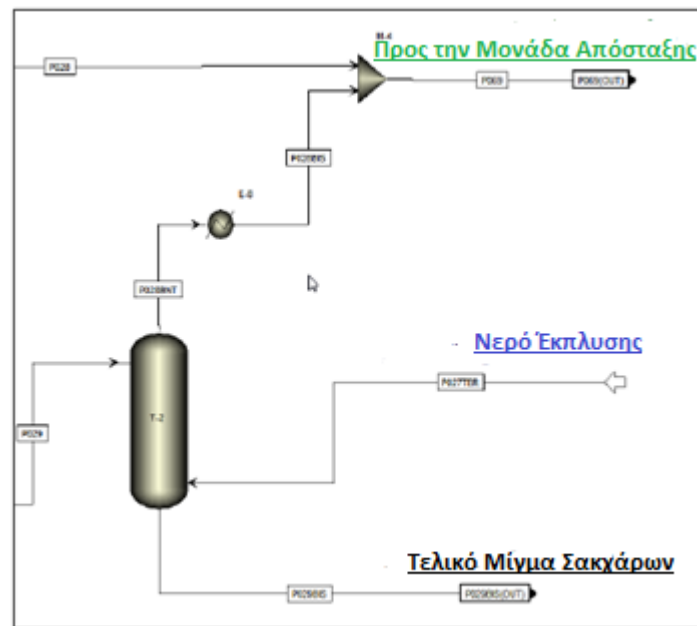
Εικόνα 19. Στήλη απόσταξης-Διάγραμμα ροής

Με βάση την υπάρχουσα διεργασία ,

- Η αποστακτική στήλη αποτελείται από τρεις δίσκους, με αναβραστήρα και χωρίς συμπυκνωτή
- Η ροή εξόδου (P029) είναι 6,5 tn/hr
- Το ρεύμα P026, από την μονάδα ιζηματοποίησης-διήθησης εισέρχεται στον πρώτο δίσκο
- Το ρεύμα P028NT εξέρχεται με μορφή ατμού από τον πρώτο δίσκο
- Το ρεύμα P029 εξέρχεται από τον τρίτο δίσκο σε υγρή μορφή
- Η πίεση του πρώτου δίσκου είναι 0,47 atm
- Η πτώση πίεσης είναι σε κάθε δίσκο είναι 0,001 atm

### Στήλη απογύμνωσης

Ο σχεδιασμός της στήλης (T-1) γίνεται με βάση το μοντέλο RADFRAC (A.D. Mountraki et al, 2011). Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα,



Εικόνα 20. Στήλη απογύμνωσης-Διάγραμμα ροής

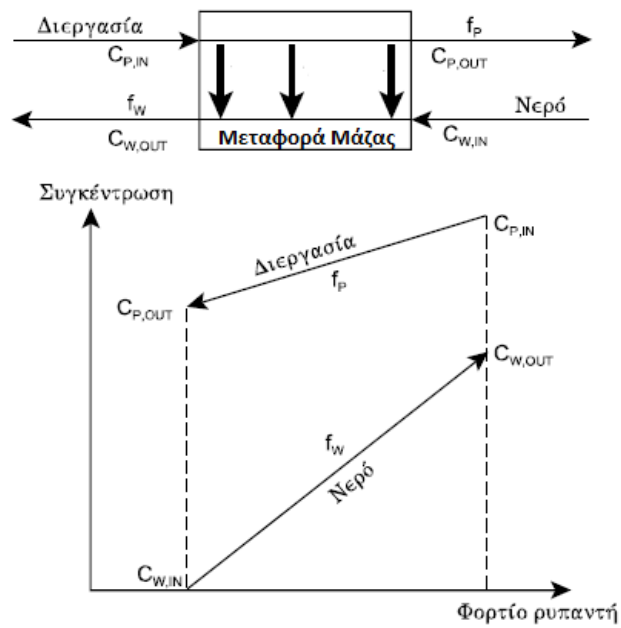
Με βάση την υπάρχουσα διεργασία

- Η στήλη αποτελείται από δύο δίσκους και δεν χρησιμοποιείται αναβραστήρας και συμπυκνωτής
- Το ρεύμα P029, που προέρχεται από την απόσταξη εισέρχεται στον πρώτο δίσκο
- Το ρεύμα P027TER τροφοδοτεί τον τρίτο δίσκο με μορφή ατμού
- Το ρεύμα P028BNT εξέρχεται από τον πρώτο δίσκο ως ατμός
- Το ρεύμα P029BIS εξέρχεται από τον τρίτο δίσκο σε υγρή μορφή
- Η πίεση στον πρώτο δίσκο είναι 0,468 atm
- Η πτώση πίεσης σε κάθε δίσκο είναι 0,01 atm



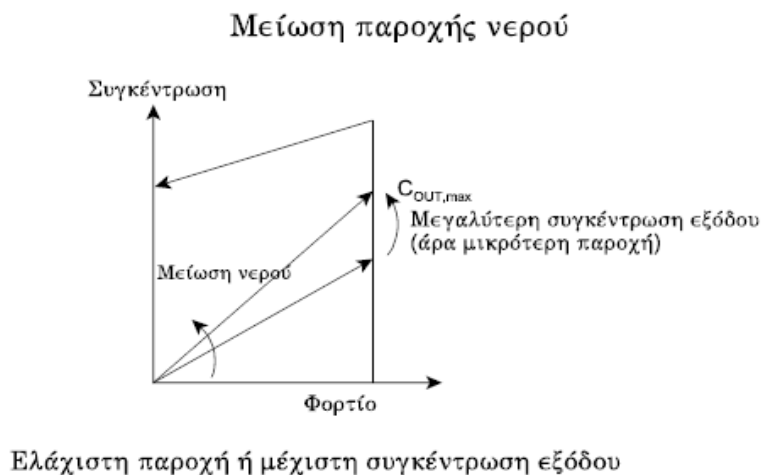
### 3. Τεχνολογία κόμβων ανάσχεσης

Το νερό έρχεται σε επαφή με τα υπόλοιπα συστατικά που λαμβάνουν μέρος στις διεργασίες και τελικά μολύνεται. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου απεικονίζεται ποιοτικά η εξάρτηση της μεταφοράς μάζας του συστατικού και της συγκέντρωσής του στο ρεύμα νερού.



Εικόνα 21. Απεικόνιση χρήσης νερού

Εάν σε μια διεργασία η παροχή του νερού μεταβληθεί λόγω κάποιας μεταβολής στην διαδικασία, τότε για την ίδια μεταφορά μάζας, η μείωση της ποσότητας του νερού θα οδηγήσει σε ευθεία μικρότερης κλίσης και άρα υψηλότερες συγκεντρώσεις στο ρεύμα εξόδου (Robin Smith, 2011), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 22:

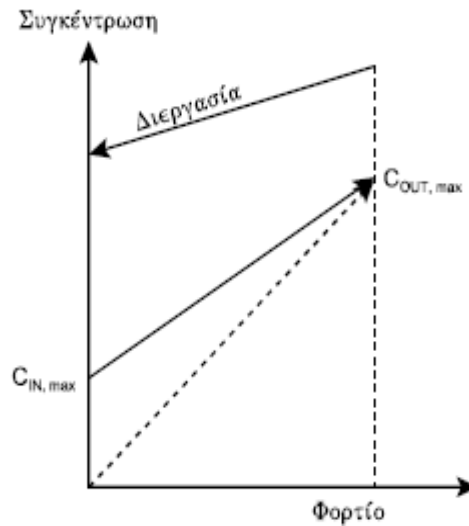


**Εικόνα 22. Η μείωση της παροχής νερού περιορίζεται από την ελάχιστη δυνατή παροχή ή την μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση στο ρεύμα εξόδου**

Η μείωση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου νερού μπορεί να περιορίζεται είτε επειδή η διεργασία έχει απαίτηση ελάχιστης παροχής νερού, κάτω από την οποία δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί, είτε επειδή η συγκέντωση του ρεύματος εξόδου οδηγεί στην μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή και δεν υπάρχει δυνατότητα αύξησης του ορίου αυτού. Η μέγιστη συγκέντωση προκύπτει από τον συνδιασμό διαφόρων παραμέτρων, όπως :

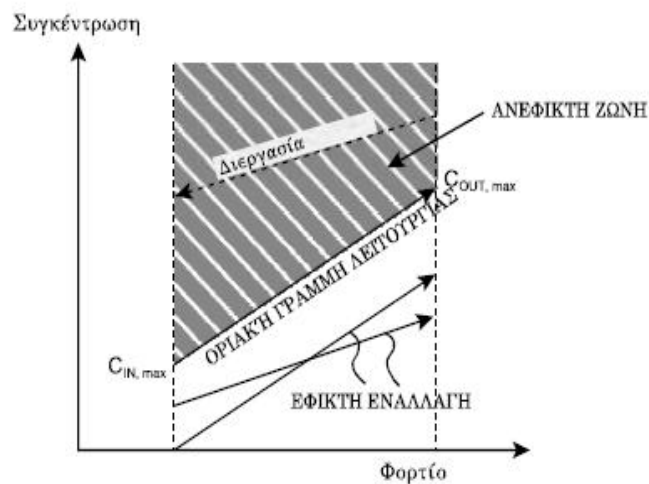
- Μέγιστη διαλυτότητα
- Περιορισμοί λόγω διάβρωσης
- Περιορισμοί λόγω δημιουργίας ακαθαρσιών στα ρεύματα
- Ελάχιστο δυναμικό μεταφοράς μάζας
- Ελάχιστες απαιτήσεις παροχής
- Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση εισόδου ρευστού στην μονάδα επεξεργασίας

Αν όλες οι διεργασίες χρησιμοποιούσαν καθαρό νερό, τότε η μείωση της παροχής του στην ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή θα οδηγούσε σε ελαχιστοποίηση της κατανάλωσής του, όπως φαίνεται και στην **Error! Reference source not found.** Όμως κάτι τέτοιο δεν επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού προϋποθέτει την ύπαρξη αποδεκτού ορίου συγκέντρωσης συστατικών στην είσοδο των διεργασιών. Η Εικόνα 23 απεικονίζει την περίπτωση όπου οι συγκεντρώσεις εισόδου και εξόδου έχουν όριστεί να έχουν την μέγιστη τιμή τους.



Εικόνα 23. Ένα εναλλακτικό profil νερού χρησιμοποιεί περισσότερο νερό αλλά δέχεται ελάχιστα μολυσμένο νερό

Έχοντας ορίσει την συνθήκη αυτή, κατά την οποία η συγκέντρωση εισόδου και η συγκέντρωση εξόδου παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους, ορίζεται η οριακή γραμμή λειτουργίας. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 24 η οριακή γραμμή λειτουργίας αποτελεί το όριο μεταξύ των εφικτών και των μη-εφικτών συγκεντρώσεων. Οι συγκεντρώσεις θεωρούνται εφικτές όταν βρίσκονται κάτω από αυτήν.



Εικόνα 24. Οριακή γραμμή λειτουργίας

Η προσέγγιση αυτή θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για τον καθορισμό των διεργασιών όπου το νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Μερικά από τα πλεονεκτήματά που παρουσιάζει είναι,

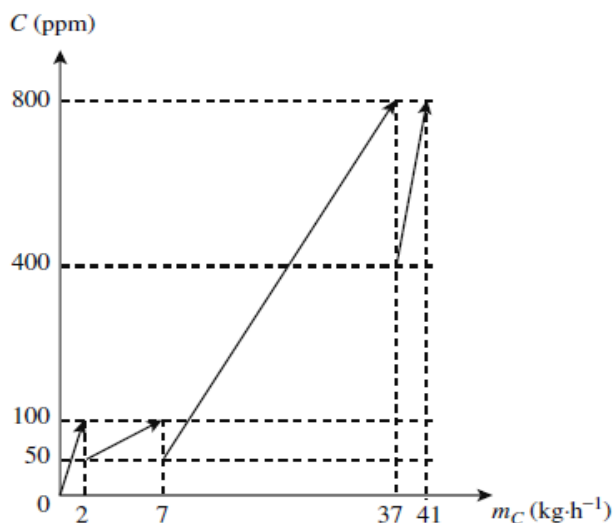
- Διεργασίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορούν να συγκριθούν σε κοινή βάση
- Δεν απαιτείται το μοντέλο της διεργασίας έτσι ώστε να αναπαρασταθεί η μεταφορά μάζας
- Δεν εξαρτάται από συγκριμένα πρότυπα ροής
- Εφαρμόζεται σε κάθε είδους διεργασία που χρησιμοποιείται νερό

### Κόμβος Ανάσχεσης

Υπολογίζονται οι στόχοι για τους οποίους ελαχιστοποιείται η χρήση φρέσκου νερού. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην ανάλυση *Κόμβου Ανάσχεσης Νερού* (Smith, 2005). Αρχικά συλλέγονται δεδομένα για όλα τα ρεύματα νερού που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία απομάκρυνσης συστατικών από τις ροές της διεργασίας. Στα δεδομένα αυτά περιλαμβάνονται στοιχεία σχετικά με την μάζα του κάθε συστατικού που πρέπει να απομακρυνθεί από τις ροές της διεργασίας και την μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση στα ρεύματα εισόδου και εξόδου.

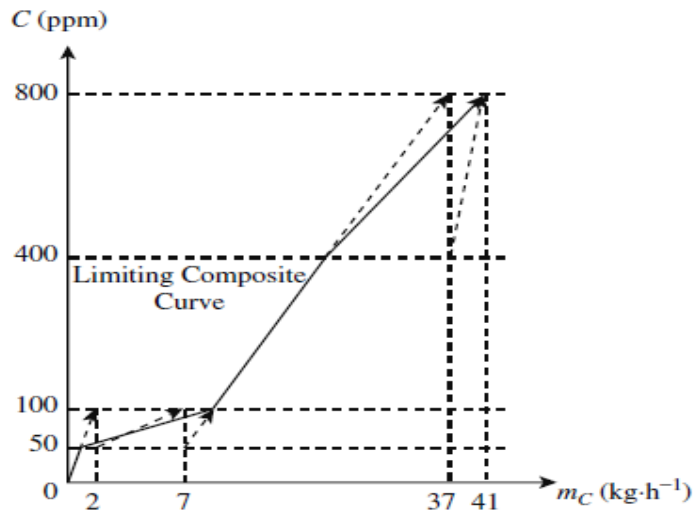
Η ανάλυση Κόμβου Ανάσχεσης Νερού ακολουθεί τα εξής βήματα,

- 1) Σχεδιάζονται οι περιοριστικές υδατικές ευθείες για όλες τις διεργασίες. Οι ευθείες απεικονίζονται σε διαγράμματα συγκέντρωσης έναντι του φορτίου μάζας του ρυπαντή.



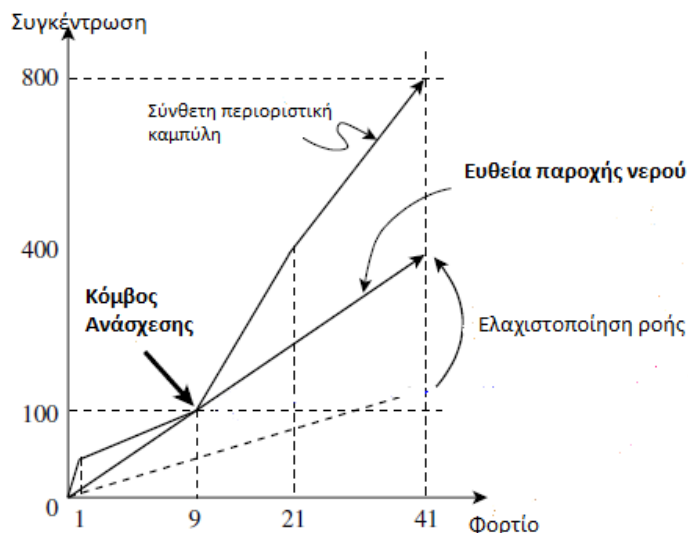
Εικόνα 25. Περιοριστικές υδατικές ευθείες για τέσσερις τυχαίες διεργασίες

2) Σχεδιάζεται σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος. Οι περιοριστικές υδατικές ευθείες της κάθε διεργασίας συνδιάζονται για να σχηματίσουν την σύνθετη περιοριστική καμπύλη. Το διάγραμμα χωρίζεται σε διαστήματα συγκέντρωσης και το φορτίο μάζας μέσα σε κάθε διάστημα συνδιάζεται έτσι ώστε να σχηματιστεί η καμπύλη. Αυτό αναπαριστά το ποιοτικό προφίλ ενός υποθετικού ρεύματος που είναι ισοδύναμο με το σύνολο των ξεχωριστών ρευμάτων. Αποτελεί ένα συνδιασμένο όριο μεταξύ του εφικτού και του ανέφικτου για το σύνολο των διεργασιών που πραγματοποιούνται.



Εικόνα 26. Σχεδιασμός σύνθετης περιοριστικής καμπύλης

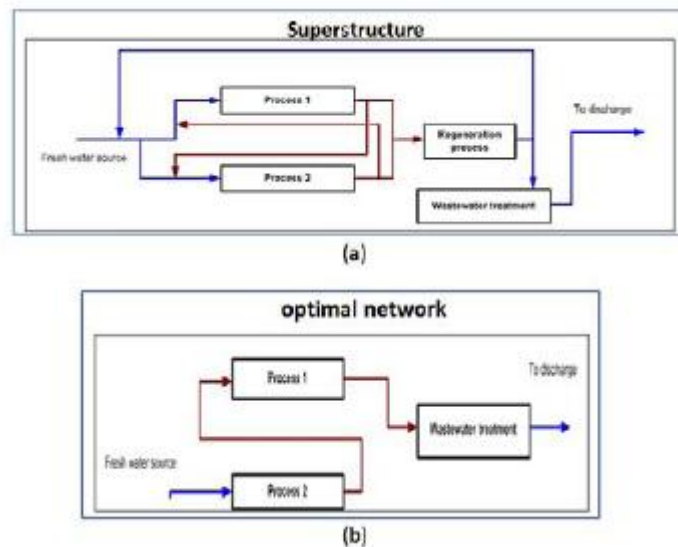
3) Στοχεύεται η ελάχιστη ροή νερού. Η ευθεία παροχής νερού σχεδιάζεται για να αναπαριστά την παροχή νερού. Ξεκινάει από μηδενική συγκέντρωση. Μπορεί να σχεδιαστεί με οποιαδήποτε κλίση, αρκεί να βρίσκεται κάτω από την σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος.



Εικόνα 27. Σχεδιασμός Κόμβου Ανάσχεσης και Ευθείας παροχής νερού

Η μέθοδος του Κόμβου Ανάσχεσης προσδιορίζει τους στόχους οι οποίοι μπορούν να επιτευχθούν αν το νερό επαναχρησιμοποιηθεί ή/και αναγέννηθεί-ανακύκλωθεί.

Ο σχεδιασμός επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού και βελτιστοποίηση της υπερδομής (Alva-Argaez, 1999). Κατά την κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων των υπερδομών, λαμβάνονται υπόψιν όλες οι πιθανές διασυνδέσεις μεταξύ των διεργασιών καθώς και το σύνολο των περιορισμών σύνδεσης και συγκέντωσης (a). Η βελτιστοποίηση της υπερδομής προσδιορίζει ένα δίκτυο υδατικών διεργασιών (b) το οποίο προσεγγίζει τους στόχους, που έχουν οριστεί προηγουμένως από την ανάλυση του Κόμβου Ανάσχεσης και ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς.



Εικόνα 28. Βελτιστοποίηση της υπερδομής

Με βάση τα δεδομένα της υπάρχουσας διεργασίας, κατασκευάζονται υπολογιστικά μοντέλα για περαιτέρω αναλύσεις ευαισθησίας και τυχόν βελτιστοποιήσεις.

Ως υπολογιστικό εργαλείο για την κατασκευή των διαγραμμάτων ροής επιλέγεται το *Aspen Plus*, αφού χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία και έχει την δυνατότητα σύνδεσης με τα περισσότερα εμπορικά εργαλεία προσομοίωσης (*SuperPro*, *gProms* κ.α). Τα υπολογιστικά αυτά μοντέλα κάνουν χρήση θερμοδυναμικών και φυσικών ιδιοτήτων του *Aspen Suit* καθώς και ιδιοτήτων διατυπωμένες από τον NREL (R.J Woolley & V.Putsche, 1996). Παράλληλα αποτελούν σημείο αναφοράς και μία αρχική προσέγγιση της πραγματικής διεργασίας. Η άμεση χρήση τους έχει σαν αποτέλεσμα βελτιστοποιήσεις σχετικά με διάφορες σχεδιαστικές παραμέτρους και καταστάσεις λειτουργίας. Επίσης είναι απαραίτητα για τυχόν ολοκληρωτικές αναλύσεις, έτσι ώστε να εκτιμάται αν η εγκατάσταση δύναται να χρησιμοποιεί αποτελεσματικότερα τους διαθέσιμους πόρους της.

## 4. Εξοικονόμηση νερού-συμβατικές τεχνολογίες

Η ενότητα αυτή ασχολείται με τον καθορισμό των στόχων για τους οποίους ελαχιστοποιείται η παροχή νερού. Παρουσιάζονται οι τεχνικές που πρόκειται να ακολουθηθούν για τον καθορισμό των στόχων αυτών αναφορικά με την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την αναγέννηση του νερού.

Αρχικά καθορίζονται οι διεργασίες που έχουν μεγάλη απαίτηση σε νερό, έπειτα κατατάσσονται τα συστατικά που απομακρύνονται ή/και ανακυκλώνονται με την βοήθεια του νερού και τέλος εφαρμόζεται η τεχνική ολοκλήρωσης δικτύων νερού έτσι ώστε να υπολογιστούν νέα χαμηλότερα όρια παροχής.

Η ανάλυση αυτή αποτελεί μέρος της γενικότερης μελέτης ολοκλήρωσης των δικτύων νερού, η οποία προχωράει παραπέρα και προτείνει δίκτυα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης, εκμεταλλευόμενη τις δυνατότητες βελτιστοποίησης της υπερδομής (A.D. Mountraki et al, 2011).

### Υπολογισμός στόχων

Αρχικά, συλλέγονται τα δεδομένα για τις ροές νερού που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση συστατικών (ασετικό οξύ, φορμικό οξύ και σάκχαρα C-5) για κάθε μία από τις τρεις διεργασίες που χρησιμοποιούν νερό (διεργασία απομάκρυνσης οξέων, διεργασία ιζηματοποίησης και διήθησης της λιγνίνης, διεργασία συγκέντρωσης C-5 σακχάρων). Η διεργασία ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης έχει χωριστεί σε τέσσερις μεμονομένες διεργασίες και συγκεκριμένα, την κατακράτηση λιγνίνης (Lignin Precipitation ή LP) και τρία στάδια έκπλυσης (FG stage1, 2 and 3), διότι κάθε μια διεργασία χρησιμοποιεί διαφορετικό ρεύμα νερού. Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται δεδομένα για την μεταφορά μάζας, τις συγκεντώσεις εισόδου και εξόδου και την περιοριστική ροή νερού, για κάθε συστατικό ξεχωριστά.

Πίνακας 4. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση του ασετικού οξέος

Ασετικό Οξύ-Ρεύματα Νερού					
Όνομα Διεργασίας	Αριθμός Διεργασίας	Φορτίο Ρυπαντή (g/h)	Συγκέντρωση Εισόδου (ppm)	Συγκέντρωση Εξόδου (ppm)	Περιοριστική ροή νερού (t/h)
Απομάκρυνση Οξέων	1	6353000	34082,11	622525,4	10,21
Ιζηματοποίηση-Κατακράτηση Λιγνίνης	2	3835737	38654,08	402934,86	9,52
Στάδιο Έκπλυσης 1	3	216616	328,87	39861,23	5,43
Στάδιο Έκπλυσης 2	4	2060	0	337,04	6,11
Στάδιο Έκπλυσης 3	5	2012	0	329,18	6,11
Συγκέντρωση Σακχάρων C-5/Στάδιο Απογύμνωσης	6	1204864	0	188038,37	6,41

Πίνακας 5. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση του φορμικού οξέος

Φορμικό Οξύ-Ρεύματα Νερού					
Όνομα Διεργασίας	Αριθμός Διεργασίας	Φορτίο Ρυπαντή (g/h)	Συγκέντρωση Εισόδου (ppm)	Συγκέντρωση Εξόδου (ppm)	Περιοριστική ροή νερού (t/h)
Απομάκρυνση Οξέων	1	3865490	18590,24	373158,52	10,9
Ιζηματοποίηση-Κατακάθιση Λιγνίνης	2	45800	21091,51	28329,73	6,33
Στάδιο Έκλυσης 1	3	81849	124,22	15061,64	5,48
Στάδιο Έκλυσης 2	4	778	0	127,29	6,11
Στάδιο Έκλυσης 3	5	760	0	124,34	6,11
Συγκέντρωση Σακχάρων C-5/Στάδιο Απογύμνωσης	6	27656	0	4316,2	6,41

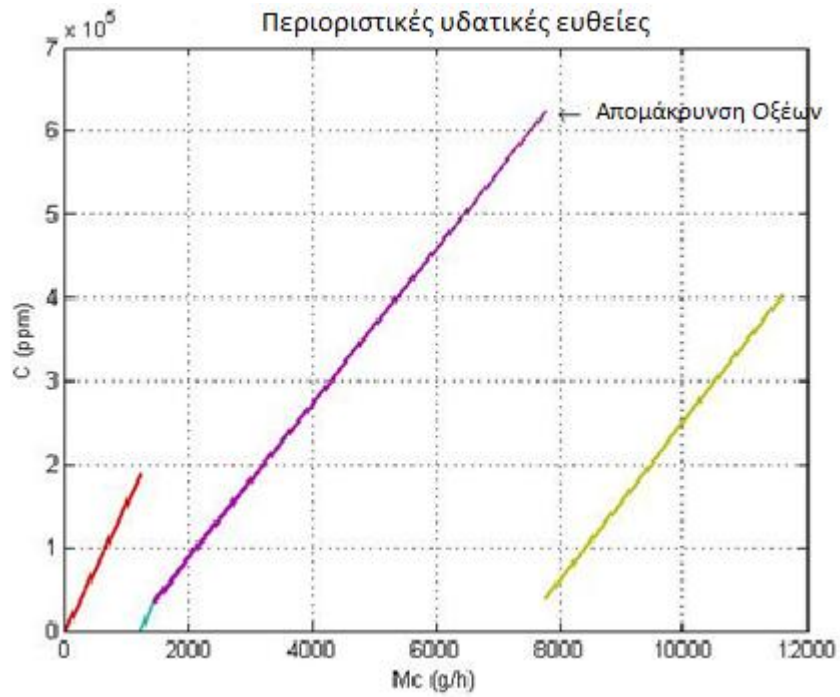
Πίνακας 6. Δεδομένα ρευμάτων νερού, υπεύθυνα για την απομάκρυνση των C-5 σακχάρων

Σακχαρα C-5-Ρεύματα Νερού					
Όνομα Διεργασίας	Αριθμός Διεργασίας	Φορτίο Ρυπαντή (g/h)	Συγκέντρωση Εισόδου (ppm)	Συγκέντρωση Εξόδου (ppm)	Περιοριστική ροή νερού (t/h)
Απομάκρυνση Οξέων	1	0	0	0	0
Ιζηματοποίηση-Κατακάθιση Λιγνίνης	2	3327000	0	311271,45	10.69
Στάδιο Έκλυσης 1	3	325982	494,93	59986,57	5,48
Στάδιο Έκλυσης 2	4	3099	0	507,03	6,11
Στάδιο Έκλυσης 3	5	3028	0	495,41	6,11
Συγκέντρωση Σακχάρων C-5/Στάδιο Απογύμνωσης	6	0	0	0	0



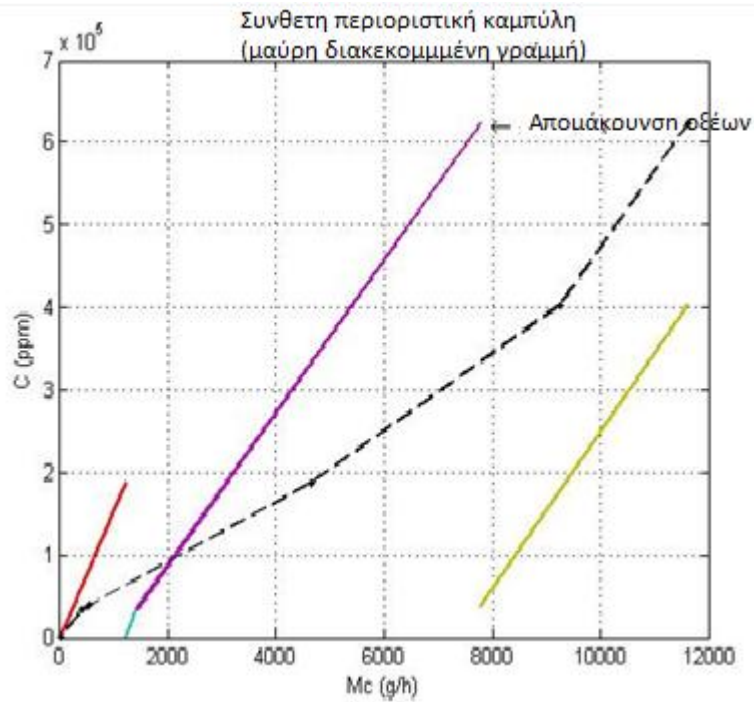
Έχοντας τα δεδομένα αυτά και ακολουθώντας τα βήματα που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτουν οι εξής καμπύλες :

- Σχεδιάζονται οι περιοριστικές υδατικές ευθείες για όλες τις διεργασίες,

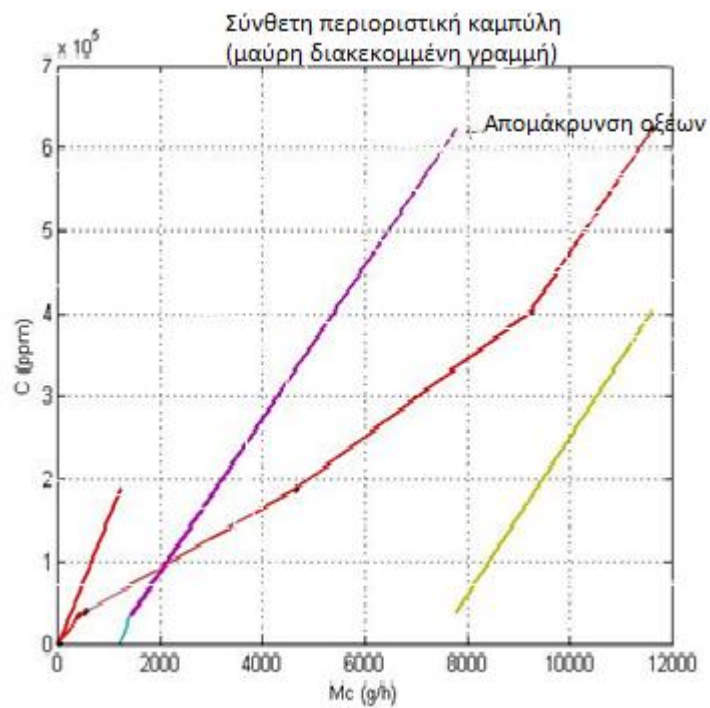


Εικόνα 29. Περιοριστικές υδατικές ευθείες για όλες τις διεργασίες

- Σχεδιάζεται σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος. Το διάγραμμα χωρίζεται σε διαστήματα συγκέντρωσης και το φορτίο μάζας μέσα σε κάθε διάστημα συνδιάζεται έτσι ώστε να σχηματιστεί η καμπύλη,

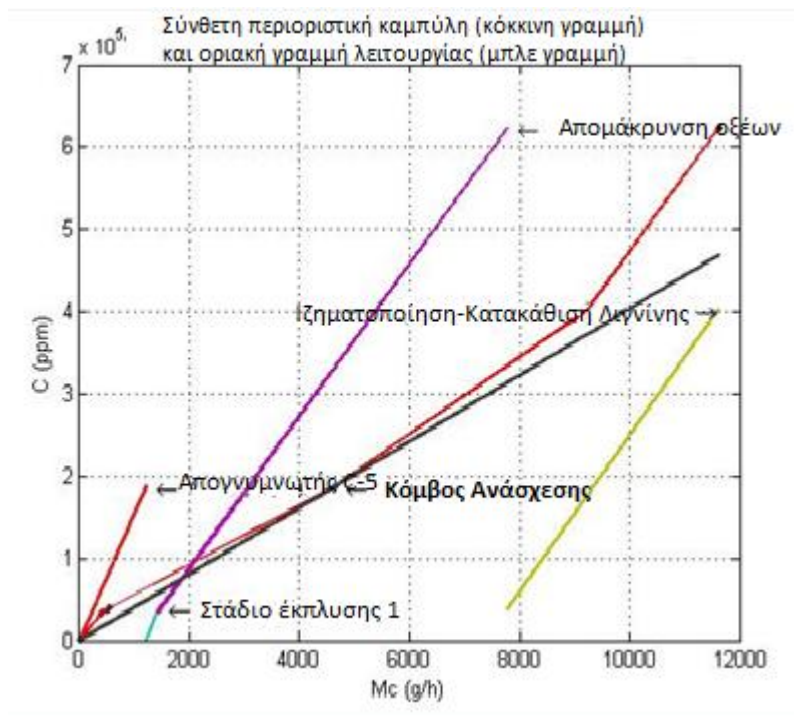


Εικόνα 30. Σχεδιασμός σύνθετης περιοριστικής καμπύλης του συστήματος



Εικόνα 31. Σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος (κόκκινο χρώμα)

- Στοχεύεται η ελάχιστη ροή νερού. Σχεδιάζεται η οριακή γραμμή λειτουργίας. Μπορεί να σχεδιαστεί με οποιαδήποτε κλίση, αρκεί να βρίσκεται κάτω από την σύνθετη περιοριστική καμπύλη του συστήματος.



Εικόνα 32. Οριακή γραμμή λειτουργίας

Στο διάγραμμα της Εικόνα 32, φαίνεται ο κόμβος ανάσχεσης. Το σημείο αυτό δείχνει ποιές διεργασίες είναι κρίσιμες και άρα θα ήταν αποτελεσματικό να μειωθεί η παροχή του φρέσκου νερού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το διάστημα συγκέντρωσης στο οποίο περιέχεται ο κόμβος ανάσχεσης, περιλαμβάνει την

- Διεργασία απομάκρυνσης οξέων
- Διεργασία ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης
- Διεργασία απομάκρυνσης των σακχάρων C-5

Σε κάθε διεργασία θα γίνει προσπάθεια να μειωθεί η παροχή του φρέσκου απαιτούμενου νερού. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μείωση της παροχής του νερού στην ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή του. Όμως κάτι τέτοιο δεν θα επέτρεπε την επαναχρησιμοποίηση του. Για τον λόγο αυτό θα μελετηθεί αν υπάρχει δυνατότητα αύξησης των συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου ή/και εξόδου των ροών του νερού σε κάθε μία από αυτές τις διεργασίες.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο Κόμβος Ανάσχεσης βρίσκεται μεταξύ των σημείων A, B της σύνθετης περιοριστικής καμπύλης. Άρα εξαρτάται κυρίως από τις διεργασίες που βρίσκονται στην ίδια συγκεντρωσιακή περιοχή με στις ευθείες AP και PB. Δίνεται έτσι η δυνατότητα αύξησης των συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου στις διεργασίες απομάκρυνσης οξέων, ιζηματοποίησης-διήθησης της λιγνίνης καθώς και η αύξηση των συγκεντρωσιακών ορίων εξόδου της τελευταίας.

## 5. Ανάλυση αποκλίσεων τεχνολογίας και αποτελεσμάτων

### 5.1 Έλεγχος Υποθέσεων

Η μέθοδος του Κόμβου Ανάσχεσης, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια λαμβάνει υπόψιν της παραδοχής οι οποίες μπορεί να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, έχει θεωρηθεί γραμμική σχέση μεταξύ του φορτίου του οξέος και της συγκέντρωσης. Επιπλέον, δεν έχει γίνει καμία περαιτέρω προσπάθεια για αύξηση των συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου και εξόδου έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η επαναχρησιμοποίηση ποσοτήτων νερού, κάτι που επηρεάζει σημαντικά το λειτουργικό κόστος της μονάδας.

### 5.2 Καινούργιες σχέσεις

Οι διεργασίες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες από την μέθοδο του Κόμβου Ανάσχεσης υπόκεινται σε ανάλυση βελτιστοποίησης. Αυτή γίνεται για κάθε περίπτωση και οξύ ξεχωριστά, έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη εκείνη ποσότητα οξέος στην είσοδο της διεργασίας χωρίς να επηρεάζεται η επιτρεπόμενη καθαρότητα του τελικού προϊόντος. Από την ανάλυση αυτή δεν προκύπτουν αξιόπιστα αποτελέσματα και πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις.

Έπειτα, αφού η ανάλυση βελτιστοποίησης δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα πραγματοποιείται ένα σύνολο παραμετρικών αναλύσεων. Σε κάθε τέτοια ανάλυση γίνεται χρήση του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*, έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη δυνατή ροή μάζας οξέων στο ρεύμα εισόδου με ταυτόχρονη τήρηση των ορίων συγκέντρωσής τους στο ρεύμα εξόδου. Για κάθε οξύ η διαδικασία γίνεται μεμονομένα. Γίνεται επίσης χρήση των υπολογιστικών εργαλείων *Aspen Plus* και *Microsoft Excel*.

Αναλυτικότερα, μεταβάλλεται η ροή μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα εισόδου, διατηρώντας όλες τις άλλες ροές (δηλαδή του νερού και του άλλου οξέος) σταθερές. Για κάθε τέτοια τιμή πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* μεταβάλλοντας την συνολική ροή μάζας, σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, του ρεύματος εισόδου παρατηρείται η μεταβολή της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εξόδου.

Έπειτα με χρήση του προγράμματος *Microsoft Excel*, αφού σχεδιαστούν τα κατάλληλα διαγράμματα, βρίσκεται η τιμή της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου (για την εκάστοτε τιμή ροής μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα αυτό), έτσι ώστε η ροή του ίδιου οξέος στην έξοδο να είναι ίση με τα επιτρεπόμενα προκαθορισμένα όρια. Τα όρια αυτά έχουν προκύψει από την μέχρι τώρα διεργασία, και θεωρούνται ως ανώτατα όρια παροχών.

### 5.3 Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η αύξηση της ποσότητας των οξέων στο ρεύμα εισόδου ατμού (P011BIS) της διεργασίας απογύμνωσης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας του συνολικού απαιτούμενου φρέσκου νερού. Με την επίτευξη του στόχου αυτού η απαιτούμενη ποσότητα νερού θα προέρχεται από ανακύκλωση των ήδη υπάρχοντων ρευμάτων και όχι από το δίκτυο παροχής.

Αρχικά είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί ποιες μεταβλητές και με ποιον τρόπο επηρεάζουν την καθαρότητα του τελικού προϊόντος της συγκεκριμένης μονάδας έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό ποιες μεταβλητές μπορούν να μεταβληθούν. Το τελικό προϊόν βρίσκεται στο ρεύμα P014, περιέχει κυρίως κυτταρίνη και υποχρεωτικά η συγκεντρωσή του σε οξέα δεν πρέπει να υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή. Στην διαδικασία παίρνουν μέρος το ασετικό οξύ και το φορμικό οξύ. Τα όρια των τιμών συγκέντρωσης τα οποία δεν πρέπει να ξεπεραστούν, αναφορικά με το ρεύμα εξόδου P014, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7. Ρεύμα P014-Όρια συγκέντρωσης

Οξύ	Ροή Μάζας (kg/hr)	Κλάσμα Μάζας
Ασετικό	1054	0,19
Φορμικό	205	0,04

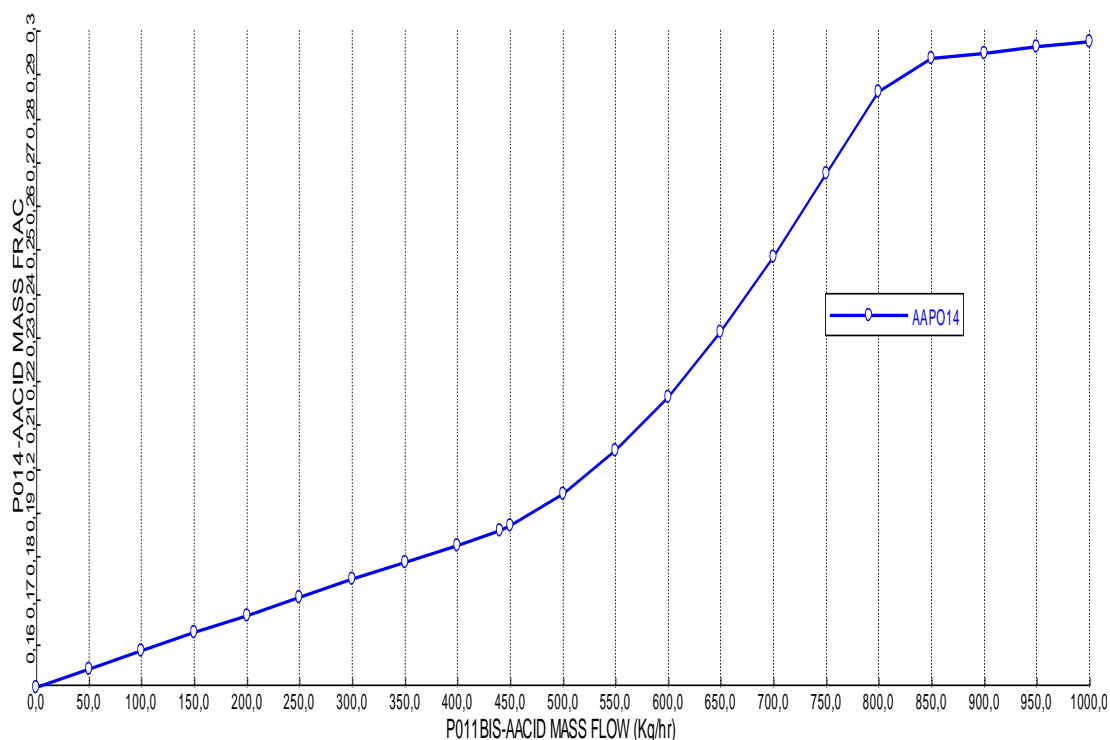
Για τον λόγο αυτό πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας έτσι ώστε να καθοριστεί το εύρος των μεταβλητών που επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών ακολουθούν βελτιστοποιήσεις με στόχο την εύρεση συγκεκριμένης τιμής της μεταβλητής ή των μεταβλητών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα P011BIS με ταυτόχρονη την διατήρηση της επιτρεπόμενης συσκέτρωσής τους στο ρεύμα εξόδου P014.

### 5.3.1 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο ρεύμα εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας αυτών στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη

Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου (P011BIS) στο ρεύμα εξόδου που περιέχει την κυτταρίνη (P014). Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P014. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών μαζικής παροχής του κάθε οξέος στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

#### Ασετικό οξύ

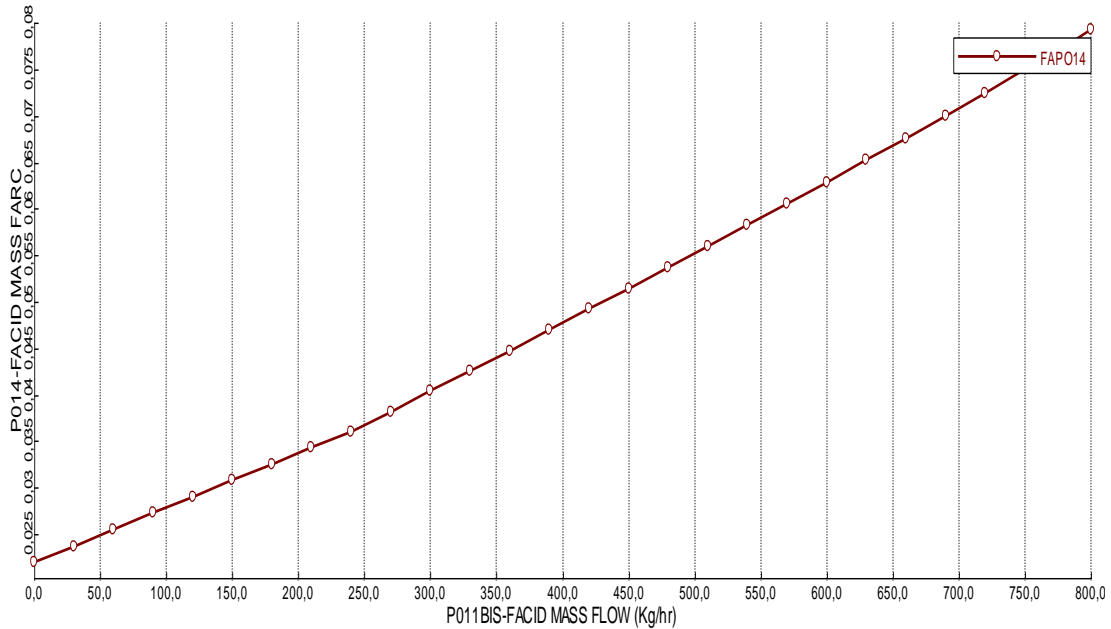
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P011BIS και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύμα εξόδου P014.



Εικόνα 33. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την παροχή του στο ρεύμα P011bis

## Φορμικό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P011BIS και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύμα εξόδου P014.



Εικόνα 34. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την παροχή του στο ρεύμα P011bis

## Συμπεράσματα

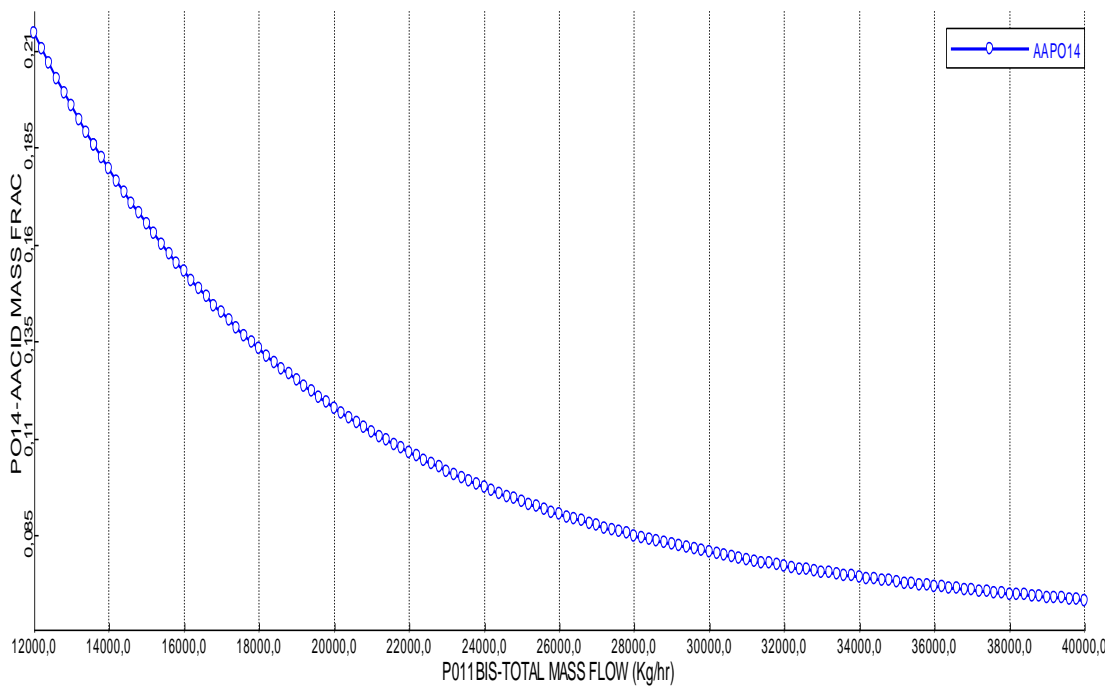
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η παροχή των οξέων στην είσοδο της διεργασίας απογύμνωσης, αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο ρεύμα εξόδου. Επίσης παρατηρείται ότι μεγάλη αύξηση ροής στο ρεύμα P011BIS, σημαίνει υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων συγκέντρωσης στο ρεύμα P014. Παρ' όλα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα επιδέχεται βελτίωση, όσον αφορά την αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου, αφού το πρόγραμμα προσομοίωσης δεν εμφανίζει κάποιο λάθος.

### 5.3.2 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου ατμού της διεργασίας απογύμνωσης και κλασματος μάζας οξέων στο ρεύμα στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη

Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της μεταβολής της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου (P011BIS) στην συγκέντρωση των οξέων στο ρεύμα εξόδου που περιέχει την κυτταρίνη (P014). Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P014. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών συνολικής μαζικής παροχής στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

#### Ασετικό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της παροχής (kg/hr) ρεύματος εισόδου P011BIS και της συγκέντρωσης του ασετικού οξέως στο ρεύμα εξόδου P014.

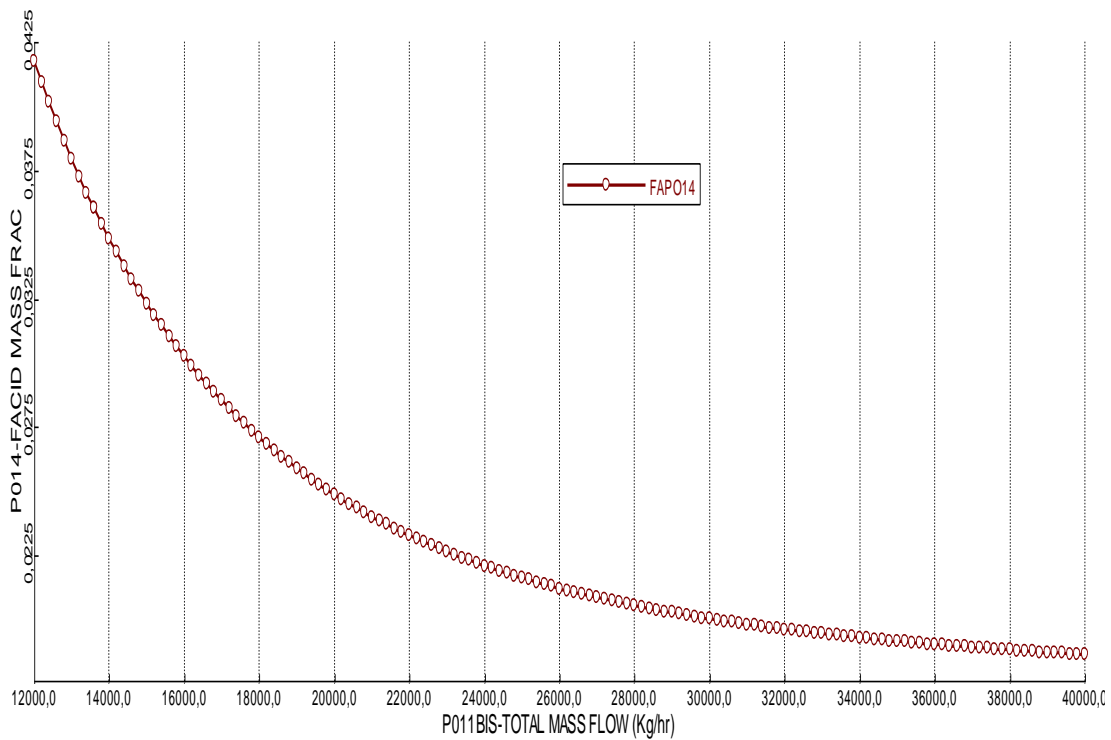


Εικόνα 35. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis



## Φορμικό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της παροχής (kg/hr) ρεύματος εισόδου P011BIS και της συγκέντρωσης του ασετικού οξέως στο ρεύμα εξόδου P014.



Εικόνα 36. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis

## Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις, με την αύξηση της συνολικής παροχής μάζας της ροής P011BIS, η συγκέντρωση των οξέων (κλάσμα μάζας) στο ρεύμα εξόδου μειώνεται. Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταβάλλοντας την ροή να επιτύχουμε μεγαλύτερη καθαρότητα του προϊόντος της διεργασίας.

### 5.3.3 Βελτιστοποίηση

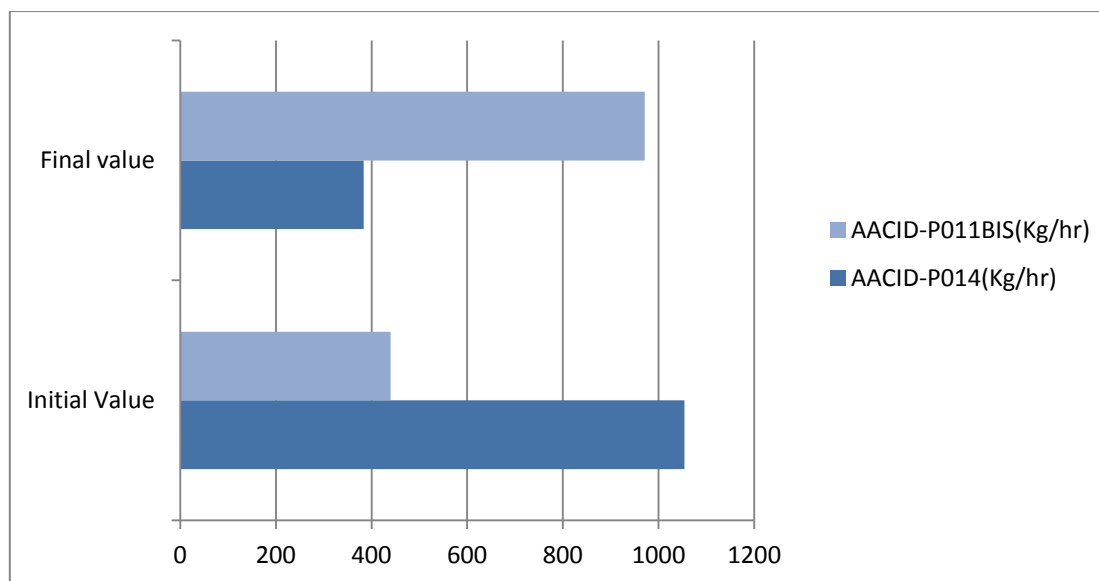
Με βάση τα αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων ευαισθησίας, κρίνεται ότι, εφόσον αύξηση της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P011BIS μειώνει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα εξόδου P014, υπάρχει δυνατότητα να αύξησης της παροχής (Kg/hr) των οξέων στην είσοδο. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η χρήση φρέσκου νερού, στην συγκεκριμένη διεργασία, μπορεί να μειωθεί.

#### Σκοπός

Η παρούσα βελτιστοποίηση στοχεύει στην μεγιστοποίηση της ροής μάζας οξέων που εισέρχονται στην διεργασία απογύμνωσης μέσω του ρεύματος εισόδου P011BIS. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει την ροή μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P011BIS. Επιλέγεται η μεγιστοποίηση της, ανάλογα με την συνολική ροή μάζας στο ίδιο ρεύμα, καθώς επίσης ορίζονται και οι περιορισμοί. Στην περίπτωση αυτή οι περιορισμοί ορίζονται αναφορικά με την μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή των οξέων (kg/hr) στην ροή εξόδου P014. Για κάθε ένα οξύ πραγματοποιείται ξεχωριστή βελτιστοποίηση.

#### Ασετικό οξύ

Μετά την βελτιστοποίηση του ασετικού οξέος προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα :



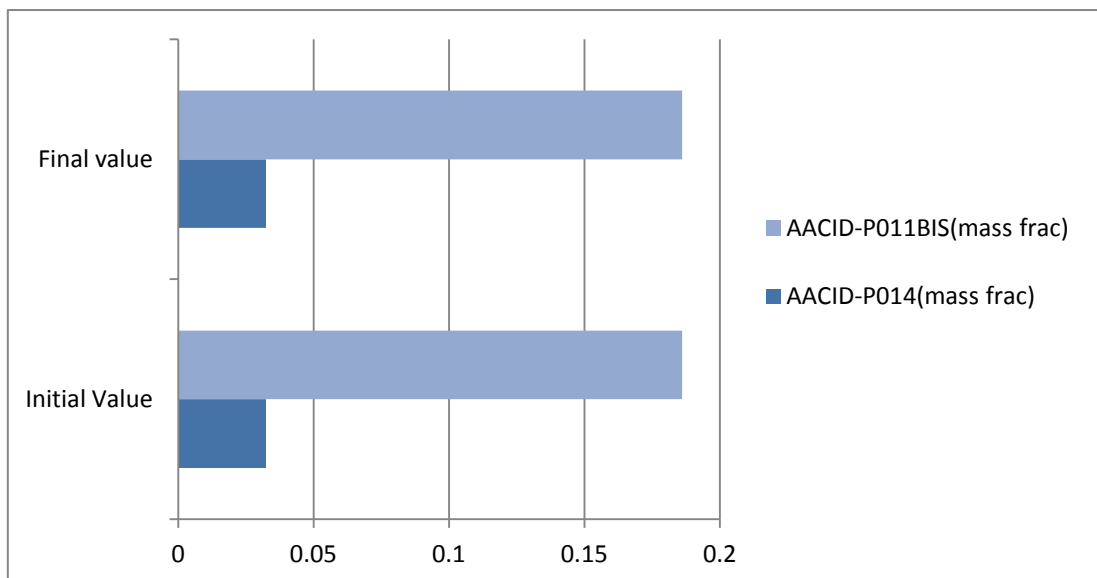
Εικόνα 37. Παροχή ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

Παρατηρείται αύξηση στην ροή (kg/hr) του οξέως στην είσοδο P011BIS, ενώ παράλληλα μειώνεται η ροή του στην έξοδο P014.

Παρ' όλο την μεταβολή της παροχής του οξέως, δεν παρατηρείται διαφορά στις τιμές των κλασμάτων μάζας, συγκριτικά με την υπάρχουσα διαδικασία. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν :

Πίνακας 8. Κλάσμα μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

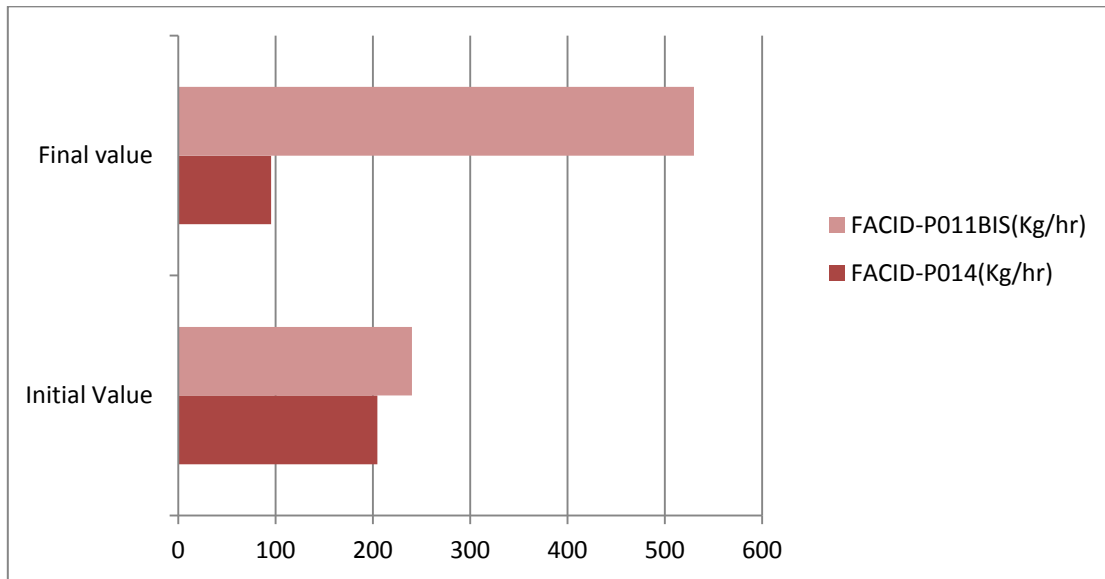
Ασετικό οξύ	Αρχική Τιμή	Τελική Τιμή
P014 –Κλάσμα Μάζας	0,03237674	0,03237674
P011BIS-Κλάσμα Μάζας	0,18599365	0,18597805



Εικόνα 38. Κλάσμα μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

## Φορμικό οξύ

Μετά την βελτιστοποίηση του φορμικού οξέος προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα :



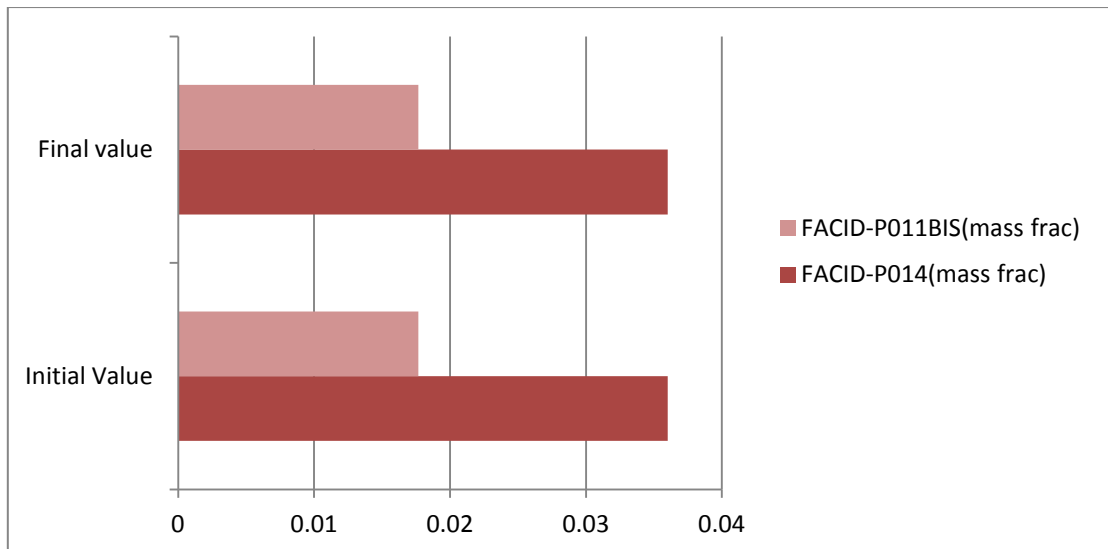
Εικόνα 39. Παροχή φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

Παρατηρείται αύξηση στην ροή (kg/hr) του οξέως στην είσοδο P011BIS, ενώ παράλληλα μειώνεται η ροή του στην έξοδο P014.

Ομοίως, μετά την βελτιστοποίηση παρ' όλο την μεταβολή της παροχής του οξέως, δεν παρατηρείται διαφορά στις τιμές των κλασμάτων μάζας, συγκριτικά με την υπάρχουσα διαδικασία. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν :

Πίνακας 9. Κλάσμα μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

Φορμικό Οξύ	Αρχική Τιμή	Τελική Τιμή
P014-Κλάσμα Μάζας	0,03602781	0,03602781
P011BIS-Κλάσμα Μάζας	0,01766004	0,01766004



Εικόνα 40. Κλάσμα μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis και στο ρεύμα P014, πριν και μετά την βελτιστοποίηση

### Συμπεράσματα

Και στις δύο περιπτώσεις η παροχή των οξέων μεταβάλλεται τόσο στο ρεύμα εισόδου P011BIS όσο και στο ρεύμα εξόδου P014, σύμφωνα με τις αναλύσεις ευαισθησίας. Έτσι επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση στην ροή μάζας κάθε μεμονομένου συστατικού. Διαπιστώνεται όμως ότι το κλάσμα μάζας των οξέων στην είσοδο και στην έξοδο, αντίθετα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευαισθησίας, παραμένει σταθερό μετά την βελτιστοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι στην είσοδο παράλληλα με την αύξηση της παροχής (kg/hr) των οξέων αυξήθηκε και η παροχή του φρέσκου νερού, πράγμα που επηρεάζει και την ροή εξόδου αναλόγως. Για τον λόγο αυτό πρέπει να ακολουθηθεί διαφορετική μέθοδος έτσι ώστε να βρεθεί η νέα αυξημένη ροή μάζας οξέων στο ρεύμα εισόδου P011BIS.

### 5.3.4 Παραμετρική Ανάλυση

#### Σκοπός

Εύρεση μέγιστης ροής μάζας ασετικού και φορμικού οξέως στο ρεύμα εισόδου P011BIS, χωρίς μεταβολή της ροής του φρέσκου νερού και τήρηση των επιτρεπόμενων ορίων στο τελικό ρεύμα κυτταρίνης P014.

Εφόσον η διεργασία απομάκρυνσης οξέων δεν είναι δυνατόν να βελτιστοποιηθεί με την χρήση του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*, είναι αναγκαίο να ακολουθήσει παραμετρική ανάλυση, έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη δυνατή ροή μάζας οξέων στο ρεύμα εισόδου P011BIS με ταυτόχρονη την τήρηση των ορίων συγκέντρωσής τους στην έξοδο P014. Για κάθε οξύ η διαδικασία γίνεται μεμονομένα. Θα γίνει χρήση των υπολογιστικών εργαλείων *Aspen Plus* και *Microsoft Excel*.

Με χρήση του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* μεταβάλλεται η ροή μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P011BIS, διατηρώντας όλες τις άλλες ροές (δηλαδή του νερού και του άλλου οξέος) σταθερές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ροής εισόδου. Έπειτα, για κάθε τέτοια τιμή πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Μεταβάλλοντας την συνολική ροή μάζας, σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, του ρεύματος P011BIS παρατηρείται η μεταβολή της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα P014.

Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις ευαισθησίας η ροή του οξέος στο ρεύμα P014 αυξάνεται και, όπως έδειξε η βελτιστοποίηση, το κλάσμα μάζας παραμένει σταθερό. Για τον λόγο αυτό, με χρήση του προγράμματος *Microsoft Excel*, αφού σχεδιαστούν τα κατάλληλα διαγράμματα, βρίσκεται η τιμή της συνολικής ροής μάζας του P011BIS (για την εκάστοτε τιμή ροής μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P011BIS), έτσι ώστε η ροή του ίδιου οξέος στην έξοδο P014 να είναι ίση με 1054 Kg/hr και 205 Kg/hr, για το ασετικό και το φορμικό οξύ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από την μέχρι τώρα διεργασία, και θεωρούνται ως ανώτατα όρια παροχών (Kg/hr).

### Ασετικό οξύ

Οι τιμές παροχής (Kg/hr) του ασετικού οξέος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ρεύμα P011BIS κυμαίνονται σε ένα μεγάλο πλαίσιο. Η ροή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην επηρεάζει την σύσταση του ρεύματος εξόδου P014 και είναι οικονομικά εφικτή.

Θεωρείται ότι η ελάχιστη ροή που μπορεί να λάβει είναι ίση με αυτήν που λειτουργεί η τρέχουσα διεργασία.

$$AACID_{P011bis} \geq 440 \text{ Kg/hr}$$

Για τις τιμές αυτές και με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Η ανάλυση αυτή παριστάνει την μεταβολή της παροχής εξόδου του ασετικού οξέος στο ρεύμα P014 με ταυτόχρονη μεταβολή της συνολικής παροχής του ρεύματος P011BIS.

Έτσι, για ορισμένες τιμές ροής ασετικού οξέος από το εύρος :

$$440 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P011bis} \leq 1000 \text{ Kg/hr}$$

πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P011BIS στο διάστημα,

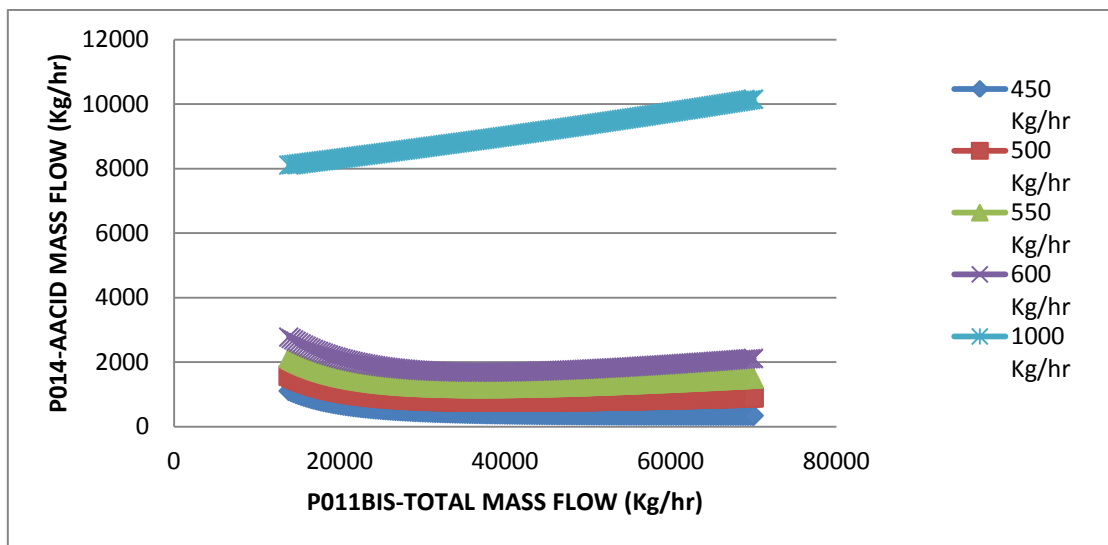
$$13.850 \text{ Kg/hr} \leq P011BIS_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 70.000 \text{ Kg/hr}$$

Πιο συγκεκριμένα οι αναλύσεις ευαισθησίας πραγματοποιούνται για τις εξής τιμές ροής ασετικού οξέος :

Πίνακας 10. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
450
500
550
600
1000

Προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα :



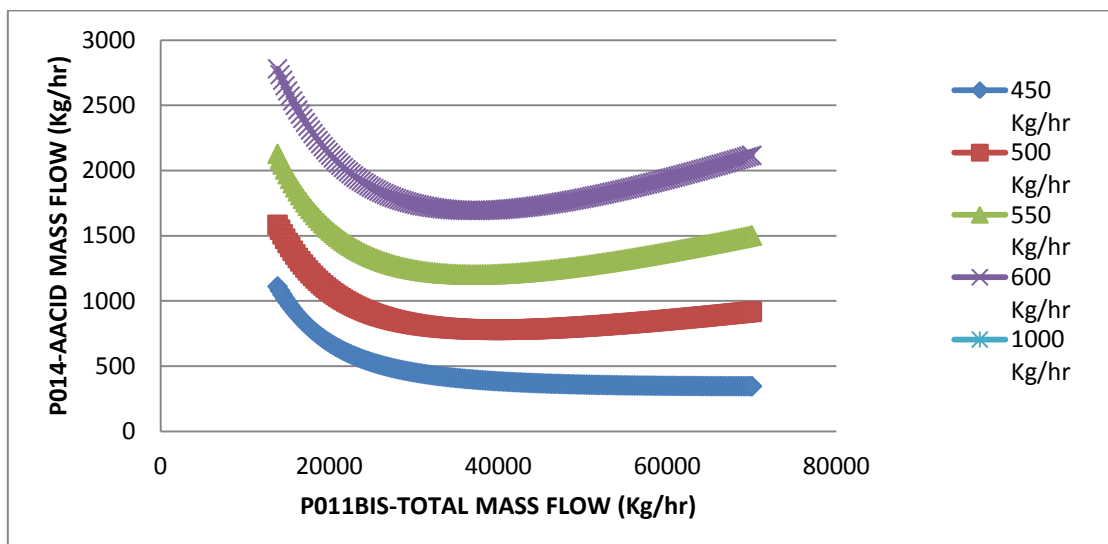
Εικόνα 41. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis

Η επιθυμητή ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014 είναι,

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

Είναι εμφανές από το διάγραμμα ότι για ορισμένες τιμές ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα τροφοδοσίας P011BIS, δεν είναι δυνατόν να προκύπτει η επιθυμητή τιμή στο P014.

Το ίδιο διάγραμμα, αλλά με αλλαγή του εύρους των τιμών στον άξονα χχ' είναι,



Εικόνα 42. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις AACID στο ρεύμα P011bis



Παρατηρείται ότι για

$$0 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P014} \leq 3000 \text{ Kg/hr}$$

οι καμπύλες για

$$AACID_{P011BIS} > 600 \text{ Kg/hr}$$

δεν εμφανίζονται καθόλου στο διάγραμμα .

Επίσης ,φαίνεται ότι η επιθυμητή τιμή

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

Είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο για

$$450 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P011BIS} \leq 550 \text{ Kg/hr}$$

### **Συμπεράσματα**

Ως δείκτης χρησιμοποιήθηκε η εξάρτηση της συγκέντωσης ασετικού οξέος στην έξοδο P014, σε συνάρτηση με συγκεκριμένες τιμές ροής μάζας του ίδιου οξέος στην είσοδο P011BIS. Από τα διαγράμματα φάνηκε ότι για ορισμένες τιμές παροχής, δεν επιτυγχάνεται η συνθήκη περιορισμού

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

Έτσι το εύρος πιθανών ροών μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011BIS διαμορφώνεται ως εξής

$$450 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P011BIS} \leq 550 \text{ Kg/hr}$$

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής ασετικού οξέος

Ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας ασετικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Το εύρος τιμών που η επιθυμητή ροή μάζας ασετικού οξέος στο P014 είναι εφικτή και ορίστηκε παραπάνω είναι :

$$450 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P011BIS} \leq 550 \text{ Kg/hr}$$

Για συγκεκριμένες τιμές από το παραπάνω εύρος πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P011BIS στο διάστημα,

$$13.850 \text{ Kg/hr} \leq P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} \leq 70.000 \text{ Kg/hr}$$

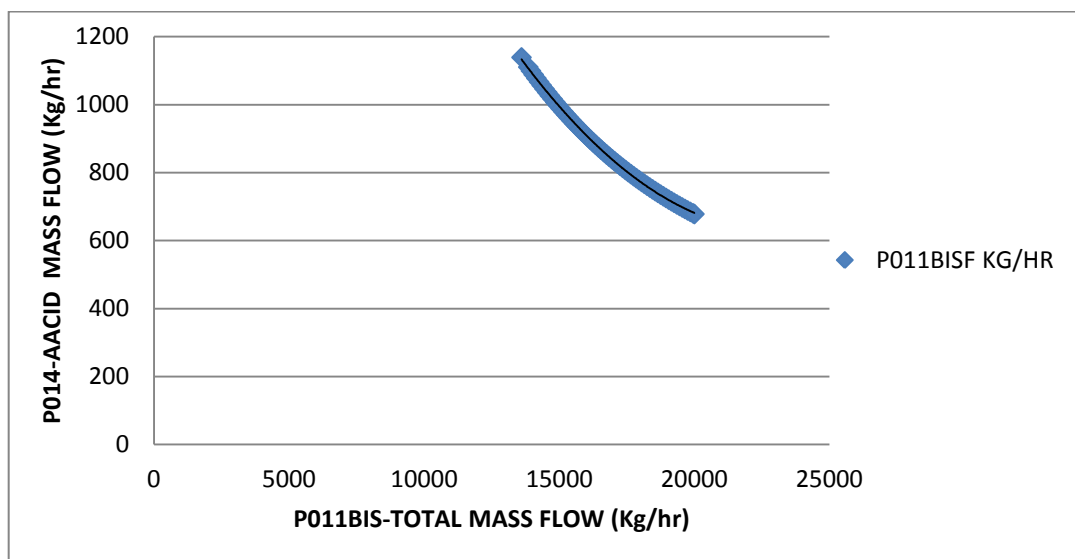
Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

**Πίνακας 11.** Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
450
460
470
500
510
520
530
535
540
550

### Ρεύμα P011BIS-Ροή μάζας ασετικού οξέος : 450 Kg/hr

Από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα :



Εικόνα 43. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis}=450$  Kg/hr

Σχεδιάζεται η καμπύλη παλινδρόμησης για να υπολογιστεί η τιμή της συνολικής ροής μάζας στο ρεύμα εισόδου P011BIS έτσι ώστε

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

Η καμπύλη που προκύπτει έχει εξίσωση,

$$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,0158 \cdot (AACID_{P014})^2 - 42,171 \cdot (AACID_{P014}) + 41224$$
$$R^2 = 0,9995$$

Εξίσωση 5.1. Εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014 και ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis}=450$  Kg/hr

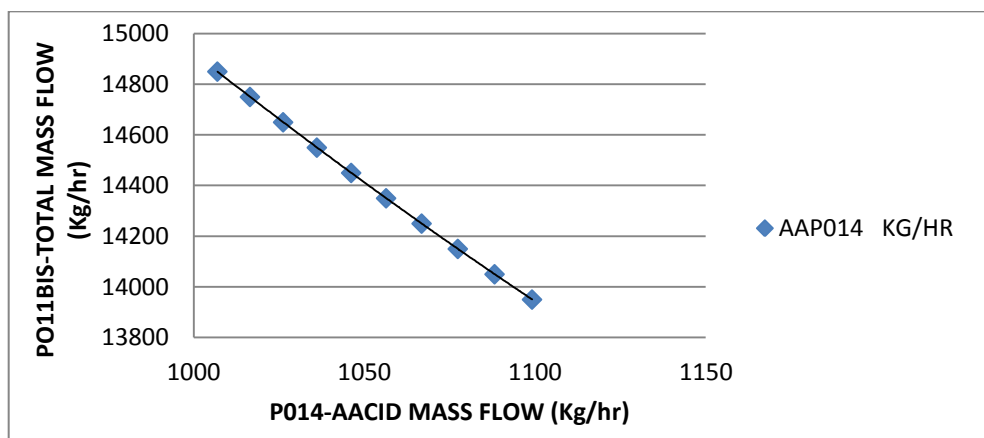
Η Εξίσωση 5.1 προέρχεται από το διάγραμμα της **Error! Reference source not found.** στο παράρτημα.

Παρατηρούμε όμως ότι η καμπύλη δεν διατηρεί την ίδια μορφή σε όλη την έκτασή της με αποτέλεσμα η σύγκλιση να μην είναι ακριβής,

$$R^2 = 0,9995 \neq 1$$

κάτι που συντελεί σε μεγαλύτερο υπολογιστικό σφάλμα.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, στο σημείο όπου η ροή μάζας στο ρεύμα P014 έχει την επιθυμητή τιμή, σχεδιάζεται μια νέα καμπύλη παλινδρόμησης έτσι ώστε να μειωθεί το υπολογιστικό σφάλμα.



Εικόνα 44. Εικόνα 43 για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr

Η καμπύλη που προκύπτει έχει εξίσωση,

$$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,0158 \cdot (AACID_{P014})^2 - 42,171 \cdot (AACID_{P014}) + 41224$$

$$R^2 = 0,9995$$

Εξίσωση 5.2. Εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014 και ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis}=450$  Kg/hr, για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr

Η Εξίσωση 5.2 προέρχεται από το διάγραμμα της **Error! Reference source not found.** στο παράρτημα.

Πράγματι ,επιτυγχάνεται απόλυτη σύγκλιση ,

$$R^2 = 1$$

Οι υπολογισμοί γίνονται ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής P011BIS-TOTAL MASS FLOW σε Kg/hr ,έτσι ώστε
 
$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$
- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus* ,έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη
 
$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$
- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών  $AACID_{P014}$  .

Προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα ,

Πίνακας 12. Αποτελέσματα ανάλυσης για AACID<sub>P011bis</sub>=450 Kg/hr

AA-P011BIS(kg/hr)	AA-P014_target_(kg/hr)	P011BIS_required_(kg/hr)	AA-P014_aspen_(kg/hr)	Σφάλμα(%)
450	1054,095	14410,77436	1050,19599	-0,37%

Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ίδιο τρόπο για όλες τις τιμές του Πίνακας 11 και προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακας 13 και του Πίνακας 14 . Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 13 είναι εκείνες όπου  $R^2=1$ .

Πίνακας 13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την διεργασία απομάκρυνσης οξέων

P011BIS-Ροή μάζας ασετικού οξέος (Kg/hr)	Εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014 και ρεύματος P011bis
460	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,0102 \cdot (AACID_{P014})^2 - 32,548 \cdot (AACID_{P014}) + 38269$
470	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,0132 \cdot (AACID_{P014})^2 - 40,587 \cdot (AACID_{P014}) + 44384$
500	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,0382 \cdot (AACID_{P014})^2 - 102,48 \cdot (AACID_{P014}) + 86124$
510	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,0631 \cdot (AACID_{P014})^2 - 162,13 \cdot (AACID_{P014}) + 123508$
520	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,1186 \cdot (AACID_{P014})^2 - 293,53 \cdot (AACID_{P014}) + 203310$
550	-
530	$P011BIS_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 0,6517 \cdot (AACID_{P014})^2 - 1473,9 \cdot (AACID_{P014}) + 860314$
540	-
535	-

Πίνακας 14. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 450 Kg/hr<AACID<sub>P011bis</sub><550 Kg/hr

AACID-P011BIS(kg/hr)	AACID-P014_target_(kg/hr)	AACID-P014_aspen_(kg/hr)	Σφάλμα(%)	P011BIS_required_(kg/hr)
440	<b>1054,095</b>	<b>1054,095</b>	0,00%	13590
<b>450</b>	1054,095	1050,19599	-0,37%	14410,77436
<b>460</b>	1054,095	1053,43824	-0,06%	15293,70188
<b>470</b>	1054,095	1053,92924	-0,02%	16306,97226
<b>500</b>	1054,095	1053,78854	-0,03%	20544,98588
<b>510</b>	1054,095	1052,5157	-0,15%	22719,01423
<b>520</b>	1054,095	1053,55127	-0,05%	25679,88416
<b>530</b>	1054,095	1054,09388	0,00%	30797,85202

## Συμπεράσματα

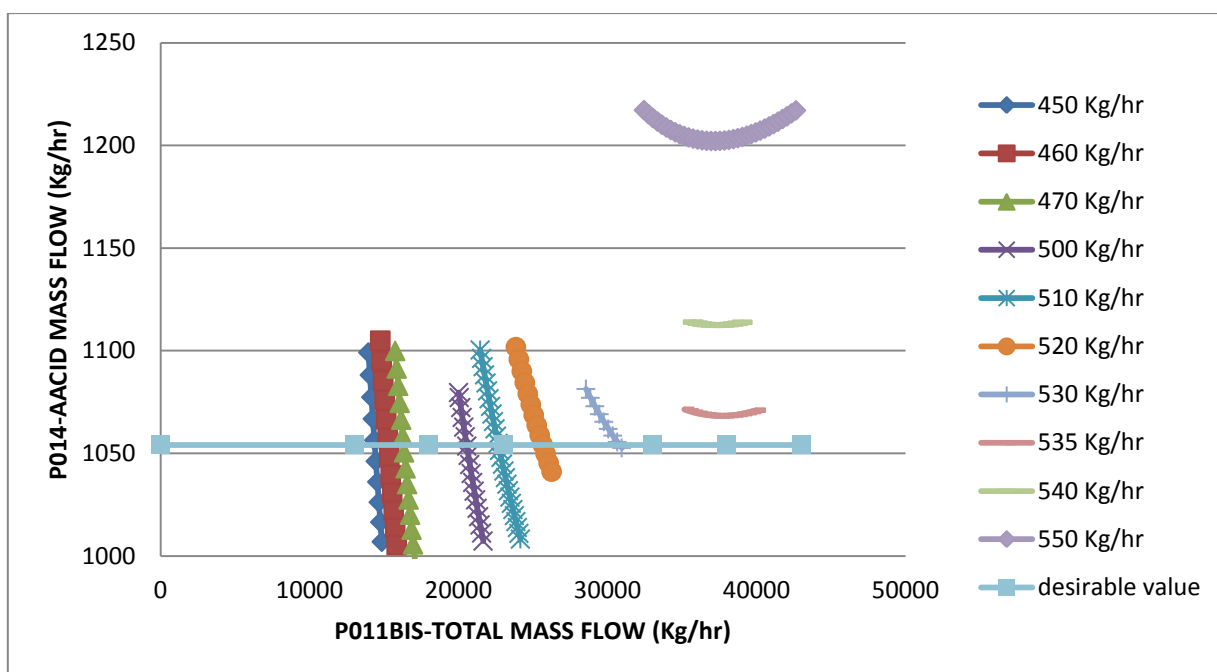
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι η επιθυμητή ροή μάζας ασετικού οξέος στο P014 είναι εφικτή όταν,

$$450 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P011BIS} \leq 550 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντωτικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



Εικόνα 45. Συγκενρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για  $450 \text{ Kg/hr} < AACID_{P011bis} < 550 \text{ Kg/hr}$

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P011BIS, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου είναι,

$$AACID_{P011BIS} = 530 \text{ Kg/hr}$$

### Φορμικό οξύ

Οι τιμές παροχής (Kg/hr) του ασετικού οξέος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ρεύμα P011BIS κυμαίνονται σε ένα μεγάλο πλαίσιο. Η ροή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην επηρεάζει την σύσταση του ρεύματος εξόδου P014 και είναι οικονομικά εφικτή.

Θεωρείται ότι η ελάχιστη ροή που μπορεί να λάβει είναι ίση με αυτήν που λειτουργεί η τρέχουσα διεργασία, δηλαδή

$$FACID_{P011bis} \geq 240 \text{ Kg/hr}$$

Για τις τιμές αυτές και με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Η ανάλυση αυτή παριστάνει την μεταβολή της παροχής εξόδου του φορμικού οξέος στο ρεύμα P014 με ταυτόχρονη μεταβολή της συνολικής παροχής του ρεύματος P011BIS.

Έτσι, για ορισμένες τιμές ροής φορμικού οξέος από το εύρος :

$$240 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P011bis} \leq 1.500 \text{ Kg/hr}$$

πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας ,μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P011BIS στο διάστημα,

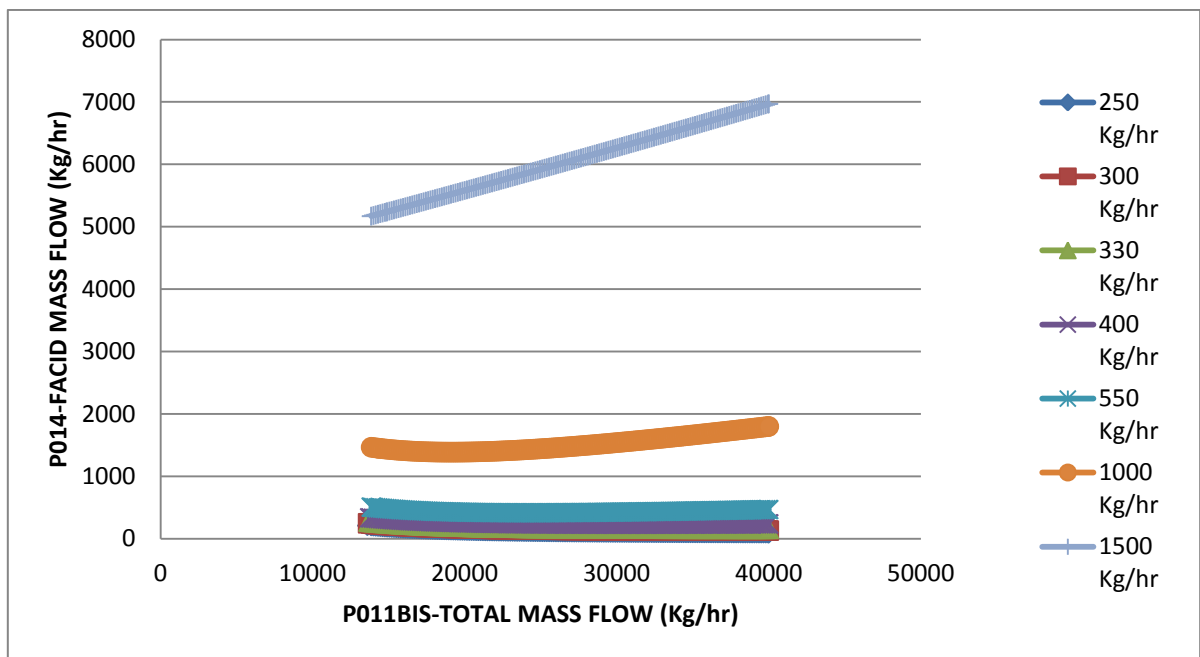
$$13.850 \text{ Kg/hr} \leq P011BIS_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 40.000 \text{ Kg/hr}$$

Πιο συγκεκριμένα οι αναλύσεις ευαισθησίας πραγματοποιούνται για τις εξής τιμές ροής ασετικού οξέος :

Πίνακας 15 . Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
250
300
330
400
550
1000
1500

Προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα :



Εικόνα 46. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis

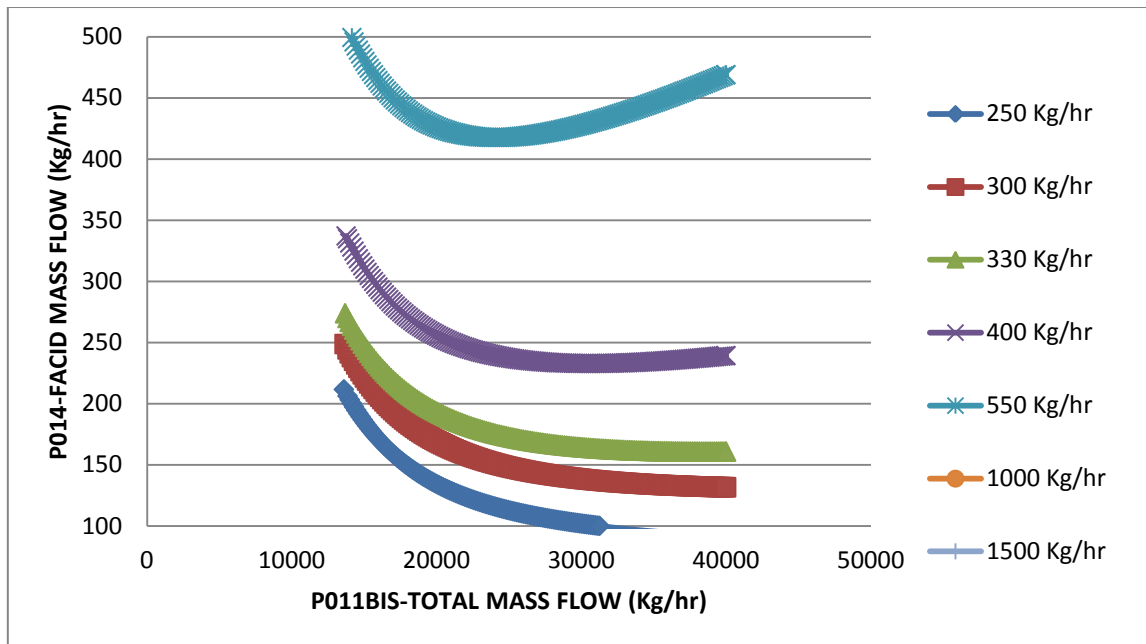
Η επιθυμητή ροή μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014 είναι,

$$FACID_{P014} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$



Είναι εμφανές από το διάγραμμα ότι για ορισμένες τιμές ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα τροφοδοσίας P011BIS, δεν είναι δυνατόν να προκύπτει η επιθυμητή τιμή στο P014.

Το ίδιο διάγραμμα, αλλά με αλλαγή του εύρους των τιμών στον άξονα χχ' είναι,



Εικόνα 47. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P011bis για διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου οξέος στο ρεύμα P011bis

Παρατηρείται ότι για

$$0 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P014} \leq 500 \text{ Kg/hr}$$

οι καμπύλες για

$$FACID_{P011BIS} > 1000 \text{ Kg/hr}$$

δεν εμφανίζονται καθόλου στο διάγραμμα .

Επίσης, φαίνεται ότι η επιθυμητή τιμή

$$FACID_{P014} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$

Είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο για

$$250 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P011BIS} \leq 400 \text{ Kg/hr}$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ίδια η τιμή της παροχής φορμικού οξέος στο ρεύμα εισόδου P011BIS, μπορεί να αποτελέσει κριτήριο έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη τιμή της συνολικής ροής του ρεύματος εισόδου P011BIS.

### Συμπεράσματα

Ως δείκτης χρησιμοποιήθηκε η εξάρτηση της συγκέντωσης φορμικού οξέος στην έξοδο P014, σε συνάρτηση με συγκεκριμένες τιμές ροής μάζας του ίδιου οξέος στην είσοδο P011BIS. Από τα διαγράμματα φάνηκε ότι η συνθήκη περιορισμού

$$FACID_{P014} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$

Επιτυγχάνεται μόνο για τιμές ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis του εύρους

$$250 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P011BIS} \leq 400 \text{ Kg/hr}$$

Έτσι το εύρος πιθανών ροών μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011BIS διαμορφώνεται ως εξής

$$250 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P011BIS} \leq 400 \text{ Kg/hr}$$

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής φορμικού οξέος

Ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας φορμικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Το εύρος τιμών που η επιθυμητή ροή μάζας φορμικού οξέος στο P014 είναι εφικτή και ορίστηκε παραπάνω είναι :

$$250 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P011BIS} \leq 400 \text{ Kg/hr}$$

Για συγκεκριμένες τιμές από το παραπάνω εύρος πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P011BIS στο διάστημα,

$$13.850 \text{ Kg/hr} \leq P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} \leq 40.000 \text{ Kg/hr}$$

Ειδικότερα ,οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 16. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
250
260
300
330
365
373,75
382,5
400

Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ίδιο τρόπο για όλες τις τιμές του Πίνακας 16 και προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακας 17 και του Πίνακας 18 . Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις που αναφέρονται στον Πίνακας 17 είναι εκείνες όπου  $R^2=1$ .

Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την διεργασία απομάκρυνσης οξέων

P011BIS-Ροή μάζας φορμικού οξέος (Kg/hr)	Εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014 και ρεύματος P011bis
250	$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,2711 \cdot (FACID_{P014})^2 - 160,15 \cdot (FACID_{P014}) + 35345$
260	$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,2711 \cdot (FACID_{P014})^2 - 160,15 \cdot (FACID_{P014}) + 35345$
300	$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,5795 \cdot (FACID_{P014})^2 - 313,46 \cdot (FACID_{P014}) + 56057$
330	$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 0,5795 \cdot (FACID_{P014})^2 - 313,46 \cdot (FACID_{P014}) + 56057$
365	$P011BIS_{TOTAL MASS FLOW} = 18,406 \cdot (FACID_{P014})^2 - 7937 \cdot (FACID_{P014}) + 878015$
373,75	-
382,5	-
400	-

Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 250 Kg/hr<FACID<sub>P011bis</sub><400 Kg/hr

ΦΟ- P011BIS(kg/hr)	ΦΟ- P014_target_(kg/hr)	ΦΟ- P014_aspen_(kg/hr)	Σφάλμα(%)	P011BIS_required_(kg/hr)
240	<b>204,542772</b>	<b>204,542772</b>	0,00%	13590
<b>250</b>	204,542772	204,604556	0,03%	13929,68789
<b>260</b>	204,542772	204,741709	0,10%	14293,365
<b>300</b>	204,542772	204,517303	-0,01%	16185,99625
<b>330</b>	204,542772	204,545451	0,00%	18491,9518
<b>365</b>	204,542772	204,501835	-0,02%	24624,56373

### Συμπεράσματα

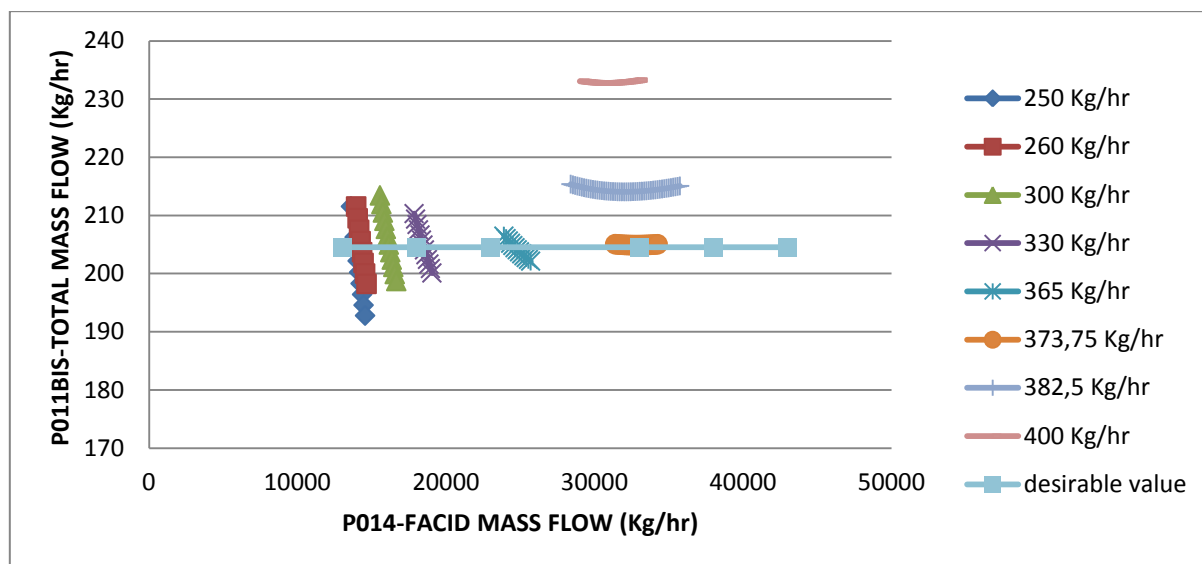
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι η επιθυμητή ροή μάζας φορμικού οξέος στο P014 είναι εφικτή όταν,

$$250 \text{ Kg/hr} \leq \text{FACID}_{\text{P011BIS}} \leq 400 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντρωτικά ,τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$\text{FACID}_{\text{P014}} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



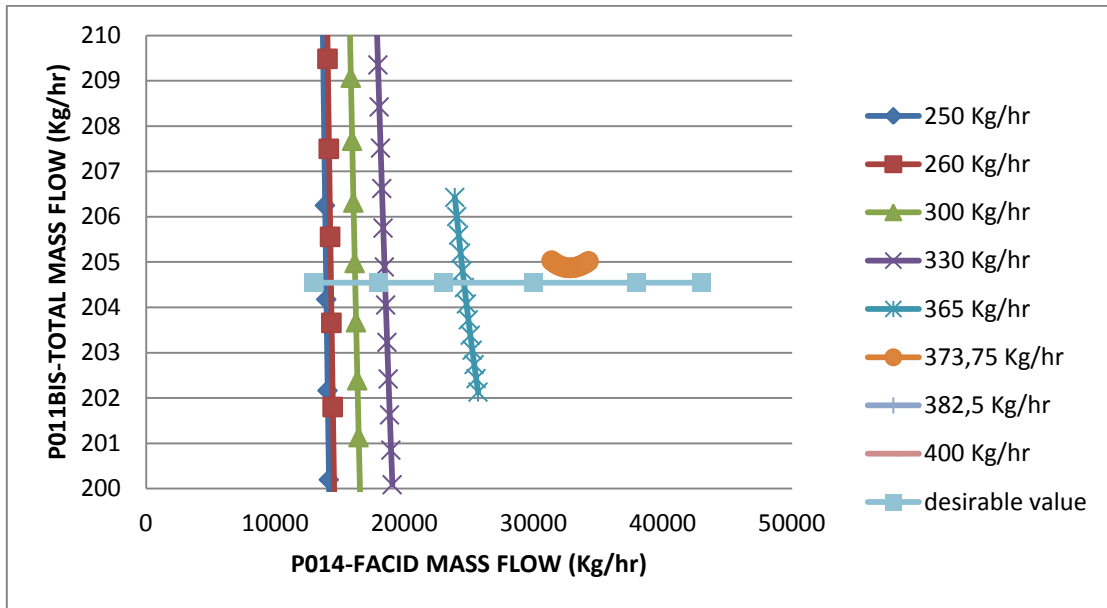
Εικόνα 48. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για 250 Kg/hr<FACID<sub>P011bis</sub><400 Kg/hr

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$\text{FACID}_{\text{P014}} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$

Αντίθετα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, στο διάγραμμα φαίνεται ότι η επιθυμητή τιμή του φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, επιτυγχάνεται με ροή του ίδιου του οξέος στο ρεύμα P011bis ίση με 373,75 Kg/hr. Το ίδιο διάγραμμα για το εύρος τιμών

$200 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P014} \leq 210 \text{ Kg/hr}$  είναι



Εικόνα 49. Εικόνα 72 για εύρος τιμών  $200 \text{ Kg/hr} < FACID_{P014} < 210 \text{ Kg/hr}$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P011BIS, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα εξόδου, είναι

$$FACID_{P011BIS} = 365 \text{ Kg/hr}$$

## Συμπεράσματα

### Ασετικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του ασετικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P011BIS είναι

$$AACID_{P011BIS} = 530 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin_{maxAACID} = \frac{530}{12910} = 0,04105 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$AACID_{P014} = 1054,095 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P011bis είναι

$$P011bis_{TOTAL MASS FLOW} = 30797,85202 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P011bis η σύστασή του σε ασετικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 19. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 14

AACID-PO11BIS(kg/hr)	P011BIS_required_(kg/hr)
440	13590
450	14410,77436
460	15293,70188
470	16306,97226
500	20544,98588
510	22719,01423
520	25679,88416
530	30797,85202

Αν αυτή η ροή δεν μπορεί να επιτευχθεί ,χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του **Error! Reference source not found.**, η ροή του ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν ,με βάση τα ισοζύγια μάζας της συνολικής διεργασίας, η συνολική ροή του ρεύματος P011bis μπορεί να είναι

$$P011bis_{TOTAL MASS FLOW} = 25679,88416 \text{ Kg/hr}$$

τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$AACID_{P011BIS} = 520 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis, θα είναι

$$Cin_{max_{ACID}} = \frac{520}{12910} = 0,040278 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του **Error! Reference source not found.**, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε ασετικό οξύ στο ρεύμα P011bis με την συνολική ροή του ρεύματος αυτού.

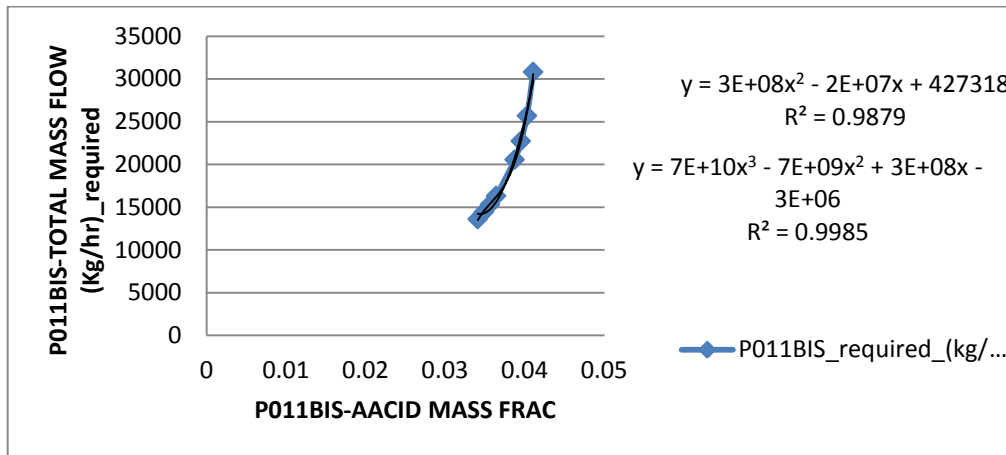
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο **Error! Reference source not found.** γίνεται,

Πίνακας 20. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P011bis

AO-PO11BIS(kg/hr)	P011BIS_required_(kg/hr)	AO-PO11BIS (κλάσμα μάζας)
440	13590	0,034082107
450	14410,77436	0,0348567
460	15293,70188	0,035631294
470	16306,97226	0,036405887
500	20544,98588	0,038729667
510	25679,88416	0,03950426
520	30797,85202	0,040278854
530	30797,85202	0,041053447

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



Εικόνα 50. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P011bis ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P011bis

Όπως φαίνεται η συνάρτηση που περιγράφει την σχέση απαιτούμενης ροής ρεύματος P011bis και σύστασης ασετικού οξέος στο ρεύμα αυτό είναι,

$$y = 3E + 08 \cdot x^2 - 2E + 07 \cdot x + 427318$$

ή

$$y = 7E + 10 \cdot x^3 - 7E + 09 \cdot x^2 + 3E + 08 \cdot x + 3E + 06$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{AACID}$$

$$y = P011bis_{MASS FLOW}$$

### Φορμικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του φορμικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P011BIS είναι

$$FACID_{P011BIS} = 365 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου να διαμορφώνεται σε

$$Cin\_max_{FACID} = \frac{365}{12910} = 0,02827 \text{ w/w}$$

*Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.*

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$FACID_{P014} = 204,542772 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P011bis είναι

$$P011bis_{TOTAL MASS FLOW} = 24624,56373 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P011bis η σύστασή του σε φορμικό οξύ παραμένει σταθερή.

**Πίνακας 21. Συνοπτικά αποτελέσματα** Error! Reference source not found.

ΦΟ-P011BIS(kg/hr)	P011BIS_required_(kg/hr)
240	13590
250	13929,68789
260	14293,365
300	16185,99625
330	18491,9518
365	24624,56373

Αν αυτή η ροή δεν μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 21, η ροή του φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα



αν, με βάση τα ισοζύγια μάζας της συνολικής διεργασίας, η συνολική ροή του ρεύματος P011bis μπορεί να είναι

$$P011bis_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 18491,9518\ Kg/hr$$

τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$FACID_{P011BIS} = 330\ Kg/hr$$

και η νέα σύσταση του φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis, θα είναι

$$Cin_{maxFACID} = \frac{330}{12910} = 0,02556\ w/w$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 21, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε φορμικό οξύ στο ρεύμα P011bis με την συνολική ροή του ρεύματος αυτού.

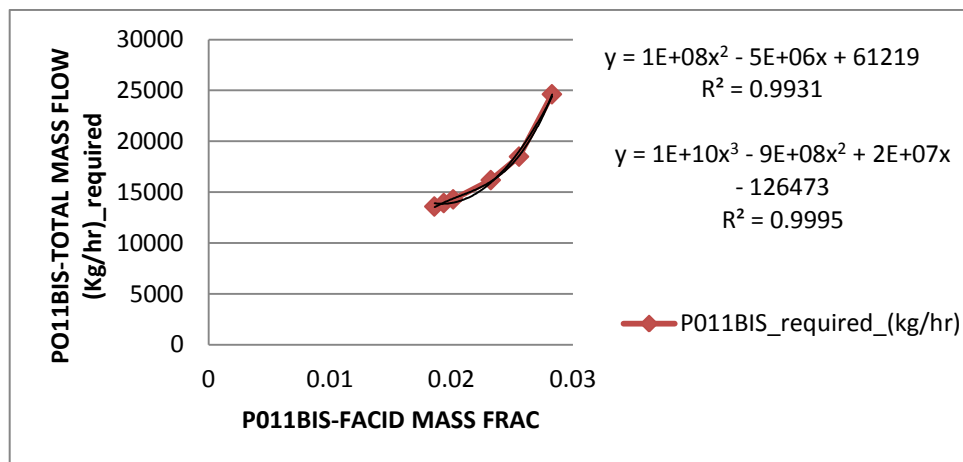
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 21 γίνεται,

**Πίνακας 22. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P011bis**

<b>ΦΟ-P011BIS(kg/hr)</b>	<b>P011BIS_required_(kg/hr)</b>	<b>ΦΟ-P011BIS(κλάσμα μάζας)</b>
<b>240</b>	<b>13590</b>	<b>0,01859024</b>
<b>250</b>	13929,68789	0,019364833
<b>260</b>	14293,365	0,020139427
<b>300</b>	16185,99625	0,0232378
<b>330</b>	18491,9518	0,02556158
<b>365</b>	24624,56373	0,028272657

*Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.*

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



Εικόνα 51. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P011bis ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P011bis

Όπως φαίνεται η συνάρτηση που περιγράφει την σχέση απαιτούμενης ροής ρεύματος P011bis και σύστασης φορμικού οξέος στο ρεύμα αυτό είναι,

$$y = 1E + 08x^2 - 5E + 06x + 61219$$

$$y = 1E + 10x^3 - 9E + 08x^2 + 2E + 07x - 126473$$

Όπου

$$x = Cin_{max_{FACID}}$$

$$y = P011bis_{MASS FLOW}$$

### 5.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση αριθμού δίσκων στήλης απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας οξέων στο ρεύμα εξόδου που περιέχει κυτταρίνη

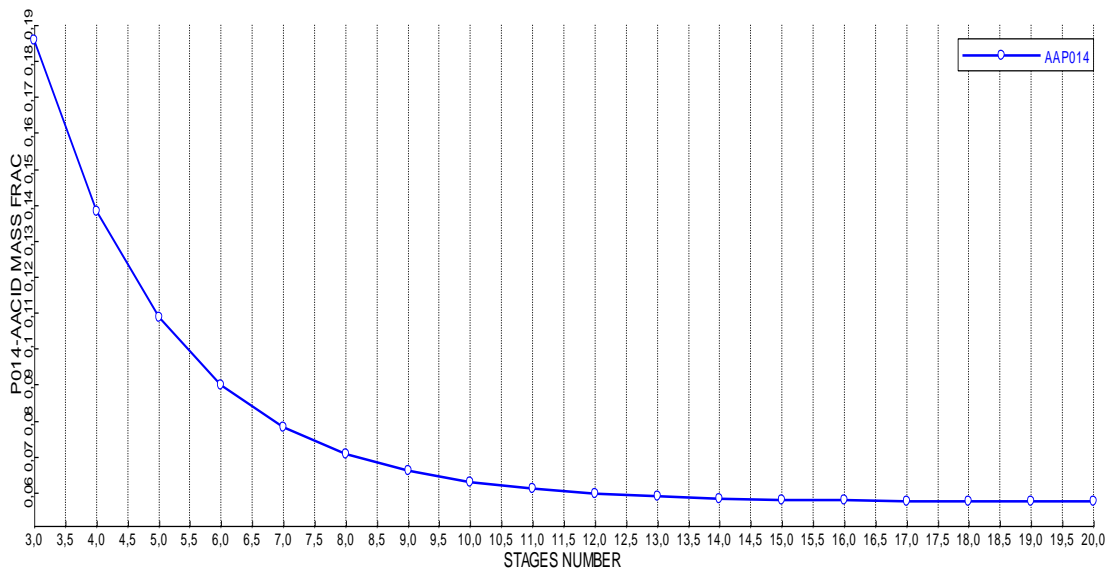
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της μεταβολής του αριθμού των δίσκων της στήλης απογύμνωσης, στο ρεύμα εξόδου που περιέχει την κυτταρίνη (P014) . Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* .Πιο συγκεκριμένα ,ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P014. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για εύρος αριθμού δίσκων

$$3 \leq \text{Αριθμός Δίσκων} \leq 20.$$

Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

#### Ασετικό οξύ

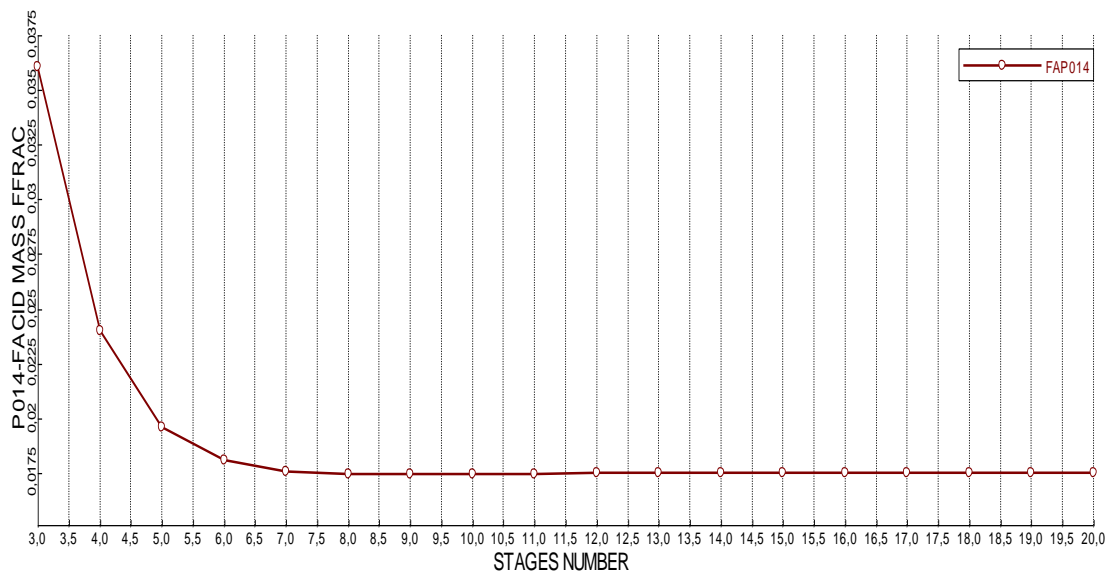
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του αριθμού των δίσκων της στήλης απογύμνωσης και του κλάσματος μάζας οξέος, στο ρεύμα εξόδου P014 .



Εικόνα 52. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας τον αριθμό δίσκων στην στήλη απογύμνωσης

## Φορμικό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του αριθμού δίσκων της στήλης και του κλάσματος μάζας οξέος, στο ρεύμα εξόδου P014.



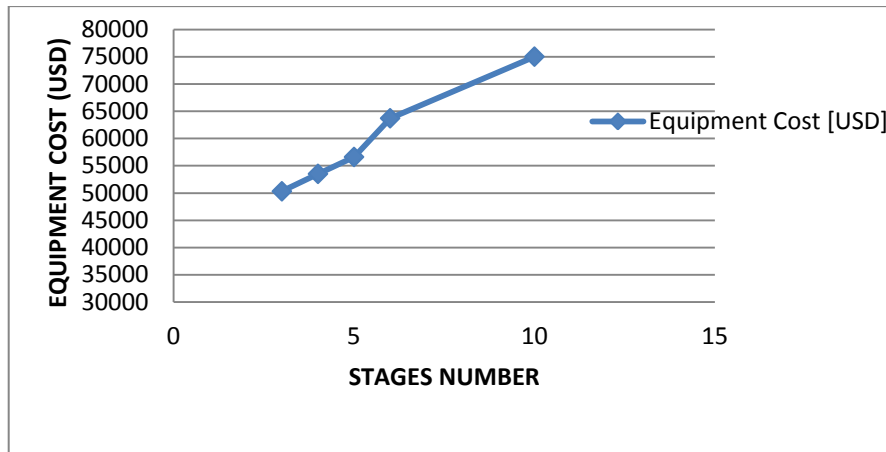
Εικόνα 53. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας τον αριθμό δίσκων στην στήλη απογύμνωσης

## Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις, με αύξηση του αριθμού των δίσκων της στήλης, η συγκέντρωση των οξέων (κλάσμα μάζας) στο ρεύμα εξόδου μειώνεται. Δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταβάλλοντας τον αριθμό των δίσκων και αυξάνοντας την συγκέντρωση των οξέων στο ρεύμα εισόδου να επιτευχθεί η ίδια καθαρότητα τελικού προϊόντος.

Η αύξηση στον αριθμό των δίσκων είναι ανάλογη με το κόστος εξοπλισμού. Κρίνεται απαραίτητη μια μελέτη κόστους, έτσι ώστε να εξακριβωθεί μέχρι ποιο σημείο η μεταβολή του αριθμού των δίσκων είναι οικονομικά εφικτή.

Η μεταβολή του κόστους εξοπλισμού σε συνάρτηση με τον αριθμό των δίσκων παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 54. Εξάρτηση κόστους εξοπλισμού από αριθμό δίσκων

Παρατηρείται ότι το κόστος εξοπλισμού αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των δίσκων, χωρίς να σταθεροποιείται, να παρουσιάζει ελάχιστο ή μέγιστο σημείο. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνει χρηματοοικονομική μελέτη έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν το παραπάνω αυτό κόστος είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το υπάρχον κόστος χρήσης φρέσκου νερού, δηλαδή αυτό της στήλης με τρεις δίσκους.

## 5.4 Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στα ρεύματα εισόδου της στήλης έκπλυσης

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η αύξηση της ποσότητας των οξέων στα ρεύματα εισόδου (P021NT και P021BISN) της στήλης έκπλυσης, με στόχο την μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου φρέσκου νερού και την ταυτόχρονη αύξηση της ποσότητας του ανακυκλούμενου νερού που προέρχεται από το τελικό στάδιο κατεργασίας.

Αρχικά είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί ποιες μεταβλητές και με ποιον τρόπο επηρεάζουν την καθαρότητα του τελικού προϊόντος της συγκεκριμένης μονάδας έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό ποιες μεταβλητές μπορούν να μεταβληθούν. Το τελικό προϊόν βρίσκεται στο ρεύμα P023 και περιέχει κυρίως ξυλόζη και λιγνίνη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει όμως και η μεταβολή της σύστασης των ρευμάτων P020 και P022bis. Το P020 συνεχίζει στην διεργασία (τμήμα Β) και η σύσταση του σε οξέα επηρεάζει μεταγενέστερα τελικά προϊόντα άλλων διεργασιών. Το ρεύμα P022bis συνεχίζει στην διεργασία κατεργασίας του νερού και έπειτα αποβάλλεται στο περιβάλλον. Στην διαδικασία παίρνουν μέρος το ασετικό οξύ και το φορμικό οξύ, οι τιμές των οποίων για την υπάρχουσα διεργασία, παρουσιάζονται στον Πίνακα 23. Η καθαρότητα του ρεύματος P023 έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές, αναφορικά με την αύξηση της σύστασης των οξέων. Αντιθέτως, δεν υπάρχουν δεδομένα για να κριθεί αν η αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα P022bis είναι επιτρεπτή και με ποιόν τρόπο επηρεάζει το συνολικό λειτουργικό κόστος της κατεργασίας νερού (A.D. Mountraki et al, 2011).

Πίνακας 23. Τιμές συγκέντρωσης ρευμάτων εξόδου υπάρχουσας διεργασίας

Κλάσμα μάζας	P023	P020	P022bis
Ασετικό οξύ	0,034	0,036	0,0003
Φορμικό οξύ	0,13	0,0135	0,00013

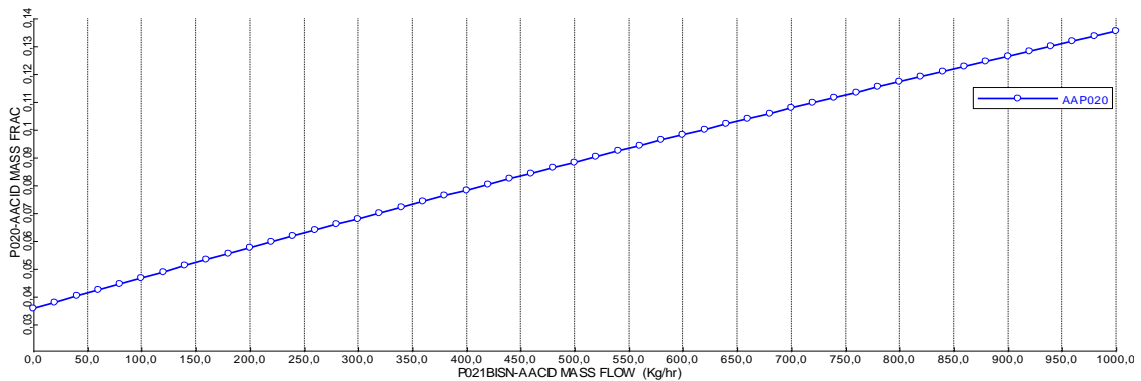
Ως βάση των ακόλουθων μελετών θεωρείται η καθαρότητα του ρεύματος P023. Γίνεται η παραδοχή ότι πρέπει να ισχύει η μέγιστη τιμή είναι αυτή της υπάρχουσας διεργασίας. Πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας έτσι ώστε να καθοριστεί το εύρος των μεταβλητών που επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις με στόχο την εύρεση συγκεκριμένης τιμής της μεταβλητής ή των μεταβλητών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα P021BISN με ταυτόχρονη την διατήρηση της επιτρεπόμενης συσκέτρωσής τους στο ρεύμα εξόδου P023.

#### 5.4.1 Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο πρώτο ρεύμα εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου

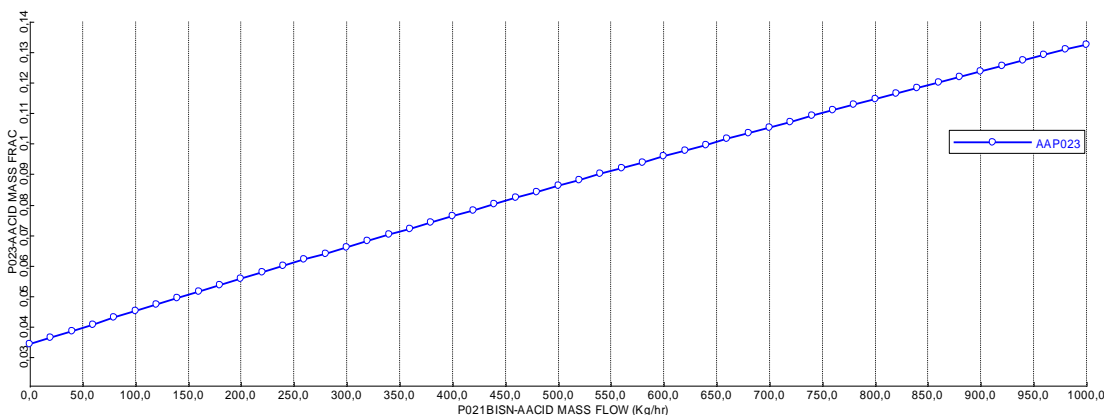
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου P021bisn και στα ρεύματα εξόδου P020, P023, P022bis, που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν λιγνίνη. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P020, P023 και P022bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών μαζικής παροχής του κάθε οξέος στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

##### Ασετικό οξύ

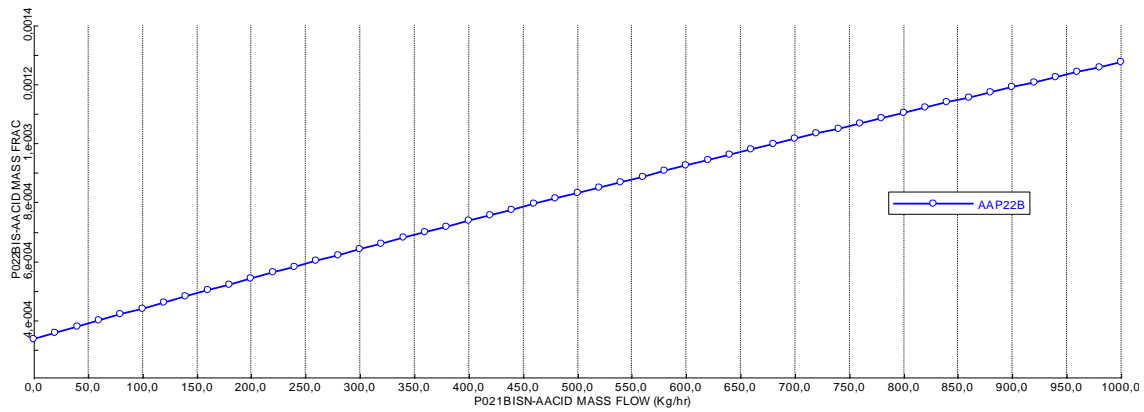
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P021bisn και του κλάσματος μάζας του ,στο ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 55. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN



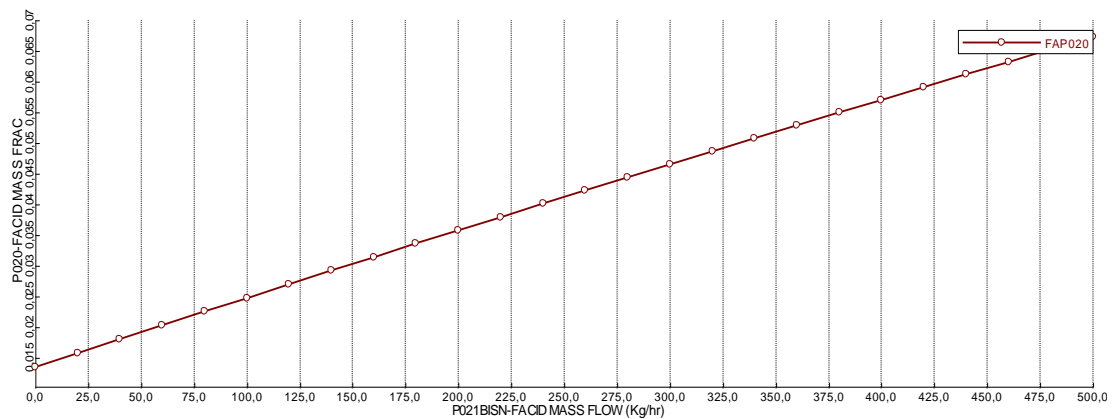
Εικόνα 56. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN



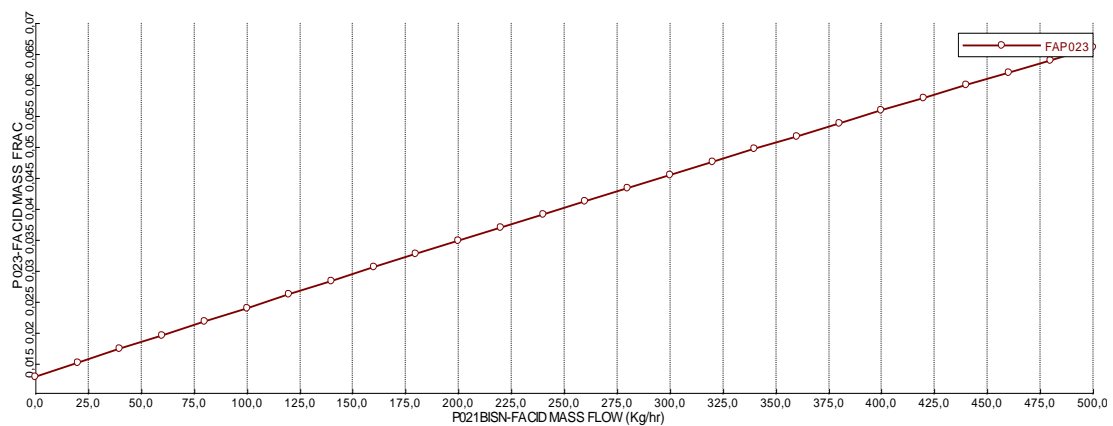
Εικόνα 57. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN

### Φορμικό οξύ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P021bisn και του κλάσματος μάζας του, στα ρεύματα εξόδου.

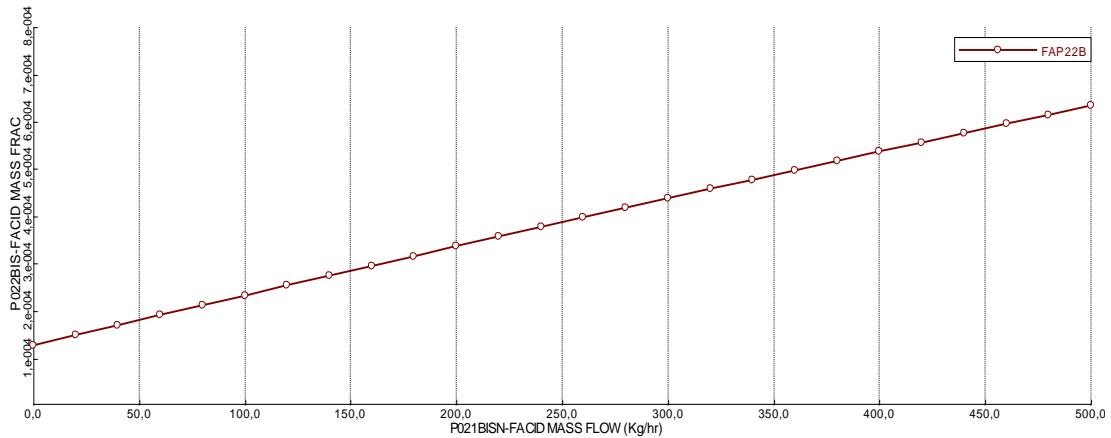


Εικόνα 58. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN



Εικόνα 59. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN





Εικόνα 60. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021BISN

### Συμπεράσματα

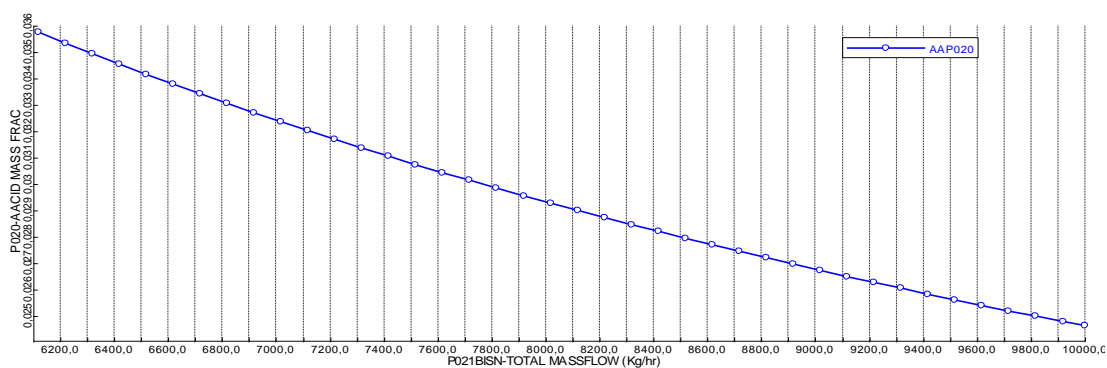
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η παροχή των οξέων στην είσοδο της στήλης έκπλυσης, αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο ρεύμα εξόδου. Επίσης παρατηρείται ότι μεγάλη αύξηση ροής στο ρεύμα P021BISN, σημαίνει υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων συγκέντρωσης στο ρεύμα P023. Παρ'όλα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα επιδέχεται βελτίωση, όσον αφορά την αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου, αφού το πρόγραμμα προσομοίωσης δεν εμφανίζει κάποιο σφάλμα.

## Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου

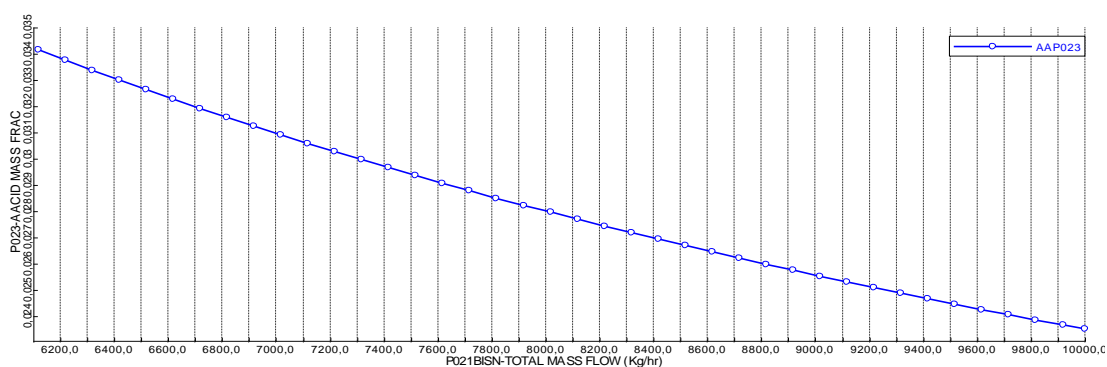
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της μεταβολής της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P021bisn, στα ρεύματα εξόδου P020, P023, P022bis, που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν λιγνίνη. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P020, P023 και P022bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών συνολικής ροής στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

### Ασετικό οξύ

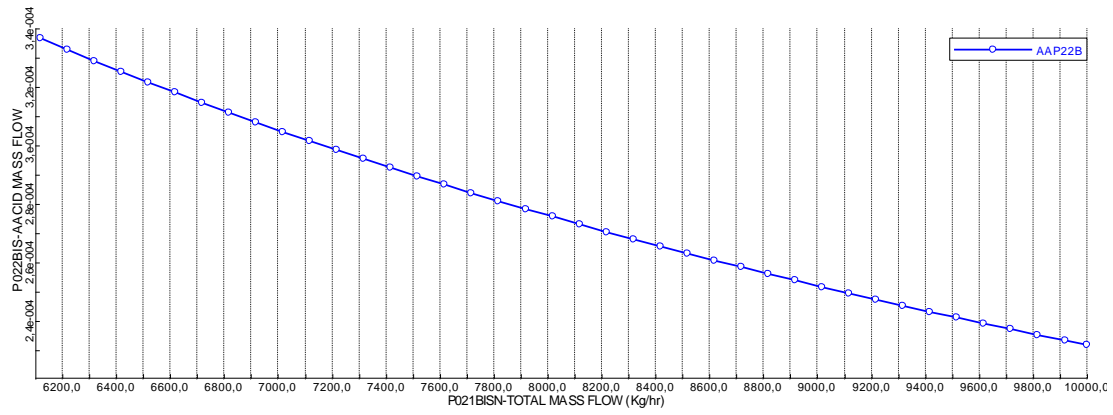
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P021Bisn και του κλάσματος μάζας των οξέων, στα ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 61. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN



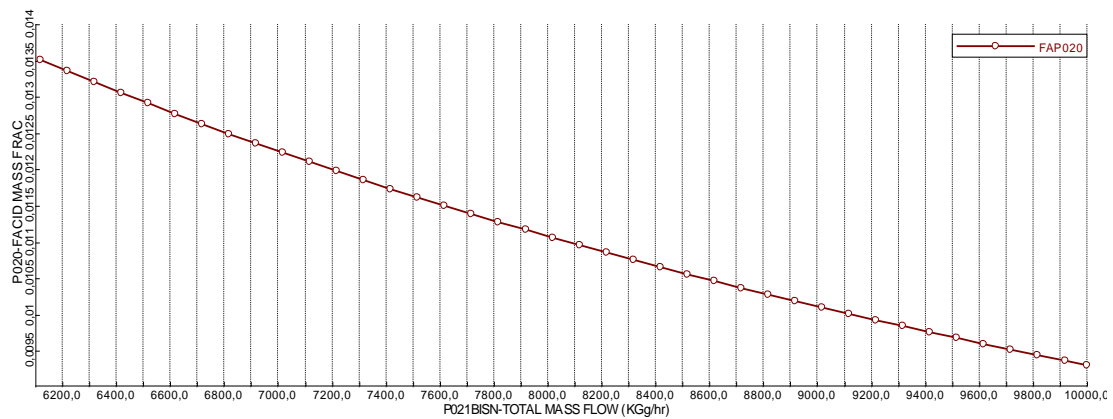
Εικόνα 62. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN



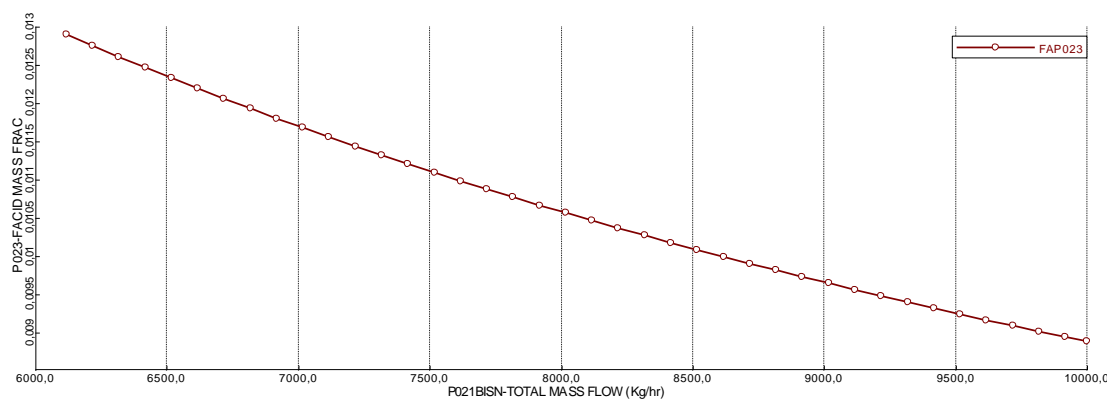
Εικόνα 63. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας α세트ικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN

### Φορμικό οξύ

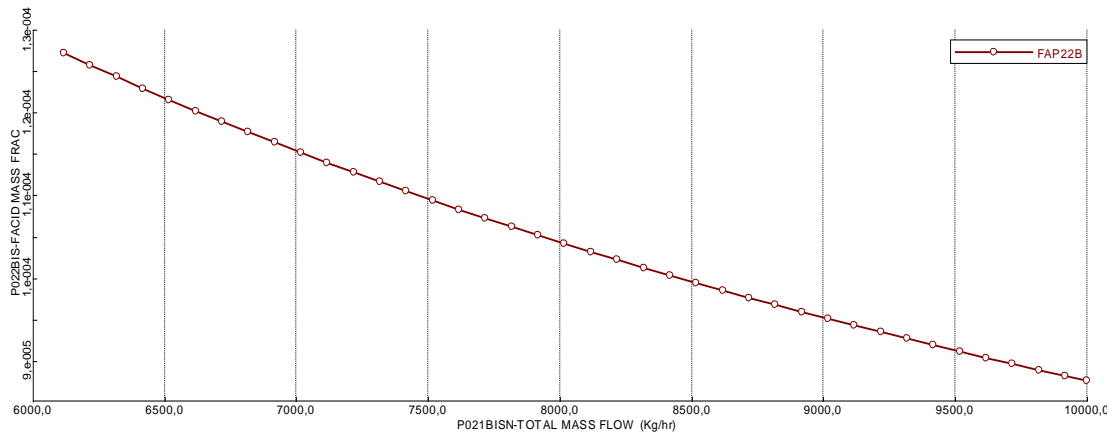
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P021Bisn και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 64. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN



Εικόνα 65. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN



Εικόνα 66. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021BISN

### Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η συνολική παροχή του ρεύματος εισόδου της στήλης έκπλυσης, μειώνεται και η συγκέντρωσή των οξέων στο ρεύμα εξόδου. Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταβάλλοντας την ροή να επιτύχουμε μεγαλύτερη καθαρότητα του προϊόντος της διεργασίας.

### Παραμετρική Ανάλυση

Εύρεση μέγιστης ροής μάζας ασετικού και φορμικού οξέως στο ρεύμα εισόδου P021BISN, χωρίς μεταβολή της ροής του φρέσκου νερού και τήρηση των επιτρεπόμενων ορίων στο τελικό ρεύμα λιγνίνης P023.

Με χρήση του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* μεταβάλλεται η ροή μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P021BISN, διατηρώντας όλες τις άλλες ροές (δηλαδή του νερού και του άλλου οξέος) σταθερές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ροής εισόδου. Έπειτα, για κάθε τέτοια τιμή πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Μεταβάλλοντας την συνολική ροή μάζας, σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, του ρεύματος P021BISN παρατηρείται η μεταβολή της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα P023.

Με χρήση του προγράμματος *Microsoft Excel*, αφού σχεδιαστούν τα κατάλληλα διαγράμματα, βρίσκεται η τιμή της συνολικής ροής μάζας του P021BISN (για την εκάστοτε τιμή ροής μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P021BISN), έτσι ώστε η ροή του ίδιου οξέος στην έξοδο P023 να είναι ίση με 86,313 Kg/hr και 32,613 Kg/hr, για το ασετικό και το φορμικό οξύ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από την μέχρι τώρα διεργασία, και θεωρούνται ως ανώτατα όρια παροχών (Kg/hr).

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής ασετικού οξέος

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας ασετικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P021BISN στο διάστημα,

$$6000 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 60.000 \text{ Kg/hr}$$

Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

**Πίνακας 24. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας**

Kg/hr
25
50
75
100
150
175
187, 5
193, 75
200

Για την εύρεση της καταλληλότερης ροής μάζας ασετικού οξέος γίνεται χρήση της μεθόδου διχοτόμησης και θεωρείται αποδεκτή απόκλιση 5%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές 25, 50, 75 Kg/hr, δεν ακολουθούν την μέθοδο της διχοτόμησης, αλλά μελετούνται με στόχο την εύρεση ακριβέστερης σχέσης μεταξύ απαιτούμενης συνολικής ροής P021BISN και συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα αυτό.

Η ανάλυση γίνεται όπως και στην προηγούμενη παραμετρική μέθοδο και οι υπολογισμοί γίνονται ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής P021BISN TOTAL MASS FLOW σε Kg/hr, έτσι ώστε

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*, έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών AACID<sub>P023</sub>.

### Συμπεράσματα

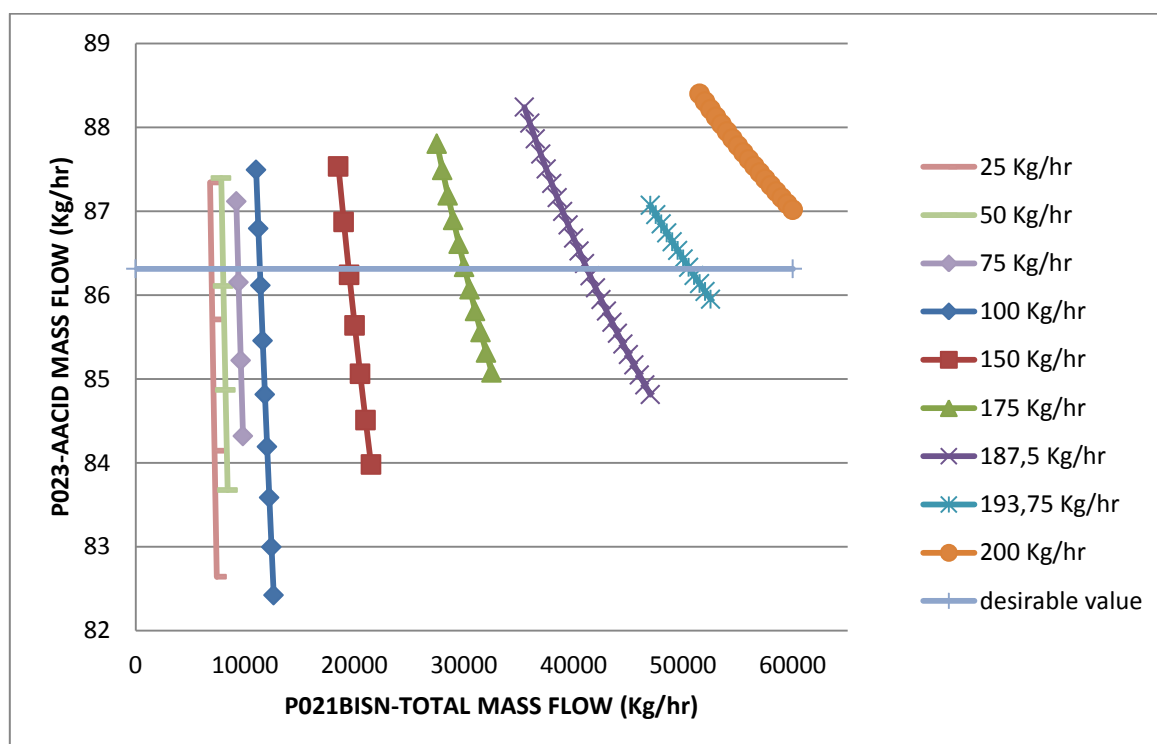
Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

$$100 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P021BISN} \leq 200 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντωτικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



Εικόνα 67. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για 100 Kg/hr < AACID<sub>P011BISN</sub> < 200 Kg/hr

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P023 είναι η

$$AACID_{P021BISN} = 193,75 \text{ Kg/hr}$$

Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P023,

Πίνακας 25. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για  $0 \text{ Kg/hr} < AACID_{P021BISN} < 193,75 \text{ Kg/hr}$

AA-P021BISN(kg/hr)	AA-P023_target_(kg/hr)	AA-P023_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P021BISN_required_(kg/hr)
<b>0</b>	<b>86,313</b>	<b>86,313</b>	<b>0</b>	<b>6118</b>
<b>25</b>	86,313	86,310298	0,00%	6925,347517
<b>50</b>	86,313	86,3161125	0,00%	7967,049049
<b>75</b>	86,313	86,3103379	0,00%	9366,750325
<b>100</b>	86,313	86,3233313	0,01%	11337,97786
<b>150</b>	86,313	86,3173346	0,01%	19437,87722
<b>175</b>	86,313	86,2883766	-0,03%	30088,09223
<b>187,5</b>	86,313	86,3132238	0,00%	41211,05278
<b>193,75</b>	86,313	86,30800311	-0,01%	50613,03524

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής φορμικού οξέος

Ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας φορμικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P021BISN στο διάστημα,

$$6000 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 60.000 \text{ Kg/hr}$$

Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

**Πίνακας 26. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας**

Kg/hr
20
50
50
62,5
68,75
75
100

Για την εύρεση της καταλληλότερης ροής μάζας ασετικού οξέος γίνεται χρήση της μεθόδου διχοτόμησης και θεωρείται αποδεκτή απόκλιση 5%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές 20, 40 Kg/hr δεν ακολουθούν την μέθοδο της διχοτόμησης, αλλά μελετούνται με στόχο την εύρεση ακριβέστερης σχέσης μεταξύ απαιτούμενης συνολικής ροής P021BISN και συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα αυτό. Η ανάλυση και οι υπολογισμοί γίνονται όπως και στο ασετικό οξύ.

### Συμπεράσματα

Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

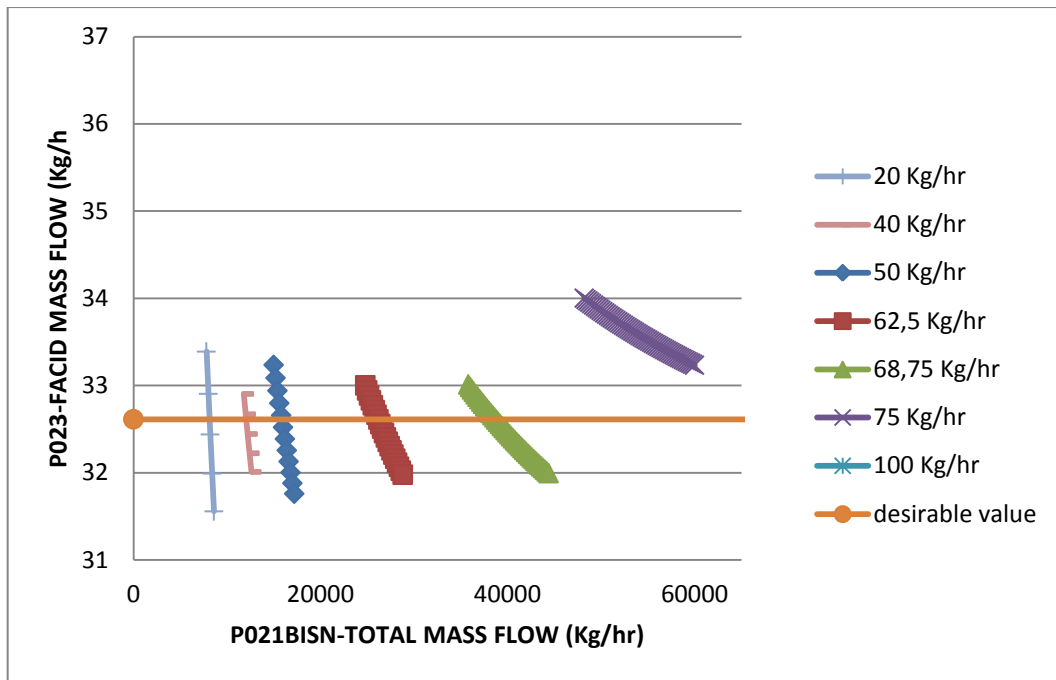
$$0 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P021BISN} \leq 100 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντωτικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :





Εικόνα 68. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011BISN, για  $0 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P011BISN}} < 100 \text{ Kg/hr}$

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P023 είναι η

$$FACID_{P021BISN} = 68,75 \text{ Kg/hr}$$

Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P023,

Πίνακας 27. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για  $0 \text{ Kg/hr} < FACID_{\text{P011BISN}} < 100 \text{ Kg/hr}$

ΦΟ- P021BISN(kg/hr)	ΦΟ- P023_target_(kg/hr)	ΦΟ- P023_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P021BISN_required_(kg/hr)
0	<b>32,613</b>	<b>32,613</b>	<b>0</b>	<b>6118</b>
20	32,613	32,6145154	0,00%	8123,73758
40	32,613	32,6139254	0,00%	12049,75094
50	32,613	32,6087645	-0,01%	15871,67888
62,5	32,613	32,6150192	0,01%	26185,36247
68,75	32,613	32,6067171	-0,02%	38825,15023

## Συμπεράσματα

### Ασετικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του ασετικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P021BISN είναι

$$AACID_{P021BISN} = 193,75 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin_{max_{AACID}} = \frac{193,75}{6118} = 0,0317 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P021BISN είναι

$$P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 50613,035 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN η σύστασή του σε ασετικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 28. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 25

AA-P021BISN(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)
0	<b>6118</b>
25	6925,347517
50	7967,049049
75	9366,750325
100	11337,97786
150	19437,87722
175	30088,09223
187,5	41211,05278
193,75	50613,03524

Αν αυτή η ροή δεν μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 28, η ροή του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, με βάση τα ισοζύγια μάζας της συνολικής διεργασίας, η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN μπορεί να είναι

$$P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 41211,05278 \text{ Kg/hr}$$

τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$AACID_{P021BISN} = 187,5 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, θα είναι

$$Cin_{max_{AACID}} = \frac{187,5}{6118} = 0,031 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 28, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε ασετικό οξύ στο ρεύμα P021BISN με την συνολική ροή του ρεύματος αυτού.

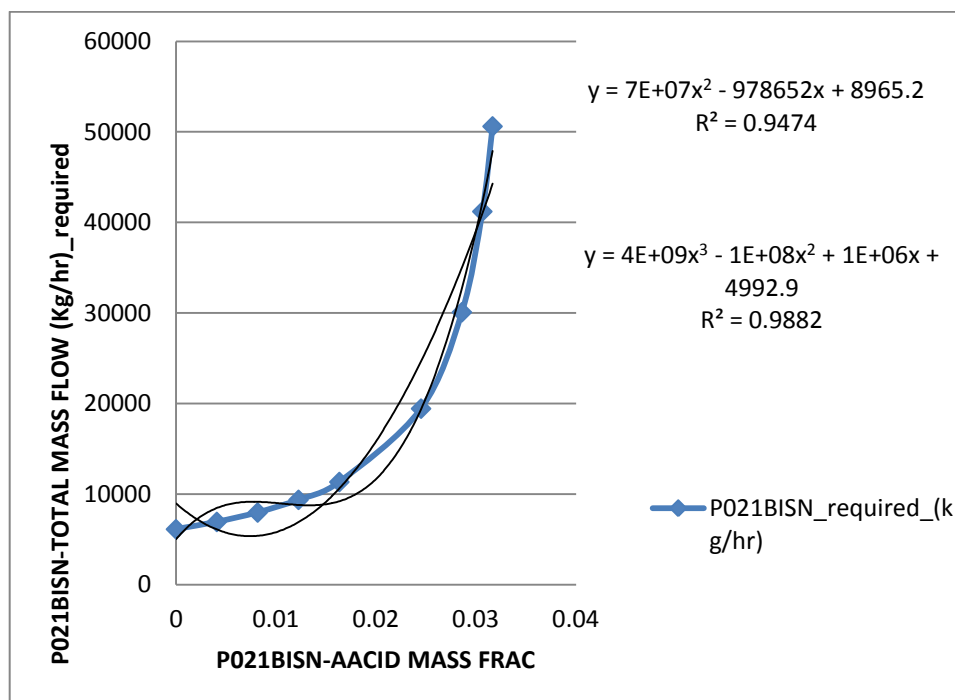
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο **Error! Reference source not found.** γίνεται,

Πίνακας 29. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN

AA-P021BISN(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)	AA-P021BISN (κλάσμα μάζας)
0	<b>6118</b>	<b>0</b>
100	11337,97786	0,016345211
150	19437,87722	0,024517816
175	30088,09223	0,028604119
<b>187,5</b>	41211,05278	<b>0,03064727</b>
<b>193,75</b>	50613,03524	0,031668846

Για τον υπολογισμό της συγκέντωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



Εικόνα 69. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P021BISN ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ρεύματος P021BISN

Παρατηρείται ότι οι εξισώσεις παλινδρόμησης δεν μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια την καμπύλη. Για τον λόγο αυτό χωρίζονται τα παρακάτω διαστήματα,

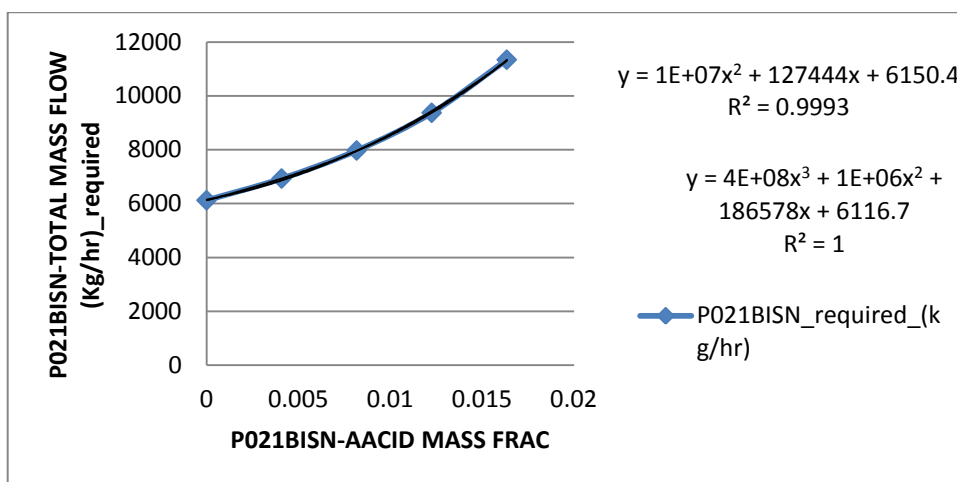
$$0 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,02$$

και

$$0,02 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,04$$

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα,

Για το διάστημα  $0 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,02$



Εικόνα 70. Εικόνα 69 για διάστημα  $0 < AACID\ MASS\ FRAC < 0,02$

με εξισώσεις παλινδρόμησης

$$y = 1E + 07x^2 + 127444x + 6150,4$$

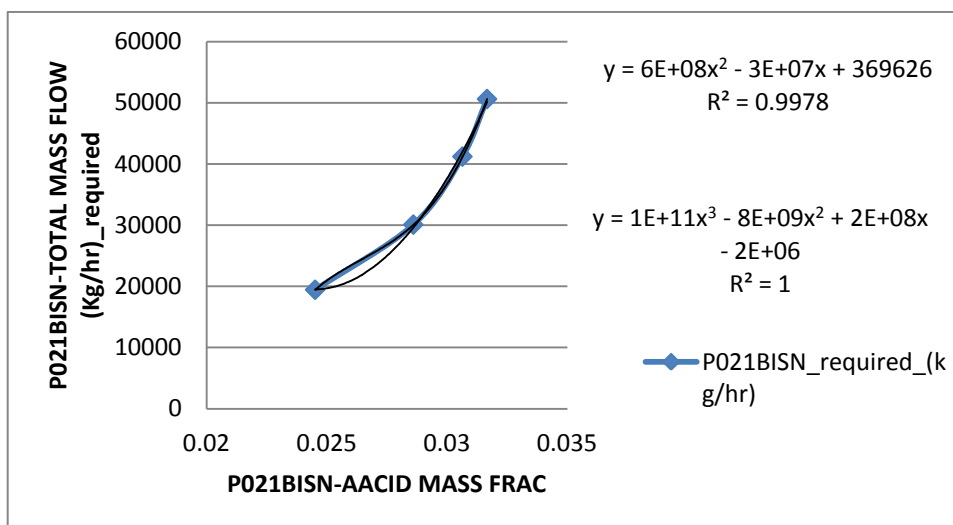
$$y = 4E + 08x^3 + 1E + 06x^2 + 186578x + 6116,7$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{AACID}$$

$$y = P021BISN_{MASS\ FLOW}$$

Και για το διάστημα  $0,02 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,04$



Εικόνα 71. Εικόνα 69 για διάστημα  $0,02 < AACID\ MASS\ FRAC < 0,04$

με εξισώσεις παλινδρόμησης

$$y = 6E + 08x^2 - 3E + 07x + 369626$$

$$y = 1E + 11x^3 - 8E + 09x^2 + 2E + 08x - 2E + 06$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{AACID}$$

$$y = P021BISN_{MASS\ FLOW}$$

### Φορμικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του φορμικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P011BIS είναι

$$FACID_{P021BISN} = 68,75 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου να διαμορφώνεται σε

$$Cin_{maxFACID} = \frac{68,75}{6118} = 0,0112 \text{ w/w}$$

*Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.*

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P021BISN είναι

$$P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 24624,56373 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN η σύστασή του σε φορμικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 30. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 27

ΦΟ-P021BISN(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)
0	<b>6118</b>
20	8123,73758
40	12049,75094
50	15871,67888
62,5	26185,36247
68,75	38825,15023

Αν αυτή η ροή δεν μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 30, η ροή του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, με βάση τα ισοζύγια μάζας της συνολικής διεργασίας, η συνολική ροή του ρεύματος P021bisen μπορεί να είναι

$$P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 26185,36247 \text{ Kg/hr}$$

τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$FACID_{P021BISN} = 62,5 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, θα είναι

$$Cin_{maxFACID} = \frac{62,5}{6118} = 0,01 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 30, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε φορμικό οξύ στο ρεύμα P011BISN με την συνολική ροή του ρεύματος αυτού.

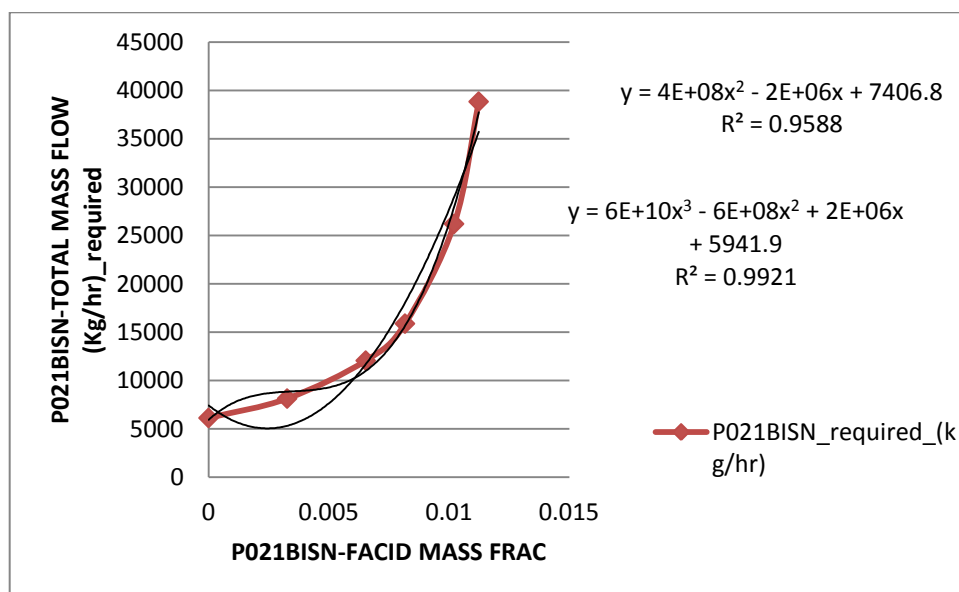
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 30 γίνεται,

Πίνακας 31. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN

ΦΟ-P021BISN(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)	ΦΟ-P021BISN (κλάσμα μάζας)
0	<b>6118</b>	<b>0</b>
<b>20</b>	8123,73758	0,003269042
<b>40</b>	12049,75094	0,006538084
<b>50</b>	15871,67888	0,008172605
<b>62,5</b>	26185,36247	0,010215757
<b>68,75</b>	38825,15023	0,011237332

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



Εικόνα 72. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN

Παρατηρείται ότι οι εξισώσεις παλινδρόμησης δεν μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια την καμπύλη. Για τον λόγο αυτό χωρίζονται τα παρακάτω διαστήματα,

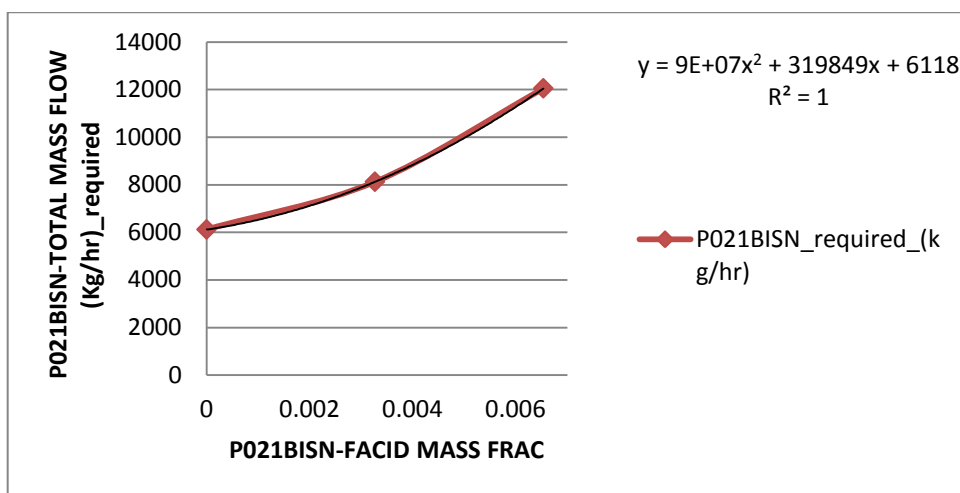
$$0 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,006$$

και

$$0,006 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,013$$

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα,

Για το διάστημα  $0 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,006$



Εικόνα 73. Εικόνα 72 για διάστημα  $0 < FACID_{MASS\ FRAC} < 0,006$

με εξίσωση παλινδρόμησης

$$y = 9E + 07x^2 + 319849x + 6118$$

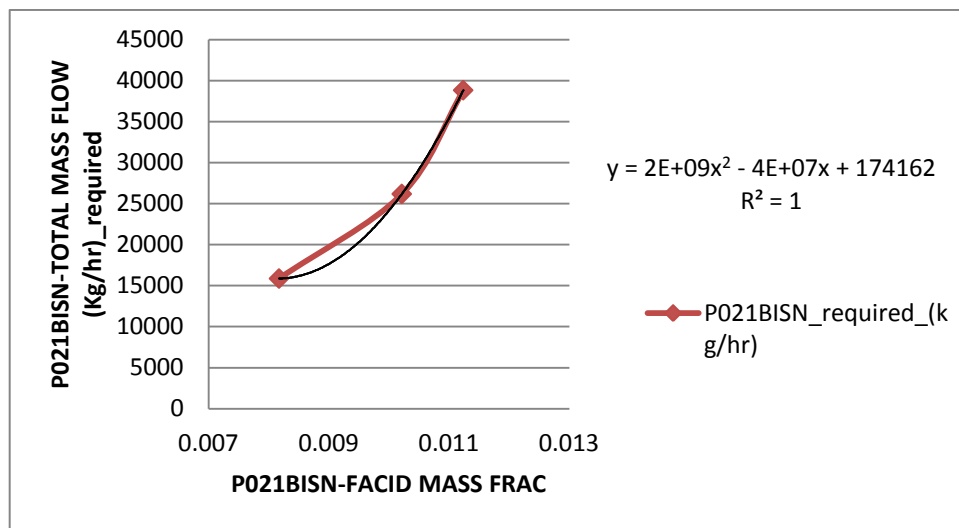
Όπου

$$x = Cin\_max_{FACID}$$

$$y = P021BISN_{MASS\ FLOW}$$



Και για το διάστημα  $0,006 \leq AACID\ MASS\ FRAC_{P021BISN} \leq 0,013$



Εικόνα 74. Εικόνα 72 για διάστημα  $0,006 < FACID\ MASS\ FRAC < 0,013$

με εξίσωση παλινδρόμησης

$$y = 2E + 09x^2 - 4E + 07x + 174162$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{FACID}$$

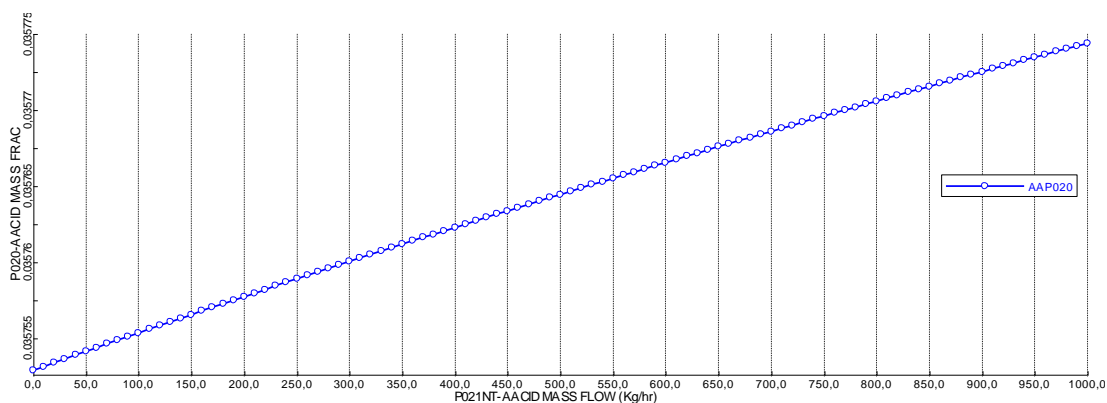
$$y = P021BISN_{MASS\ FLOW}$$

## Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο δεύτερο ρεύμα εισόδου της στήλης έκπλυσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου

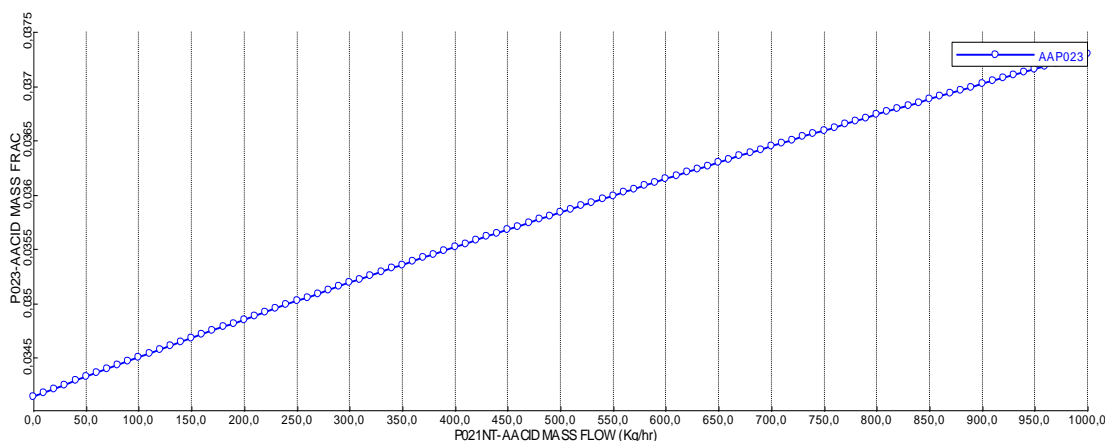
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της συγκέντρωσης των οξέων στο δεύτερο ρεύμα εισόδου P021nt στα ρεύματα εξόδου P020, P023, P022bis, που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν λιγνίνη. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P020, P023 και P022bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών μαζικής παροχής του κάθε οξέος στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

### Ασετικό οξύ

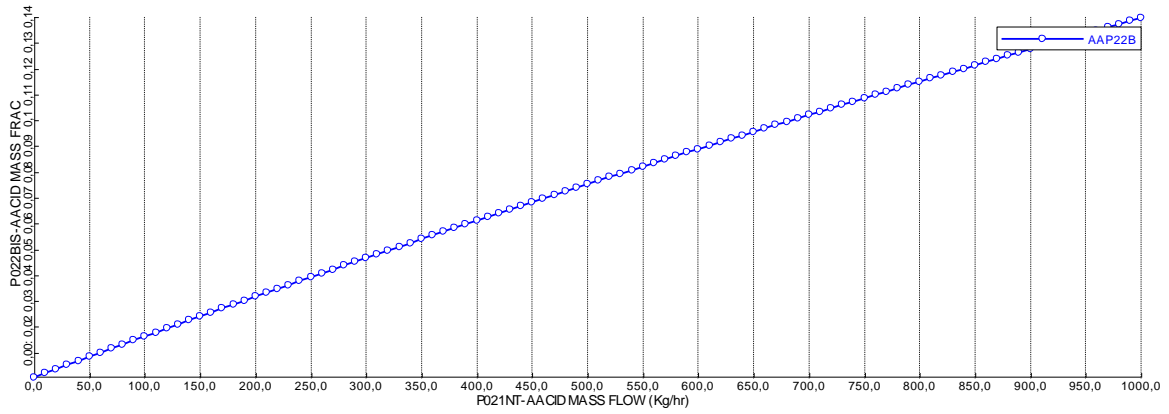
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P021nt και του κλάσματος μάζας του ,στο ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 75. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT



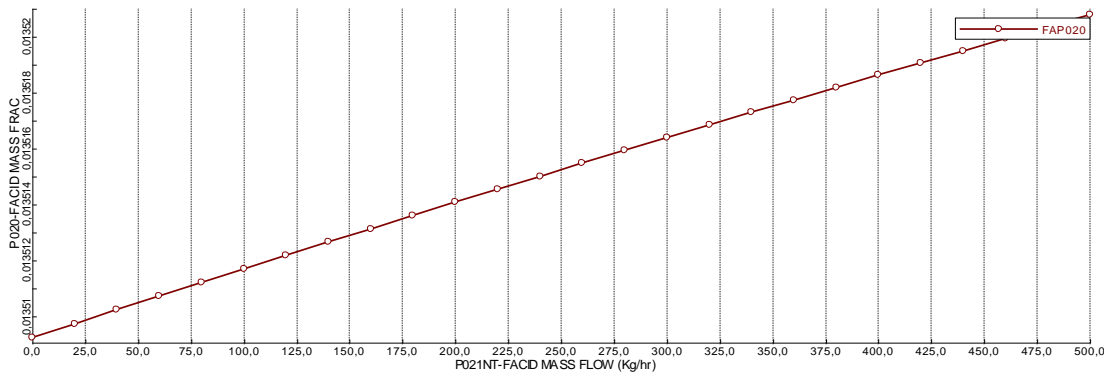
Εικόνα 76. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT



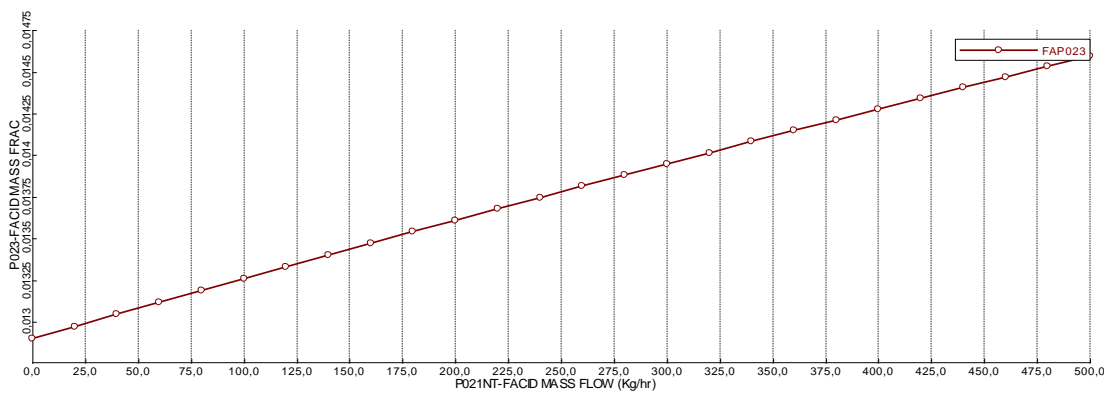
Εικόνα 77. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT

### Φορμικό οξύ

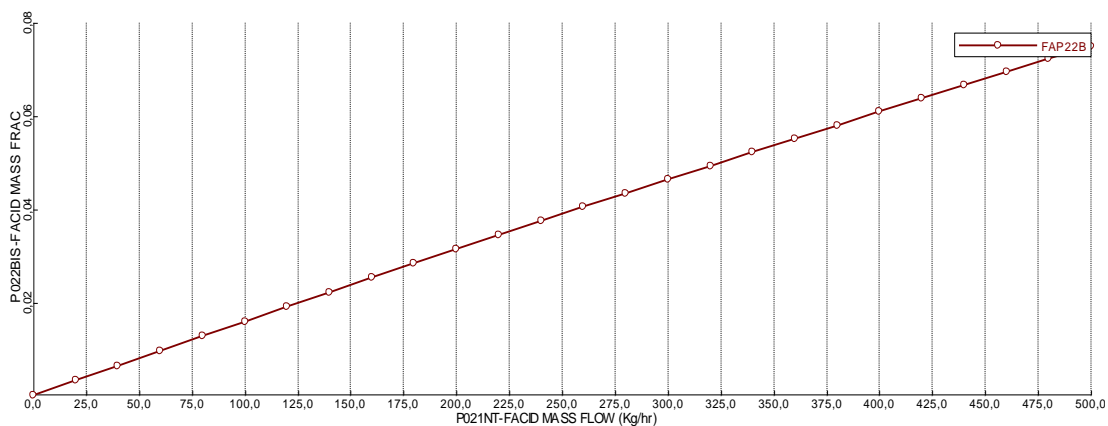
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P021nt και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 78. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT



Εικόνα 79. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT



**Εικόνα 80. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του ίδιου οξέος στο ρεύμα P021NT**

### Συμπεράσματα

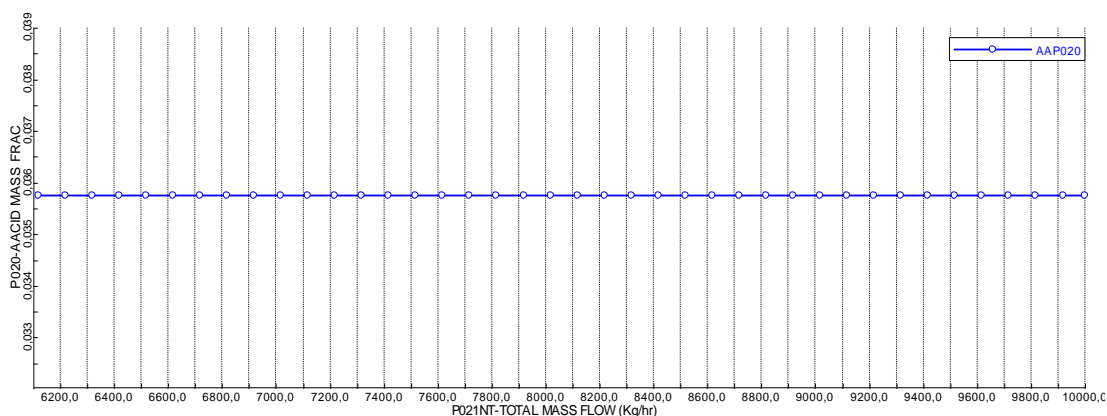
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η παροχή των οξέων στην είσοδο της στήλης έκπλυσης, αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο ρεύμα εξόδου. Επίσης παρατηρείται ότι μεγάλη αύξηση ροής στο ρεύμα P021NT, σημαίνει υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων συγκέντρωσης στο ρεύμα P023. Παρ' όλα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα επιδέχεται βελτίωση, όσον αφορά την αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου, αφού το πρόγραμμα προσομοίωσης δεν εμφανίζει κάποιο σφάλμα.

## Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής του δεύτερου ρεύματος εισόδου στην στήλη έκπλυσης και κλασμάτων μάζας των οξέων στα ρεύματα εξόδου

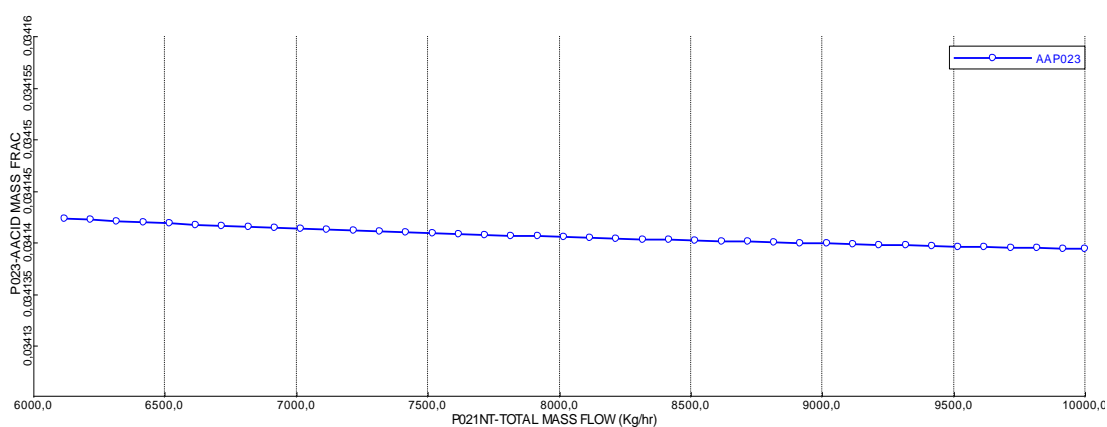
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της μεταβολής της συνολικής ροής μάζας του δεύτερου ρεύματος εισόδου P021nt στα ρεύματα εξόδου P020, P023, P022bis, που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν λιγνίνη. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P020, P023 και P022bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών συνολικής ροής στο ρέυμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

### Αστικό οξύ

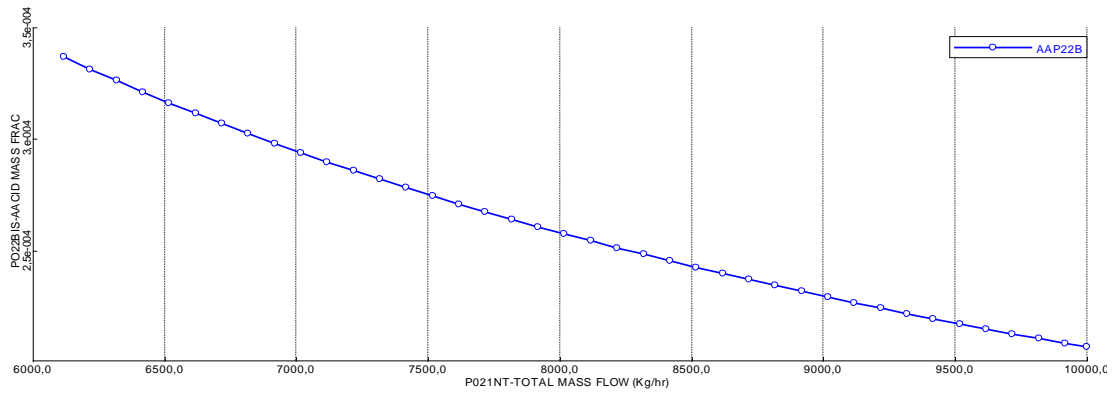
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P021NT και του κλάσματος μάζας των οξέων, στα ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 81. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας αστικού οξέος στο ρέυμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT



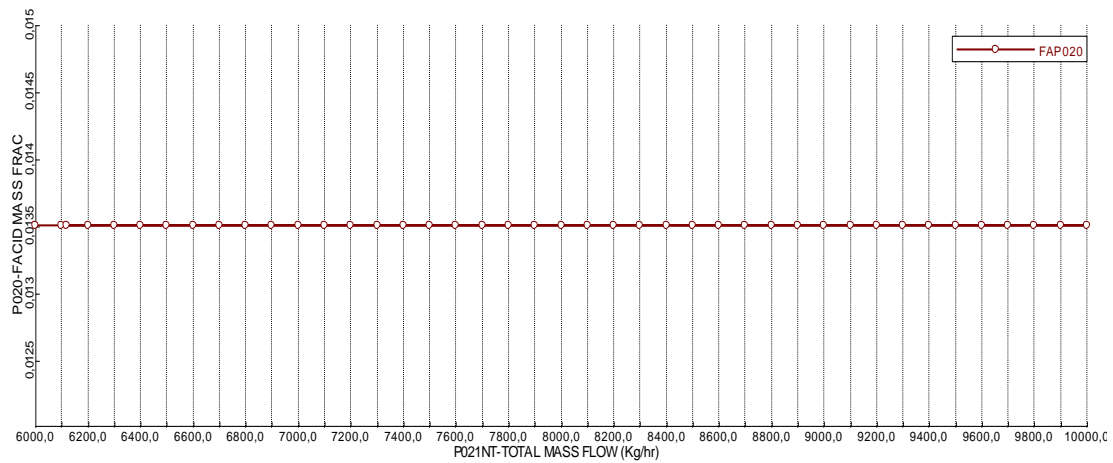
Εικόνα 82. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας αστικού οξέος στο ρέυμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT



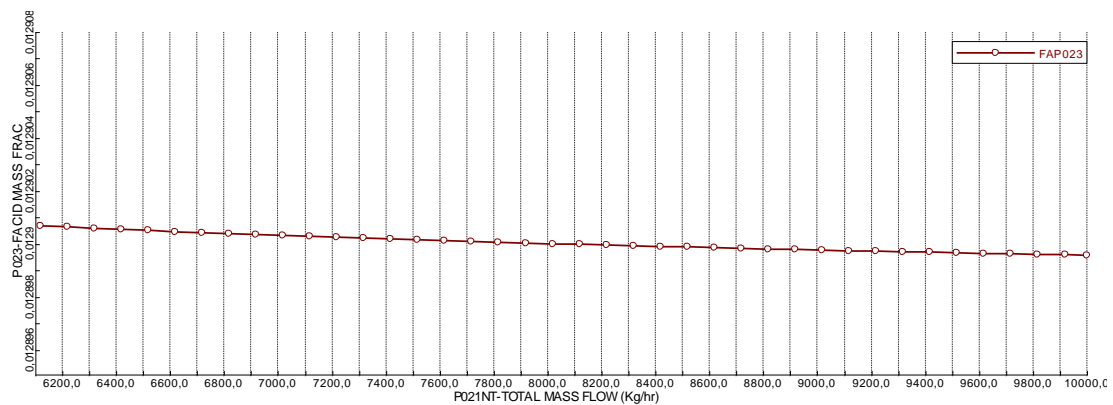
Εικόνα 83. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας α세트ικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT

### Φορμικό οξύ

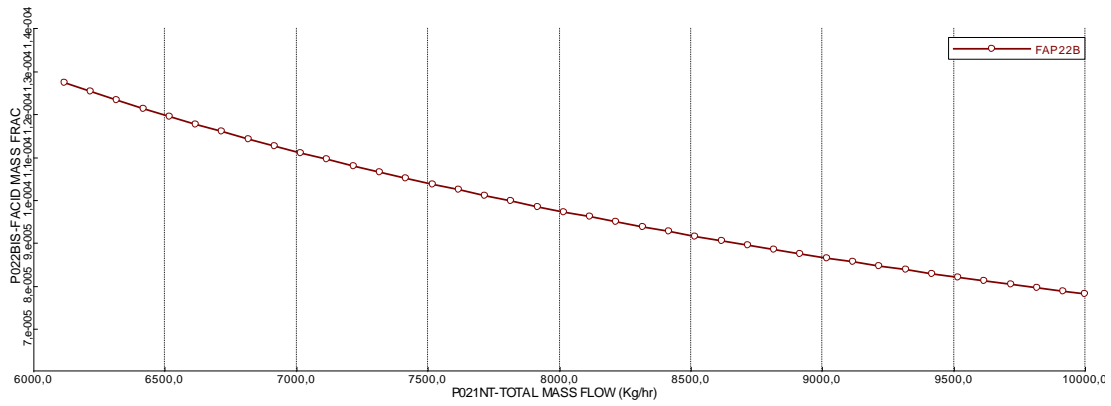
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P021nt και του κλάσματος μάζας των οξέων, στα ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 84. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P020, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT



Εικόνα 85. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT



Εικόνα 86. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P021NT

### Συμπεράσματα

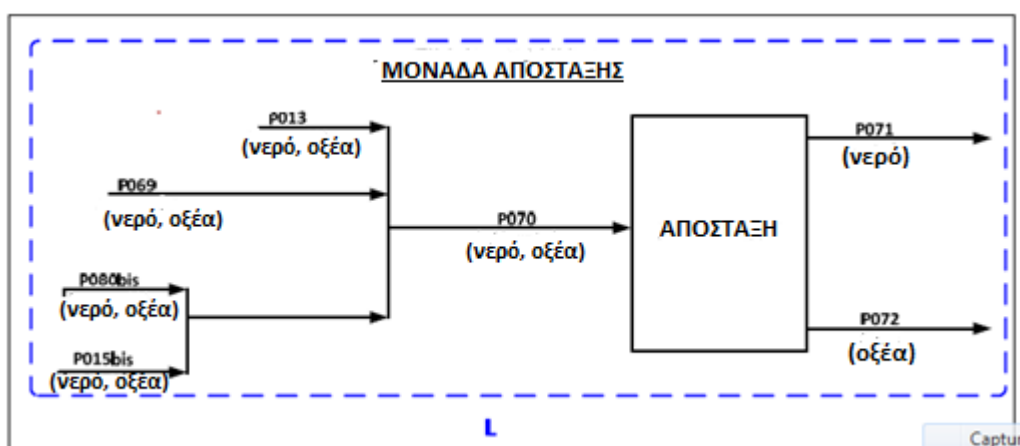
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η συνολική παροχή του ρεύματος εισόδου P021NT της στήλης έκπλυσης, η συγκέντρωσή των οξέων στα ρεύματα εξόδου P020 και P023 παραμένει σταθερή. Αντιθέτως η συγκέντρωση των οξέων στο ρεύμα P022BIS παρουσιάζει μείωση. Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταβάλλοντας την ροή να επιτύχουμε χαμηλότερο κόστος επεξεργασίας του νερού.

## Παραμετρική Ανάλυση

Σκοπός είναι η εύρεση μέγιστης ροής μάζας ασετικού και φορμικού οξέως στο ρεύμα εισόδου P021NT, χωρίς μεταβολή της ροής του φρέσκου νερού και τήρηση των επιτρεπόμενων ορίων στο τελικό ρεύμα λιγνίνης P023.

Από τις παραπάνω μελέτες συμπαίρνεται ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης αύξησης της συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα P021NT και της συνολικής ροής του ρεύματος αυτού, έτσι ώστε να διατηρηθούν οι περιορισμοί συγκέντρωσης στο ρεύμα P023. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευαισθησίας του ρεύματος P021BISN και του ρεύματος P021NT, επιλέγεται η ταυτόχρονη μεταβολή της ροής των οξέων στο ρεύμα P021NT και της συνολικής ροής του ρεύματος P021BISN.

Το ρεύμα P021BISN περιέχει μόνο φρέσκο νερό και αύξηση της συνολικής παροχής του θα είχε άμεσο οικονομικό και περιβαλλοντολογικό αντίκτυπο. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται αντί του φρέσκου νερού, η χρήση κάποιου άλλου ρεύματος της διεργασίας, το οποίο θα περιέχει οξέα. Από τα δεδομένα γνωρίζουμε ότι για την ανάκτηση του νερού, χρησιμοποιείται μια αποστακτική στήλη, η οποία διαχωρίζει τα οξέα από το νερό. Στην αποστακτική στήλη εισέρχονται τρία ρεύματα, τα οποία περιέχουν οξέα και νερό, όπως φαίνεται στο παρακάτω ροοδιάγραμμα,



Εικόνα 87. Διάγραμμα ροής αποστακτικής στήλης

Η σύστασης των ρευμάτων εισόδου και εξόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 32

Πίνακας 32. Σύστασεις ρευμάτων εισόδου-εξόδου αποστακτικής στήλης

Ρεύμα	Θερμοκρασία (°C)	Συνολική Ροή Μάζας (tn/hr)	Οξέα (tn/hr)						Νερό (tn/hr)	
			Ασετικό Οξύ		Φορμικό Οξύ		Συνολικά Οξέα		Ροή (tn/hr)	Κλάσμα Μάζας %w/w
			Ροή (tn/hr)	Κλάσμα Μάζας %w/w	Ροή (tn/hr)	Κλάσμα Μάζας %w/w	Ροή (tn/hr)	Κλάσμα Μάζας %w/w		
P013	100	17,11	6,79	0	3,7	0,22	10,49	0,61	6,62	0,39
P069	156	25,39	2,7	0,01	0,73	0,03	3,43	0,14	21,96	0,86
P090	172	17,47	7,31	0,96	4,08	0,23	11,39	0,65	6,08	0,35
P071	160	32,64	0,16	0,51	0	0	0,16	0,01	32,48	1
P072	200	27,34	16,64	0	8,51	0,31	25,15	0,92	2,19	0,08



Με χρήση του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus* μεταβάλλεται η ροή μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P021NT, διατηρώντας όλες τις άλλες ροές (δηλαδή του νερού και του άλλου οξέος) σταθερές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ροής εισόδου. Έπειτα, για κάθε τέτοια τιμή πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Μεταβάλλοντας την συνολική ροή μάζας, σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, του ρεύματος P021BISN παρατηρείται η μεταβολή της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα P023.

Με χρήση του προγράμματος *Microsoft Excel*, αφού σχεδιαστούν τα κατάλληλα διαγράμματα, βρίσκεται η τιμή της συνολικής ροής μάζας του P021BISN (για την εκάστοτε τιμή ροής μάζας του κάθε οξέος στο ρεύμα P021NT), έτσι ώστε η ροή του ίδιου οξέος στην έξοδο P023 να είναι ίση με 86,313 Kg/hr και 32,613 Kg/hr, για το ασετικό και το φορμικό οξύ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από την μέχρι τώρα διεργασία, και θεωρούνται ως ανώτατα όρια παροχών (Kg/hr).

### Αντικατάσταση ρεύματος εισόδου της στήλης έκπλυσης με ρεύμα που κατευθύνεται προς την τελική στήλη απόσταξης

Επιλέγεται η χρήση του ρεύματος P069, διότι η σύστασή του σε οξέα είναι χαμηλή και άρα μπορεί να αντικαταστήσει το φρέσκο νερό, ενώ παράλληλα θα μειωθεί και το λειτουργικό κόστος της αποστακτικής στήλης λόγω μείωσης της παροχής του συνολικού, προς επεξεργασία, ρεύματος. Το αρχικό ρεύμα που αντικαθιστάται από το P069 είναι το P021BISN.

Το ρεύμα P021BISN έχει συνολική ροή

$$P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 6118\ Kg/hr$$

Με βάση τον Πίνακα 32 η ροή του κάθε οξέος για την παραπάνω τιμή συνολικής ροής και τηρούμενης της συγκέντρωσης προκύπτουν ως εξής,

$$AACID_{P021BISN} = 0,11 \cdot 6118 = 673\ Kg/hr$$

$$FACID_{P021BISN} = 0,03 \cdot 6118 = 183,5\ Kg/hr$$

$$H_2O_{P021BISN} = [1 - (0,11 + 0,03)] \cdot 6118 = 5261,5\ Kg/hr$$

Επίσης, εφόσον η μέγιστη δυνατή παροχή του ρεύματος P069 είναι

$$P069_{TOTAL\ MASS\ FLOW\_max} = 25390\ Kg/hr$$

οι αναλύσεις ευαισθησίας για κάθε πιθανή τιμή ροής οξέος στο ρεύμα P021NT θα κυμανθεί στο εύρος

$$6118\ Kg/hr \leq P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} \leq 25390\ Kg/hr$$

## Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής ασετικού οξέος

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας ασετικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P021BISN στο διάστημα,

$$6118 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 65390 \text{ Kg/hr}$$

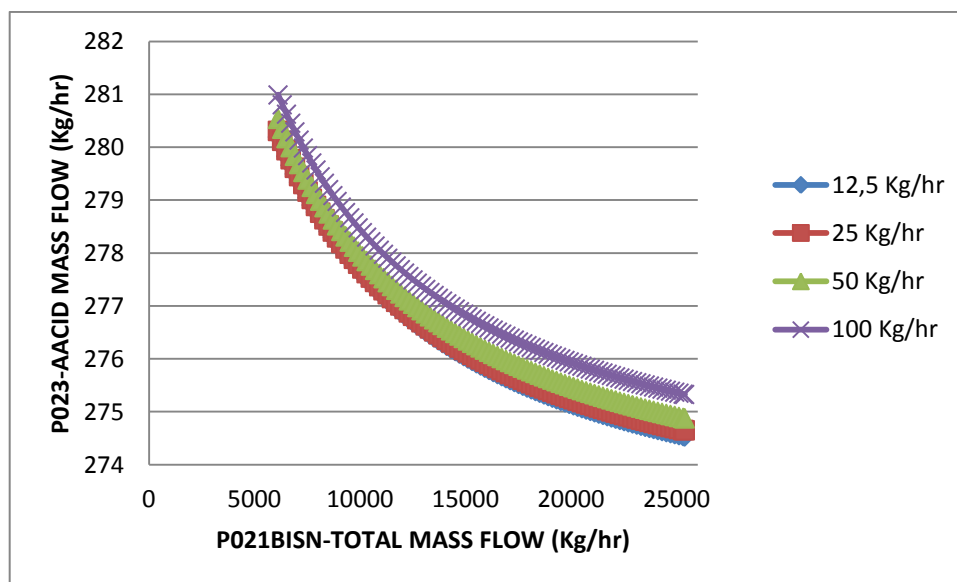
ενώ ταυτόχρονα μεταβάλλεται και η τομή παροχής του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT. Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 33. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
12,5
25
50
100

Για την εύρεση της καταλληλότερης ροής μάζας ασετικού οξέος γίνεται χρήση της μεθόδου διχοτόμησης και θεωρείται αποδεκτή απόκλιση 5%.

Το ολικό διάγραμμα που προκύπτει μετά τις αναλύσεις ευαισθησίας είναι

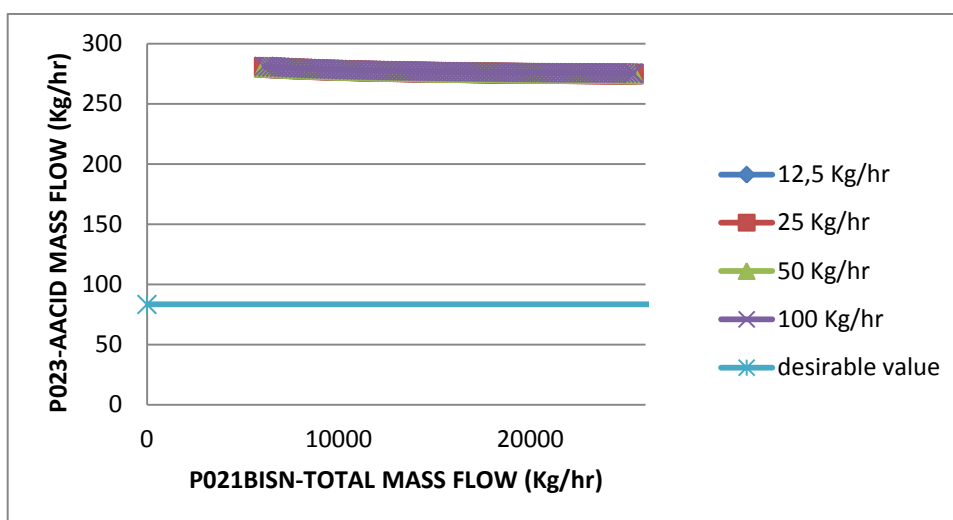


Εικόνα 88. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011BISN, για  $0 \text{ Kg/hr} < AACID_{P011BISN} < 100 \text{ Kg/hr}$

Η επιθυμητή τιμή ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P023 είναι

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

Αν προβάλουμε και την επιθυμητή τιμή, το παραπάνω διάγραμμα γίνεται



Εικόνα 89. Εικόνα 88 με προβολή της επιθυμητής τιμής ασετικού οξέος

### Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης του ρεύματος P069, αντί φρέσκου νερού, η συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί για καμία τιμή συνολικής ροής του P069. Για τον λόγο αυτό δεν μελετάται καθόλου η επίδραση της αύξησης της παροχής του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT.

### Αντικατάσταση ρεύματος εισόδου στην στήλη έκπλυσης με το ρεύμα εξόδου της τελευταίας αποστακτικής στήλης

Εφόσον η σύσταση του ρεύματος P069 αποδεικνύεται υψηλή για να αντικαταστήσει το ρεύμα P021BISN, επιλέγεται το ρεύμα P071. Το ρεύμα αυτό αποτελεί έξοδο της αποστακτικής στήλης και έχει πολύ μικρή συγκέντρωση σε οξέα. Το ρεύμα που πρόκειται να αντικατασταθεί είναι το P021BISN.

Το ρεύμα P021BISN έχει συνολική ροή

$$P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} = 6118\ Kg/hr$$

Με βάση τον Πίνακα 32 η ροή του κάθε οξέος για την παραπάνω τιμή συνολικής ροής και τηρούμενης της συγκέντρωσης προκύπτουν ως εξής,

$$AACID_{P021BISN} = 0,005 \cdot 6118 = 30,6\ Kg/hr$$

$$FACID_{P021BISN} = 0 \cdot 6118 = 0\ Kg/hr$$

$$H_2O_{P021BISN} = [1 - (0 + 0,005)] \cdot 6118 = 6087,4\ Kg/hr$$

Επίσης, εφόσον η μέγιστη δυνατή παροχή του ρεύματος P069 είναι

$$P069_{TOTAL\ MASS\ FLOW\_max} = 32640\ Kg/hr$$

οι αναλύσεις ευαισθησίας για κάθε πιθανή τιμή ροής οξέος στο ρεύμα P021NT θα κυμανθεί στο εύρος

$$6118\ Kg/hr \leq P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} \leq 32640\ Kg/hr$$

### **Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής ασετικού οξέος**

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας ασετικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P021BISN στο διάστημα,

$$6118\ Kg/hr \leq P021BISN_{TOTAL\ MASS\ FLOW} \leq 32640\ Kg/hr$$

ενώ ταυτόχρονα μεταβάλλεται και η τομή παροχής του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT.

Ειδικότερα ,οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 34. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
100
500
1000
2000
3000
4000
5000
6000

Η ανάλυση γίνεται όπως και στις προηγούμενες παραμετρικές μεθόδους και οι υπολογισμοί γίνονται ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής P021BISN TOTAL MASS FLOW σε Kg/hr, έτσι ώστε

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο Aspen Plus ,έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών AACID<sub>P023</sub>.

### Συμπεράσματα

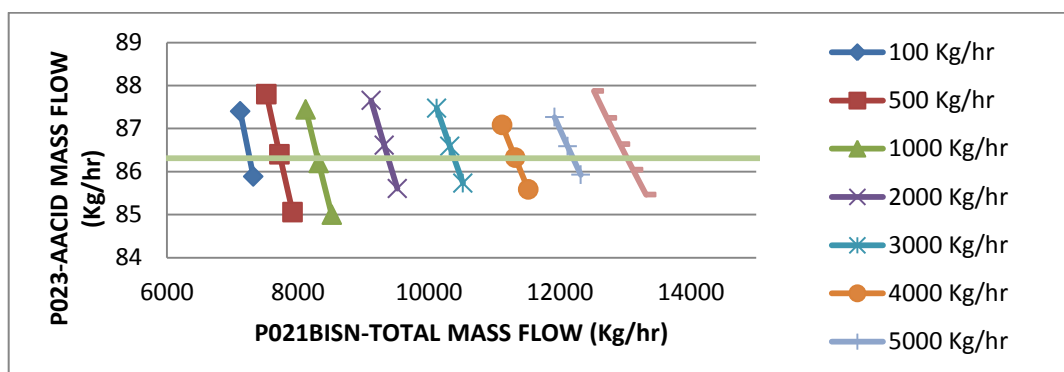
Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

$$100 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P021NT} \leq 6000 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντωτικά ,τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



Εικόνα 90. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για 100 Kg/hr<AACID<sub>P011NT</sub><6000 Kg/hr

Η ευθεία με όνομα «desirable value» ,απεικονίζει την συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

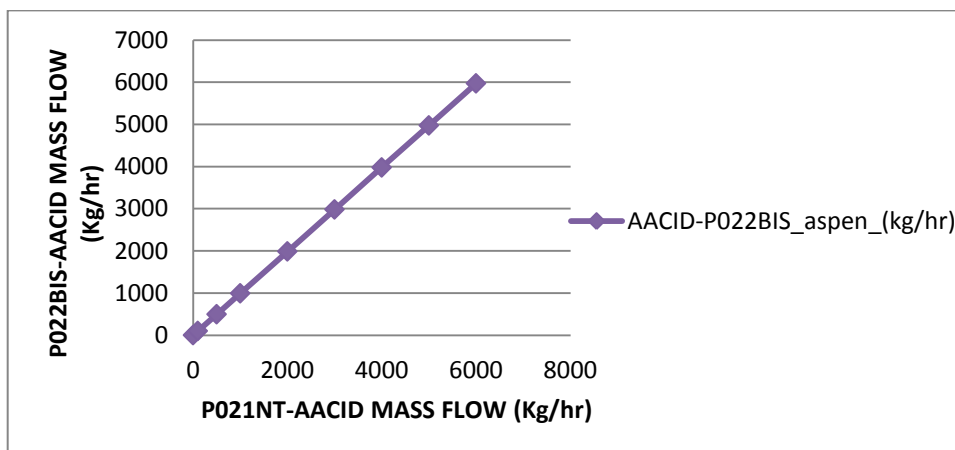
Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P023 μπορεί να λάβει τιμή

$$AACID_{P021NT} \geq 6000 \text{ Kg/hr}$$

Η ανάλυση σταμάτησε στο όριο

$$AACID_{P021NT} = 6000 \text{ Kg/hr}$$

αφού για μεγαλύτερη ροή ασετικού οξέος το διάλυμα νερού παύει να υπάρχει και δημιουργείται διάλυμα οξέος. Επίσης, μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι αυτή του κόστους της μονάδας επεξεργασίας νερού. Αύξηση της συνολικής ροής έχει άμμεσο αντίκτυπο στο λειτουργικό κόστος μια τέτοιας μονάδας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση μεταξύ της ροής του ρεύματος P022BIS, το οποίο και κατευθύνεται προς την μονάδα επεξεργασίας νερού και της ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT.



Εικόνα 91. Εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P022BIS από την ροή του οξέος στο ρεύμα P021NT

Παρατηρείται ότι αύξηση της συγκέντρωσης του οξέος στο ρεύμα P021NT έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της συγκέντρωσης και στο ρεύμα P022BIS, αυξάνοντας έτσι την συνολική ροή του και άρα το λειτουργικό κόστος της μονάδας επεξεργασίας νερού. Εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα για την διαμόρφωση του κόστους αυτού δεν είναι δυνατόν να μελετηθεί η παράμετρος αυτή, έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη ποσότητα ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, που παράλληλα ικανοποιεί την συνθήκη

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P023,

Πίνακας 35. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για  $0 \text{ Kg/hr} < \text{AACID}_{\text{P021NT}} < 6000 \text{ Kg/hr}$

AA- P021NT(kg/hr)	AA- P023_target_(kg/hr)	AA- P023_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P021BISN_required_(kg/hr)
<b>0</b>	<b>86,313</b>	<b>86,313</b>	<b>0</b>	<b>6118</b>
<b>100</b>	86,313	86,3048352	-0,01%	7261,54713
<b>500</b>	86,313	86,3168174	0,00%	7730,003521
<b>1000</b>	86,313	86,3162607	0,00%	8298,52297
<b>2000</b>	86,313	86,3156495	0,00%	9375,963629
<b>3000</b>	86,313	86,3141885	0,00%	10380,93778
<b>4000</b>	86,313	86,3017865	-0,01%	11323,34881
<b>5000</b>	86,313	86,3143867	0,00%	12199,70644
<b>6000</b>	86,313	86,3230685	0,01%	13022,59353

## Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής φορμικού οξέος

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας φορμικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P021BISN στο διάστημα,

$$6118 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 32640 \text{ Kg/hr}$$

ενώ ταυτόχρονα μεταβάλλεται και η τομή παροχής του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT.

Ειδικότερα ,οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 36. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
100
500
1000
2000
3000
4000
4500
4625
4687,5
4750
5000

Για την εύρεση της καταλληλότερης ροής μάζας φορμικού οξέος γίνεται χρήση της μεθόδου διχοτόμησης και θεωρείται αποδεκτή απόκλιση 5%.

Η ανάλυση γίνεται όπως και στην περίπτωση του ασετικού οξέος και οι υπολογισμοί έχουν ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής P021BISN<sub>TOTAL MASS FLOW</sub> σε Kg/hr, έτσι ώστε

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus* ,έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών FACID<sub>P023</sub>.



### Συμπεράσματα

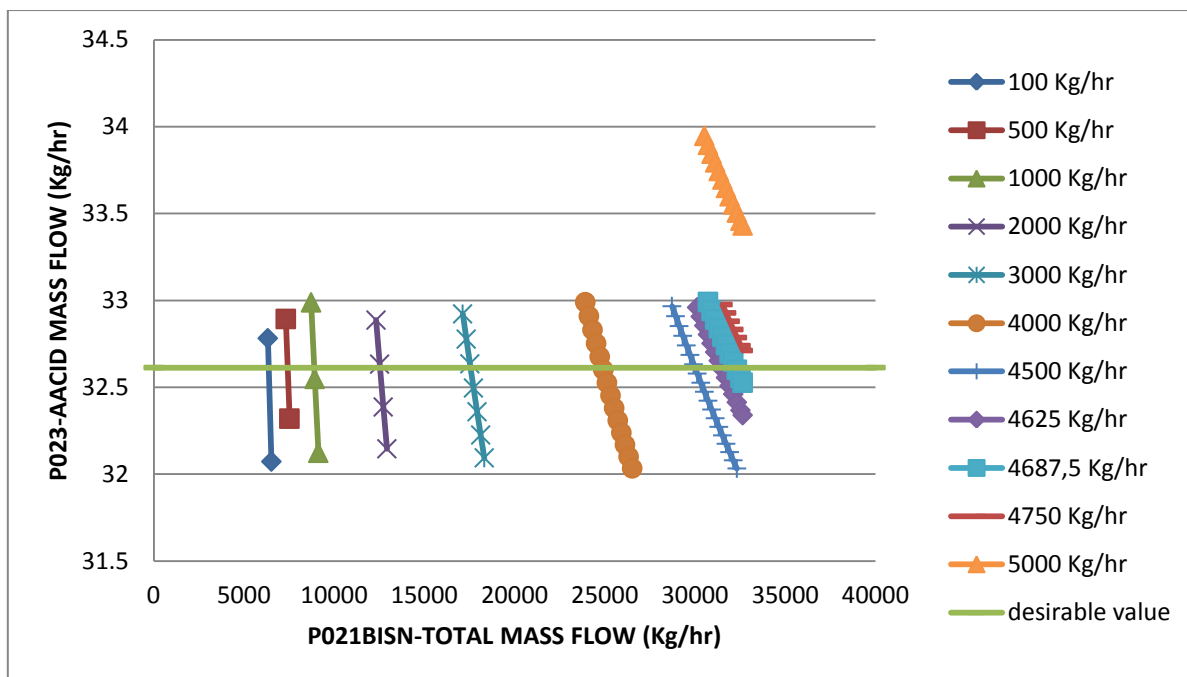
Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

$$100 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P021NT} \leq 5000 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντρωτικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$FACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



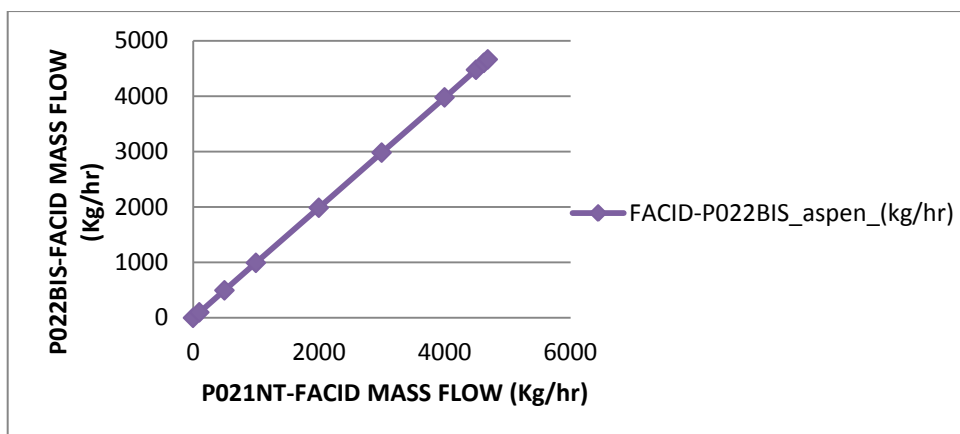
Εικόνα 92. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P023, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN, για  $100 \text{ Kg/hr} < FACID_{P011NT} < 5000 \text{ Kg/hr}$

Η ευθεία με όνομα «desirable value» ,απεικονίζει την συνθήκη  $FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P023 είναι

$$FACID_{P021NT} = 4687,5 \text{ Kg/hr}$$

Όμοια με το ασετικό οξύ, μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι αυτή του κόστους της μονάδας επεξεργασίας νερού. Αύξηση της συνολικής ροής έχει άμεσο αντίκτυπο στο λειτουργικό κόστος μια τέτοιας μονάδας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση μεταξύ της ροής του ρεύματος P022BIS, το οποίο και κατευθύνεται προς την μονάδα επεξεργασίας νερού και της ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT.



Εικόνα 93. Εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P022BIS από την ροή του οξέος στο ρεύμα P021NT

Παρατηρείται ότι αύξηση της συγκέντρωσης του οξέος στο ρεύμα P021NT έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της συγκέντρωσης και στο ρεύμα P022BIS, αυξάνοντας έτσι την συνολική ροή του και άρα το λειτουργικό κόστος της μονάδας επεξεργασίας νερού. Εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα για την διαμόρφωση του κόστους αυτού δεν είναι δυνατόν να μελετηθεί η παράμετρος αυτή, έτσι ώστε να βρεθεί η μέγιστη ποσότητα φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT, που παράλληλα ικανοποιεί την συνθήκη

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P023,

Πίνακας 37. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για  $0 \text{ Kg/hr} < FACID_{P021NT} < 4687,5 \text{ Kg/hr}$

ΦΟ- P021NT(kg/hr)	ΦΟ- P023_target_(kg/hr)	ΦΟ- P023_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P021BISN_required_(kg/hr)
0	<b>32,613</b>	<b>32,613</b>	<b>0</b>	<b>6118</b>
100	32,613	32,6096087	-0,01%	6365,69982
500	32,613	32,6104141	-0,01%	7415,47755
1000	32,613	32,6122454	0,00%	8888,430331
2000	32,613	32,6105065	-0,01%	12535,96745
3000	32,613	32,6087333	-0,01%	17555,22699
4000	32,613	32,6161804	0,01%	24874,89457
4500	32,613	32,6158757	0,01%	29977,68666
4625	32,613	32,6102573	-0,01%	31491,53511
4687,5	32,613	32,6113415	-0,01%	32271,7814

## Συμπεράσματα

### Ασετικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του ασετικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P021NT είναι

$$AACID_{P021NT} = 6000 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin\_max_{AACID} = \frac{6000}{6118} = 0,98 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$AACID_{P023} = 86,313 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P021BISN είναι

$$P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 13022,59353 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN η σύστασή του σε ασετικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 38. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 35

AA-P021NT(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)
0	6118
100	7261,54713
500	7730,003521
1000	8298,52297
2000	9375,963629
3000	10380,93778
4000	11323,34881
5000	12199,70644
6000	13022,59353

Αν αυτή η ροή δεν είναι οικονομικά δυνατή, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 38, η ροή του AACID στο ρεύμα P021NT, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN

$$P011BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 12199,70644 \text{ Kg/hr}$$

είναι οικονομικά δυνατή τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$AACID_{P021NT} = 5000 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του AACID στο ρεύμα P021BISN, θα είναι

$$C_{in\_max\_AACID} = \frac{5000}{6118} = 0,81 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 38, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε ασετικό οξύ στο ρεύμα P021NT με την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN.

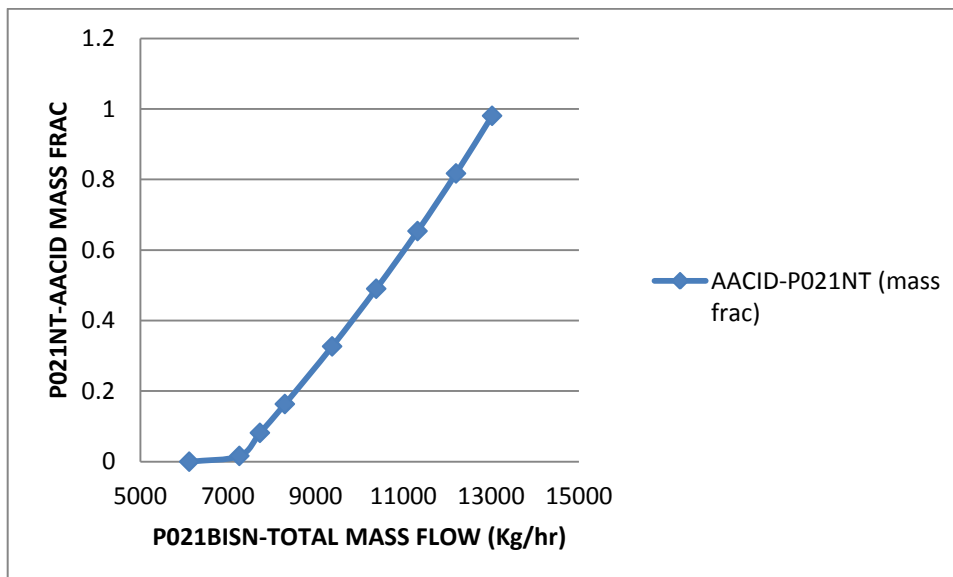
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 38 γίνεται,

**Πίνακας 39. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN**

AA-P021NT(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)	AACID-P021NT (κλάσμα μάζας)
<b>0</b>	<b>6118</b>	<b>0</b>
<b>100</b>	7261,54713	0,016345211
<b>500</b>	7730,003521	0,081726054
<b>1000</b>	8298,52297	0,163452109
<b>2000</b>	9375,963629	0,326904217
<b>3000</b>	10380,93778	0,490356326
<b>4000</b>	11323,34881	0,653808434
<b>5000</b>	12199,70644	0,817260543
<b>6000</b>	13022,59353	0,980712651

*Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.*

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



**Εικόνα 94. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN**

Το παραπάνω διάγραμμα έχει διαφορετικούς άξονες από τα προηγούμενα αντίστοιχα διαγράμματα, διότι ο μόνος περιορισμός στην προκειμένη περίπτωση είναι αυτός του κόστους στην μονάδα επεξεργασίας νερού. Για παράδειγμα μας ενδιαφέρει αρχικά η ροή στο ρεύμα P021BISN να είναι οικονομικά εφικτή, δηλαδή η αντίστοιχη συνολική ροή του P022BIS να μπορεί να επεξεργαστεί οικονομικά, και έπειτα μας ενδιαφέρει η σύσταση του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT.

Παρατηρείται ότι η καμπύλη δεν έχει την ίδια μορφή και άρα οι εξισώσεις παλινδρόμησης δεν μπορούν να την περιγράψουν με ακρίβεια. Για τον λόγο αυτό χωρίζονται τα παρακάτω διαστήματα,

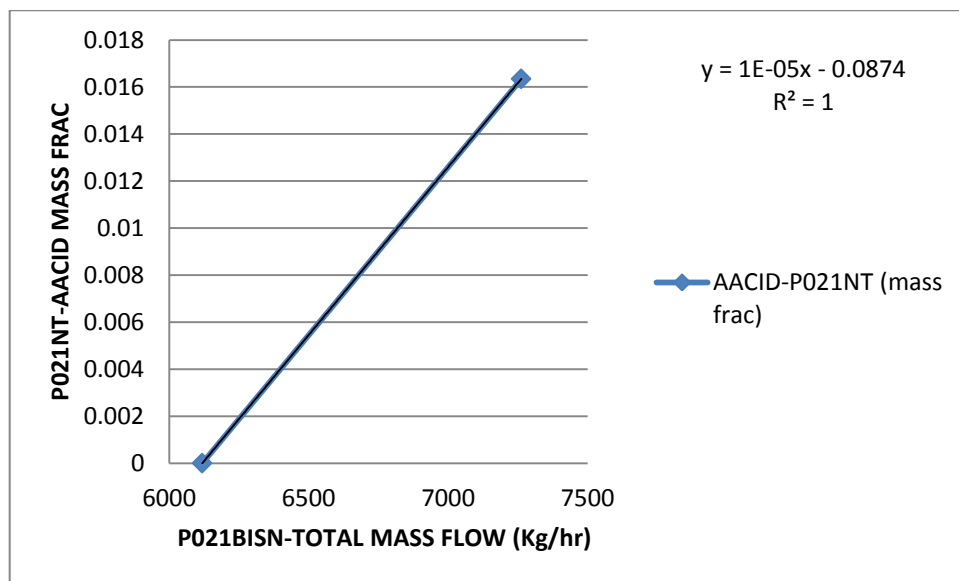
$$6118 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 7500 \text{ Kg/hr}$$

και

$$7500 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 13500 \text{ Kg/hr}$$

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα,

Για το διάστημα  $6118 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 7500 \text{ Kg/hr}$



Εικόνα 95. Εικόνα 94 για διάστημα  $6118 \text{ Kg/hr} < P021BISN_{MASS \text{ FLOW}} < 7500 \text{ Kg/hr}$

με εξίσωση παλινδρόμησης

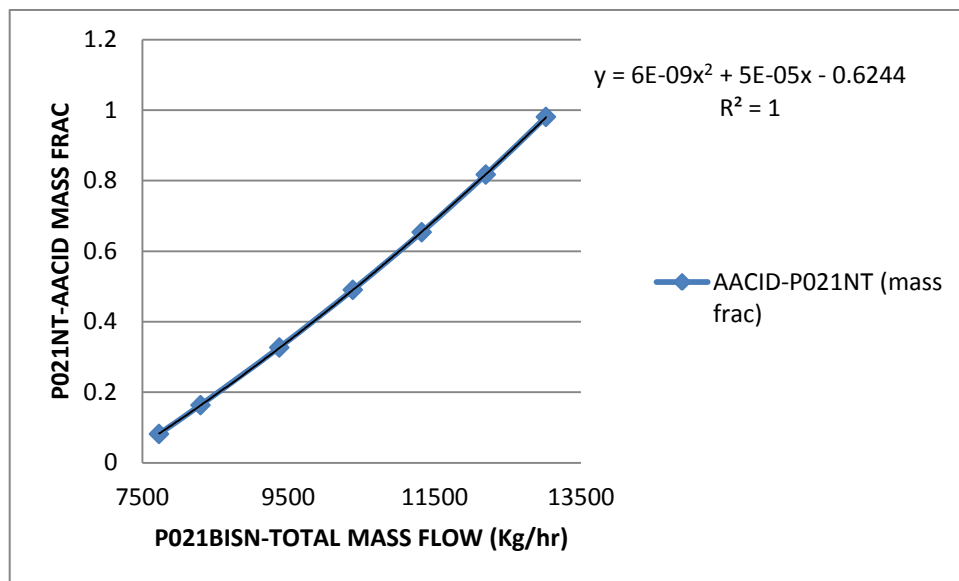
$$y = 1E - 05x - 0,0874$$

Όπου

$$x = P021BISN_{MASS \text{ FLOW}}$$

$$y = C_{in\_max}_{AACID}$$

Και για το διάστημα  $7500 \text{ Kg/hr} \leq P021BISN_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 13500 \text{ Kg/hr}$



Εικόνα 96. Εικόνα 94 για διάστημα  $7500 \text{ Kg/hr} < P021BISN_{MASS \text{ FLOW}} < 13500 \text{ Kg/hr}$

με εξίσωση παλινδρόμησης

$$y = 6E - 09x^2 + 5E - 05x - 0,6244$$

Όπου

$$x = P021BISN_{MASS \text{ FLOW}}$$

$$y = Cin_{max}_{AACID}$$

### Φορμικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του φορμικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P021NT είναι

$$FACID_{P021NT} = 4687,5 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin_{maxAACID} = \frac{4687,5}{6118} = 0,76 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$FACID_{P023} = 32,613 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P021BISN είναι

$$P021BISN_{TOTAL MASS FLOW} = 32271,7814 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN η σύστασή του σε ασετικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 40. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 37

ΦΟ-P021NT(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)
<b>0</b>	<b>6118</b>
<b>100</b>	6365,69982
<b>500</b>	7415,47755
<b>1000</b>	8888,430331
<b>2000</b>	12535,96745
<b>3000</b>	17555,22699
<b>4000</b>	24874,89457
<b>4500</b>	29977,68666
<b>4625</b>	31491,53511
<b>4687,5</b>	32271,7814

Αν αυτή η ροή δεν είναι οικονομικά δυνατή, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 40, η ροή του ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, η συνολική ροή του ρεύματος P021BISN

$$P011BISN_{TOTAL MASS FLOW} = 31491,53511 \text{ Kg/hr}$$

είναι δυνατή τότε, θα χρησιμοποιηθούν

$$FACID_{P021NT} = 4625 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021BISN, θα είναι

$$C_{in\_max\_AACID} = \frac{4625}{6118} = 0,75 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 38, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε φορμικό οξύ στο ρεύμα P021NT με την συνολική ροή του ρεύματος P021BISN.

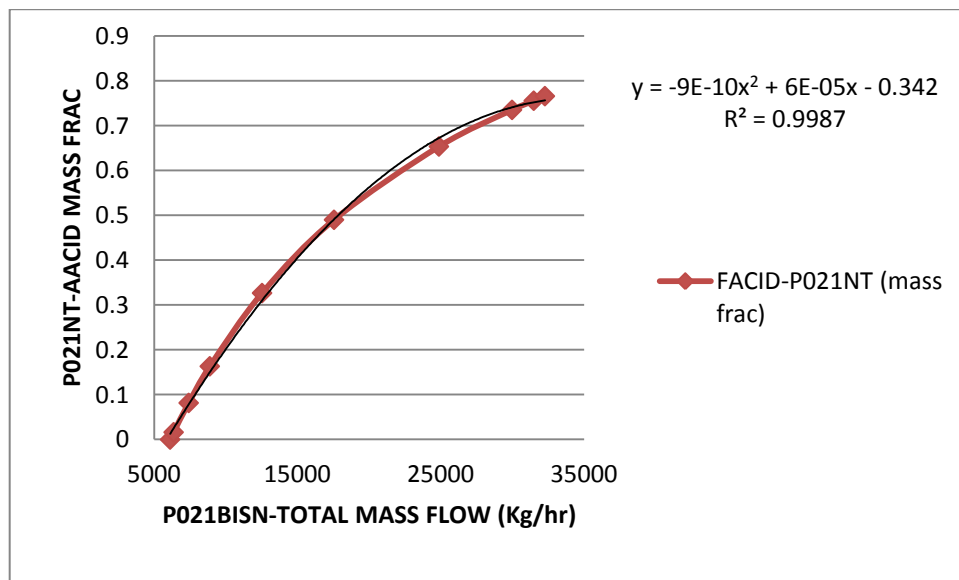
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 40 γίνεται,

**Πίνακας 41. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN**

ΦΟ-P021NT(kg/hr)	P021BISN_required_(kg/hr)	ΦΟ-P021NT (κλάσμα μάζας)
<b>0</b>	<b>6118</b>	<b>0</b>
100	6365,69982	0,016345211
500	7415,47755	0,081726054
1000	8888,430331	0,163452109
2000	12535,96745	0,326904217
3000	17555,22699	0,490356326
4000	24874,89457	0,653808434
4500	29977,68666	0,735534488
4625	31491,53511	0,755966002
4687,5	32271,7814	0,766181759

*Για τον υπολογισμό της συγκέντωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.*

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



**Εικόνα 97. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT ,σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του P021BISN**



Όμοια με το ασετικό οξύ, το παραπάνω διάγραμμα έχει διαφορετικούς άξονες από τα προηγούμενα αντίστοιχα διαγράμματα, διότι ο μόνος περιορισμός στην προκειμένη περίπτωση είναι αυτός του κόστους στην μονάδα επεξεργασίας νερού. Για παράδειγμα μας ενδιαφέρει αρχικά η ροή στο ρεύμα P021BISN να είναι οικονομικά εφικτή, δηλαδή η αντίστοιχη συνολική ροή του P022BIS να μπορεί να επεξεργαστεί οικονομικά, και έπειτα μας ενδιαφέρει η σύσταση του φορμικού οξέος στο ρεύμα P021NT.

Η εξίσωση παλινδρόμησης που περιγράφει το σχήμα της Εικόνα 97 είναι,

$$y = -9E - 10x^2 + 6E - 05x - 0,342$$

Όπου

$$x = P021BISN_{MASS FLOW}$$

$$y = C_{in\_max\_FACID}$$

## Αύξηση συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα εισόδου της στήλης απογύμνωσης

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η αύξηση της ποσότητας των οξέων στο ρεύμα εισόδου P027ter της στήλης απογύμνωσης, με στόχο την μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου φρέσκου νερού και την ταυτόχρονη αύξηση της ποσότητας του ανακυκλούμενου νερού που προέρχεται από το τελικό στάδιο κατεργασίας.

Αρχικά είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί ποιες μεταβλητές και με ποιον τρόπο επηρεάζουν την καθαρότητα του τελικού προϊόντος της συγκεκριμένης μονάδας έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό ποιες μεταβλητές μπορούν να μεταβληθούν. Το τελικό προϊόν βρίσκεται στο ρεύμα P029bis και περιέχει το τελικό μίγμα σακχάρων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει όμως και η μεταβολή της σύστασης του ρεύματος P028bis. Το ρεύμα αυτό αποτελεί μέρος του ρεύματος P069, το οποίο και συνεχίζει για περαιτέρω επεξεργασία στην τελική μονάδα απόσταξης. Στην διαδικασία παίρνουν μέρος το ασετικό οξύ και το φορμικό οξύ, οι τιμές των οποίων για την υπάρχουσα διεργασία, παρουσιάζονται στον Πίνακα 42. Η καθαρότητα του ρεύματος P029bis έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές, αναφορικά με την αύξηση της σύστασης των οξέων. Αντιθέτως, δεν υπάρχουν δεδομένα για να κριθεί αν η αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα P069 είναι επιτρεπτή και με ποιόν τρόπο επηρεάζει το συνολικό λειτουργικό κόστος της τελικής κατεργασίας νερού (A.D. Mountraki et al, 2011).

Πίνακας 42. Τιμές συγκέντρωσης ρευμάτων εξόδου υπάρχουσας διεργασίας

Κλάσμα Μάζας	P029bis	P069
AA	0,030	0,158
ΦΟ	229PPM	0,004

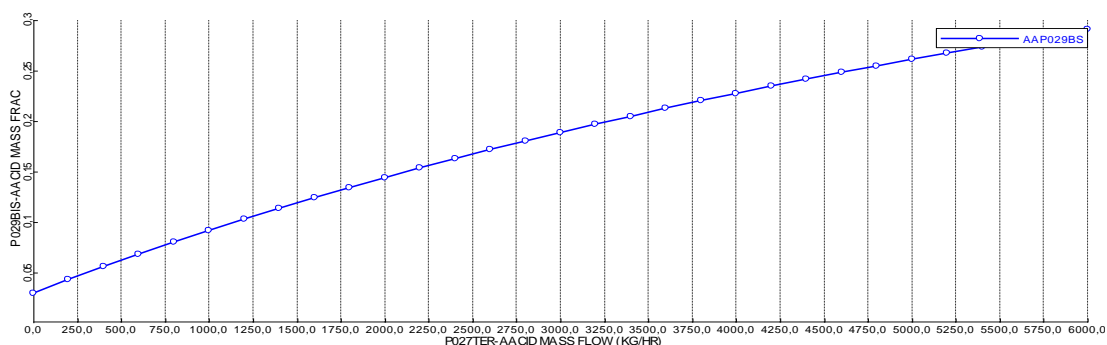
Ως βάση των ακόλουθων μελετών θεωρείται η καθαρότητα του ρεύματος P029bis. Πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας έτσι ώστε να καθοριστεί το εύρος των μεταβλητών που επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις με στόχο την εύρεση συγκεκριμένης τιμής της μεταβλητής ή των μεταβλητών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα P027ter με ταυτόχρονη την διατήρηση της επιτρεπόμενης συσκέτρωσής τους στο ρεύμα εξόδου P029bis.

## Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση ροής οξέων στο ρεύμα εισόδου στην στήλη απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας αυτών στα ρεύματα εξόδου

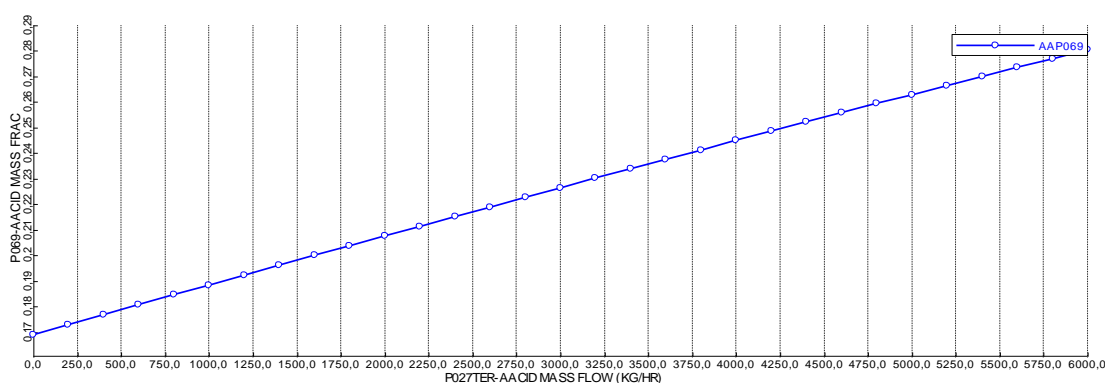
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου (P027ter), στα ρεύματα εξόδου (P029bis και P069) που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν το επιθυμητό προϊόν. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P069 και P029bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών μαζικής παροχής του κάθε οξέος στο ρεύμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

### Ασετικό οξύ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P027ter και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύματα εξόδου.



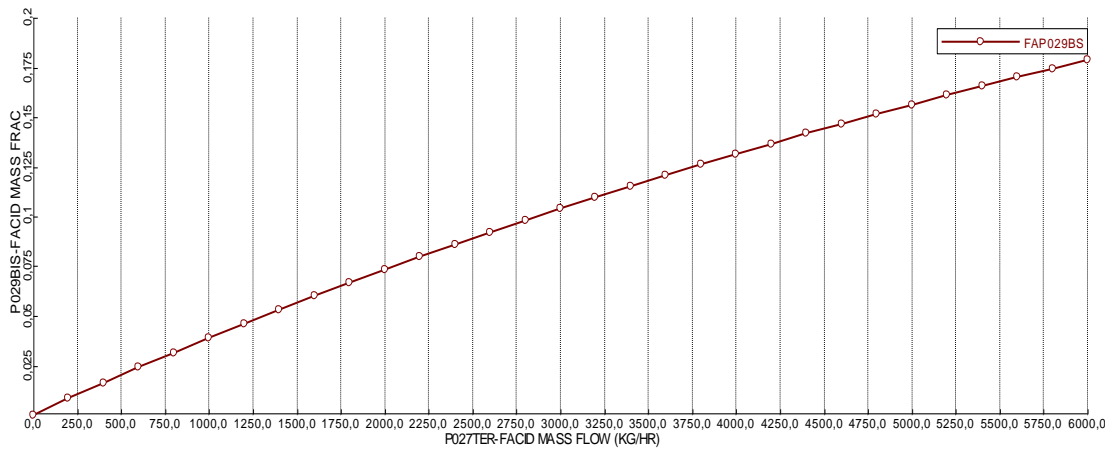
Εικόνα 98. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του AACID στο ρεύμα P027TER



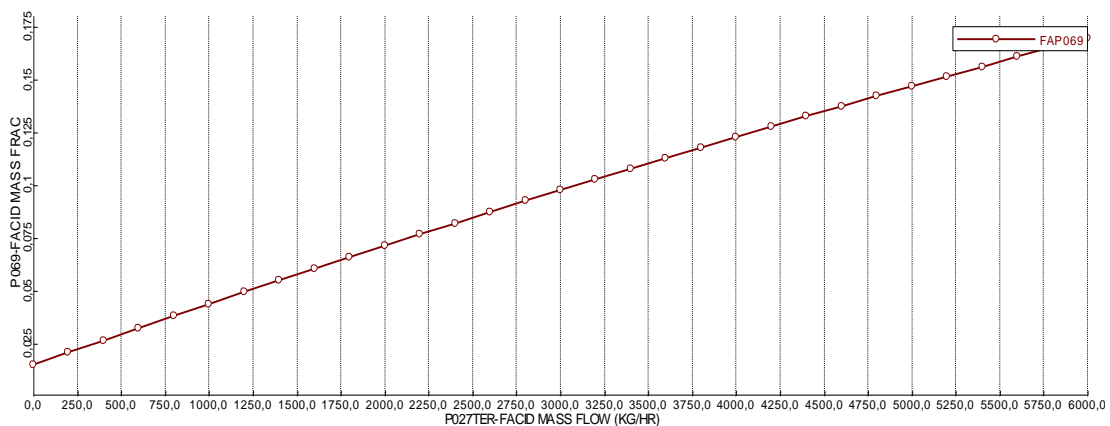
Εικόνα 99. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την παροχή του AACID στο ρεύμα P027TER

## Φορμικό οξύ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P027TER και του κλάσματος μάζας του, στα ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 100. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την παροχή του FACID στο ρεύμα P027TER



Εικόνα 101. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την παροχή του FACID στο ρεύμα P027TER

## Συμπεράσματα

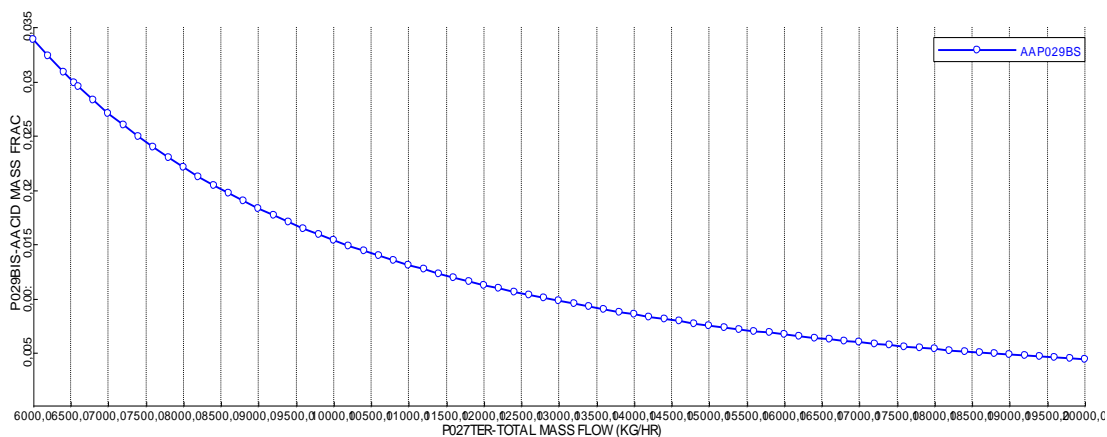
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η παροχή των οξέων στην είσοδο της στήλης απογύμνωσης, αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο ρεύμα εξόδου. Επίσης παρατηρείται ότι μεγάλη αύξηση ροής στο ρεύμα P027ter, σημαίνει υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων συγκέντρωσης στο ρεύμα P029bis. Παρ' όλα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα επιδέχεται βελτίωση, όσον αφορά την αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων στο ρεύμα εισόδου, αφού το πρόγραμμα προσομοίωσης δεν εμφανίζει κάποιο σφάλμα.

## Ανάλυση Ευαισθησίας-εξάρτηση συνολικής ροής ρεύματος εισόδου στην στήλη απογύμνωσης και κλασμάτων μάζας οξέων στα ρεύματα εξόδου

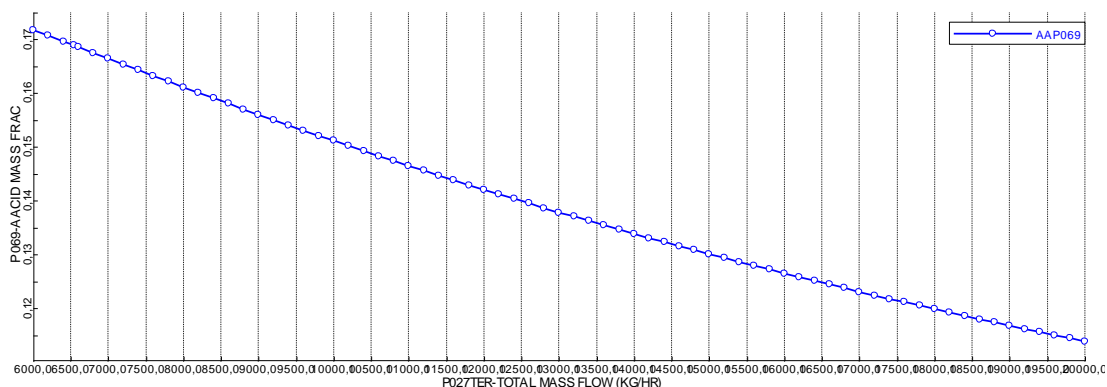
Η παρούσα ανάλυση ευαισθησίας στοχεύει στην κατανόηση της επίδρασης της μεταβολής της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου (P027ter) στα ρεύματα εξόδου (P069 και P029bis) που αποτελούν τροφοδοσία για μετέπειτα διεργασίες ή περιέχουν το επιθυμητό προϊόν. Η ανάλυση γίνεται με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου *Aspen Plus*. Πιο συγκεκριμένα ,ορίζεται μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το κλάσμα μάζας του κάθε οξέος στα ρεύματα P069 και P029bis. Υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής αυτής για ένα εύρος τιμών συνολικής ροής στο ρέυμα εισόδου. Προκύπτουν έτσι τα παρακάτω διαγράμματα :

### Ασετικό οξύ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της συνολικής ροής μάζας του ρεύματος εισόδου P027ter και του κλάσματος μάζας των οξέων, στα ρεύματα εξόδου.



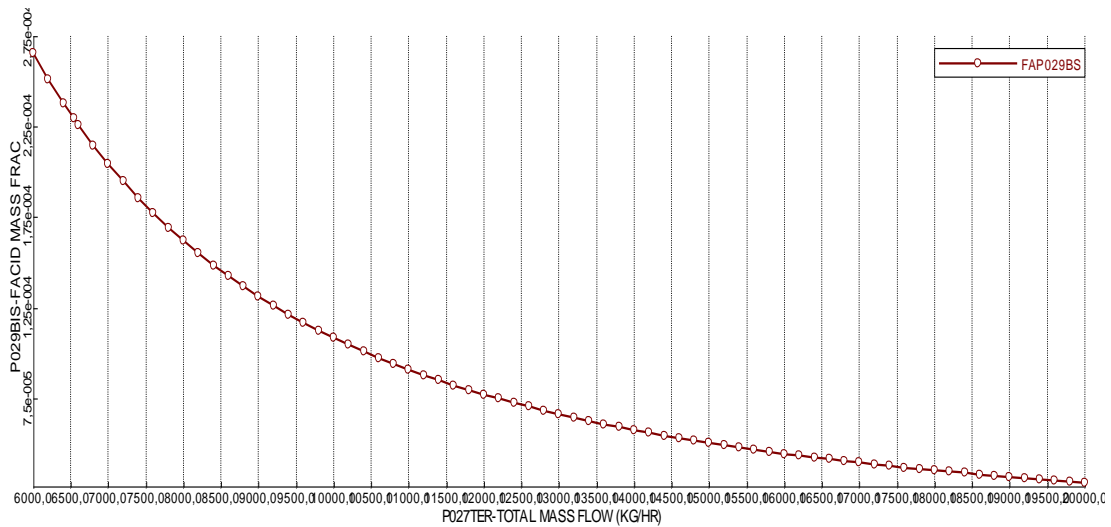
Εικόνα 102. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρέυμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER



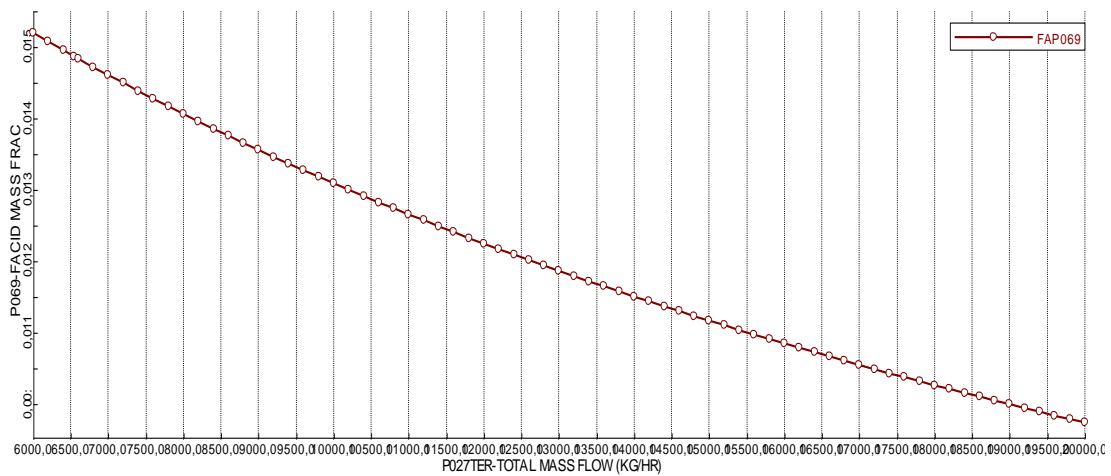
Εικόνα 103. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας ασετικού οξέος στο ρέυμα P069, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER

## Φορμικό οξύ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ροής μάζας του οξέος στο ρεύμα εισόδου P027ter και του κλάσματος μάζας του, στο ρεύματα εξόδου.



Εικόνα 104. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER



Εικόνα 105. Ανάλυση ευαισθησίας εξάρτησης κλάσματος μάζας φορμικού οξέος στο ρεύμα P069, μεταβάλλοντας την συνολική παροχή του ρεύματος P027TER

## Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα όταν αυξάνεται η συνολική παροχή του ρεύματος εισόδου της στήλης απογύμνωσης, μειώνεται και η συγκέντρωσή των οξέων στα ρεύματα εξόδου. Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα μεταβάλλοντας την ροή να επιτύχουμε μεγαλύτερη καθαρότητα του προϊόντος της διεργασίας .

## Παραμετρική Ανάλυση

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής ασετικού οξέος

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας ασετικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P027TER στο διάστημα,

$$6000 \text{ Kg/hr} \leq P027TER_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 30000 \text{ Kg/hr}$$

ενώ ταυτόχρονα μεταβάλλεται και η τιμή παροχής του ασετικού οξέος στο ίδιο ρεύμα.

Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 43. Ροές ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
100
200
300
400
412,5
425
450
500

Η ανάλυση γίνεται όπως και στις προηγούμενες παραμετρικές μεθόδους και οι υπολογισμοί έχουν ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής  $P027TER_{TOTAL \text{ MASS FLOW}}$  σε Kg/hr, έτσι ώστε
$$AACID_{P029BIS} = 162,904 \text{ Kg/hr}$$
- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο *Aspen Plus*, έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη
$$AACID_{P029BIS} = 162,904 \text{ Kg/hr}$$
- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών  $AACID_{P029BIS}$ .

## Συμπεράσματα

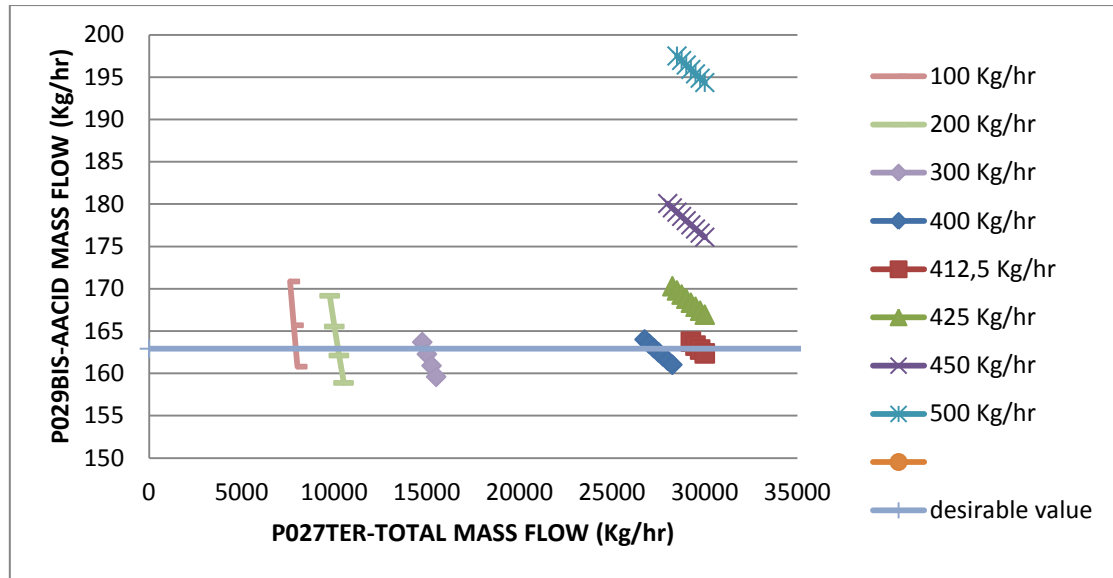
Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

$$100 \text{ Kg/hr} \leq AACID_{P027TER} \leq 500 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντρικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$AACID_{P029BIS} = 162,904 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



Εικόνα 106. Συγκεντρικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P027TER, για  $100 \text{ Kg/hr} < AACID_{P011NT} < 500 \text{ Kg/hr}$

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$AACID_{P029BIS} = 162,904 \text{ Kg/hr}$$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P029BIS μπορεί να λαμβάνει την τιμή

$$AACID_{P027TER} = 412,5 \text{ Kg/hr}$$



Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P029BIS,

Πίνακας 44. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 0 Kg/hr<AACID<sub>P021NT</sub><412,5 Kg/hr

AA- P027TER(kg/hr)	AA- P029BIS_target_(kg/hr)	AA- P029BIS_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P027TER_required_(kg/hr)
0	<b>162,904</b>	<b>162,904</b>	<b>0</b>	<b>6543</b>
100	162,904	162,921877	0,01%	7911,555608
200	162,904	162,871327	-0,02%	10192,08848
300	162,904	162,892323	-0,01%	14885,1716
400	162,904	162,879087	-0,02%	27287,8591
412,5	162,904	162,893463	-0,01%	29690,6951

### Εύρεση μέγιστης τιμής παροχής φορμικού οξέος

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής ροής μάζας φορμικού οξέος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί.

Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του P027TER στο διάστημα,

$$6000 \text{ Kg/hr} \leq P027TER_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} \leq 30000 \text{ Kg/hr}$$

ενώ ταυτόχρονα μεταβάλλεται και η τιμή παροχής του φορμικού οξέος στο ίδιο ρεύμα.

Ειδικότερα, οι τιμές αυτές είναι :

Πίνακας 45. Ροές φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας

Kg/hr
100
200
1000
2000
3000
4000
5000
6000

Η ανάλυση γίνεται όπως και στο ασετικό οξύ και οι υπολογισμοί έχουν ως εξής :

- Από την εξίσωση της καμπύλης υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής P027TER<sub>TOTAL MASS FLOW</sub> σε Kg/hr, έτσι ώστε

$$FACID_{P029BIS} = 1,249 \text{ Kg/hr}$$

- Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από το υπολογιστικό εργαλείο Aspen Plus, έτσι ώστε να επαληθευθεί αν προκύπτει ή όχι η συνθήκη

$$FACID_{P029BIS} = 1,249 \text{ Kg/hr}$$

- Υπολογίζεται τυχόν σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών FACID<sub>P029BIS</sub>.

## Συμπεράσματα

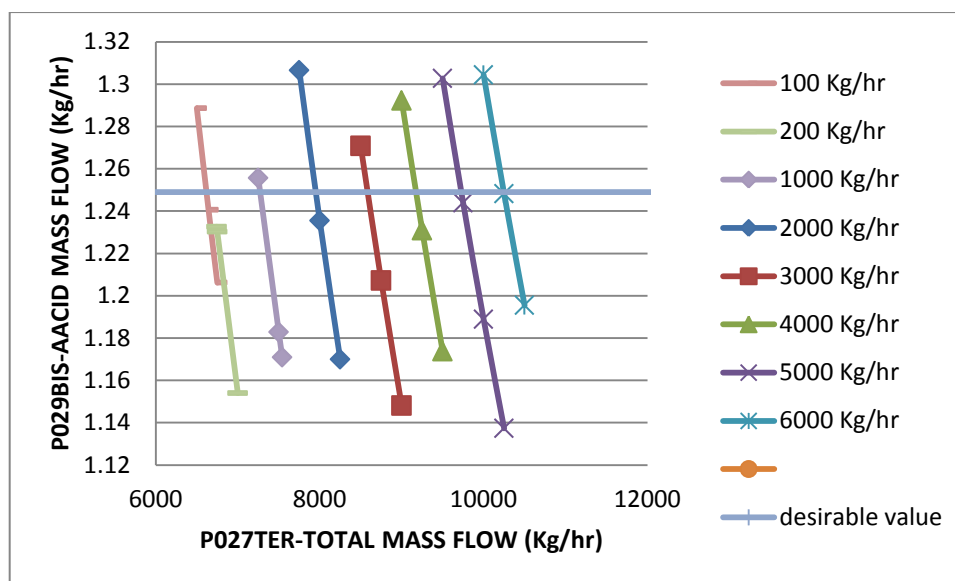
Η ανάλυση πραγματοποιείται για το εξής εύρος ροής

$$100 \text{ Kg/hr} \leq FACID_{P021NT} \leq 6000 \text{ Kg/hr}$$

Συγκεντρωτικά, τα παραπάνω διαγράμματα κοντά στο σημείο όπου ικανοποιείται η συνθήκη

$$FACID_{P023} = 1,249 \text{ Kg/hr}$$

είναι ως εξής :



Εικόνα 107. Συγκεντρωτικό διάγραμμα αναλύσεων ευαισθησίας- εξάρτηση ροής φορμικού οξέος στο ρεύμα P029BIS, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P027TER, για  $100 \text{ Kg/hr} < FACID_{P011NT} < 6000 \text{ Kg/hr}$

Η ευθεία με όνομα «desirable value», απεικονίζει την συνθήκη

$$FACID_{P029BIS} = 1,249 \text{ Kg/hr}$$

Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η μεγαλύτερη ροή μάζας ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, που μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή ροής ασετικού οξέος στο ρεύμα εξόδου P029BIS μπορεί να λάβει τιμή

$$FACID_{P027TER} \geq 6000 \text{ Kg/hr}$$

Η ανάλυση σταμάτησε στο όριο

$$FACID_{P027TER} = 6000 \text{ Kg/hr}$$

αφού για μεγαλύτερη ροή ασετικού οξέος το διάλυμα νερού παύει να υπάρχει και δημιουργείται διάλυμα οξέος.

Τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης για την έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός στο ρεύμα P023,

Πίνακας 46. Συγκενρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων ροών για για 0 Kg/hr<FACID<sub>P027TER</sub><6000 Kg/hr

ΦΟ- P027TER(kg/hr)	ΦΟ- P029BIS_target_(kg/hr)	ΦΟ- P029BIS_aspen_(kg/hr)	Απόκλιση(%)	P027TER_required_(kg/hr)
<b>0</b>	<b>1,249</b>	<b>1,249</b>	<b>0</b>	<b>6543</b>
<b>100</b>	1,249	1,24898676	0,00%	6617,62052
<b>200</b>	1,249	1,25000783	0,08%	6689,3969
<b>100</b>	1,249	1,24877376	-0,02%	7272,8243
<b>200</b>	1,249	1,24909104	0,01%	7950,456057
<b>3000</b>	1,249	1,24888066	-0,01%	8583,783456
<b>4000</b>	1,249	1,24892295	-0,01%	9174,449494
<b>5000</b>	1,249	1,24903714	0,00%	9726,968708
<b>6000</b>	1,249	1,24881488	-0,01%	10246,62467

## Συμπεράσματα

### Ασετικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του ασετικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P027TER είναι

$$AACID_{P027TER} = 412,5 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin_{maxAACID} = \frac{412,5}{6543} = 0,063 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$AACID_{P029BIS} = 162,904 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P027TER είναι

$$P027TER_{TOTAL MASS FLOW} = 29690,6951 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P027TER η σύστασή του σε ασετικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 47. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 44

AA-P027TER(kg/hr)	P027TER_required_(kg/hr)
0	<b>6543</b>
<b>100</b>	7911,555608
<b>200</b>	10192,08848
<b>300</b>	14885,1716
<b>400</b>	27287,8591
<b>412,5</b>	29690,6951

Αν αυτή η ροή δεν είναι οικονομικά δυνατή, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 47, η ροή του ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, η συνολική ροή του ρεύματος P027TER μπορεί να είναι

$$P027TER_{TOTAL MASS FLOW} = 27287,8591 \text{ Kg/hr}$$

τότε θα χρησιμοποιηθούν

$$AACID_{P027TER} = 400 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, θα είναι

$$Cin_{maxAACID} = \frac{400}{6543} = 0,06 \text{ w/w}$$

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 47, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε AACID στο ρεύμα P027TER με την συνολική ροή του ίδιου ρεύματος.

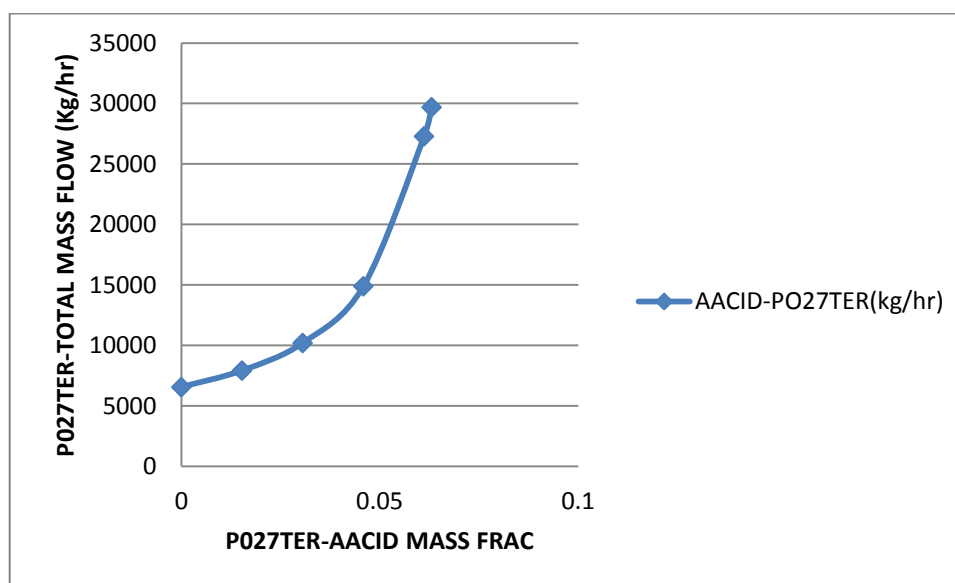
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 47 γίνεται,

Πίνακας 48. Συγκεντώσεις ασετικού οξέος στο ρεύμα P021NT για κάθε απαιτούμενη ροή ρεύματος P021BISN

AA-P027TER(kg/hr)	P027TER_required_(kg/hr)	AA-P027TER (Κλάσμα Μάζας)
0	<b>6543</b>	<b>0</b>
100	7911,555608	0,015283509
200	10192,08848	0,030567018
300	14885,1716	0,045850527
400	27287,8591	0,061134036
412,5	29690,6951	0,063044475

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



Εικόνα 108. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος

Παρατηρείται ότι η καμπύλη δεν έχει την ίδια μορφή και άρα οι οι εξισώσεις παλινδρόμησης δεν μπορούν να την περιγράψουν με ακρίβεια. Για τον λόγο αυτό χωρίζονται τα παρακάτω διαστήματα,

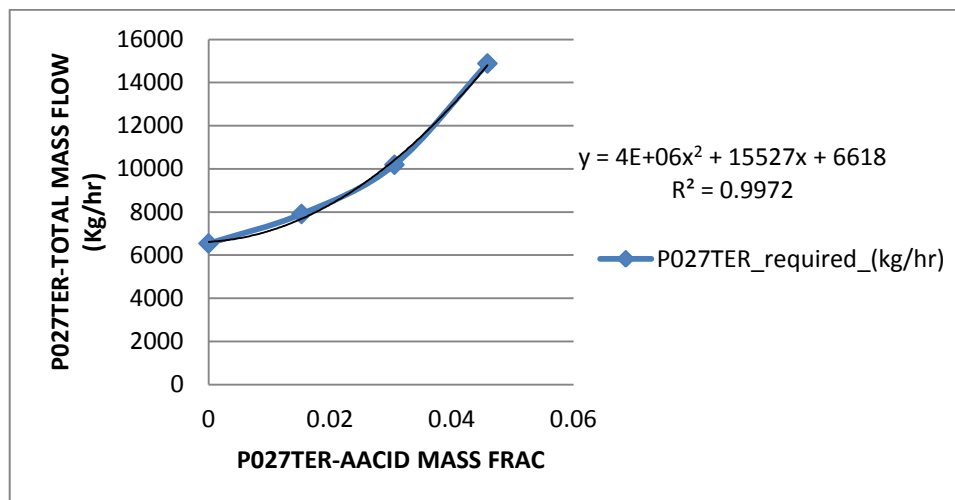
$$0 \leq P027TER - AACID MASS FRAC \leq 0,05$$

και

$$0,05 \leq P027TER - AACID MASS FRAC \leq 0,064$$

Έτσι προκύπτουν οι εξής καμπύλες,

Για το διάστημα  $0 \leq P027TER - AACID\ MASS\ FRAC \leq 0,02$



Εικόνα 109. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος για το διάστημα  $0 < P027TER_{AACID\ MASS\ FRAC} < 0,02$

με εξίσωση παλινδρόμησης

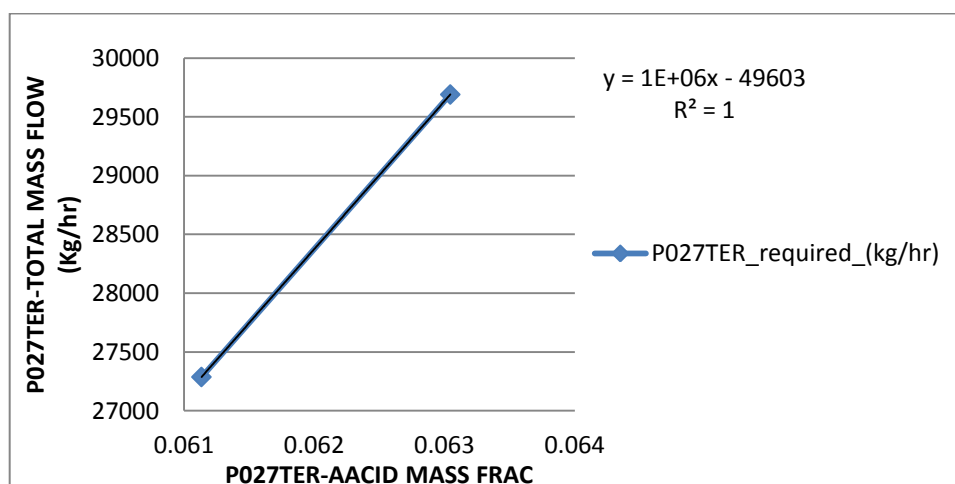
$$y = 4E + 06x^2 - 15527x + 6618$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{AACID}$$

$$y = P027TER_{MASS\ FLOW}$$

Για το διάστημα  $0,05 \leq P027TER - AACID\ MASS\ FRAC \leq 0,064$



Εικόνα 110. Εξάρτηση συγκέντρωσης ασετικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος για το διάστημα  $0,019 < P027TER_{AACID\ MASS\ FRAC} < 0,021$

με εξίσωση παλινδρόμησης

$$y = 1E + 06x - 49603$$

Όπου

$$x = Cin\_max_{AACID}$$

$$y = P027TER_{MASS FLOW}$$

### Φορμικό οξύ

Δεδομένου ότι, η μέγιστη δυνατή ροή του φορμικού οξέος (Kg/hr) στο ρεύμα εισόδου P027TER είναι

$$FACID_{P027TER} = 6000 \text{ Kg/hr}$$

η νέα μέγιστη δυνατή συγκέντρωση εισόδου διαμορφώνεται σε

$$Cin_{max_{FACID}} = \frac{6000}{6543} = 0,917 \text{ w/w}$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Η ροή αυτή όμως δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα

$$FACID_{P029BIS} = 1,249 \text{ Kg/hr}$$

μόνο αν η συνολική ροή του P027TER είναι

$$P027TER_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 10246,6246749 \text{ Kg/hr}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς μεταβάλλεται η συνολική ροή του ρεύματος P027TER η σύστασή του σε φορμικό οξύ παραμένει σταθερή.

Πίνακας 49. Συνοπτικά αποτελέσματα Πίνακας 46

Φ0-P027TER(kg/hr)	P027TER_required_(kg/hr)
0	<b>6543</b>
<b>100</b>	6617,62052
<b>200</b>	6689,3969
<b>1000</b>	7272,8243
<b>2000</b>	7950,456057
<b>3000</b>	8583,783456
<b>4000</b>	9174,449494
<b>5000</b>	9726,968708
<b>6000</b>	10246,62467

Αν αυτή η ροή δεν είναι οικονομικά δυνατή, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 49, η ροή του φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, θα διαμορφωθεί κατάλληλα. Για παράδειγμα αν, η συνολική ροή του ρεύματος P027TER μπορεί να είναι

$$P027TER_{TOTAL \text{ MASS FLOW}} = 9726,968708 \text{ Kg/hr}$$

τότε θα χρησιμοποιηθούν

$$FACID_{P027TER} = 5000 \text{ Kg/hr}$$

και η νέα σύσταση του φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, θα είναι

$$Cin_{max_{FACID}} = \frac{5000}{6543} = 0,76 \text{ w/w}$$



Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 49, θα καθοριστεί η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση σε φορμικό οξύ στο ρεύμα P027TER με την συνολική ροή του ίδιου ρεύματος.

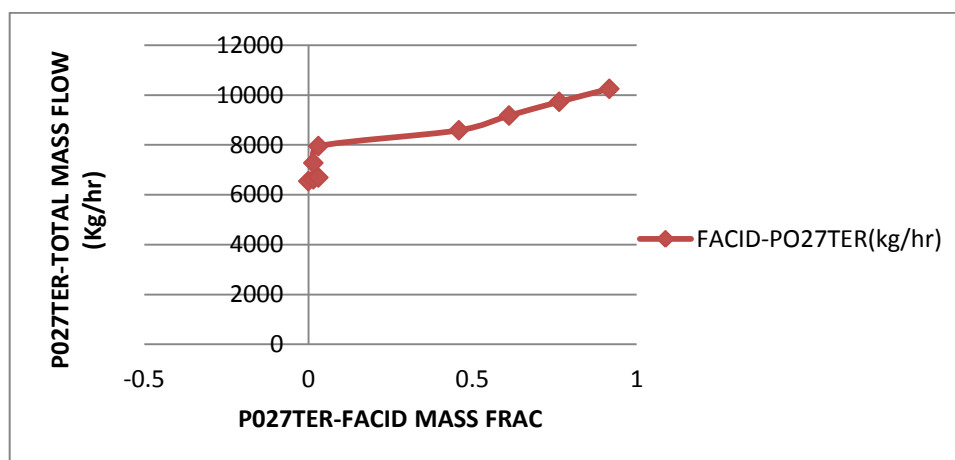
Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες συγκεντώσεις, ο Πίνακας 49 γίνεται,

**Πίνακας 50. Συγκεντώσεις φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER για κάθε απαιτούμενη ροή του ίδιου ρεύματος**

ΦΟ-P027TER(kg/hr)	P027TER_required_(kg/hr)	ΦΟ-P027TER (κλάσμα Μάζας)
0	<b>6543</b>	<b>0</b>
<b>100</b>	6617,62052	0,015283509
<b>200</b>	6689,3969	0,030567018
<b>100</b>	7272,8243	0,015283509
<b>200</b>	7950,456057	0,030567018
<b>3000</b>	8583,783456	0,458505273
<b>4000</b>	9174,449494	0,611340364
<b>5000</b>	9726,968708	0,764175455
<b>6000</b>	10246,62467	0,917010546

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του ασετικού οξέος, λαμβάνεται υπόψη μόνο η ροή του φρέσκου νερού.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι,



**Εικόνα 111. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος**

Παρατηρείται ότι η καμπύλη δεν έχει την ίδια μορφή και άρα οι οι εξισώσεις παλινδρόμησης δεν μπορούν να την περιγράψουν με ακρίβεια. Για τον λόγο αυτό χωρίζονται τα παρακάτω διαστήματα,

$$0 \leq P027TER - FACID MASS FRAC \leq 0,03$$

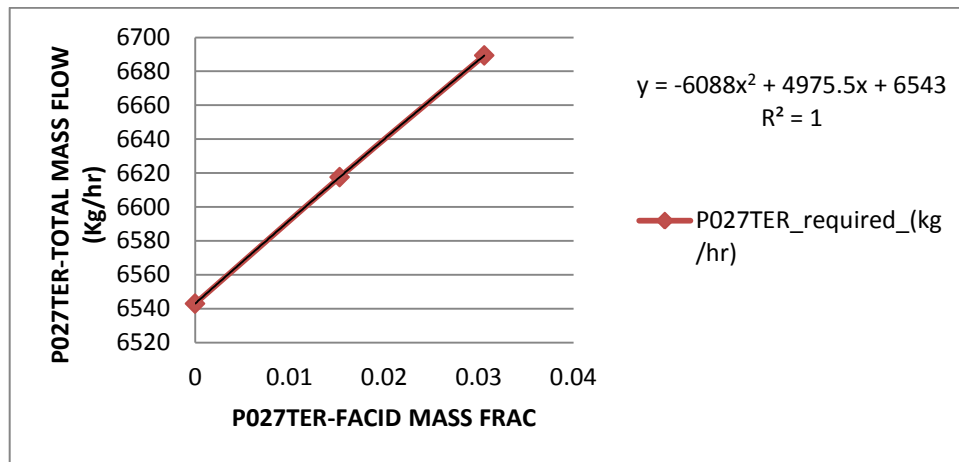
$$0,03 \geq P027TER - FACID MASS FRAC \geq 0,01$$

και

$$0,01 \leq P027TER - FACID MASS FRAC \leq 0,61$$

Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα,

Για το διάστημα  $0 \leq P027TER - FACID\ MASS\ FRAC \leq 0,03$



Εικόνα 112. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα  $0 < P027TER_{FACID\ MASS\ FRAC} < 0,03$

με εξίσωση παλινδρόμησης

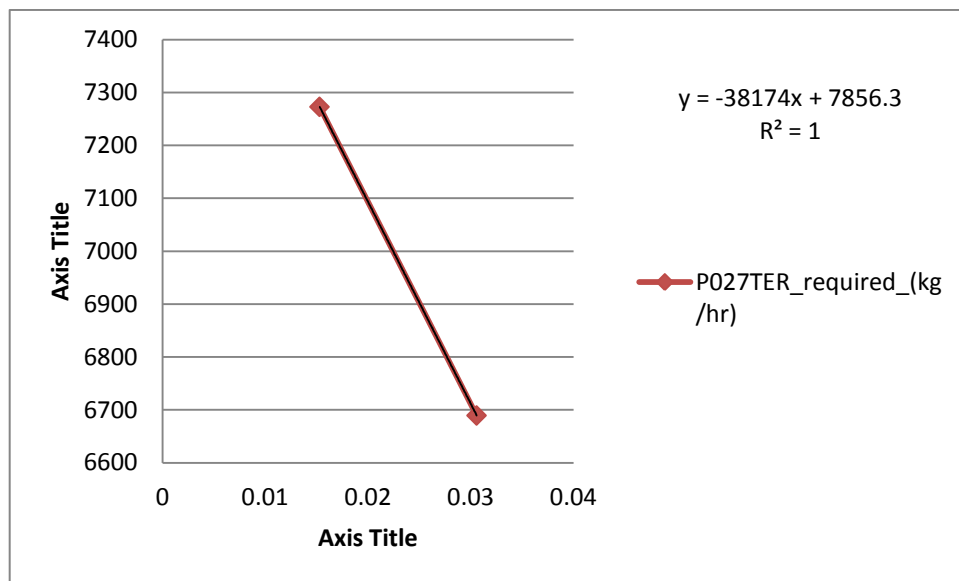
$$y = -6088x^2 + 4975,5x + 6543$$

Όπου

$$x = Cin_{max_{FACID}}$$

$$y = P027TER_{MASS\ FLOW}$$

Για το διάστημα  $0,03 \leq P027TER - FACID\ MASS\ FRAC \leq 0,01$



Εικόνα 113. Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα  $0,03 > P027TER_{FACID\ MASS\ FRAC} > 0,01$

με εξίσωση παλινδρόμησης

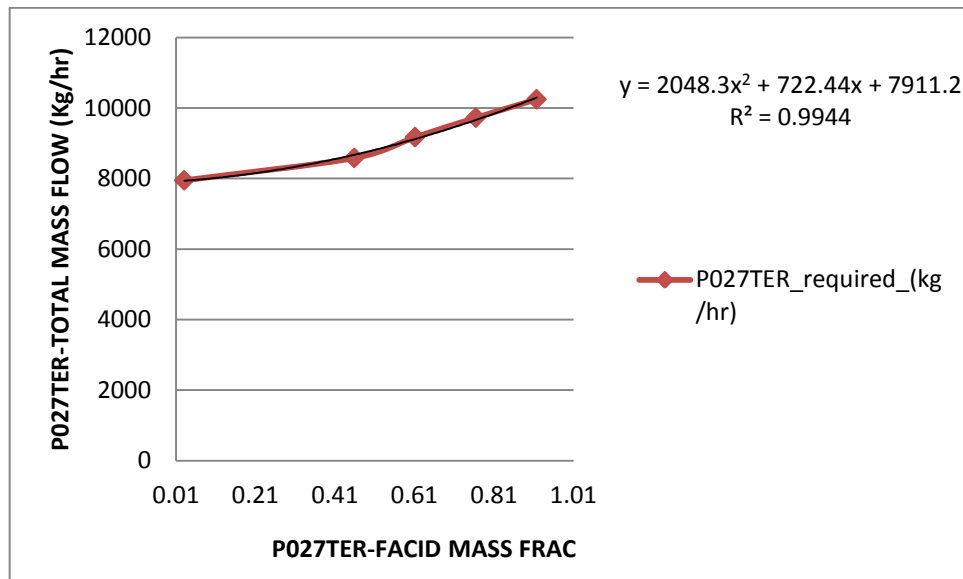
$$y = -38174x + 7856,3$$

Όπου

$$x = Cin_{max_{FACID}}$$

$$y = P027TER_{MASS\ FLOW}$$

Για το διάστημα  $0,01 \geq P027TER - FACID\ MASS\ FRAC \geq 0,61$



Εικόνα 114. . Εξάρτηση συγκέντρωσης φορμικού οξέος στο ρεύμα P027TER, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη συνολική ροή του ίδιου ρεύματος, για το διάστημα  $0,01 < P027TER_{FACID\ MASS\ FRAC} < 0,81$

με εξίσωση παλινδρόμησης

$$y = 2048,3x^2 + 722,44x + 7911,2$$

Όπου

$$x = Cin_{max_{FACID}}$$

$$y = P027TER_{MASS\ FLOW}$$

## Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα όλων των προηγούμενων παραμετρικών αναλύσεων.

### Ασετικό Οξύ

#### Εξισώσεις α' και β' Βαθμού

Πίνακας 51. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού ασετικού οξέος

	Εξίσωση	Διάστημα	R <sup>2</sup>	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 3E + 08 \cdot x^2 - 2E + 07 \cdot x + 427318$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9879	$x = Cin_{max_{AACID}}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 1E + 07x^2 + 127444x + 6150,4$	$0 \leq x \leq 0,02$	0,993	$x = Cin_{max_{AACID}}$
	$y = 6E + 08x^2 - 3E + 07x + 369626$	$0,02 \leq x \leq 0,035$	0,9978	$y = P021BISN_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 1E - 05x - 0,0874$	$6118 \leq x \leq 7500$	1	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$
	$y = 6E - 09x^2 + 5E - 05x - 0,6244$	$7500 \leq x \leq 13500$	1	$y = Cin_{max_{AACID}}$
Στήλη Απογύμνωσης	$y = 4E + 06x^2 + 15527x + 6618$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9972	$x = Cin_{max_{AACID}}$
	$y = 1E + 06x - 49603$	$0,05 \leq x \leq 0,064$	1	$y = P027TER_{MASS FLOW}$

## Εξισώσεις γ' Βαθμού

Πίνακας 52. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού ασετικού οξέος

	Εξίσωση	Διάστημα	R <sup>2</sup>	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 7E + 10 \cdot x^3 - 7E + 09 \cdot x^2 + 3E + 08 \cdot x + 3E + 06$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9985	$x = Cin\_max_{AACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 4E + 08x^3 + 1E + 06x^2 + 186578x + 6116,7$	$0 \leq x \leq 0,02$	1	$x = Cin\_max_{AACID}$
	$y = 1E + 11x^3 - 8E + 09x^2 + 2E + 08x - 2E + 06$	$0,02 \leq x \leq 0,035$	1	$y = P021BISN_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	$6118 \leq x \leq 13500$	-	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	-	$0 \leq x \leq 0,064$	-	$x = Cin\_max_{AACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$

Φορμικό Οξύ  
Εξισώσεις α' και β' Βαθμού

Πίνακας 53. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού φορμικού οξέος

	Εξίσωση	R <sup>2</sup>	Διάστημα	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 1E + 08x^2 - 5E + 06x + 61219$	0,9931	$0 \leq x \leq 0,03$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 9E + 07x^2 + 319849x + 6118$	1	$0 \leq x \leq 0,006$	$x = Cin\_max_{FACID}$
	$y = 2E + 09x^2 - 4E + 07x + 174162$	1	$0,006 \leq x \leq 0,013$	$y = P021bisn_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = -9E - 10x^2 + 6E - 05x - 0,342$	0,9987	$5000 \leq x \leq 35000$	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	$y = -6088x^2 + 4975,5x + 6543$	1	$0 \leq x \leq 0,03$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$
	$y = -38174x + 7856,3$	1	$0,03 \geq x \geq 0,01$	
	$y = 2048,3x^2 + 722,44x + 7911,2$	0,9944	$0,01 \geq x \geq 0,61$	

Εξισώσεις γ' Βαθμού

Πίνακας 54. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού φορμικού οξέος

	Εξίσωση	R <sup>2</sup>	Διάστημα	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 1E + 10x^3 - 9E + 08x^2 + 2E + 07x - 126473$	0,995	$0 \leq x \leq 0,03$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	-	$0 \leq x \leq 0,013$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P021bisn_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	-	$5000 \leq x \leq 35000$	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	-	-	$0 \leq x \leq 0,61$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν την σχέση μεταξύ συγκέντρωσης οξέων στο ρεύμα εισόδου (w/w) και απαιτούμενης συνολικής ροής του ρεύματος αυτού (Kg/hr), έτσι ώστε η συγκέντρωση των οξέων στα αντίστοιχα ρεύματα εξόδου να έχουν την επιτρεπόμενη τιμή. Στις περιπτώσεις όπου οι καμπύλες δεν είχαν την ίδια μορφή σε όλη την έκτασή τους, χωρίστηκαν διαστήματα με διαφορετικές εξισώσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια. Στις περιπτώσεις που οι δευτεροβάθμιες εξισώσεις έδιναν μεγάλη απόκλιση  $R^2$  βρέθηκαν και οι τριτοβάθμιες εξισώσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το  $R^2$  να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών,  $0,9879 \leq R^2 \leq 1$  περιορίζοντας έτσι το υπολογιστικό σφάλμα.



## 6. Αναθεώρηση τεχνολογίας και στόχων

### Αναθεώρηση στόχων

Με αφορμή την προσπάθεια για μείωση της ποσότητας του φρέσκου νερού που χρησιμοποιείται στην μονάδα πραγματοποιήθηκε η παραπάνω ανάλυση, από την οποία συμπεραίνεται ότι υπάρχει δυνατότητα αύξησης των συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου των κρίσιμων διεργασιών.

Οι αναλύσεις ευαισθησίας αρχικά έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της συγκέντωσης του νερού στην είσοδο των διεργασιών και στην έξοδο δεν μεταβάλλεται με γραμμικό τρόπο, όπως είχε θεωρηθεί στην ανάλυση του Κόμβου Ανάσχεσης. Έπειτα οι παραμετρικές αναλύσεις οδήγησαν σε συγκεκριμένες τιμές συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου οι οποίες αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη τιμή ροής της συνολικής παροχής του ίδιου ρεύματος. Οι εξισώσεις που προέκυψαν από τα σημεία αυτά ανα περίπτωση είχαν περιορισμένο υπολογιστικό σφάλμα.

Όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση οξέων στην είσοδο μιας διεργασίας, τόσο πιο μεγάλη προκύπτει και η συνολική ροή που απαιτείται έτσι ώστε να διατηρηθούν σταθερές οι συγκεντρώσεις στα ρεύματα προϊόντων της κάθε διεργασίας. Οι μεγάλες απαιτούμενες ροές σε νερό όμως δεν συνεπάγονται αύξηση στην συνολική ποσότητα φρέσκου νερού, αλλά αντίθετα μείωση του. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να περιέχουν ποσότητες οξέων αφού ενδέχεται είτε να αποτελούν ρεύματα εξόδου άλλων διεργασιών είτε να προέρχονται από την τελική μονάδα απόσταξης.

Παράλληλα δεν επηρεάζεται η καθαρότητα των ρευμάτων εξόδου που περιέχουν τα προϊόντα της κάθε διεργασίας, ως προς την συγκέντρωση οξέων, αφού η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βασικό περιορισμό να κρατηθούν σταθερές οι συγκεντρώσεις των ρευμάτων αυτών.

Στον Πίνακα 55 φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για κάθε διεργασία μεμονομένα,

Πίνακας 55. Αναθεώρηση στόχων

Διεργασία	Ασετικό Οξύ (Kg/h)		Φορμικό Οξύ (Kg/h)	
	Αρχικά	Τελικά	Αρχικά	Τελικά
Απομάκρυνση Οξέων	440	530	240	365
Διήθηση (Στάδιο 1 <sup>ο</sup> )	0	193,75	0	68,75
Διήθηση (Στάδιο 2 <sup>ο</sup> )	0	6000	0	4687,5
Σάκχαρα C-5	0	412,5	0	6000

Όπως αναφέρεται και παραπάνω οι τιμές του Πίνακα 55 είναι οι μέγιστες δυνατές. Κάθε τέτοια τιμή συνδιάζεται με μια μόνο τιμή συνολικής ροής ρεύματος εισόδου. Αν η τιμή της συνολικής ροής δεν μπορεί να επιτευχθεί τότε με βάση τις εξισώσεις που έχουν προκύψει ανα περίπτωση, επιλέγεται η τιμή της συνολικής ροής του ρεύματος εισόδου και άρα η μια και μοναδική ροή οξέος.

## Περιορισμοί και υπολογιστικές ανάγκες

Η ανάλυση έχει πραγματοποιηθεί για κάθε οξύ και κάθε διεργασία ξεχωριστά. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουν ληφθεί υπ' όψιν αλληλεπιδράσεις όσον αφορά τόσο την επαναχρησιμοποίηση νερού όσο και την αλληλουχία μεταξύ των διεργασιών.. Ένα υπολογιστικό μοντέλο θα έδινε συγκεκριμένη αλληλουχία μεταξύ των διεργασιών και επιπλέον θα έδινε την δυνατότητα άμεσης επαναχρησιμοποίησης ροών νερού, χωρίς την μεσολάβηση της τελικής μονάδος απόσταξης, όπου αυτό ήταν εφικτό. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που έχουν εξαχθεί και αναφέρονται στους Πίνακες Πίνακας 51, Πίνακας 52, Πίνακας 53 και Πίνακας 54 θα είχε ως αποτέλεσμα συγκεκριμένα συγκεντρωσιακά όρια ανα διεργασία, καθώς επίσης και ενδέχομενη περαιτέρω μείωση του καθαρού νερού που χρησιμοποιείται

Είναι βέβαιο λοιπόν ότι τα αποτελέσματα θα ήταν πιο σαφή αφού θα υπολογίζονταν όλοι οι παράμετροι συνολικά. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εισαγωγή όλων των εξισώσεων που έχουν προκύψει από την ανάλυση σε ένα υπολογιστικό μοντέλο.

## 7. Συμπεράσματα

Το παράδειγμα του βιοδιύλιστηρίου που εξετάζεται χρησιμοποιεί περισσότερο από 44tn/hr νερό μόνο για την απομάκρυνση συστατικών από ρεύματα διεργασιών, και περίπου 15tn/hr νερό ως διαλύτη σε διάφορες αντιδράσεις. Εφαρμόζεται η τεχνική της ολοκλήρωσης δικτύων νερού (Robin Smith, 2001) έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι νέοι μειωμένοι στόχοι αναγκών φρέσκου νερού και να προταθεί ένα σύνολο δικτύων που εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό.

Παράλληλα μειώνεται η ροή του νερού που, είτε απευθείας είτε κατόπιν επεξεργασίας, αποβάλλεται στο περιβάλλον. Δεδομένου ότι το κόστος των μονάδων επεξεργασίας νερού αυξάνεται αναλογικά με την ποσότητα του νερού που επεξεργάζεται, η μείωση του αποβαλλόμενου νερού έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κεφαλαίου των μονάδων αυτών.

Με βάση τις αναλύσεις ευαισθησίας, παρατηρήθηκε ότι όταν αυξανόταν η συγκέντρωση οξέων στα ρεύματα νερού των κρίσιμων διεργασιών αυξανόταν, όπως ήταν λογικό, και η συγκέντρωση στα ρεύματα εξόδου. Στην περίπτωση όμως που με σταθερή συγκέντρωση στα ρεύματα εισόδου αυξανόταν η συνολική παροχή προς την διεργασία, η συγκέντρωση στα ρεύματα εξόδου μειωνόταν. Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να βρεθούν νέα υψηλότερα συγκεντρωσιακά όρια, κάτι που θα έπαιζε σημαντικό ρόλο στην μείωση του χρησιμοποιούμενου φρέσκου νερού και παράλληλα θα αύξανε την ποσότητα νερού που προοριζόταν για επαναχρησιμοποίηση.

Οι αναλύσεις ευαισθησίας έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του νερού στην είσοδο των διεργασιών και στην έξοδο δεν μεταβάλλεται με γραμμικό τρόπο, όπως είχε θεωρηθεί στην ανάλυση του Κόμβου Ανάσχεσης. Έπειτα οι παραμετρικές αναλύσεις οδήγησαν σε συγκεκριμένες τιμές συγκεντρωσιακών ορίων εισόδου οι οποίες αντιστοιχούσαν σε μια συγκεκριμένη τιμή ροής της συνολικής παροχής του ρεύματος αυτού. Έτσι οι εξισώσεις που προέκυψαν από τα σημεία αυτά ανα περίπτωση είχαν περιορισμένο υπολογιστικό σφάλμα. Οι εξισώσεις που προέκυψαν συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες,

Ασετικό Οξύ  
Εξισώσεις α' και β' Βαθμού

Πίνακας 56. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού ασετικού οξέος

	Εξίσωση	Διάστημα	R <sup>2</sup>	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 3E + 08 \cdot x^2 - 2E + 07 \cdot x + 427318$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9879	$x = Cin\_max_{AACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 1E + 07x^2 + 127444x + 6150,4$	$0 \leq x \leq 0,02$	0,993	$x = Cin\_max_{AACID}$
	$y = 6E + 08x^2 - 3E + 07x + 369626$	$0,02 \leq x \leq 0,035$	0,9978	$y = P021BISN_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 1E - 05x - 0,0874$	$6118 \leq x \leq 7500$	1	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$
	$y = 6E - 09x^2 + 5E - 05x - 0,6244$	$7500 \leq x \leq 13500$	1	$y = Cin\_max_{AACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	$y = 4E + 06x^2 + 15527x + 6618$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9972	$x = Cin\_max_{AACID}$
	$y = 1E + 06x - 49603$	$0,05 \leq x \leq 0,064$	1	$y = P027TER_{MASS FLOW}$

Εξισώσεις γ' Βαθμού

Πίνακας 57. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού ασετικού οξέος

	Εξίσωση	Διάστημα	R <sup>2</sup>	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 7E + 10 \cdot x^3 - 7E + 09 \cdot x^2 + 3E + 08 \cdot x + 3E + 06$	$0 \leq x \leq 0,05$	0,9985	$x = Cin\_max_{AACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 4E + 08x^3 + 1E + 06x^2 + 186578x + 6116,7$	$0 \leq x \leq 0,02$	1	$x = Cin\_max_{AACID}$
	$y = 1E + 11x^3 - 8E + 09x^2 + 2E + 08x - 2E + 06$	$0,02 \leq x \leq 0,035$	1	$y = P021BISN_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	$6118 \leq x \leq 13500$	-	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	-	$0 \leq x \leq 0,064$	-	$x = Cin\_max_{AACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$

Φορμικό Οξύ  
Εξισώσεις α' και β' Βαθμού

	Εξίσωση	R <sup>2</sup>	Διάστημα	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 1E + 08x^2 - 5E + 06x + 61219$	0,9931	$0 \leq x \leq 0,03$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = 9E + 07x^2 + 319849x + 6118$ $y = 2E + 09x^2 - 4E + 07x + 174162$	1 1	$0 \leq x \leq 0,006$ $0,006 \leq x \leq 0,013$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P021bisn_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	$y = -9E - 10x^2 + 6E - 05x - 0,342$	0,9987	$5000 \leq x \leq 35000$	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	$y = -6088x^2 + 4975,5x + 6543$ $y = -38174x + 7856,3$ $y = 2048,3x^2 + 722,44x + 7911,2$	1 1 0,9944	$0 \leq x \leq 0,03$ $0,03 \geq x \geq 0,01$ $0,01 \geq x \geq 0,61$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$

Πίνακας 58. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων α' και β' βαθμού φορμικού οξέος

Εξισώσεις γ' Βαθμού

Πίνακας 59. Συγκεντρωτικός πίνακας εξισώσεων γ' βαθμού φορμικού οξέος

	Εξίσωση	R <sup>2</sup>	Διάστημα	Συμβολισμοί
Διεργασία Απογύμνωσης	$y = 1E + 10x^3 - 9E + 08x^2 + 2E + 07x - 126473$	0,995	$0 \leq x \leq 0,03$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P011bis_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	-	$0 \leq x \leq 0,013$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P021bisn_{MASS FLOW}$
Διεργασία Έκπλυσης	-	-	$5000 \leq x \leq 35000$	$x = P021BISN_{MASS FLOW}$ $y = Cin\_max_{FACID}$
Στήλη Απογύμνωσης	-	-	$0 \leq x \leq 0,61$	$x = Cin\_max_{FACID}$ $y = P027TER_{MASS FLOW}$

Η ανάλυση έχει πραγματοποιηθεί για κάθε οξύ και κάθε διεργασία ξεχωριστά. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουν ληφθεί υπ' όψιν αλληλεπιδράσεις όσον αφορά τόσο την επαναχρησιμοποίηση νερού όσο και την αλληλουχία μεταξύ των διεργασιών

Ένα υπολογιστικό μοντέλο θα έδινε συγκεκριμένη αλληλουχία μεταξύ των διεργασιών και επιπλέον θα έδινε την δυνατότητα άμεσης επαναχρησιμοποίησης ροών νερού, χωρίς την μεσολάβηση της τελικής μονάδος απόσταξης, όπου αυτό ήταν εφικτό.

Συνοψίζοντας τα συνολικά αποτελέσματα από τους παραπάνω πίνακες (Πίνακας 62, Πίνακας 62, Πίνακας 63 και Πίνακας 64) προκύπτει ο Πίνακας 60.

	Αρχικές Τιμές (Kg/h)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (χωρίς αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (με αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Διαφορά (%)
<b>Παροχή Καθαρού Νερού</b>	44480	22072.924	-50.38%	6263.873	-71.62%	<b>-85.92%</b>
<b>Παροχή αποσταγμένου νερού</b>	0	14688.987	100.00%	20230.935	37.73%	<b>100.00%</b>
<b>Συνολική παροχή εισόδου νερού</b>	-	52349.062	-	33923.822	-35.20%	-
<b>Συνολική παροχή εξόδου νερού</b>	-	50084.114	-	31669.307	-36.77%	-

**Πίνακας 60. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου**

Παρατηρείται ότι η συνολική ποσότητα του καθαρού νερού παρουσιάζει σημαντική μείωση, επιτυγχάνοντας έτσι τον αρχικό στόχο. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση στην συνολική ποσότητα του αποσταγμένου νερού, πράγμα που σημαίνει αύξηση της ποσότητας του νερού που επαναχρησιμοποιείται. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της συνολικής ποσότητας νερού που εισέρχεται και εξέρχεται στις διεργασίες.

Πιο συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται μείωση της παροχής του καθαρού νερού κατά 50,38% όταν γίνεται βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας χωρίς μεταβολή των συγκεντρωσιακών ορίων. Επίσης κατά την βελτιστοποίηση της διεργασίας με παράλληλη μεταβολή των συγκεντρωσιακών ορίων η παροχή του καθαρού νερού μειώνεται κατά 71,62%, συντελώντας σε μια συνολική μείωση κατά 85,92 %.

Όσον αφορά το αποσταγμένο νερό εκεί παρατηρείται μια συνολική αύξηση κατά 100%, αφού σύμφωνα με την υπάρχουσα διεργασία δεν επαναχρησιμοποιείται καθόλου νερό. Κατά την πρώτη βελτιστοποίηση η αύξηση του αποσταγμένου νερού είναι 100% ενώ όταν λαμβάνονται υπ' όψιν τα νέα συγκεντρωσιακά όρια αυτή αυξάνεται κατά 37,73%.

Αναφορικά με την συνολική παροχή νερού στην είσοδο και την έξοδο των διεργασιών δεν υπάρχουν δεδομένα για τις τιμές της υπάρχουσας διεργασίας. Παρατηρείται όμως μείωση της παροχής του νερού κατά την βελτιστοποίηση με τα νέα συγκεντρωσιακά όρια κατά 35,20% και 36,77% αντίστοιχα.



## 8. Βιβλιογραφία

1. Robin Smith, *Chemical Process Design and Integration*, John Wiley and Sons Ltd
2. Tchobanoglous G and Burton FL (1991) *Metcalfe & Eddy Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill.
3. Eckenfelder WW and Musterman JL (1995) *Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater*, Technomic Publishing.
4. Berne F and Cordonnier J (1995) *Industrial Water Treatment*, Gulf Publishing.
5. Wang YP and Smith R (1994) Wastewater Minimization, *Chem Eng Sci*, **49**: 981.
6. Betz Laboratories (1991) *Betz Handbook of Industrial Water Conditioning*, 9th Edition.
7. Schierup H-H and Brix H (1990) Danish Experience With Emergent Hydrophyte Treatment Systems (EHTS) and Prospects in the Light of Future Requirements on Outlet Water Quality, *Water Sci Tech*, **22**: 65.
8. Tebbutt THY (1990) *BASIC Water and Wastewater Treatment*, Butterworths.
9. Takama N, Kuriyama T, Shiroko K and Umeda T (1980) Optimal Water Allocation in a Petroleum Refinery, *Comp Chem Eng*, **4**: 251.
10. Wang YP and Smith R (1995) Wastewater Minimization with Flowrate Constraints, *Trans IChemE*, **A73**: 889.
11. Dhole VR, Ramchandani N, Tainsh R and Wasilewski M (1996) Make Your Process Water Pay for Itself, *Chem Eng*, **103**: 100.
12. Polley GT and Polley HL (2000) Design Better Water Networks, *Chem Eng Prog*, **Feb**: 47.
13. Kuo W-CJ and Smith R (1998) Designing for the Interactions Between Water Use and Effluent Treatment, *Trans IChemE*, **A76**: 287–301.
14. Wang YP and Smith R (1995) Time Pinch Analysis, *Trans IChemE*, **A73**: 905.
15. Doyle SJ and Smith R (1997) Targeting Water Reuse with Multiple Contaminants, *Trans IChemE*, **B75**: 181.
16. Alva-Argaez A (1999) *Integrated Design of Water Systems*, PhD Thesis, UMIST, UK.
17. Wang YP and Smith R (1994) Design of Distributed Effluent Treatment Systems, *Chem Eng Sci*, **49**: 3127.
18. Kuo W-CJ and Smith R (1998) Design of Water-Using Systems Involving Regeneration, *Trans IChemE*, **B76**: 94.
19. Smith R, Petela EA and Howells J (1996) Breaking a Design Philosophy, *Chem Eng*, **606**: 21.
20. Kuo W-CJ and Smith R (1997) Effluent Treatment System Design, *Chem Eng Sci*, **52**: 4273.
21. Galen B and Grossmann IE (1998) Optimal Design of Distributed Wastewater Treatment Networks, *Ind Eng Chem Res*, **37**: 4036.
22. <http://www.aspentech.com/>
23. Aikaterini D. Mountraki, Athanassios Nikolakopoulos, Konstantinos A. Pyrgakis, Bouchra Benjelloun Mlayah and Antonis C. Kokossis. **BIOCORE - On a Paradigm for**

**the Design and Synthesis of Real-Life Biorefineries.** *AIChE 2011 Annual Meeting - INTERNATIONAL CONGRESS ON ENERGY 2011.*

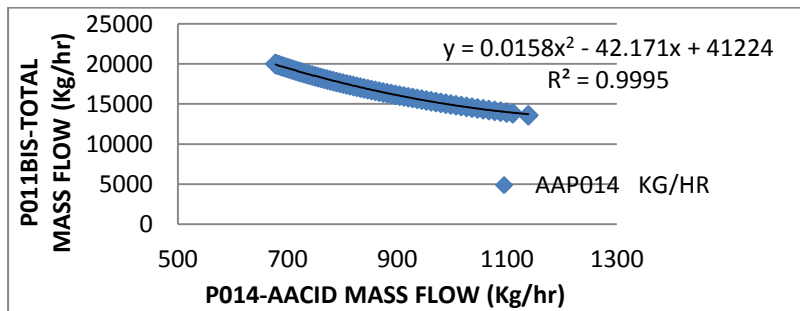
24. A.D. Mountraki, A.Nikolakopoulos, B.B.Mlayah, A. C. Kokossis. **BIOCORE - Synthesis of Novel and Conventional Biomass Conversion Processes towards the sustainable Biorefinery of the Future.** *8th European Congress of Chemical Engineering*, Berlin, Germany, (2011). Conference proceedings **in press**.
25. A. Mountraki, A. Nikolakopoulos, K. Pyrgakis, A. Kokossis. **BIOCORE– A methodological approach paradigm for the development of a real lignocellulosic bio-refinery.** *8th Panellenic Conference of Chemical Engineering*, Thessaloniki, Greece (2011) Conference proceedings in press
26. A. Mountraki, A. Nikolakopoulos, B. Benjelloun Mlayah, Antonis C. Kokossis. **BIOCORE– A systems integration paradigm in the real-life development of a lignocellulosic biorefinery.** *21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 21* E.N. Pistikopoulos, M.C. Georgiadis and A.C. Kokossis (Editors), Elsevier B.V. (2011) Chalkidiki, Greece. Conference proceedings, pp. 1381-1385.
27. M. Delmas, *Vegetal Refining and Agrichemistry*, Chemical Engineering Technology 2008.

## 9. Παράρτημα

## Παραμετρική ανάλυση ασετικού οξέος

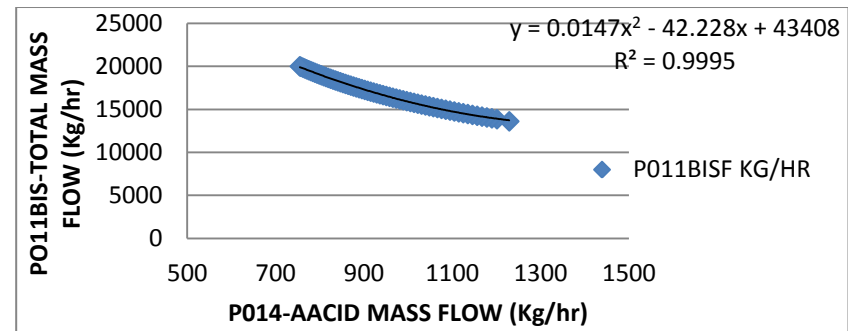
Τα διαγράμματα και οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι,

### P011BIS-AACID MASS FLOW=450 Kg/hr

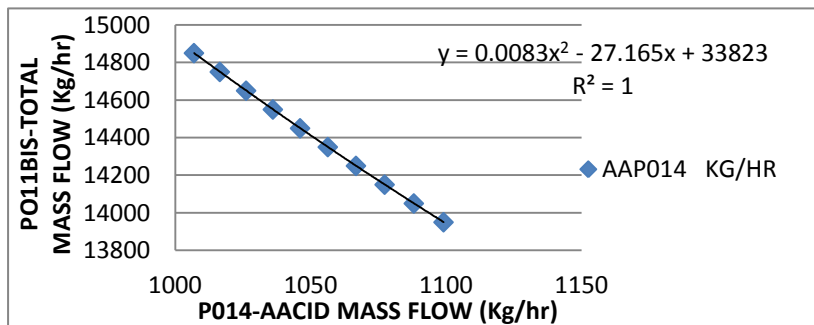


Εικόνα Π1. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για AACID<sub>P011bis</sub>=450 Kg/hr

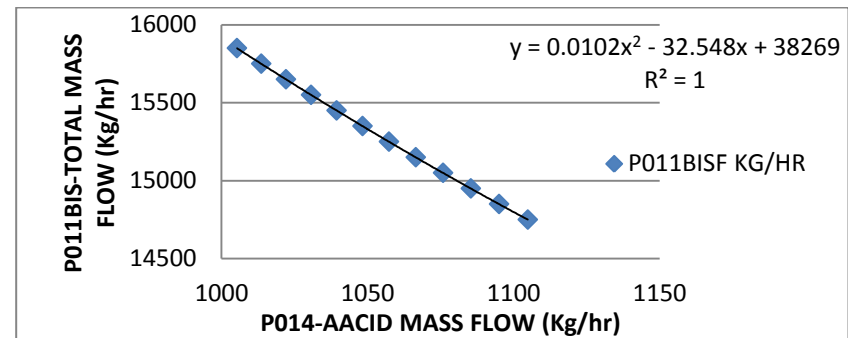
### P011BIS-AACID MASS FLOW=460 Kg/hr



Εικόνα Π 3. ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για AACID<sub>P011bis</sub>=460 Kg/hr

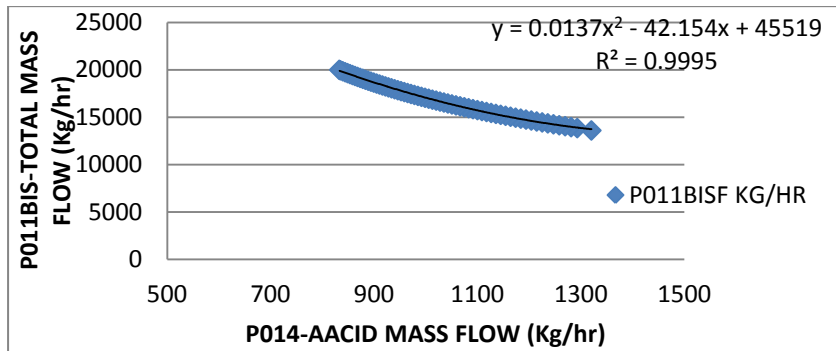


Εικόνα Π 2. . Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < \text{AACID}_{P014} < 1100$  Kg/hr



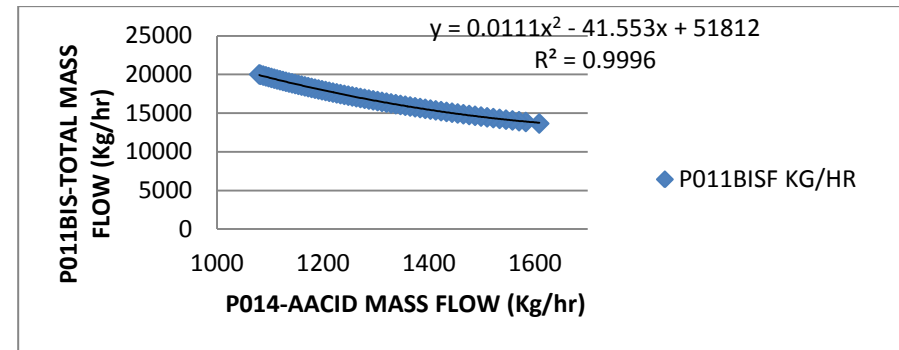
Εικόνα Π 4. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < \text{AACID}_{P014} < 1100$  Kg/hr

**P011BIS-AACID MASS FLOW=470 Kg/hr**

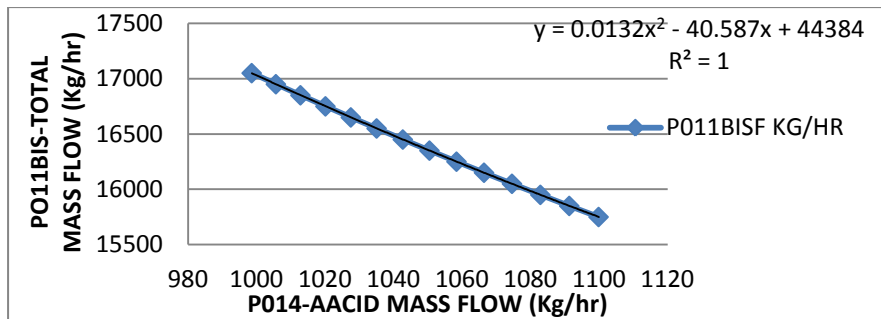


Εικόνα Π 5. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για AACID<sub>P011bis</sub>=470 Kg/hr

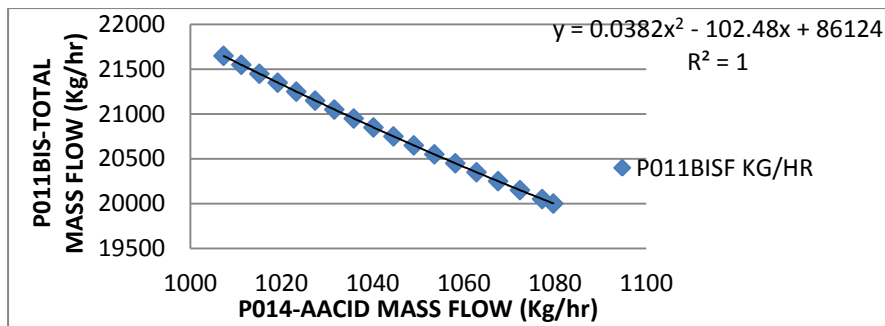
**P011BIS-AACID MASS FLOW=500 Kg/hr**



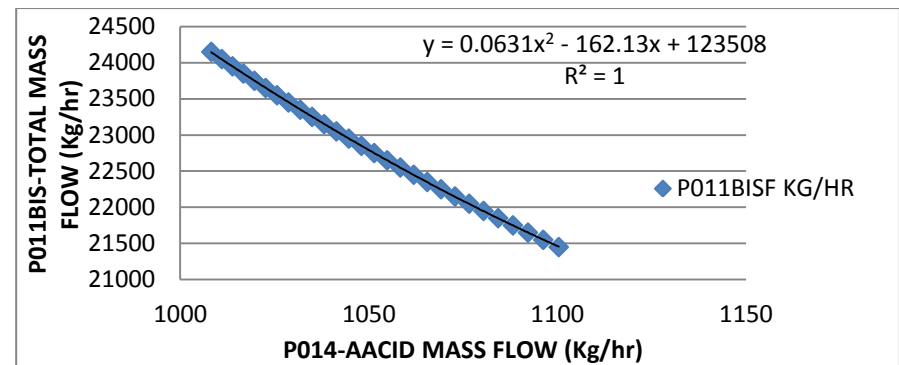
Εικόνα Π 7. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για AACID<sub>P011bis</sub>=500 Kg/hr



Εικόνα Π 6. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 1000<AACID<sub>P014</sub><1100 Kg/hr

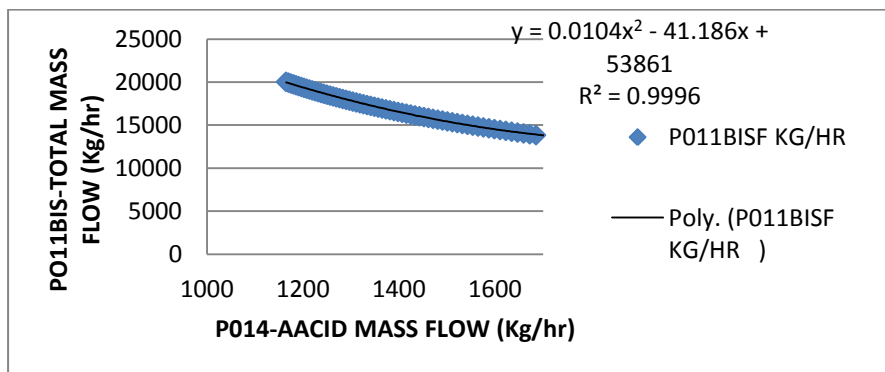


Εικόνα Π 8. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr



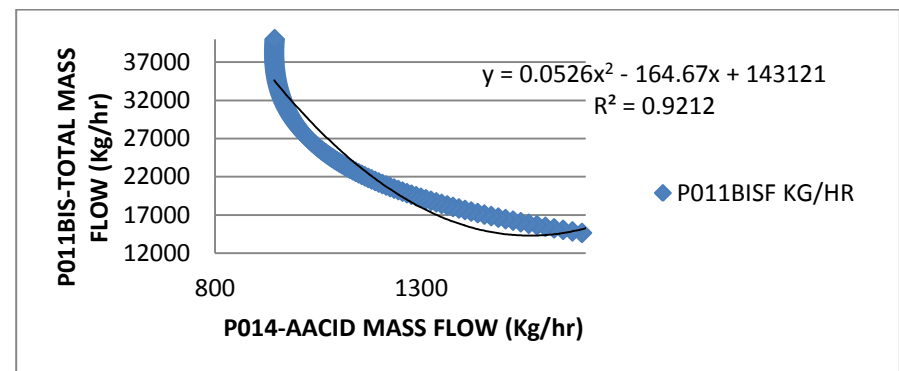
Εικόνα Π 10. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr

### P011BIS-AACID MASS FLOW=510 Kg/hr

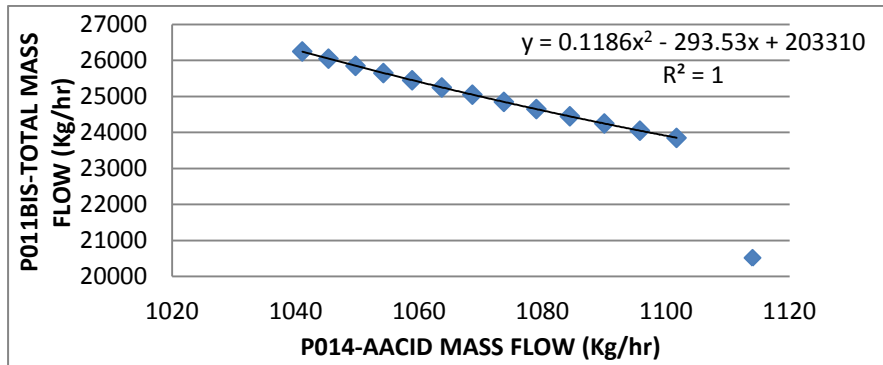


Εικόνα Π 9 .Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis} = 510$  Kg/hr

### P011BIS-AACID MASS FLOW=520 Kg/hr

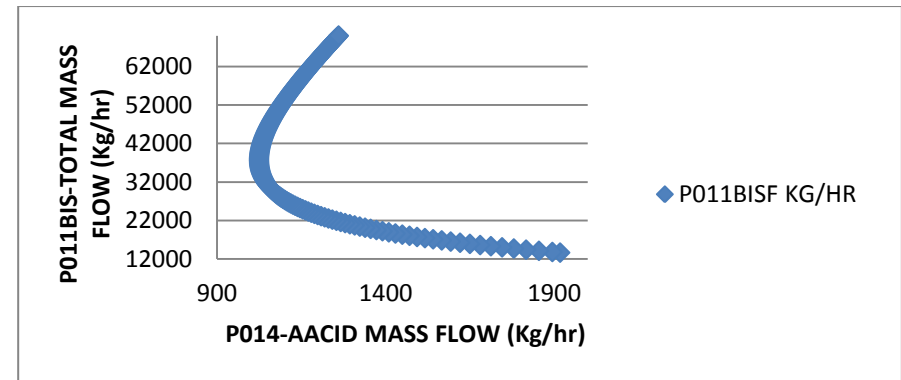


Εικόνα Π 11. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis} = 520$  Kg/hr

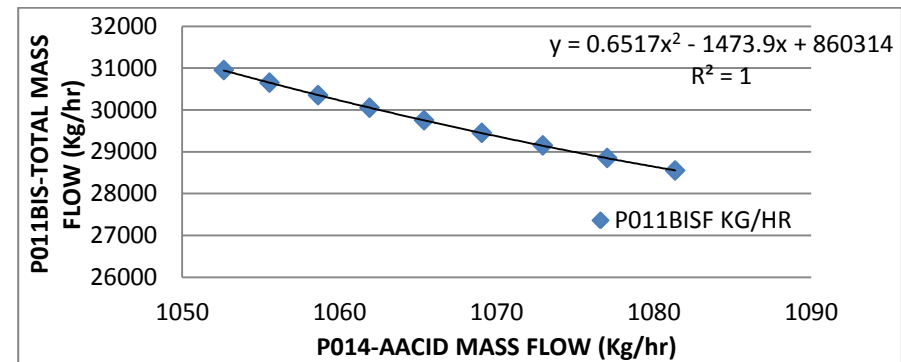


Εικόνα Π 12. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr

P011BIS-AACID MASS FLOW=530 Kg/hr

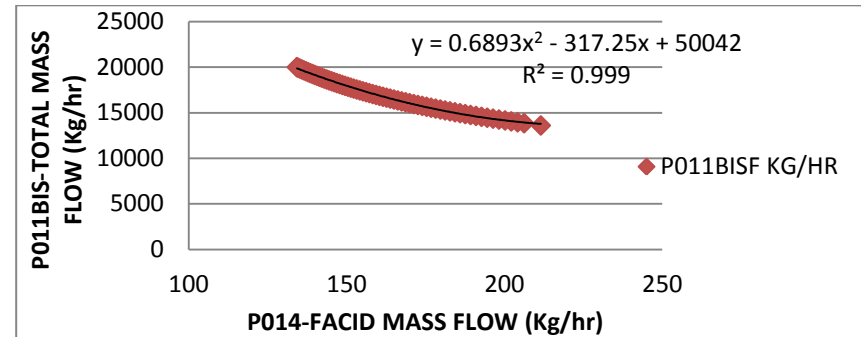


Εικόνα Π 13. . Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής AACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για  $AACID_{P011bis}=530$  Kg/hr

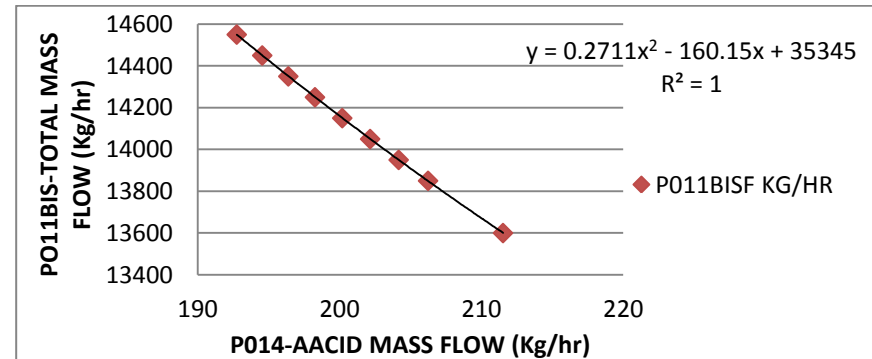


Εικόνα Π 14. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών  $1000 < AACID_{P014} < 1100$  Kg/hr

### P011BIS-FACID MASS FLOW=250 Kg/hr



Εικόνα Π 15. . Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για FACID<sub>P011bis</sub>=250 Kg/hr



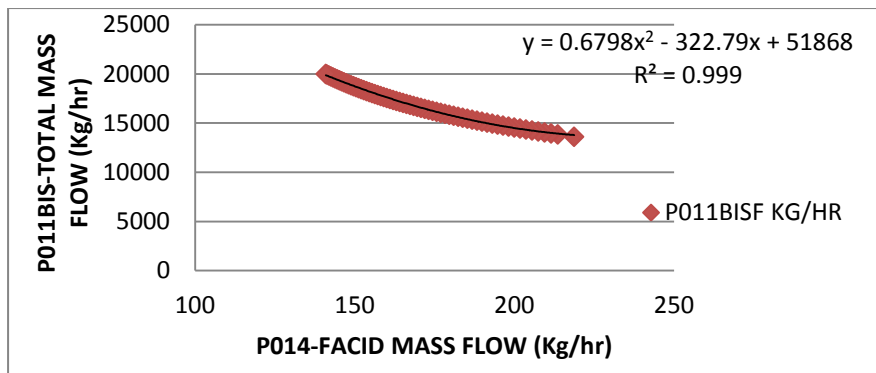
Εικόνα Π 16. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 190<FACID<sub>P014</sub><215 Kg/hr

### Παραμετρική ανάλυση φορμικού οξέος

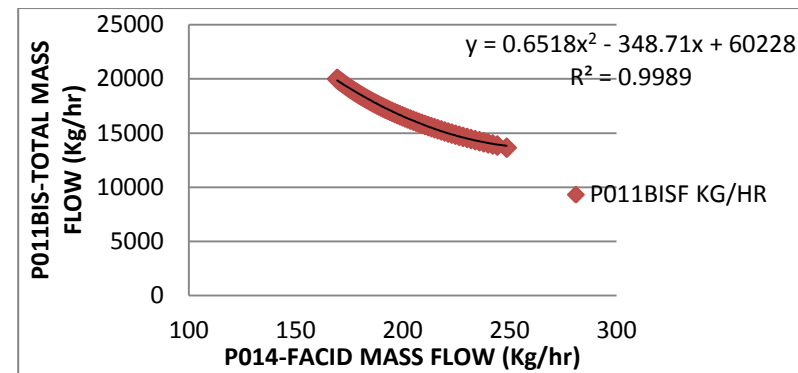
Τα διαγράμματα και οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι,

### P011BIS-FACID MASS FLOW=260 Kg/hr

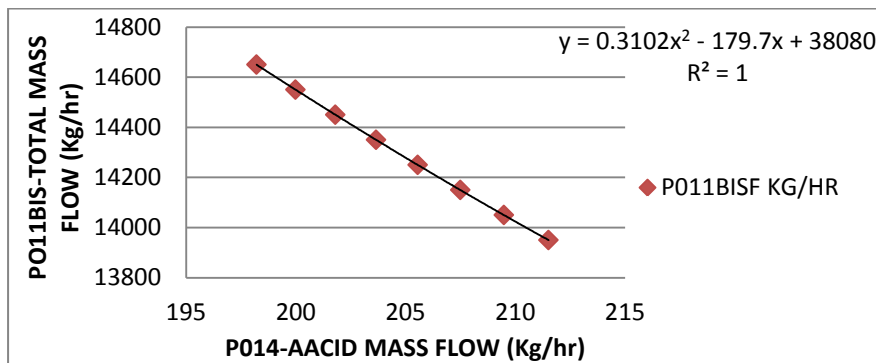




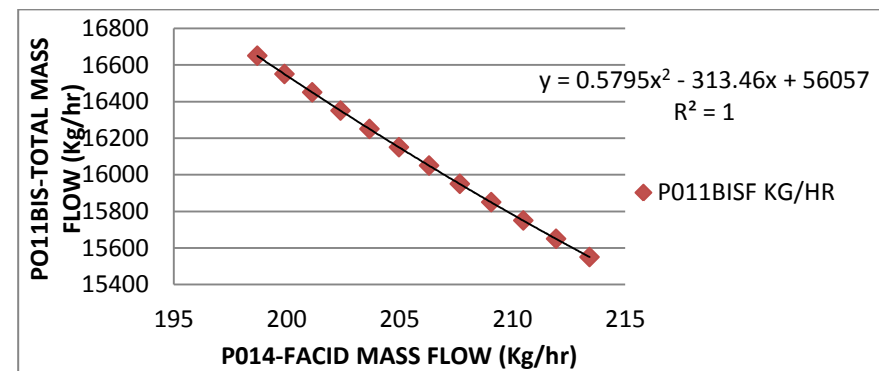
Εικόνα Π 17. ευαισθησίας-εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για FACID<sub>P011bis</sub>=260 Kg/hr



Εικόνα Π 19. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για FACID<sub>P011bis</sub>=300 Kg/hr



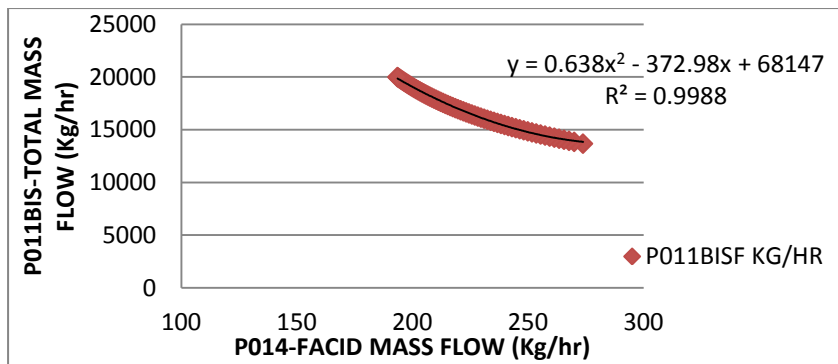
Εικόνα Π 18. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 190<FACID<sub>P014</sub><215 Kg/hr



Εικόνα Π 20. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 190<FACID<sub>P014</sub><215 Kg/hr

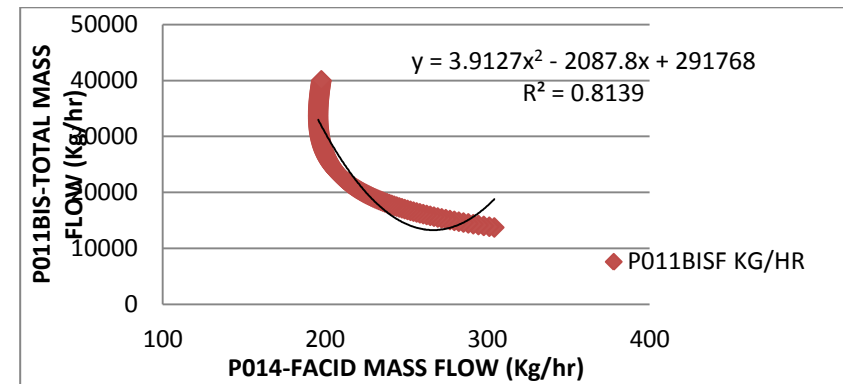
P011BIS-FACID MASS FLOW=300 Kg/hr

P011BIS-FACID MASS FLOW=330 Kg/hr

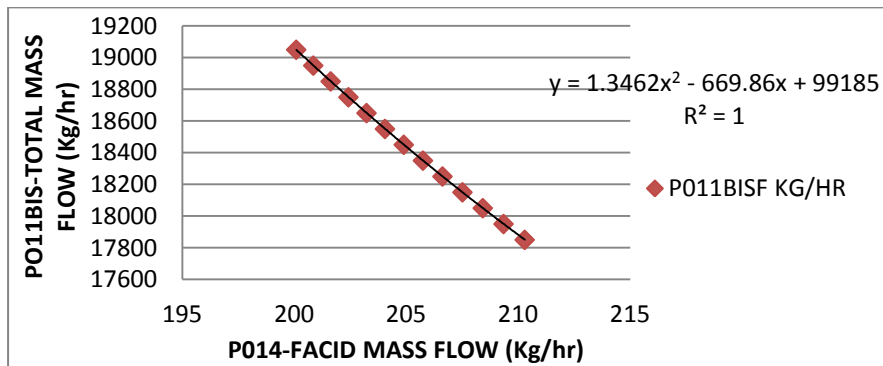


Εικόνα Π 21. . Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για FACID<sub>P011bis</sub>=330 Kg/hr

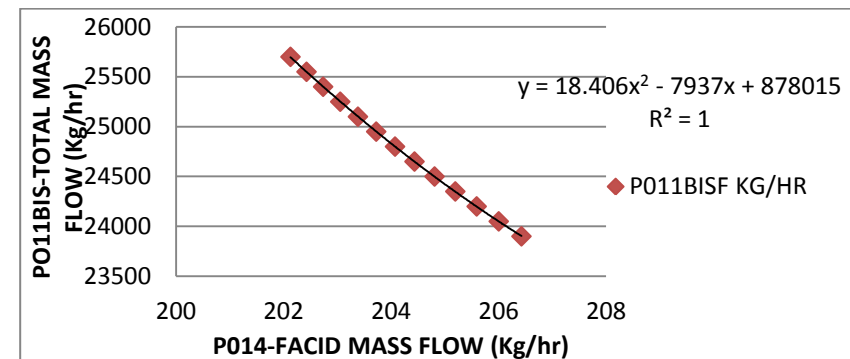
P011BIS-FACID MASS FLOW=365 Kg/hr



Εικόνα Π 23. Ανάλυση ευαισθησίας-εξάρτηση ροής FACID στο ρεύμα P014, μεταβάλλοντας την συνολική ροή του ρεύματος P011bis, για FACID<sub>P011bis</sub>=365 Kg/hr



Εικόνα Π 22. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 190<FACID<sub>P014</sub><215 Kg/hr



Εικόνα Π 24. Error! Reference source not found. για εύρος τιμών 190<FACID<sub>P014</sub><215 Kg/hr



## Μαθηματικο Μοντέλο

### Σύνολα

Ο σχεδιασμός του δικτύου νερού, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η χρήση του φρέσκου νερού μπορεί να περιγραφεί με την βοήθεια ενός συνόλου διεργασιών στις οποίες χρησιμοποιείται νερό :

$$I = \{i | i = 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

Το σύνολο που ορίζει τα συστατικά είναι

$$C = \{c | c = 1, 2, 3\}$$

Ο συνολικός αριθμός διεργασιών στο σύστημα είναι έξι . Σε κάθε διεργασία έχουν ανατεθεί εντολές για διαφορετική ποσότητα και ποιότητα νερού. Για τις διεργασίες της CIMV το φρέσκο νερό παρέχεται από μια πηγή και έχει μηδενική συγκέντρωση όλων των υπόλοιπων συστατικών (AA και FA).

### Παράμετροι

Με κάθε διεργασία σχετίζεται η μέγιστη συγκέντρωση εισόδου και η μέγιστη συγκέντρωση εξόδου του κάθε συστατικού (AA και FA),  $C_{in,max_i}$  και  $C_{out,max_i}$  αντίστοιχα.

Ισχύει ότι η σχέση που συνδέει την μεταφορά μάζας συστατικού είναι  $mc_i$  .

Η οριακή παροχή νερού,  $F_{ii}$  , για τις διεργασίες που χρησιμοποιούν νερό δίνεται από την σχέση

$$F_{ii} = \max \frac{mc_i}{C_{out,max_i} - C_{in,max_i}}$$

Ορίζεται η  $Cr_c$  ως η παράμετρος που χαρακτηρίζει την συγκέντρωση του συστατικού c στην παροχή που προέρχεται από την στήλη απόσταξης.

### Μεταβλητές

Ορίζονται οι  $FW$  και  $FWW$  ως η συνολική εισερχόμενη παροχή φρέσκου νερού και η συνολική εξερχόμενη ροή νερού, αντίστοιχα.

Επίσης ορίζονται οι  $Fin_i$  και  $Fout_i$  ως η ροή εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία i,

$Fw,in_i$  είναι η ροή φρέσκου νερού προς την διεργασία i και

$Fw,out_i$  είναι η παροχή του μολυσμένου νερού από την διεργασία i.

Ορίζεται ως  $Frest_i$  η συνολική ροή από μία διεργασία i στις υπόλοιπες διεργασίες και

ως  $Freuse_{ii}$  η ροή από την διεργασία i στην διεργασία ii.

Ορίζονται  $Cin_i$  και  $Cout_i$  ως οι συγκεντρώσεις των ροών εισόδου και εξόδου κάθε διεργασίας αντίστοιχα.

Οι μεταβλητές  $Cin_{c,i}$  και  $Cout_{c,i}$  ορίζονται ως οι συγκεντρώσεις του συστατικού  $c$  στην είσοδο και στην έξοδο για κάθε διεργασία  $i$ , αντίστοιχα.

Η μεταβλητή  $Fd$  χαρακτηρίζει την συνολική παροχή νερού που προέρχεται από την μονάδα της απόσταξης η οποία τροφοδοτεί τις διεργασίες που έχουν απαίτηση σε νερό.

Ορίζεται η  $Fd, in_i$  ως η μεταβλητή που χαρακτηρίζει το αποσταγμένο νερό που τροφοδοτεί την διεργασία  $i$ .

### Εξισώσεις

Η συνολική ροή φρέσκου νερού δίνεται από την

$$FW = \sum_i Fw, in_i$$

Εξίσωση 10.1

Η συνολική παροχή εξόδου μολυσμένου νερού δίνεται από την

$$FWW = \sum_i Fw, out_i$$

Εξίσωση 10.2

Το συνολικό ισοζύγιο μάζας για κάθε διεργασία είναι

$$Fin_i = Fout_i, \quad \forall i \in I$$

Εξίσωση 10.3

Το ισοζύγιο μάζας ενός συστατικού για κάθε διεργασία είναι

$$mc_i = Fin_i \cdot (Cout_i - Cin_i), \quad \forall i \in I$$

Εξίσωση 10.4

Η ροή εισόδου για μια διεργασία  $i$  είναι

$$Fin_i = Fw, in_i + \sum_{ii} Freuse_{ii,i}, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i$$

Εξίσωση 10.5

Το ισοζύγιο μάζας ενός συστατικού πριν από μια διεργασία  $i$  είναι,

$$Fin_i \cdot Cin_i = \sum_{ii} Freuse_{ii,i} \cdot Cout_{ii}, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i$$

Εξίσωση 10.6

Το συνολικό ισοζύγιο μάζας μετά από μια διεργασία  $i$  είναι,

$$F_{out\ i} = F_{w, out\ i} + F_{rest\ i}, \quad \forall i \in I$$

**Εξίσωση 10.7**

Το συνολικό ισοζύγιο μάζας από μια διεργασία  $i$  στις υπόλοιπες διεργασίες είναι,

$$F_{rest\ i} = \sum_{ii} F_{reuse\ ii, i}, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii > i$$

**Εξίσωση 10.8**

Το συνολικό ισοζύγιο μάζας του συστήματος είναι

$$FW = FWW$$

**Εξίσωση 10.9**

Ο περιορισμός που δηλώνει την συγκέντρωση εισόδου ενός μολυντή σε μια διεργασία  $i$  είναι,

$$C_{in\ i} \leq C_{in\ max\ i}, \quad \forall i \in I$$

**Εξίσωση 10.10**

Ο περιορισμός που δηλώνει την συγκέντρωση εξόδου ενός μολυντή σε μια διεργασία  $i$  είναι,

$$Cout_i \leq Cout_{max_i} \quad , \quad \forall i \in I$$

Εξίσωση 10.11

$$Freuse_{ii,i} = 0 \quad , \quad \text{for } i \in F \subset I \text{ and } ii \in T \subset I$$

Εξίσωση 10.12

όπου  $Freuse_{ii,i}$  είναι η ροή από την διεργασία  $i$  στην διεργασία  $ii$ ,  $F$  είναι ο δείκτης του συνόλου των διεργασιών της πρώτης στήλης του Πίνακα 61, και  $T$  είναι ο δείκτης του συνόλου των διεργασιών της δεύτερης στήλης του Πίνακα 61.

Πίνακας 61. Περιορισμοί αλληλουχίας διεργασιών

Δεν επιτρέπεται η ροή νερού	
Από την διεργασία	Προς την διεργασία
Κατακάθιση Λιγνίνης	Απομάκρυνση οξέων
Κατακάθιση Λιγνίνης	Στάδιο απογύμνωσης σακχάρων C-5
1 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Απομάκρυνση οξέων
1 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Στάδιο απογύμνωσης σακχάρων C-5
2 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Απομάκρυνση οξέων
2 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Στάδιο απογύμνωσης σακχάρων C-5
3 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Απομάκρυνση οξέων
3 <sup>ο</sup> στάδιο έκπλυσης της λιγνίνης	Στάδιο απογύμνωσης σακχάρων C-5

Το ισοζύγιο μάζας του κάθε συστατικού για οποιαδήποτε διεργασία είναι

$$mc_{c,i} = Fin_i \cdot (Cout_{c,i} - Cin_{c,i}) \quad , \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

Εξίσωση 10.13

Το ισοζύγιο μάζας του κάθε συστατικού πριν από κάθε διεργασία  $i$  είναι

$$Fin_i \cdot Cin_{c,i} = \sum_{ii} Freuse_{ii,i} \cdot Cout_{c,ii} \quad , \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i \text{ and } \forall c \in C$$

Εξίσωση 10.14

Ο περιορισμός συγκέντρωσης εισόδου για κάθε μολυντή για κάθε διεργασία  $i$  είναι

$$Cin_{c,i} \leq Cin_{max_{c,i}} \quad , \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

Εξίσωση 10.15

Ο περιορισμός συγκέντρωσης εισόδου για κάθε μολυντή για κάθε διεργασία  $i$  είναι

$$Cout_{c,i} \leq Cout_{max_{c,i}} \quad , \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

Εξίσωση 10.16

Το ισοζύγιο μάζας του συστήματος είναι

$$FW + Fd = FWW$$

Εξίσωση 10.17

Το ισοζύγιο μάζας του αποσταγμένου νερού πριν αυτό χρησιμοποιηθεί στις διεργασίες είναι

$$Fd = \sum_i Fd_{,in_i}$$

Εξίσωση 10.18

Το ισοζύγιο μάζας του νερού πριν αυτό χρησιμοποιηθεί σε κάθε διεργασία, δίνεται από το παρακάτω σύνολο εξισώσεων

$$Fin_i = Fd_{,in_i} + Fw_{,in_i} + \sum_{ii} Freuse_{ii,i} \quad , \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i$$

Εξίσωση 10.19

Το ισοζύγιο μάζας των συστατικών στις διεργασίες δίνεται από το παρακάτω σύνολο των εξισώσεων

$$Fin_i \cdot Cin_{c,i} = \sum_{ii} Freuse_{ii,i} \cdot Cout_{c,ii} + Fdin_i \cdot Cr_c \quad , \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i \text{ and } \forall c \in C$$

Εξίσωση 10.20



## Μοντέλο

$$\text{Minimize } FW = \sum_i Fw, in_i$$

Subject to :

$$FWW = \sum_i Fw, out_i$$

$$Fd = \sum_i Fd, in_i$$

$$Fin_i = Fout_i, \quad \forall i \in I$$

$$mc_{c,i} = Fin_i \cdot (Cout_{c,i} - Cin_{c,i}), \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

$$Fin_i = Fd, in_i + Fw, in_i + \sum_{ii} Freuse_{ii,i}, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i$$

$$Fin_i \cdot Cin_{c,i} = \sum_{ii} Freuse_{ii,i} \cdot Cout_{c,ii} + Fdin_i \cdot Cr_c, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii < i \text{ and } \forall c \in C$$

$$Fout_i = Fw, out_i + Frest_i, \quad \forall i \in I$$

$$Frest_i = \sum_{ii} Freuse_{ii,i}, \quad \forall i, ii \in I \text{ where } ii > i$$

$$FW + Fd = FWW$$

$$Freuse_{ii,i} = 0, \quad \text{for } i \in F \subset I \text{ and } ii \in T \subset I$$

$$Cin_{c,i} \leq Cin_{max_{c,i}}, \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

$$Cout_{c,i} \leq Cout_{max_{c,i}}, \quad \forall i \in I \text{ and } \forall c \in C$$

Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο. Σε κάθε περίπτωση αναφέρεται και η αντίστοιχη προηγούμενη τιμή έτσι ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις

## Παροχή καθαρού νερού

Πίνακας 62. Μεταβολές τιμών παροχής καθαρού νερού

	Αρχικές Τιμές (Kg/h)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (χωρίς αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (με αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Διαφορά (%)
Απομάκρυνση Οξέων	10900	0	-100,00%	0	-	-100,00%
Ιζηματοποίηση	9520	0	-100,00%	0	-	-100,00%
Διήθηση (στάδιο 3ο)	6110	6112	0,04%	0	-100,00%	-100,00%
Διήθηση (στάδιο 2ο)	6110	9475	55,07%	6264	-33,89%	2,52%
Διήθηση (στάδιο 1ο)	5430	0	-100,00%	0	-	-100,00%
Συγκέντρωση σακχάρων C-5	6410	6486	1,18%	0	-100,00%	-100,00%
<b>Σύνολο</b>	<b>44480</b>	<b>22073</b>	<b>-50,38%</b>	<b>6264</b>	<b>-71,62%</b>	<b>-85,92%</b>

## Παροχή αποσταγμένου νερού

Πίνακας 63. Μεταβολές τιμών παροχής αποσταγμένου νερού

	Αρχικές Τιμές (Kg/h)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (χωρίς αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (με αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)	Διαφορά (%)
Απομάκρυνση Οξέων	0	14619	100,00%	11798	-19,29%	100,00%
Ιζηματοποίηση	0	0	-	4424	100,00%	100,00%
Διήθηση (στάδιο 3ο)	0	0	-	11	100,00%	100,00%
Διήθηση (στάδιο 2ο)	0	0	-	0	-	-
Διήθηση (στάδιο 1ο)	0	70	100,00%	0	-100,00%	-
Συγκέντρωση σακχάρων C-5	0	0	-	3998	100,00%	100,00%
<b>Σύνολο</b>	<b>0</b>	<b>14689</b>	<b>100,00%</b>	<b>20231</b>	<b>37,73%</b>	<b>100,00%</b>

## Συνολική παροχή νερού εισόδου σε διεργασίες

Πίνακας 64. Μεταβολές τιμών συνολικής παροχής νερού εισόδου σε διεργασίες

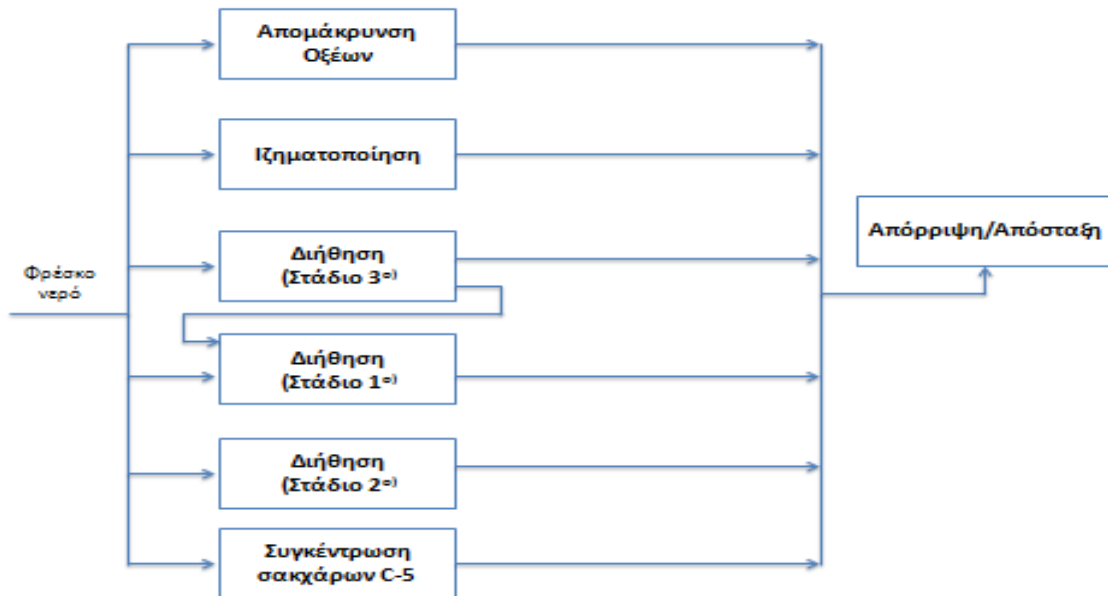
	Τελικές Τιμές (Kg/h) (χωρίς αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (με αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)
Απομάκρυνση Οξέων	14619	11798	-19,29%
Ιζηματοποίηση	10178	9548	-6,19%
Διήθηση (στάδιο 3ο)	6112	12	-99,80%
Διήθηση (στάδιο 2ο)	9475	6264	-33,89%
Διήθηση (στάδιο 1ο)	5479	1152	-78,98%
Συγκέντρωση σακχάρων C-5	6486	5150	-20,60%
<b>Σύνολο</b>	<b>52349</b>	<b>33924</b>	<b>-35,20%</b>

## Συνολική παροχή νερού εξόδου από διεργασίες

Πίνακας 65. Μεταβολές τιμών συνολικής παροχής νερού εξόδου από διεργασίες

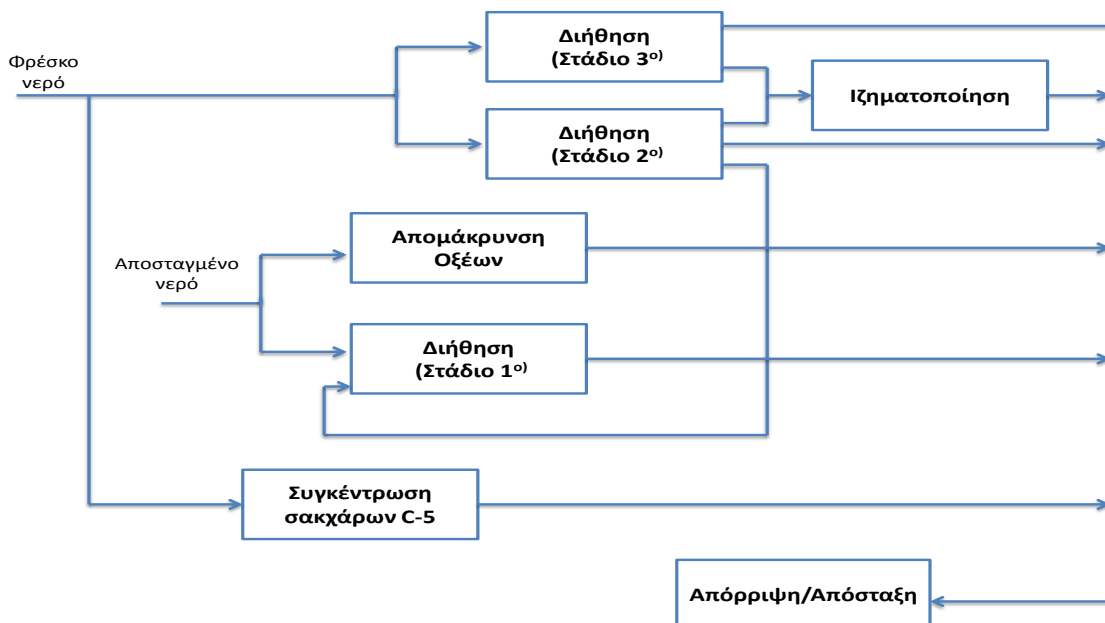
	Τελικές Τιμές (Kg/h) (χωρίς αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Τελικές Τιμές (Kg/h) (με αλλαγή συγκεντρωσιακών ορίων)	Διαφορά (%)
Απομάκρυνση Οξέων	12432	9637	-22,48%
Ιζηματοποίηση	10178	9548	-6,19%
Διήθηση (στάδιο 3ο)	6112	12	-99,80%
Διήθηση (στάδιο 2ο)	9475	6264	-33,89%
Διήθηση (στάδιο 1ο)	5479	1152	-78,98%
Συγκέντρωση σακχάρων C-5	6408	5056	-21,09%
<b>Σύνολο</b>	<b>50084</b>	<b>31669</b>	<b>-36,77%</b>

Εκτός όμως από τις τιμές της παροχής νερού, με βάση το παραπάνω μοντέλο, προτείνονται και αλλαγές στην αλληλουχία μεταξύ των διεργασιών. Με βάση την υπάρχουσα διεργασία και τα υφιστάμενα συγκεντρωσικά όρια (A.D. Mountraki et al, 2011), το διάγραμμα ροής της συνολικής διεργασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 115.



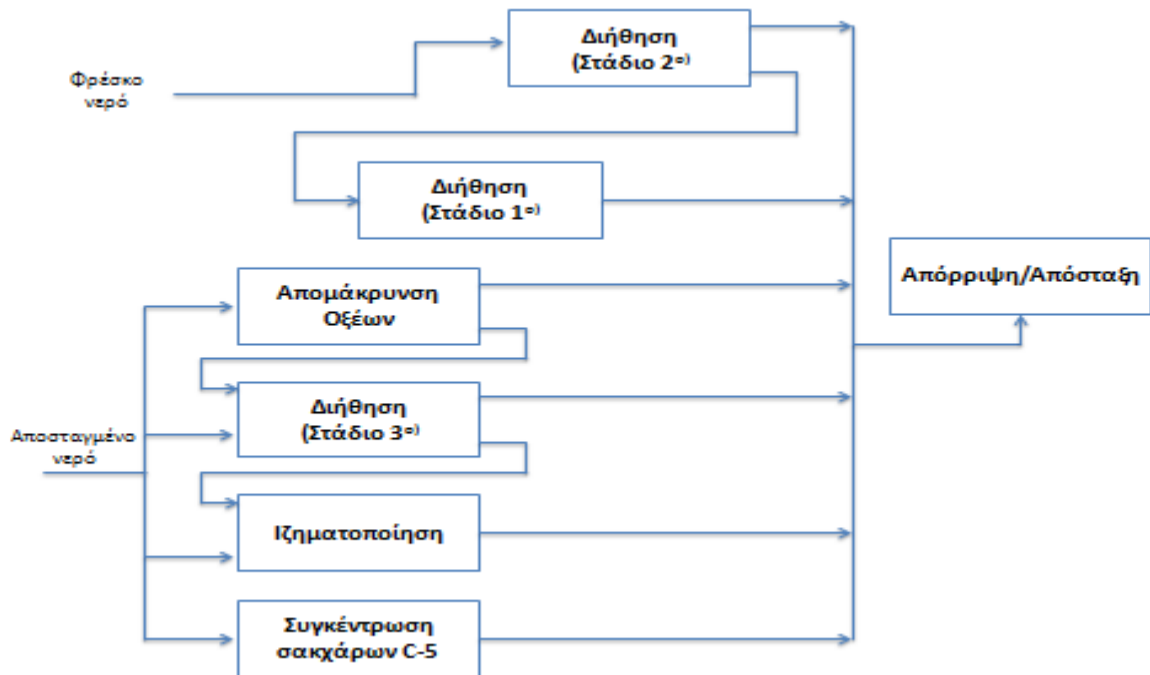
Εικόνα 115. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από την υπάρχουσα διεργασία

Αντίστοιχα, το διάγραμμα ροής που προκύπτει από το μοντέλο στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τα ίδια συγκεντρωσικά όρια με αυτά της υπάρχουσας διεργασίας, παρουσιάζεται στην Εικόνα 116.



Εικόνα 116. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από το μοντέλο, χρησιμοποιώντας τα ίδια συγκεντρωσικά όρια με αυτά της υπάρχουσας διεργασίας

Τέλος, το διάγραμμα ροής που προκύπτει από το μοντέλο στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τα νέα συγκεντρωσιακά όρια όπως έχουν προκύψει από την παραπάνω μελέτη, παρουσιάζεται στην Εικόνα 117



Εικόνα 117. Διάγραμμα ροής, όπως αυτό προκύπτει από το μοντέλο, χρησιμοποιώντας τα νέα συγκεντρωσιακά όρια που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη