



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

Διπλωματική Εργασία

Container Loading Problems

Προβλήματα φόρτωσης ενός κοντεϊνερ

Ονοματεπώνυμο φοιτητή: Μάλλης Ηλίας

Επιβλέπων διδάσκων: Κυρανούδης Χρήστος

Ημερομηνία παράδοσης: 07/04/2014

Περιεχόμενα

Περίληψη	σελίδα: 02
Abstract	σελίδα: 02
Εισαγωγή	σελίδα: 03
Ευρετική προσέγγιση φόρτωσης	σελίδα: 08
Ανάλυση των αποτελεσμάτων	σελίδα: 11
Συμπεράσματα	σελίδα: 11
Παράρτημα	σελίδα: 12
Βιβλιογραφία	σελίδα: 36

Περίληψη

Η εργασία βασίζεται στον ευρετικό αλγόριθμο των Zachariadis, Tarantilis και Kiranoudis [1] και ασχολείται με την προσέγγιση προβλημάτων φόρτωσης ενός κοντεϊνερ (single container problems) καθένα από τα οποία αφορά την τοποθέτηση n ορθογώνιων αντικειμένων διαστάσεων (l_i, w_i, h_i) όπου $i \in [1, n]$ σε ένα κοντεϊνερ διαστάσεων $587 \times 233 \times 220$ με στόχο τη βελτιστοποίηση της χρήσης του όγκου του κοντεϊνερ. Κάθε πρόβλημα έχει διαφορετικό πλήθος, διαστάσεις και ομάδες αντικειμένων ίδιων διαστάσεων (types of boxes). Γίνονται τρεις βασικές παραδοχές: Καταρχήν τα αντικείμενα δεν περιστρέφονται, δηλαδή είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η κάθε άκρη τους να είναι παράλληλη με την αντίστοιχη άκρη του κοντεϊνερ. Στη συνέχεια γίνεται η υπόθεση ότι όλα τα δεδομένα εισόδου είναι θετικοί ακέραιοι οι οποίοι ικανοποιούν τις σχέσεις $l_i \leq 587, w_i \leq 233, h_i \leq 220$. Τέλος η στοίβα είναι κατασκευασμένη σε στρώματα (layers) κουτιών της ίδιας κάθετης κατεύθυνσης έτσι ώστε το έργο να μειωθεί αποτελεσματικά στον υπολογισμό των δυσδιάστατων προτύπων διάταξης.

Abstract

This thesis is based on the heuristic algorithm of Zachariadis, Tarantilis and Kiranoudis [1] and focuses on single container loading problems, the packing of a set of n rectangular-shaped items (l_i, w_i, h_i) , $j \in [1, n]$ into a single container $587 \times 233 \times 220$ aiming to maximize the container's volume utilisation. Each problem has different amount, dimensions and types of boxes. Three essential assumptions are taken into consideration. Initially the objects do not rotate, meaning that they are packed with each edge parallel to the corresponding bin edge. Furthermore a hypothesis is being made that all input data are positive integers satisfying $w_j \leq 587, h_j \leq 233, d_j \leq 220$. Finally the stack is to be built from layers of boxes of the same vertical orientation, so that the task is effectively reduced to the calculation of 2-dimensional layout patterns.

Εισαγωγή

Αυτό που συνήθως αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως το Πρόβλημα Φόρτωσης ενός Κοντεϊνερ (Container Loading Problem) αφορά την ιδανική διευθέτηση όμοιων κουτιών στον χώρο φόρτωσης που παρέχεται από το κοντεϊνερ. Στην προσέγγιση που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία λαμβάνεται υπόψιν η παραδοχή ενός συναφές προβλήματος, αυτού της φόρτωσης σε παλέτα (Pallet Loading Problem –Bischoff, Janetz, Ratcliff [2]), όπου η στοίβα είναι κατασκευασμένη σε στρώματα (layers) κουτιών της ίδιας κάθετης κατεύθυνσης έτσι ώστε το έργο να μειωθεί αποτελεσματικά στον υπολογισμό των δυσδιάστατων προτύπων διάταξης. Αυτός ο τύπος προβλήματος ονομάζεται και «πρόβλημα πακεταρίσματος παλέτας από τον κατασκευαστή» (Manufacturer's Pallet Packing Problem – Hodgson [3]) σε αντίθεση με το «πρόβλημα πακεταρίσματος παλέτας από τον διανομέα» (Distributor's Pallet Packing Problem), όπου αντικείμενα διάφορων μεγεθών - αντιπροσωπεύοντας την παραγγελία από έναν πελάτη - πρέπει να φορτωθούν σε μια παλέτα. Επιπρόσθετα γίνεται η υπόθεση ότι τα αντικείμενα δεν περιστρέφονται, δηλαδή είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η κάθε άκρη τους να είναι παράλληλη με την αντίστοιχη άκρη του κοντεϊνερ. Τέλος όλα τα δεδομένα εισόδου είναι θετικοί ακέραιοι οι οποίοι ικανοποιούν τις σχέσεις $l_i \leq 587, w_i \leq 233, h_i \leq 220$.

Η κατάσταση που περιγράφεται στο εξεταζόμενο πρόβλημα αφορά ένα σύνολο n διαφορετικών τύπων κουτιών (ορθογωνικού σχήματος) γνωστών διαστάσεων $l_i \times w_i \times h_i$ ($i = 1, \dots, n$) που πρέπει να φορτωθούν σε ένα κοντεϊνερ μεγέθους $587 \times 233 \times 220$ (οι μονάδες σε εκατοστά). Ο σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της χρήσης όγκου του κοντεϊνερ. Χρησιμοποιώντας το σύστημα ταξινόμησης 4 παραγόντων (4-factor classification system) που έχει προταθεί από τον Dyckhoff [4], το πρόβλημα θα μπορούσε να περιγραφεί ως τύπου: 3/B/O/R: ένα τρισδιάστατο πρόβλημα που αφορά ένα σεν «μικρών» αντικειμένων σχετικά λίγων διαφορετικών μεγεθών τα οποία πρέπει όσο το δυνατόν καλύτερα να πακεταριστούν σε ένα δεδομένο «μεγάλο» αντικείμενο. Μια τέτοια ταξινόμηση εφαρμόζεται στην φόρτωση κιβωτίων εμπορευμάτων όπως στις περιπτώσεις που περιγράφουν οι George και Robinson [5] όπως και οι Ngoi et al. [6]. Η αποτελεσματικότητα αυτής της ταξινόμησης έγκειται στο γεγονός ότι ένα κοντεϊνερ, σε αντίθεση με μια παλέτα, παρέχει πλευρική υποστήριξη στα προϊόντα, επομένως δημιουργεί μια έμφυτη σταθερότητα για την διευθέτηση της φόρτωσής του.

Τα προβλήματα μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τον αριθμό τύπου κουτιών (box types) που αποτελούν το φορτίο (cargo). Αν στο πρόβλημα υπάρχει ένας τύπος αντικειμένων τότε έχουμε ομογενές πρόβλημα (homogeneous). Σε αντίθετη περίπτωση έχουμε ετερογενές (heterogeneous), το οποίο διαχωρίζεται σε ασθενές ετερογενές πρόβλημα (weakly heterogeneous), αν ασχολούμαστε με λίγους τύπους αντικειμένων και ισχυρά ετερογενές πρόβλημα (strongly heterogeneous), αν το φορτίο αποτελείται από μεγάλο αριθμό διαφορετικών αντικειμένων. Η πλειοψηφία των προσεγγίσεων στο πρόβλημα, ασχολείται με ασθενή ετερογενές φορτίο, π.χ [6,7-10]. Μια τέτοια μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί και με ισχυρά ετερογενές φορτίο, ωστόσο όπως παρουσιάζεται στο Bischoff and Marriott [7], το είδος του φορτίου μπορεί να την επιρεάσει καθοριστικά. Δηλαδή μία μέθοδος σχεδιασμένη για φορτίο με 10 ως 15 τύπους αντικειμένων μπορεί να έχει ασχήμα αποτελέσματα όταν εφαρμοστεί σε φορτίο 2,3 τύπων ή αντίθετα σε φορτίο μεγάλου αριθμού τύπων.

Ένας βασικός διαχωρισμός μπορεί να γίνει ανάμεσα στις περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται να φορτωθεί όλο το εμπόρευμα και στις περιπτώσεις που είναι εφικτό να παραμείνουν κάποια αντικείμενα πίσω. Επίσης διαχωρισμός υπάρχει και ανάμεσα σε προβλήματα με ένα

(single container problems) ή περισσότερα κοντεϊνερ (multiple container problem). Στο πρώτο πρόβλημα η χωρητικότητα του κοντεϊνερ δεν είναι αρκετή για να χωρέσουν όλα τα αντικείμενα με αποτέλεσμα ο στόχος να είναι η βελτιστοποίηση της χρησιμοποίησης του χώρου του. Στο δεύτερο πρόβλημα, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των κοντεϊνερ που χρησιμοποιούνται, τα οποία μπορεί να έχουν και διαφορετικές διαστάσεις μεταξύ τους σε μια άλλη παραλλαγή του προβλήματος.

Οι βασικότερες παραλλαγές του προβλήματος φόρτωσης κοντεϊνερ είναι οι εξής:

Strip packing

Σε αυτή τη παραλλαγή του προβλήματος, το κοντεϊνερ έχει καθορισμένο πλάτος και ύψος και απεριόριστο μήκος. Ο στόχος του προβλήματος είναι η τοποθέτηση όλων των κουτιών με τέτοιο τρόπο, ώστε το μήκος του κοντεϊνερ να ελαχιστοποιείται. Το strip packing πρόβλημα έχει εφαρμογές στις περιπτώσεις πολλαπλών σημείων εφοδιασμού (multidrop situation), όπου το φορτίο πρέπει να χωρίζεται σε τομείς σύμφωνα με τους διάφορους προορισμούς. Αρκετοί αλγόριθμοι του προβλήματος συγκρίνονται στο Bischoff and Marriott [7]. Γενικότερα το πρόβλημα πολλαπλών σημείων εφοδιασμού εξετάζεται στο Bischoff and Ratcliff [8].

Knapsack loading

Σε αυτή τη παραλλαγή του προβλήματος, κάθε κουτί συσχετίζεται με ένα όφελος (profit). Στόχος του προβλήματος είναι η επιλογή ενός συνόλου κουτιών, τα οποία συσκευάζονται σε ένα μόνο κοντεϊνερ, έτσι ώστε να φορτωθεί το μέγιστο όφελος. Αν ο όγκος του κουτιού καθοριστεί ως όφελος, τότε το πρόβλημα αντιστοιχεί στην ελαχιστοποίηση του χώρου που μένει ανεκμετάλειυτος. Ευρετικοί αλγόριθμοι για το πρόβλημα knapsack loading παρουσιάζονται στα Gehring et al. [9] και Pisinger [10].

Bin-packing

Σε αυτό το πρόβλημα, όλα τα κοντεϊνερ έχουν καθορισμένες διαστάσεις και όλες οι κούτες πρέπει να συσκευαστούν στον ελάχιστο αριθμό κοντεϊνερ. Το πρόβλημα εξετάζεται στα Scheithauser [11], Faroe et al. [12] και Martello et al [13]. Η τελευταία μέθοδος εξετάζει ακριβείς μεθόδους για την λύση.

Multi-container loading

Το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι παρόμοιο με το bin-packing πρόβλημα εκτός από το γεγονός ότι τα κοντεϊνερ έχουν διαφορετικές διαστάσεις και επίσης ότι στόχος είναι να επιλεγεί μία ομάδα από κοντεϊνερ από την οποία προκύπτουν τα ελάχιστα δυνατά έξοδα φόρτωσης. Η μέθοδος και οι λύσεις της εξετάζονται στο Chen et al [14].

Ένα παρόμοιο πρόβλημα είναι το πρόβλημα φόρτωσης σε παλέτες (pallet loading). Η σταθερότητα του φορτίου αποτελεί ένα σημαντικό περιορισμό αφού αντίθετα με τα κοντεϊνερ, οι παλέτες δεν προσφέρουν πλευρική υποστήριξη για τα κουτιά. Ένας ευρετικός αλγόριθμος για το πρόβλημα φόρτωσης σε παλέτες με μη όμοια αντικείμενα παρουσιάζεται στο Bischoff and Ratcliff [8].

Πρακτικοί παράγοντες που επιρεάζουν το πρόβλημα φόρτωσης

Όπως παρουσιάζεται στο Bischoff and Ratcliff [15] υπάρχουν μερικοί παραγοντές οι οποίοι δεν λαμβάνονται υπ' όψιν, παρά το γεγονός ότι τουλάχιστον κάποιοι από αυτούς, σε αρκετές περιπτώσεις, παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλύση ενός προβλήματος.

Περιορισμοί προσανατολισμού (orientation constraints)

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του περιορισμού, είναι η συνηθισμένη ένδειξη στις κούτες που προσδιορίζει το πάνω μέρος τους (και συνοδεύεται σχεδόν πάντα με ένα βελάκι). Εκτός όμως κάθετη κατεύθυνση είναι χρήσιμο σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαθορίζεται και ο προσανατολισμός στο οριζόντιο επίπεδο, όπως για παράδειγμα στην συσκευασία φορτίου από δυο εισόδους (δηλ προσδιορισμός του μπροστά μέρος των κούτιων).

Αντοχή των αντικείμενων του φορτίου (load bearing strength of items)

Σε πολλές κούτες συναντάται μια επιγραφή που αναφέρει ότι επάνω δεν πρέπει να τοποθετηθούν, επιπλέον ενός συγκεκριμένου αριθμού, κούτες. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα συγκεκριμένο νούμερο το οποίο προσδιορίζει το μέγιστο βάρος το οποίο μπορεί να αντέξει μια κούτα, ανάλογα με την κατασκευή και το περιεχόμενο της. Συχνά αυτή η αντίσταση βρίσκεται βασικά στους πλευρικούς τοίχους της κούτας, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί επάνω πανομοιότυπο κουτί, ενώ αντίθετα να δημιουργηθεί πρόβλημα αν τοποθετηθεί επάνω ένα κουτί με το μισό μέγεθος και το μισό βάρος, ακριβώς στο κέντρο της. Επίσης η ικανότητα αντοχής της κούτας μπορεί να οφείλεται και στον κάθετο προσανατολισμό της.

Περιορισμοί τακτοποίησης (handling constraints)

Το μέγεθος ή το βάρος ενός κουτιού και ο εξοπλισμός φόρτωσης που χρησιμοποιείται ίσως σε ένα βαθμό να υπαγορεύουν το σημείο τοποθέτησής μέσα σε ένα κοντεϊνερ. Επομένως ίσως να ήταν απαραίτητο να τοποθετηθούν τα μεγάλα σε μέγεθος κούτια στο πάτωμα του

κοντεϊνερ ή όχι ψηλότερα από ένα συγκεκριμένο ύψος. Ακόμη από την άποψη της γρήγορης (ασφαλούς) διαχείρισης είναι επιθυμητό να τοποθετούνται ορισμένα αντικείμενα κοντά στην πόρτα του κοντεϊνερ.

Ευστάθεια φορτίου (load stability)

Μια προφανής απαίτηση είναι η διασφάλιση ότι το φορτίο δεν θα μετακινηθεί σημαντικά κατά την διάρκεια της μεταφοράς, ιδίως αν αυτό είναι εύθραυστο ή φθίρεται εύκολα. Επίσης ένα ασταθές φορτίο μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες στην ασφάλεια κατά την φόρτωση, ιδιαίτερα όμως κατά την εκφόρτωση ενός φορτίου. Για να εμποδιστεί η μετακίνηση του φορτίου χρησιμοποιούνται ιμάντες, αερόσακοι, αφρολέξ και άλλα βοηθητικά μέσα, δαπανώντας όμως ταυτόχρονα σημαντικό χρόνο και προσπάθεια για τη προσαρμογή τους.

Ομαδοποίηση αντικειμένων (grouping of items)

Ο έλεγχος ενός φορτίου είναι συνήθως ευκολότερος εάν τα κουτιά που ανήκουν στην ίδια ομάδα βρίσκονται κοντά. Οι ομάδες μπορεί να οριστούν βάσει του παραλήπτη τους, του τύπου τους ή οποιοδήποτε άλλου χαρακτηριστικού. Αυτό μπορεί επίσης να έχει πλεονεκτήματα στην αποδοτικότητα των επιχειρήσεων φόρτωσης.

Πολλαπλοί προορισμοί (multi-drop situations)

Εαν σε ένα κοντέινερ μεταφέρονται εμπορεύματα για περισσότερους του ενός προορισμούς, είναι επιθυμητό, όχι μόνο να τοποθετηθούν τα αντικείμενα του ίδιου προορισμού κοντά μεταξύ τους, αλλά και να ταξινομηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η εκφόρτωση και η επαναφόρτωση ενός μεγάλου μέρους του φορτίου αρκετές φορές κατά την διάρκεια της μεταφοράς.

Διαχωρισμός αντικειμένων στο κοντέινερ (separation of items within a container)

Σε περιπτώσεις όπου το φορτίο περιέχει αντικείμενα τα οποία έχουν επιβλαβή επίδραση πάνω σε κάποια άλλα είναι κάτι το οποίο απαραίτητα πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν κατά την διαδικασία της φόρτωσης. Ένα παράδειγμα είναι όταν στο ίδιο φορτίο περιέχονται ταυτόχρονα φαγόσιμα και χημικές ουσίες.

Πλήρης φόρτωση ομάδας αντικειμένων (complete shipment of certain item groups)

Ομάδες αντικειμένων του φορτίου μπορεί να συγκροτούν λειτουργικές οντότητες (π.χ εξαρτήματα για την συναρμολόγηση ενός μηχανισμού) αλλά πρέπει να μεταχειριστούν ως απλές οντότητες για διαχειριστικούς λόγους. Είναι απαραίτητο σε αυτές τις περιπτώσεις να διασφαλιστεί ότι αν κάποια αντικείμενα μιας τέτοιας ομάδας φορτωθούν, τότε πρέπει και όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα της ομάδας να φορτωθούν.

Προτεραιότητες φόρτωσης (shipment priorities)

Η φόρτωση κάποιων αντικειμένων είναι συχνά πιο σημαντική από την φόρτωση κάποιων άλλων. Πιο συγκεκριμένα, κάθε αντικείμενο ίσως έχει ένα καθορισμένο αριθμό προτεραιότητας ο οποίος απορρέει για παράδειγμα είτε από προθεσμίες παράδοσης είτε από τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Αυτός ο αριθμός μπορεί να αντιπροσωπεύει μια απόλυτη προτεραιότητα, με την έννοια ότι τα αντικείμενα θα φορτώνονται βάσει της προτεραιότητας τους, είτε να αντιπροσωπεύει απλώς ένα σχετικό χαρακτηριστικό για το πόση αξία είχαν τα αντικείμενα που συμπεριλήφθηκαν στο φορτίο χωρίς όμως να πραγματοποιούνται αποκλεισμοί κατά την φόρτωση.

Πολυπλοκότητα της τακτοποίησης (complexity of the loading arrangement)

Γενικά πιο σύνθετες μέθοδοι φόρτωσης έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη προσπάθεια κατά την διεκπεραίωσή τους. Η επιπλέον προσπάθεια που απαιτείται είναι σημαντική, αν η πολυπλοκότητα της μεθόδου απαιτεί εντατικότερες μεθόδους διεκπεραίωσης, όπως για παράδειγμα από την χρήση σφικτήρων ως την καθαρά χειρονακτική φόρτωση. Αν η τεχνολογία διαχείρισης της φόρτωσης δεν μπορεί να αλλάξει, τα πρότυπα πρέπει να προσαρμοστούν στους περιορισμούς της.

Όριο βάρους του κοντέινερ (container weight limit)

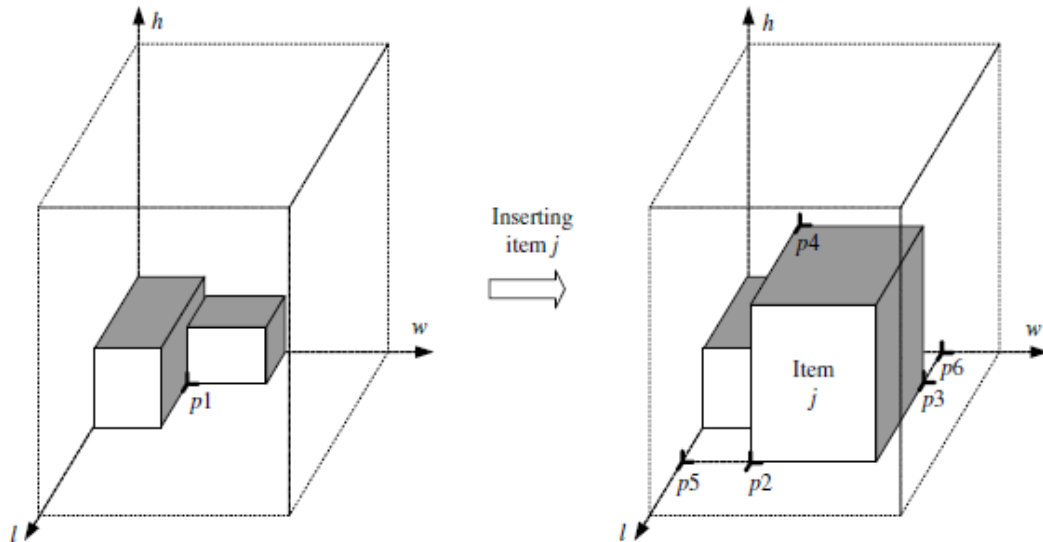
Εαν το φορτίο που πρέπει να φορτωθεί είναι αρκετά βαρύ, το όριο βάρους του κοντέινερ αποτελεί ένα αυστηρότερο περιορισμό (κριτήριο) από το χώρο που είναι διαθέσιμος.

Κατανομή βάρους μέσα στο κοντέινερ (weight distribution within a container)

Το κοντεϊνερ κατά τη μεταφορά και τη μετακίνηση του, είναι επιθυμητό να έχει το κέντρο βάρους του όσο το δυνατόν πιο κοντά στο γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας του πατώματος του. Αν το βάρος είναι πολύ ανομοιογενώς κατανεμημένο τότε κάποιες διαχειρηστικές επιχειρήσεις είναι ενδεχόμενο να μη μπορούν να πραγματοποιηθούν. Σε περιπτώσεις όπου η μεταφορά γίνεται οδικώς, κάποια στιγμή οι συνέπειες της εσωτερικής κατανομής του βάρους πάνω στο σασί του οχήματος μπορεί να είναι αρκετά σημαντικές. Το ίδιο ισχύει και όταν το κοντεϊνερ μεταφέρεται με τρένο, πλοίο ή όταν ρυμουλκείται.

Ευρετική προσέγγιση φόρτωσης

Το προτεινόμενο σχέδιο για την εξέταση της σκοπιμότητας στην φόρτωση της παλέτας μπορεί να θεωρηθεί ως μια απλουστευμένη έκδοση των τρισδιάστατων bin-packing προσεγγίσεων των Martello, Pisinger και Vigo [13] και των Crainic, Perboli και Tadei [16], σχετικά με την διαχείριση των θέσεων της φόρτωσης των κουτιών. Το κίνητρο για αυτήν την σχετικά απλή μέθοδο φόρτωσης προκύπτει από την ανάγκη για γρήγορες έρευνες σκοπιμότητας. Η προτεινόμενη ευρετική προσέγγιση φόρτωσης εξελίχθηκε κυρίως για να κρατήσει την απαιτούμενη υπολογιστική προσπάθεια στο ελάχιστο.



Σχήμα 2. Διαχείριση διαθέσιμων θέσεων φόρτωσης όταν εισέρχεται ένα κουτί.

Η προτεινόμενη ευρετική προσέγγιση φόρτωσης σχετίζεται με τον αλγόριθμο φόρτωσης που περιγράφεται από τους Tarantilis, Zachariadis και Kiranoudis [21]. Εφαρμόζεται σε ένα σύνολο 120 απόπειρων για την απόκτηση μιας εφικτής διευθέτησης φόρτωσης. Όλες οι 120 απόπειρες μοιράζονται μια κοινή βασική δομή σχετικά με τον μηχανισμό με τον οποίο τα κουτιά τοποθετούνται στην παλέτα. Έστω p η παλέτα και $PI = U_{i \in C_p} IT_i$ το πλήρες σετ κουτιών. Τα κουτιά του PI τοποθετούνται με την χρήση ενός *κριτηρίου διαλογής (mode of ordering)*. Τότε παράγεται μια λίστα διαθέσιμων θέσεων φόρτωσης της παλέτας για την πίσω, αριστερή, χαμηλή (back, left, low - BLL) άκρη των κουτιών που περιέχονται στο PI . Αρχικά η λίστα περιέχει μόνο την θέση $(0, 0, 0)$ που αντιστοιχεί στην BLL άκρη της παλέτας. Για ένα κουτί j , η προτεινόμενη μέθοδος εξετάζει εξαντλητικά τις θέσεις που περιέχονται στην λίστα των υποψήφιων θέσεων (και για τους δύο προσανατολισμούς του κουτιού) και επιλέγει έναν (που συμβολίζεται $p1$) που μπορεί να φιλοξενήσει εφικτά το κουτί j σύμφωνα με ένα *κριτήριο τοποθέτησης*. Το κουτί j τοποθετείται στην παλέτα με την BLL άκρη του στην θέση $p1$, η οποία αφαιρείται από την λίστα. Η θέση που αφαιρέθηκε αντικαθίσταται από τις επόμενες, όπως φαίνεται στο σχήμα 2: Η πρώτη ($p2$) βρίσκεται στην μπροστινή, αριστερή, χαμηλή άκρη του κουτιού j . Η δεύτερη ($p3$) βρίσκεται στην δεξιά, πίσω, χαμηλή άκρη του j ενώ η τρίτη ($p4$) βρίσκεται στην αριστερή, πίσω, υψηλή άκρη του j . Εκτός από αυτές τις τρεις προαναφερθείσες θέσεις, η λίστα είναι εμπλουτισμένη με επιπλέον θέσεις φόρτωσης οι οποίες βρίσκονται στην ελάχιστη διεύθυνση w , στην ελάχιστη διεύθυνση h , μη κατειλημμένη θέση του επιπέδου που καθορίζεται από την μπροστινή μεριά του εισαγμένου κουτιού ($p5$), και στην ελάχιστη διεύθυνση l , στην διεύθυνση h του μη κατειλημμένου επιπέδου που καθορίζεται από την δεξιά μεριά του εισαγμένου κουτιού ($p6$). Μετά την ενημέρωση της

λίστας διαθέσιμων θέσεων, το κουτί j αφαιρείται από το PI και η μέθοδος προχωρά στην τοποθέτηση των ακόλουθων κουτιών. Αν για οποιοδήποτε κουτί δεν μπορεί να προσδιοριστεί καμία εφικτή θέση φόρτωσης, η εφαρμοσμένη απόπειρα φόρτωσης τερματίζεται, αποτυγχάνοντας να παράξει μια εφικτή διευθέτηση φόρτωσης. Στην αντίθετη περίπτωση, αν κάθε κουτί έχει ανατεθεί σε μερικές θέσεις φόρτωσης, το C_p είναι εφικτό σύμφωνα με τις προϋποθέσεις πακεταρίσματος.

Οι 120 απόπειρες πακεταρίσματος μοιράζονται το σχέδιο που παρουσιάστηκε παραπάνω για την σειριακή τοποθέτηση κουτιών στην παλέτα. Κάθε απόπειρα διαφοροποιείται σχετικά με τα κριτήρια διαλογής και τοποθέτησης (*mode of placement*) που χρησιμοποιούνται για τα κουτιά και την επιλογή των θέσεων τους αντίστοιχα. Στο σύνολο χρησιμοποιούνται 5 κριτήρια διαλογής (SC1-SC6) και 24 κριτήρια πακεταρίσματος (PC1-PC24) τα οποία καθορίζουν στο σύνολο τους 120 απόπειρες και παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2 αντίστοιχα. Αυτή η παραλλαγή των κριτηρίων διαλογής και τοποθέτησης στοχεύει στην παραγωγή ποικίλων προτύπων πακεταρίσματος προκειμένου να αυξήσει την συνολική πιθανότητα επίτευξης μιας εφικτής διευθέτησης των κουτιών. Επιπρόσθετα, το προτεινόμενο αλγοριθμικό σχέδιο προωθεί αποτελεσματικές απόπειρες πακεταρίσματος και είναι εύκολο να εφαρμοστεί διότι όλες οι απόπειρες έχουν κοινή βασική δομή.

Πίνακας 1	Λίστα Κριτηρίων Διαλογής για την δημιουργία σειρών από κουτιά (<i>mode of ordering</i>)
SC1	Φθίνουσα σειρά για τον όγκο του κουτιού
SC2	Φθίνουσα σειρά για την επιφάνεια που είναι παράλληλη στο $w - 1$ επίπεδο
SC3	Φθίνουσα σειρά για το πλάτος του κουτιού
SC4	Φθίνουσα σειρά για το μήκος του κουτιού
SC5	Φθίνουσα σειρά για το ύψος του κουτιού

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, τα 5 κριτήρια διαλογής χρησιμοποιούν απλούς κανόνες. Η βασική ιδέα για όλα τα πέντε κριτήρια είναι ότι τα ογκώδη κουτιά πρέπει να εισέρχονται πρώτα ώστε να γεμίσουν τους αρχικά ευρύτερους χώρους της παλέτας. Τα μικρότερα κουτιά εισέρχονται αργότερα στις τρύπες που δημιουργούνται μεταξύ των ήδη τοποθετημένων κουτιών έτσι ώστε παραχθεί μια πυκνή δομή πακεταρίσματος.

Σχετικά με τις επιλογές τοποθέτησης, τα 6 πρώτα κριτήρια (PC1-PC6) αντιστοιχούν σε απλές επιλογές βασισμένες στις συντεταγμένες των διαθέσιμων προτύπων φόρτωσης. Μπορούν να θεωρηθούν ως οι τρισδιάστατες παραλλαγές του χειρισμού Κάτω-Αριστερά Γέμισμα (Bottom-Left Fill) ο οποίος περιγράφεται από τον Chazelle [17] για το δυσδιάστατο πρόβλημα φόρτωσης κουτιών (two dimensional bin-packing problem, 2BP). Τα επόμενα 12 κριτήρια τοποθέτησης (PC7-PC18) στοχεύουν στην μεγιστοποίηση της επιφάνειας του εισαγμένου κουτιού το οποίο αγγίζει είτε τα ήδη πακεταρισμένα κουτιά και τα όρια της παλέτας (PC7-PC12) είτε αποκλειστικά τα ήδη πακεταρισμένα κουτιά (PC13-PC18). Τα προαναφερθέντα κριτήρια είναι βασισμένα στον χειρισμό της Αγγιζόμενης Περιμέτρου (Touching Perimeter heuristic) που έχει παρουσιαστεί από τους Lodi, Martello και Vico [18] για το 2BP. Τέλος τα τελευταία 6 κριτήρια (PC19-PC24) είναι βασισμένα στην συνάρτηση κέρδους, η οποία μεγιστοποιεί την χρήση του σημείου εισαγωγής υπολειμματικού χώρου, που έχει προταθεί από τους Crainic, Perboli και Tadei [16]. Πιο συγκεκριμένα, κάθε υποψήφια θέση εισαγωγής καθορίζει έναν μη κατειλημμένο κύβο διαθέσιμο να φιλοξενήσει

κουτιά. Εφαρμόζοντας τα κριτήρια PC19-PC24, κάθε κουτί τοποθετείται στην υποψήφια θέση καθορίζοντας τον ελάχιστο όγκο του κύβου ο οποίος μπορεί να το φιλοξενήσει εφικτά. Σαν συνέπεια προωθούνται υψηλοί βαθμοί χρήσης όγκου στην παλέτα.

Πίνακας 2	Λίστα Κριτηρίων Τοποθέτησης για την επιλογή της θέσης ενός κουτιού (mode of placement)
PC01	– Η ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού με την ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού με την ελάχιστη h-θέση της πάνω άκρης του κουτιού (back – left – low).
PC02	– Η ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού με την ελάχιστη h-θέση της πάνω άκρης του κουτιού με την ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού (back – low – left).
PC03	– Η ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού με την ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού με την ελάχιστη h-θέση της πάνω άκρης του κουτιού (left – back – low).
PC04	– Η ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού με την ελάχιστη l-θέση της πάνω άκρης του κουτιού με την ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού (left – low – back).
PC05	– Η ελάχιστη h-θέση της πάνω άκρης του κουτιού με την ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού με την ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού (low – back – left).
PC06	– Η ελάχιστη h-θέση της πάνω άκρης του κουτιού με την ελάχιστη w-θέση της δεξιά άκρης του κουτιού με την ελάχιστη l-θέση της μπροστινής άκρης του κουτιού (low – left – back).
PC07	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC01 .
PC08	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC02 .
PC09	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC03 .
PC10	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC04 .
PC11	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC05 .
PC12	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά και όρια παλέτας με το PC06 .
PC13	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC01 .
PC14	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC02 .
PC15	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC03 .
PC16	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC04 .
PC17	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC05 .
PC18	– Θέση που μεγιστοποιεί την περιοχή της επιφάνειας του κουτιού σε επαφή με ήδη πακεταρισμένα κουτιά με το PC06 .
PC19	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC01 .
PC20	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC02 .
PC21	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC03 .
PC22	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC04 .
PC23	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC05 .
PC24	– Θέση που καθορίζει τον ελάχιστο όγκο ορθογώνιου χώρου με το PC06 .

Εφαρμογή της μεθόδου

Στο πλαίσιο της εξέτασης της συγκεκριμένης μεθόδου δημιουργήθηκε μια εκτελέσιμη εφαρμογή (executable application) η λειτουργία της οποίας περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε 8 πακέτα των 100 προβλημάτων το καθένα (thpack1 - thpack8). Οι διαστάσεις του κοντεϊνερ παραμένουν σταθερές σε όλα τα προβλήματα και είναι μήκος 587, πλάτος 233 και ύψος 220 (όλες οι τιμές σε εκατοστά). Τα προβλήματα αυτά είναι προβλήματα φόρτωσης ενός κοντεϊνερ με στόχο την μεγιστοποίηση της χρήσης του όγκου σε αυτό. Τα αρχεία thpack βρίσκονται στην OR-Library του Beasley στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://people.brunel.ac.uk/~mastijb/jeb/orlib/files/>.

thpack1 – thpack7

Τα αρχεία thpack1 – thpack7 παρήχθησαν και χρησιμοποιήθηκαν στο E.E Bischoff and M.S.W. Ratcliff [15]. Η διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκαν τα συγκεκριμένα προβλήματα παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο επιστημονικό κείμενο.

Η σημασιολογία της μορφής των δεδομένων των προβλημάτων που απαρτίζουν τα αρχεία thpack1-thpack7 δίνεται μέσω του ακόλουθου παραδείγματος.

Παράδειγμα data του πρώτου προβλήματος από το thpack1

100 1 2502505 587 233 220 3 1 108 0 76 0 30 1 40 2 110 0 43 1 25 1 33 3 92 1 81 1 55 1 39

Η μορφή των δεδομένων (data) είναι:

100	το σύνολο των προβλημάτων
1	ο αριθμός του προβλήματος
2502505	ο αριθμός τροφοδοσίας (seed number) που χρησιμοποιείται στο (1).
587 233 220	το μήκος, πλάτος και ύψος αντίστοιχα του κοντεϊνερ σε εκατοστά
3	αριθμός τύπου κουτιών
1 108 0 76 0 30 1 40	
2 110 0 43 1 25 1 33	όπου υπάρχει μια γραμμή για κάθε τύπο κουτιού
3 92 1 81 1 55 1 39	

Η γραμμή για κάθε τύπο κουτιού περιέχει 8 αριθμούς: τύπος κουτιού i , μήκος του κουτιού, 0/1 δείκτης, πλάτος του κουτιού, 0/1 δείκτης, ύψος του κουτιού, 0/1 δείκτης και τέλος τον αριθμό των κουτιών τύπου i .

Μετά από κάθε διάσταση του κουτιού, ο δείκτης 0/1 δείχνει αν η τοποθέτηση στην κάθετη διεύθυνση είναι επιτρεπτή ($= 1$) ή όχι ($= 0$).

thpack8

Τα δεδομένα του αρχικά χρησιμοποιήθηκαν στο H.T. Loh & A.Y.C. Nee [19], στην συνέχεια στο B.K.A. Ngoi, M.L. Tay & E.S. Chua [20] και τέλος στο [15]. Τα προβλήματα που το απαρτίζουν έχουν την ίδια μορφή με αυτά των thpack1 - thpack7 με την διαφορά ότι δεν περιέχουν αριθμό τροφοδοσίας (seed number).

Pack3D και Pack3D.exe

Η εκτελέσιμη εφαρμογή Pack3D σχεδιάστηκε προκειμένου να δώσει ικανοποιητική λύση στα προβλήματα των thpacks έχοντας ως αρχή λειτουργίας της τον ευρετικό αλγόριθμο που περιγράφηκε παραπάνω. Αρχικά ο χρήστης καλείται να μεταβεί στο config αρχείο Pack3D.exe όπου δηλώνει σαν είσοδο το instance το οποίο θέλει να τρέξει (thpack1-thpack8) και επιλέγει μια εκ των 120 απόπειρων. Στην συνέχεια δηλώνει σαν έξοδο το αρχείο στο οποίο θα εμφανίζονται τα αποτελέσματα της εκτέλεσης της εφαρμογής τα οποία είναι σε % χρήση όγκου (% utilisation). Αφότου αποθηκεύσει την παραπάνω διαδικασία, κλείνει το Pack3D.exe και εκτελεί το Pack3D.

Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, μέσω του Pack3D, έγινε επίλυση όλων των προβλημάτων των thpack1-thpack8. Το σύνολο των λύσεων που προέκυψαν είναι 96000, 12000 για κάθε thpack, 2400 για κάθε συνδυασμό κριτηρίου διαλογής με κριτήριο τοποθέτησης ενός thpack και 24 για κάθε πρόβλημα.

Ανάλυση ως προς κάθε πρόβλημα

Δεδομένου ενός κριτηρίου διαλογής, έστω του SC1, κάθε πρόβλημα έχει 24 δυνατές λύσεις, μια για κάθε συνδυασμό κριτηρίου τοποθέτησης, δηλαδή SC1 – PC01, SC1 – PC02, ..., SC1 – PC24. Ως προς κάθε πρόβλημα θα μπορούσε να γίνει στατιστική ανάλυση σχετικά με το ποιες λύσεις τους παρουσιάζουν μέγιστο, ποιες ελάχιστο καθώς και να υπολογιστεί ο μέσος όρος των λύσεων για κάθε πρόβλημα. Γίνεται αντιληπτό ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο να παρουσιαστούν αυτά τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά σε γραφικές παραστάσεις ή ακόμα και σε γραφήματα.

Ανάλυση ως προς τα κριτήρια τοποθέτησης

Η στατιστική ανάλυση που ακολουθήθηκε είναι προσανατολισμένη ως προς τα κριτήρια τοποθέτησης. Στις 100 λύσεις που δίνει ένα κριτήριο τοποθέτησης για τα 100 προβλήματα ενός thpack, έχοντας επιλέξει ένα κριτήριο διαλογής, υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε κριτήριο τοποθέτησης της % χρήσης όγκου. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η μέγιστη τιμή των μέσων όρων καθώς και σημειώθηκε το κριτήριο τοποθέτησης στο οποίο εμφανίστηκε. Στο παράρτημα είναι συγκεντρωμένες στήλες που δείχνουν τον συσχετισμό των κριτηρίων τοποθέτησης με την % χρήση όγκου για κάθε κριτήριο διαλογής ανά thpack καθώς και η max τιμή % χρήσης όγκου με χρωματισμένη την στήλη στην οποία εμφανίζεται. Τέλος γίνεται συσχετισμός των max τιμών % χρήσης όγκου ανά thpack τα αποτελέσματα του οποίου διαφαίνονται στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις που επίσης βρίσκονται στο παράρτημα.

Συμπεράσματα

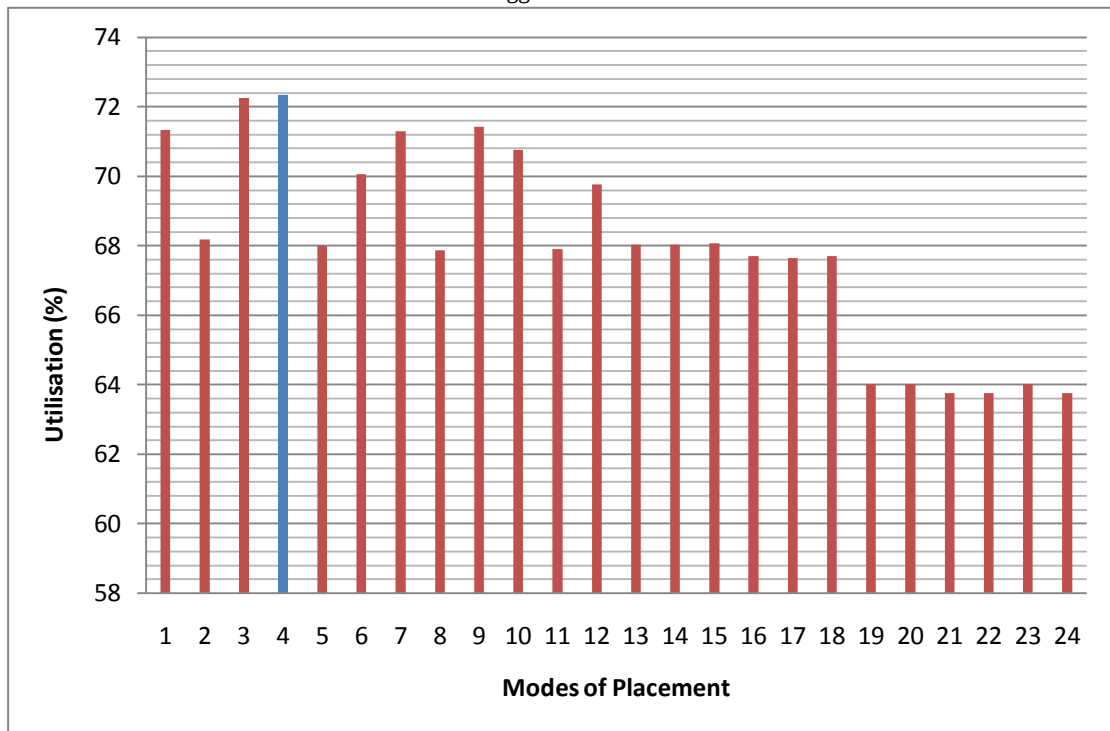
Από τις συγκεντρωμένες στήλες, 67,5% των max τιμών % χρήσης όγκου παρουσιάζει το PC4, 27,5% το PC3 ενώ μόλις 5% το PC1. Όπως διαφαίνεται από τις γραφικές παραστάσεις, το thpack1 είναι το αρχείο στο οποίο τα κριτήρια τοποθέτησης παρουσιάζουν τις περισσότερες max τιμές % χρήσης όγκου.

Είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι η βασική δομή κατάστρωσης της ανάλυσης στηρίζεται στον υπολογισμό μέσων όρων, οι τιμές που προκύπτουν να μην ξεπερνούν το 75 % χρήσης χώρου. Παρόλα αυτά διαφαίνεται μια πτωτική πορεία στα αποτελέσματα μεταξύ των thpack1 – thpack8.

Παράρτημα

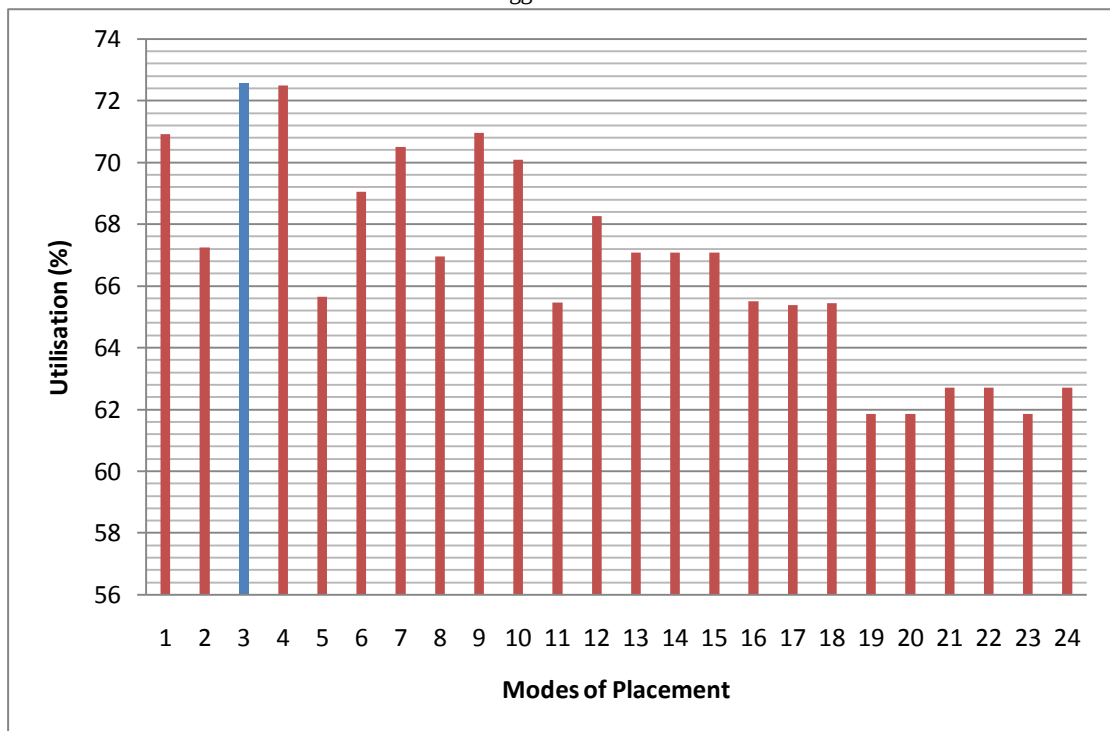
thpack1

Biggest Volume

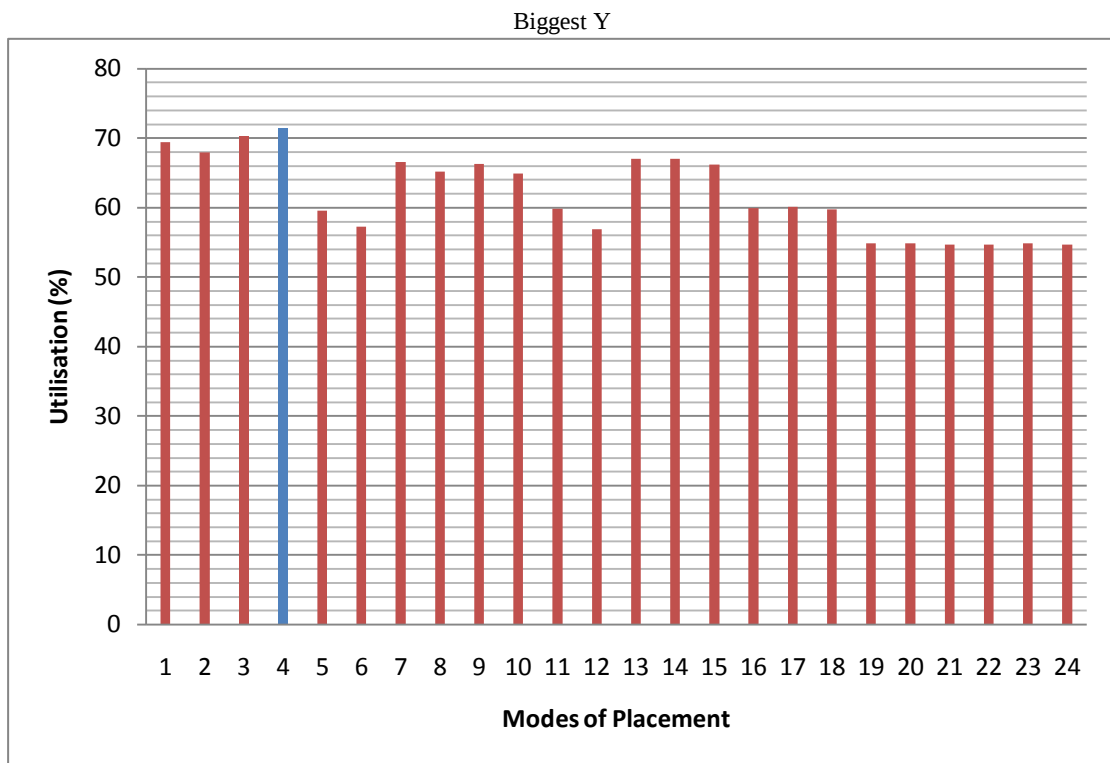


MAX 72,33

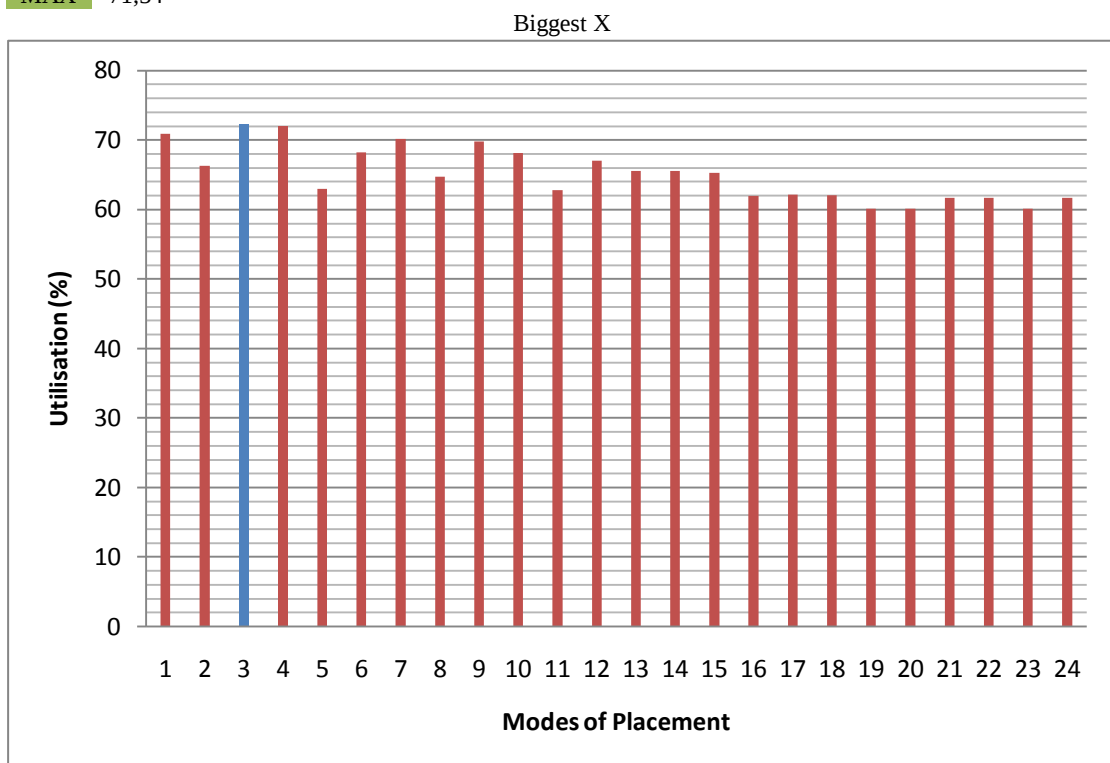
Biggest Surface



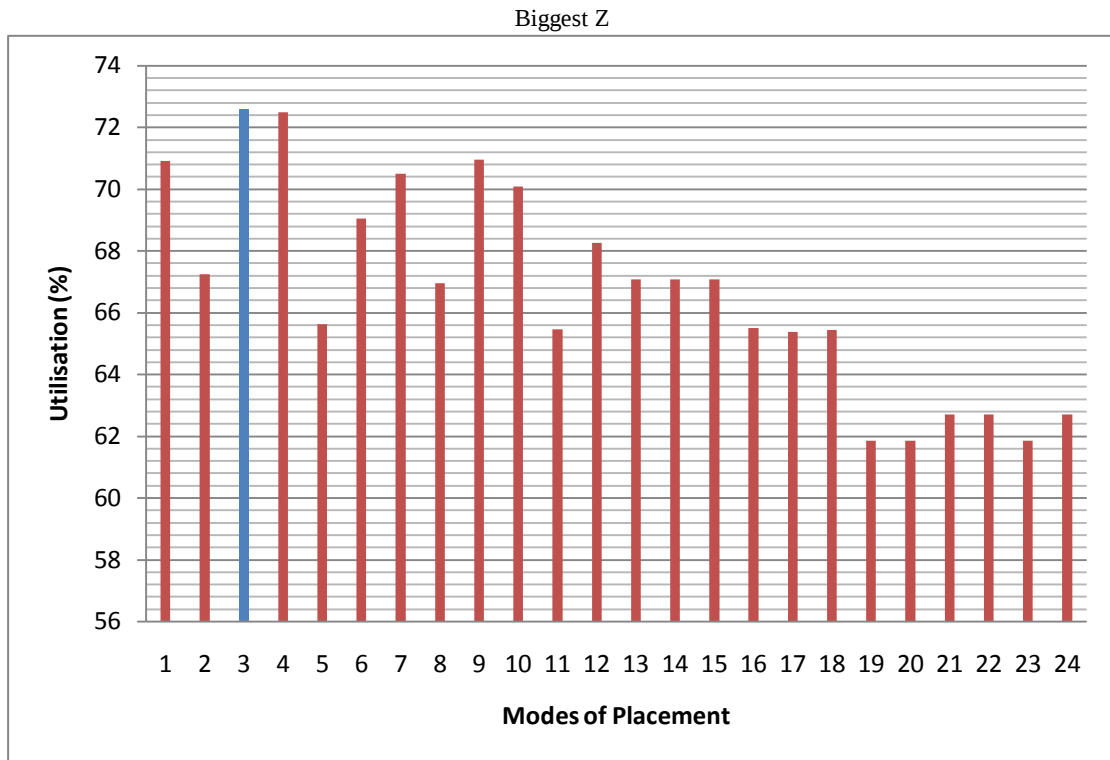
MAX 72,31



MAX 71,34

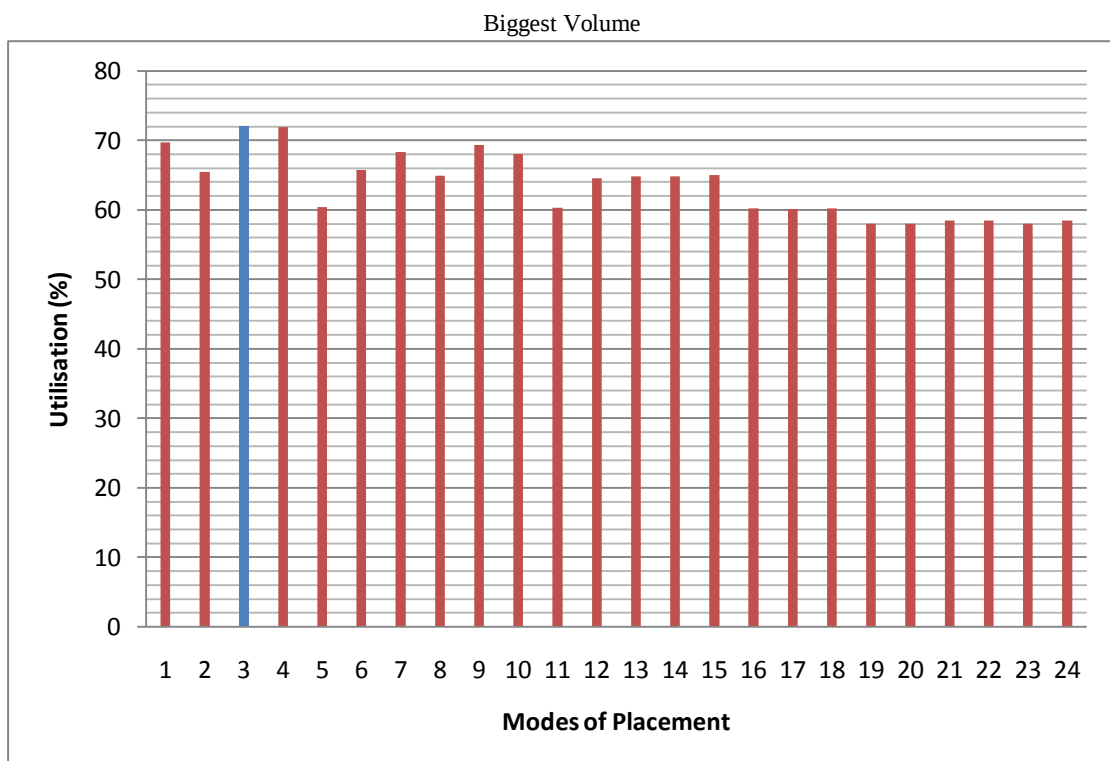


MAX 72,25

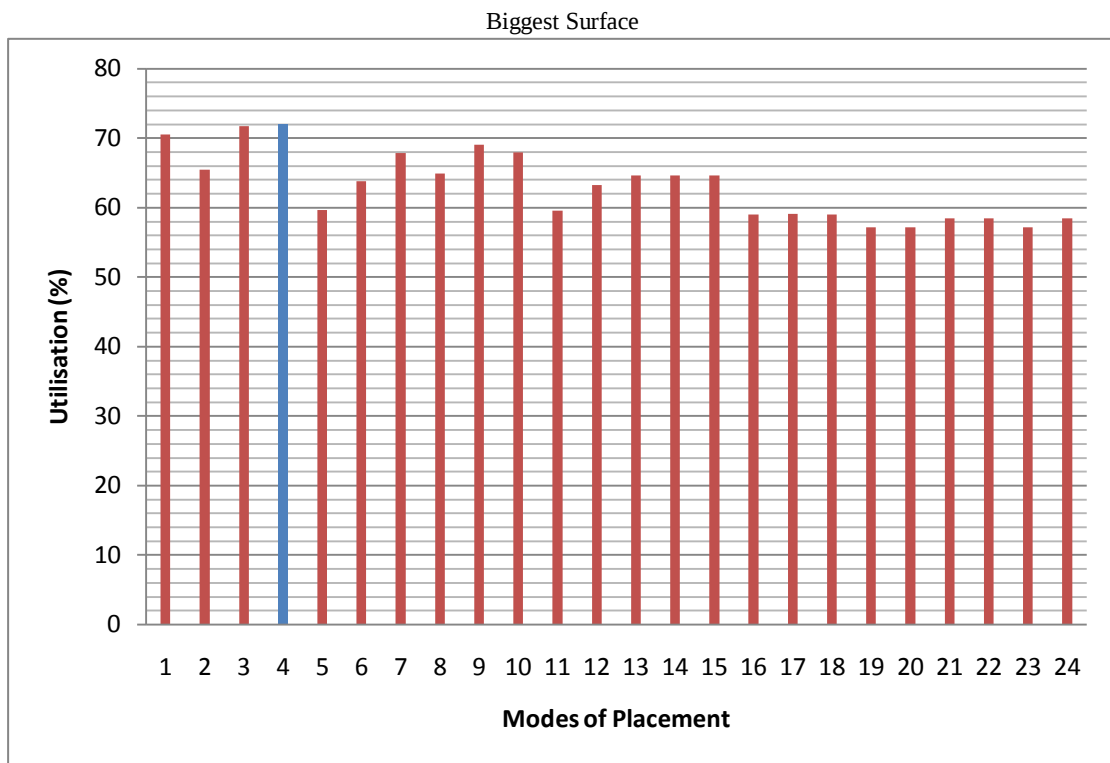


MAX 72,57

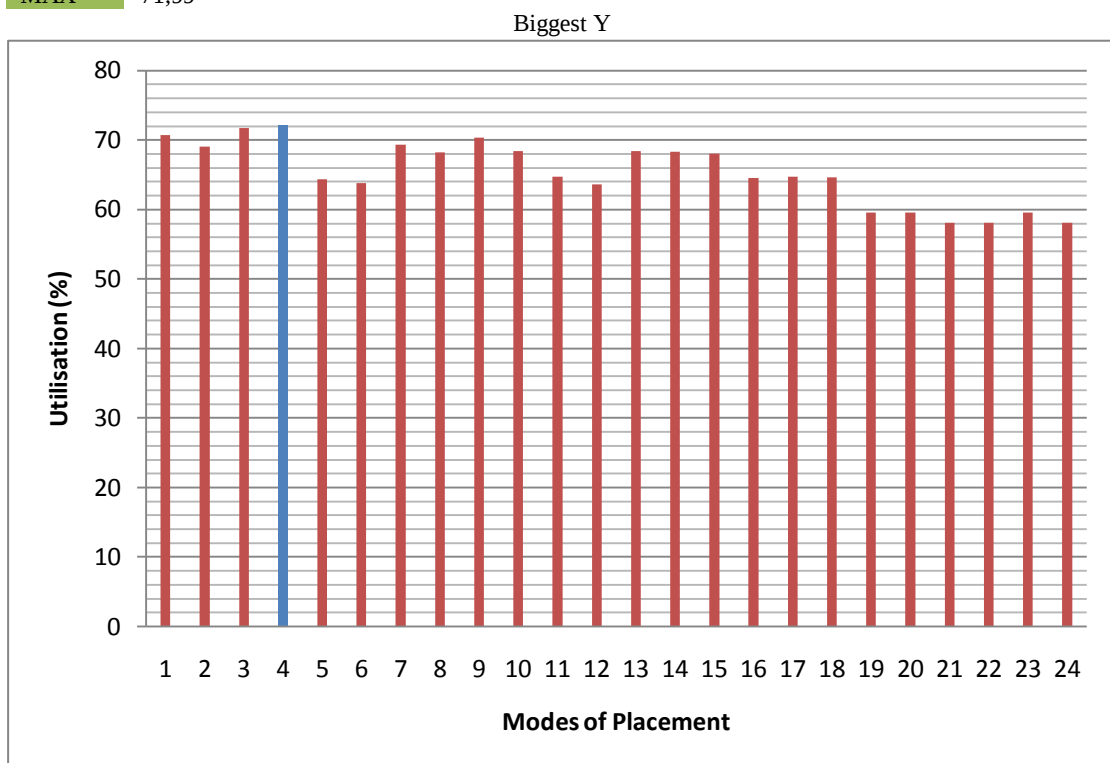
thpack2



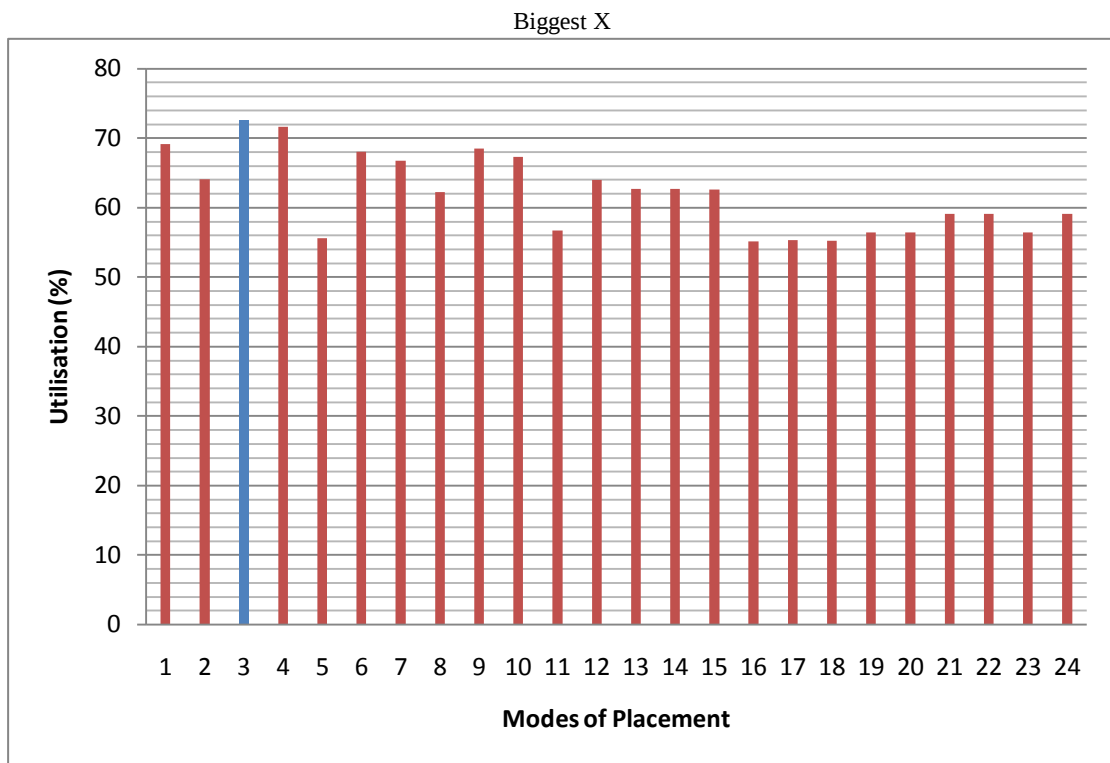
MAX 71,98



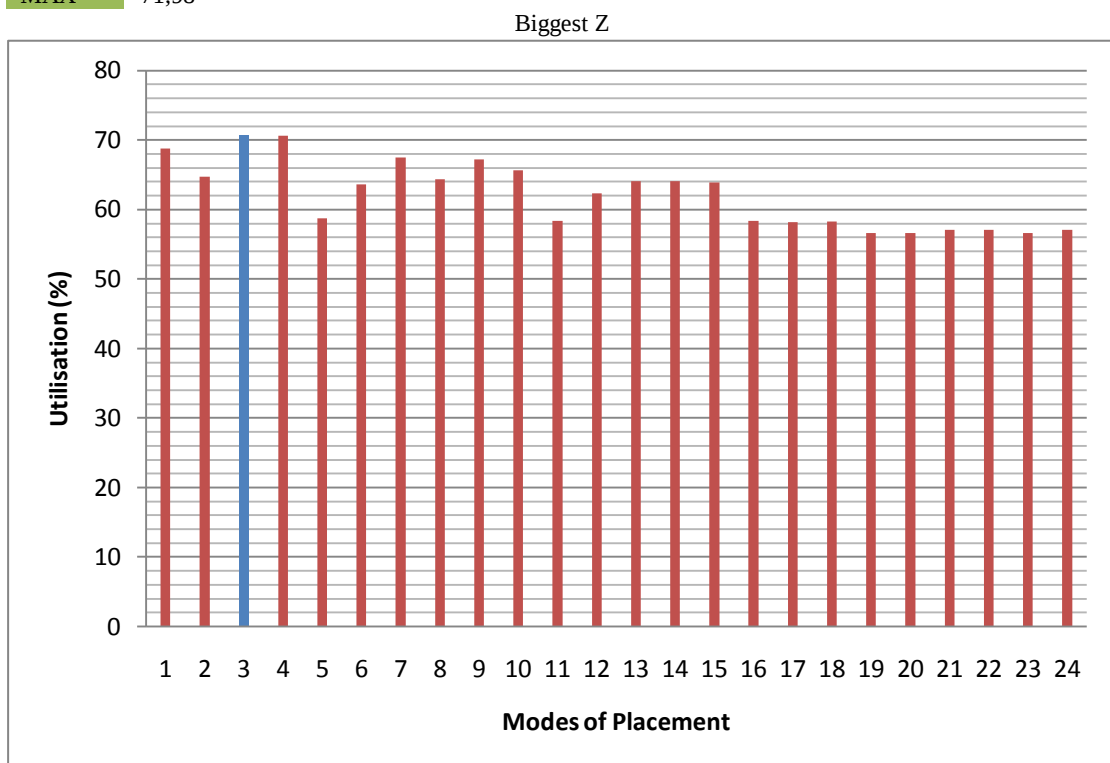
MAX 71,99



MAX 72,17



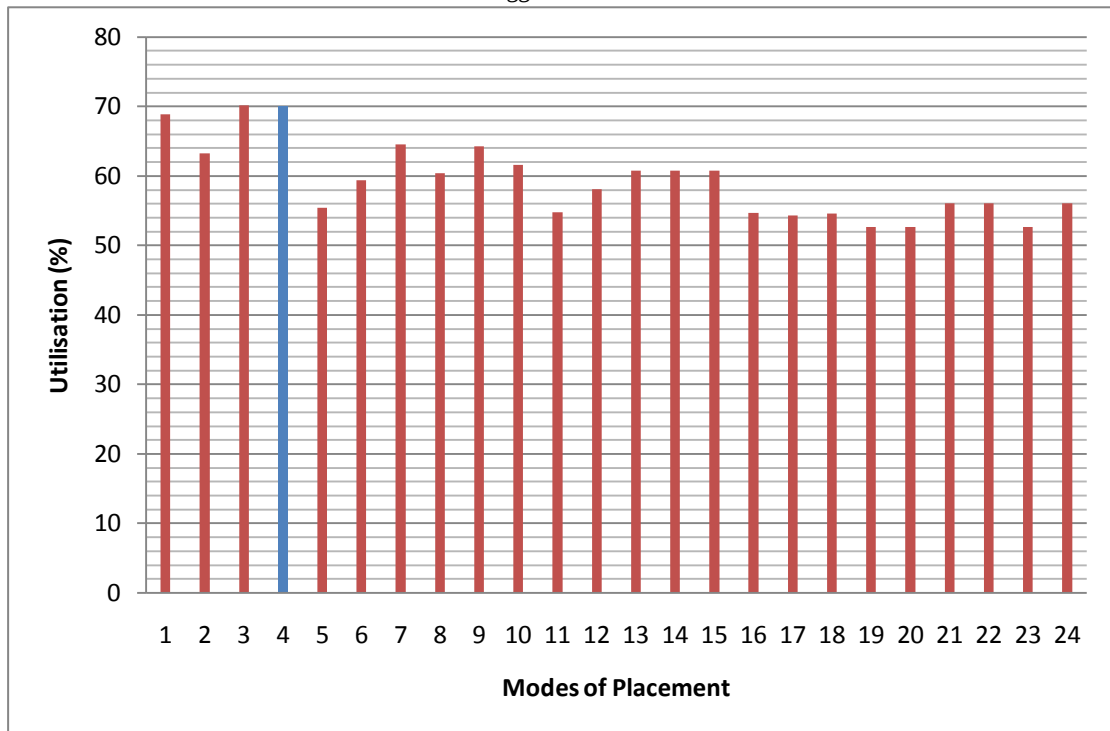
MAX 71,98



MAX 70,72

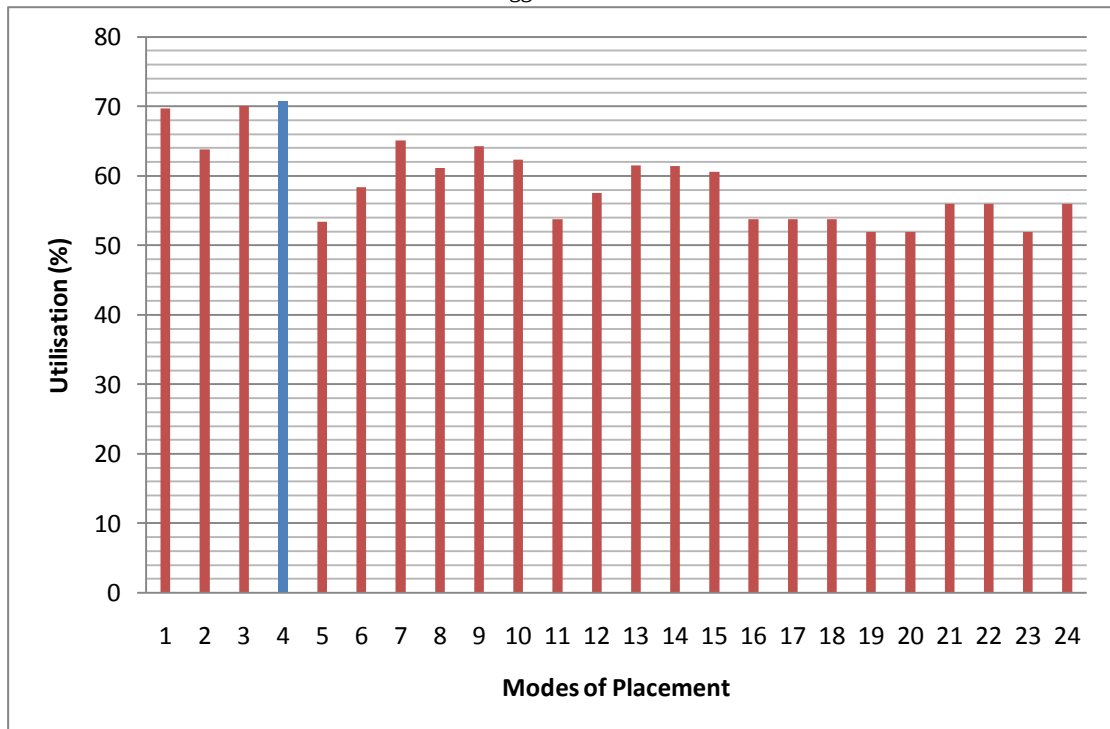
thpack3

Biggest Volume

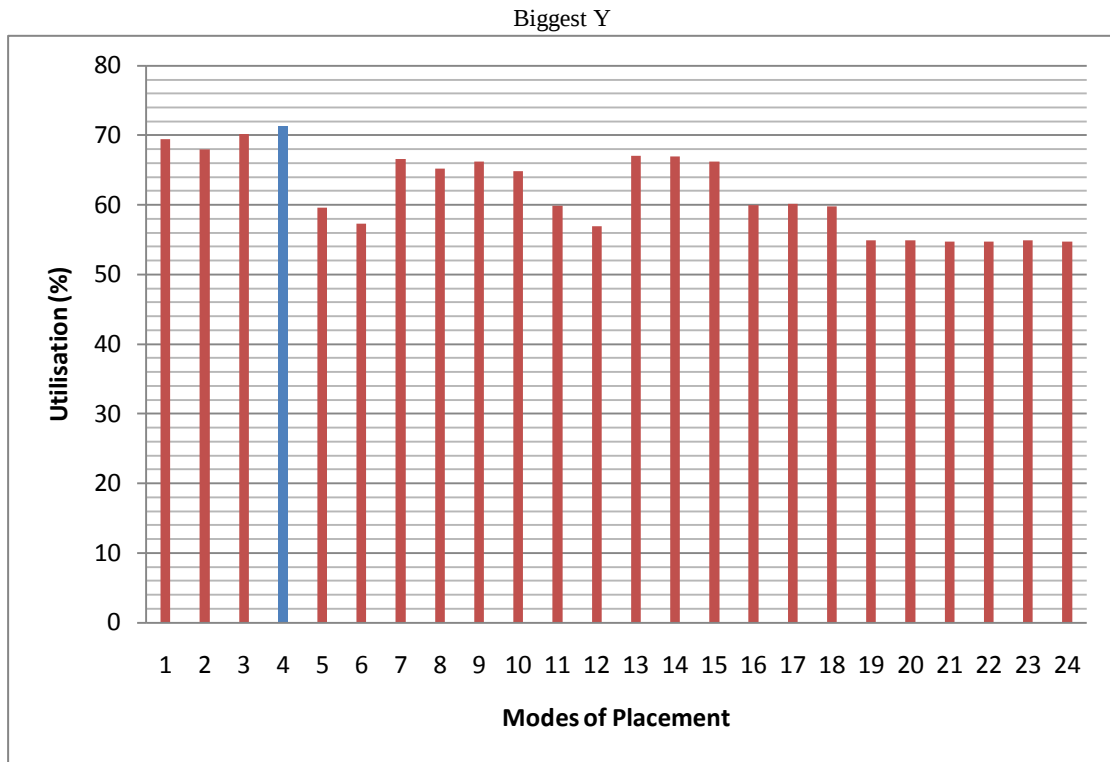


MAX 69,72

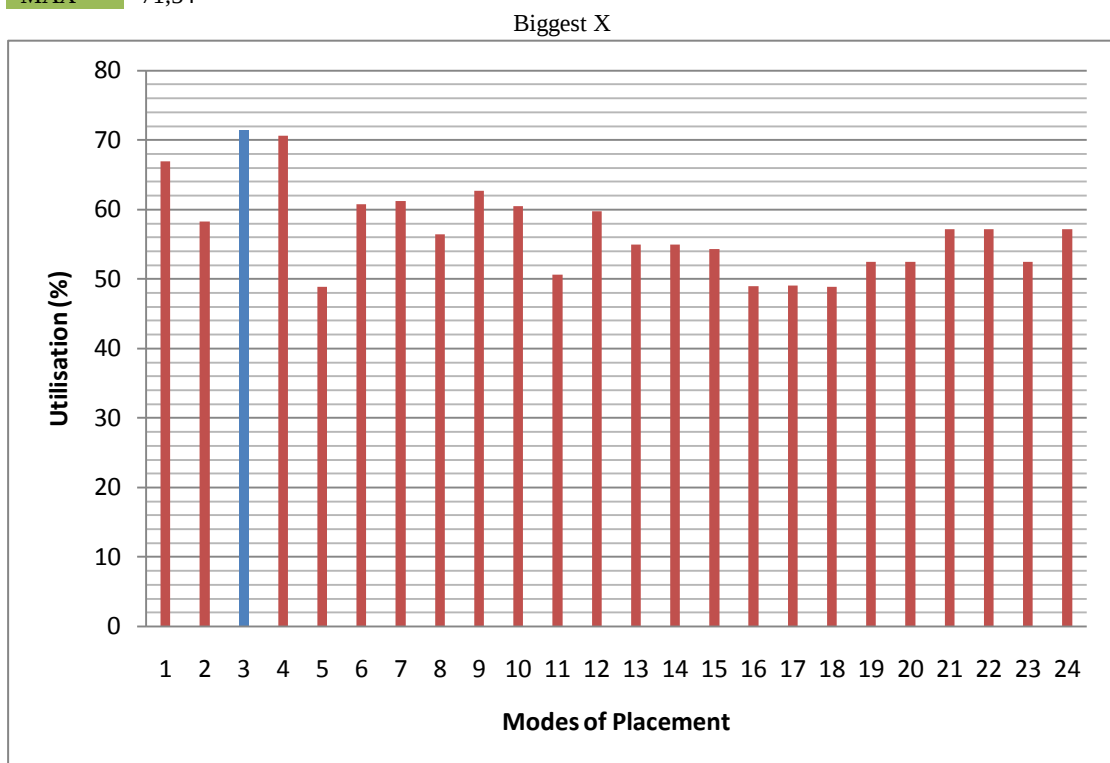
Biggest Surface



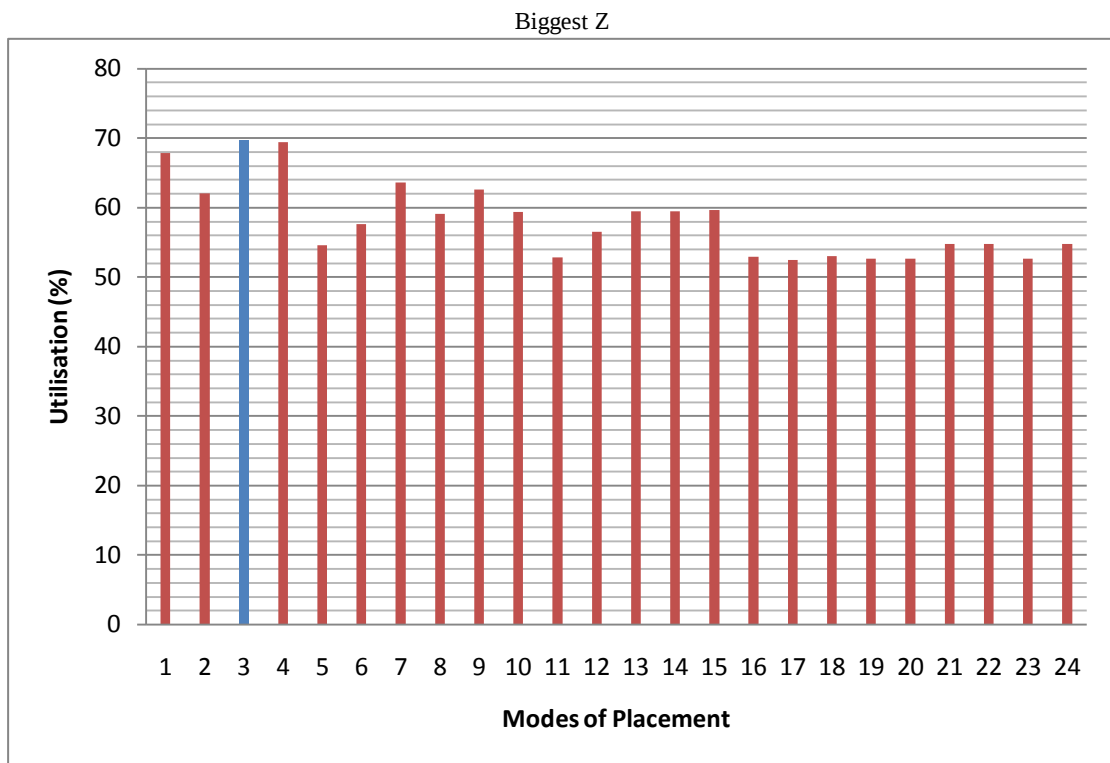
MAX 70,75



MAX 71,34

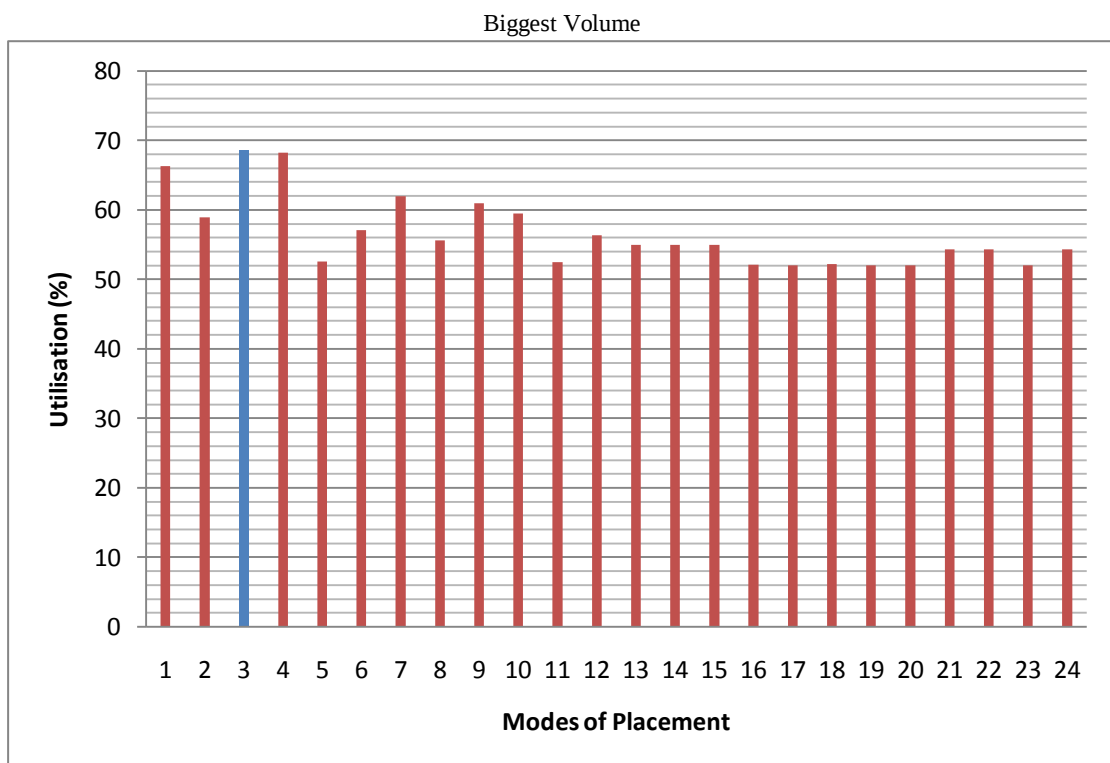


MAX 71,49

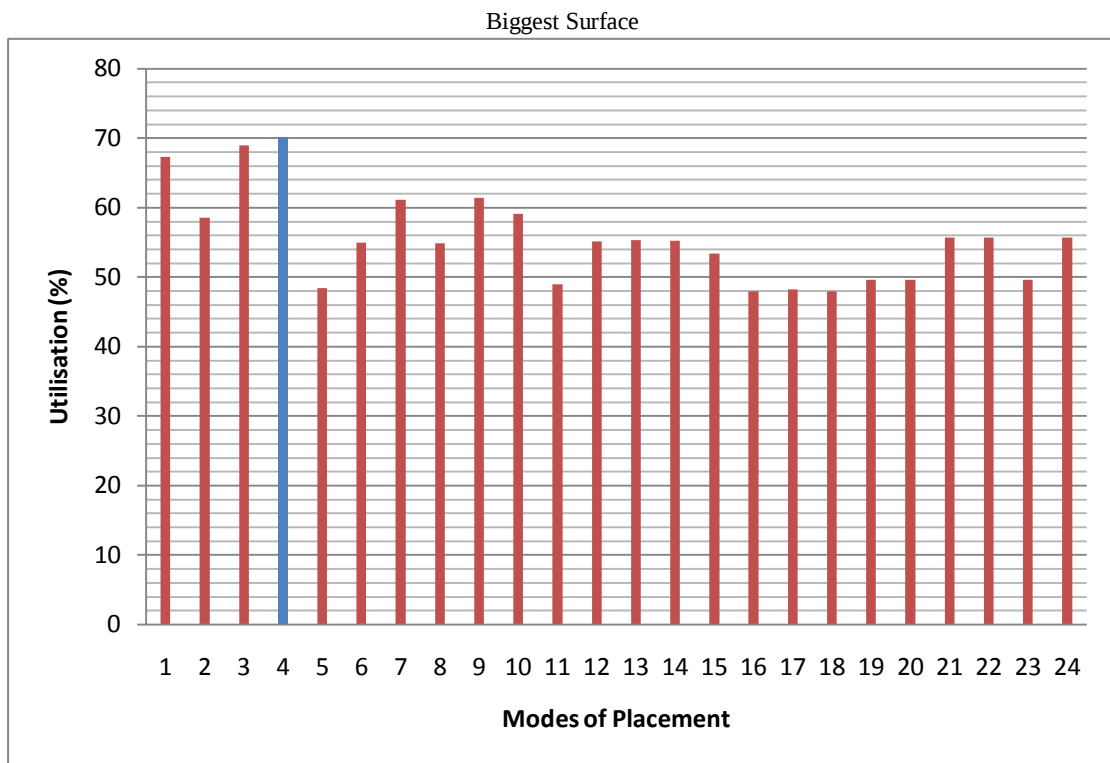


MAX 69,72

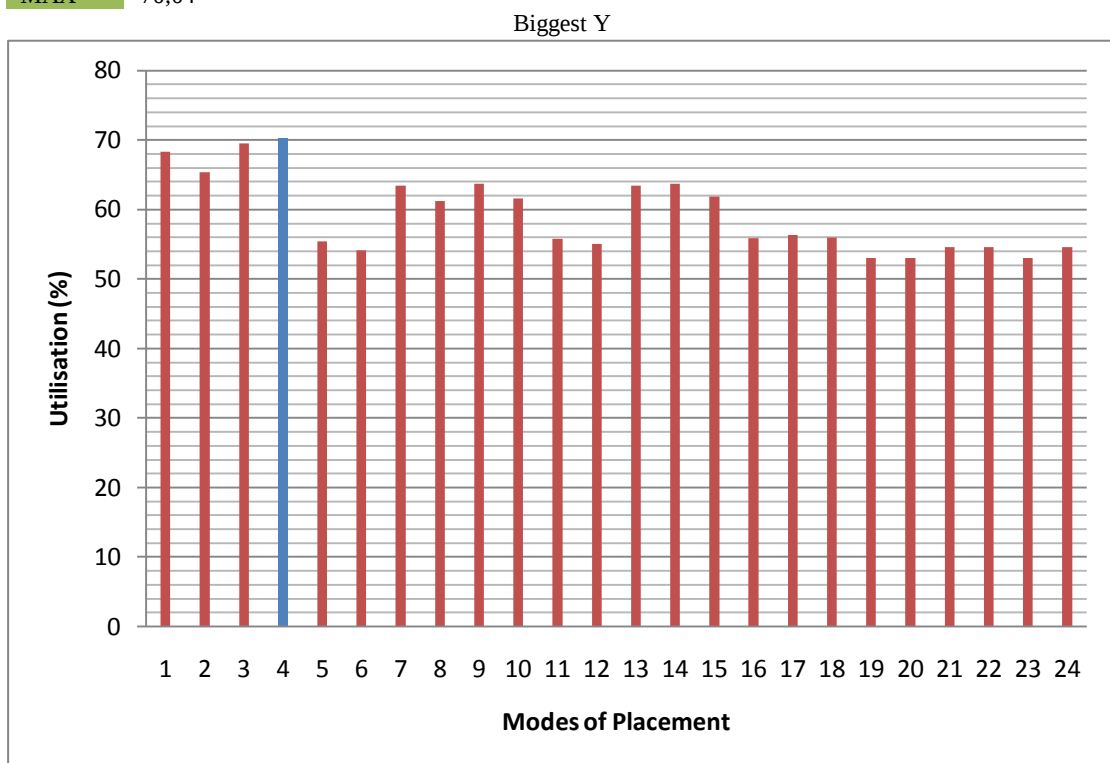
thpack4



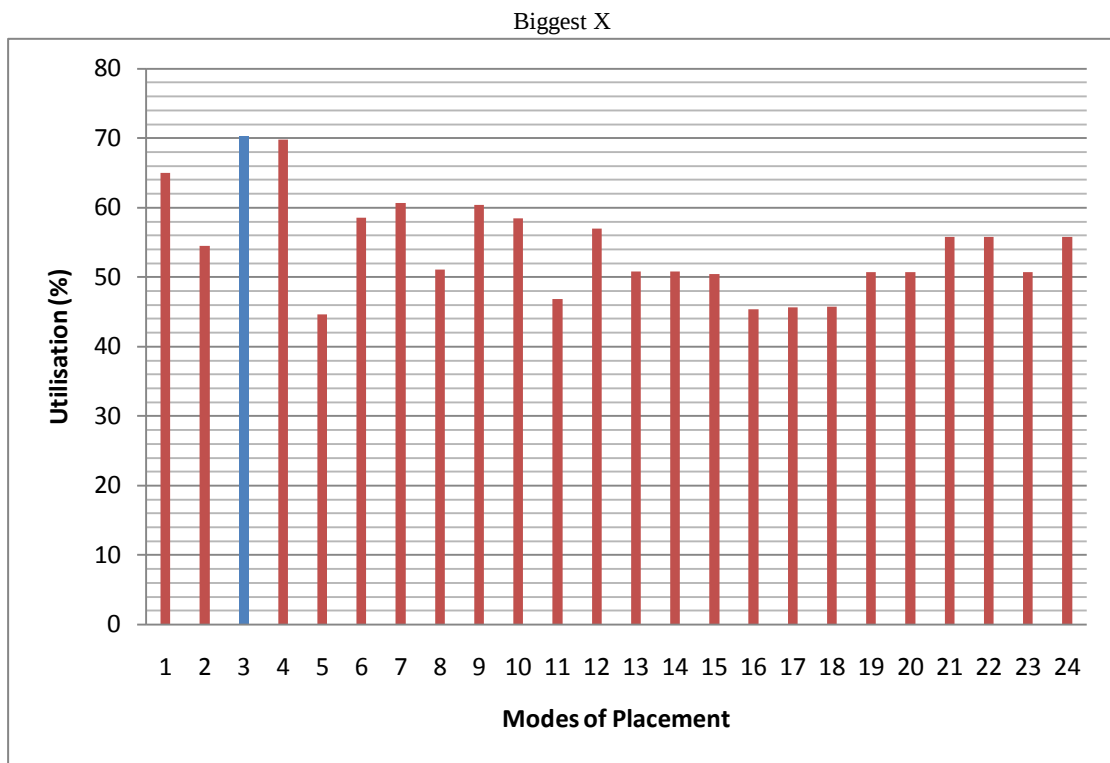
MAX 68,59



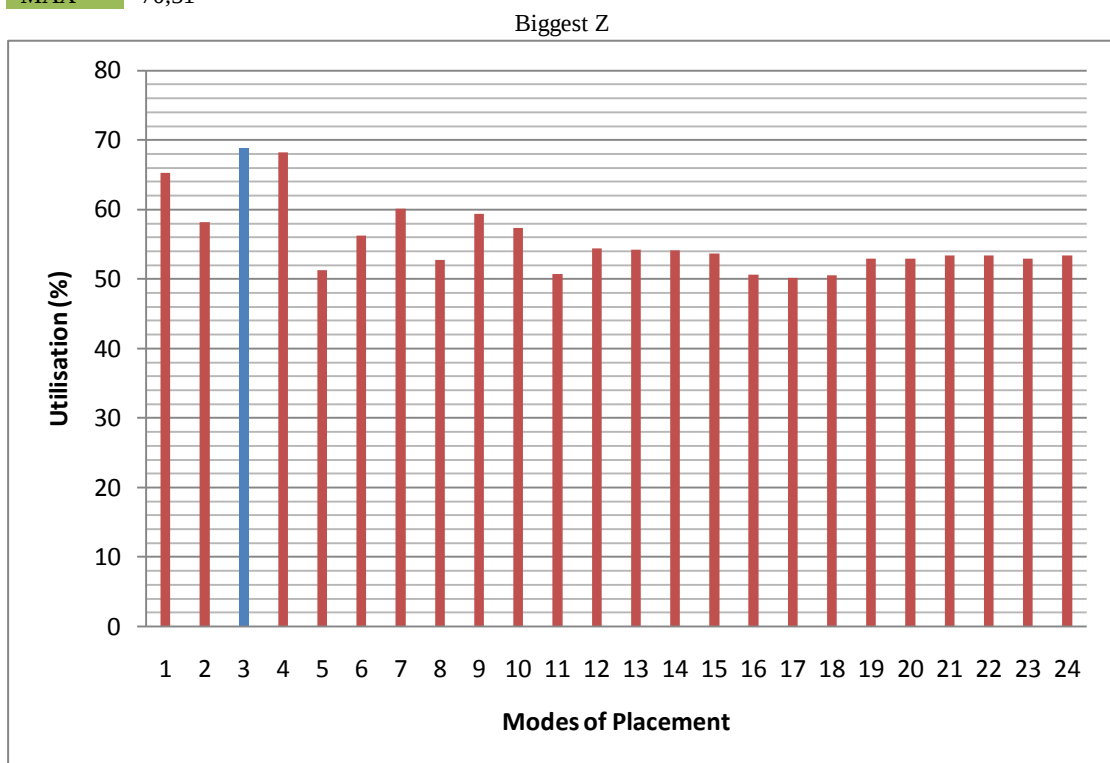
MAX 70,04



MAX 70,23



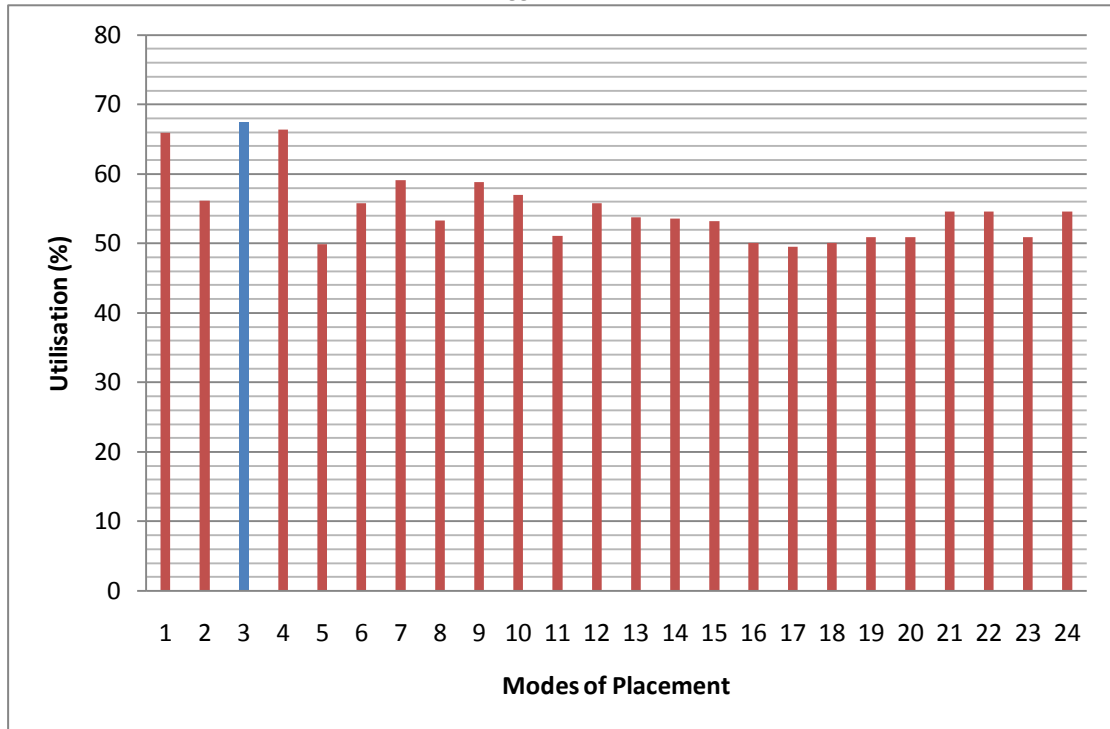
MAX 70,31



MAX 68,83

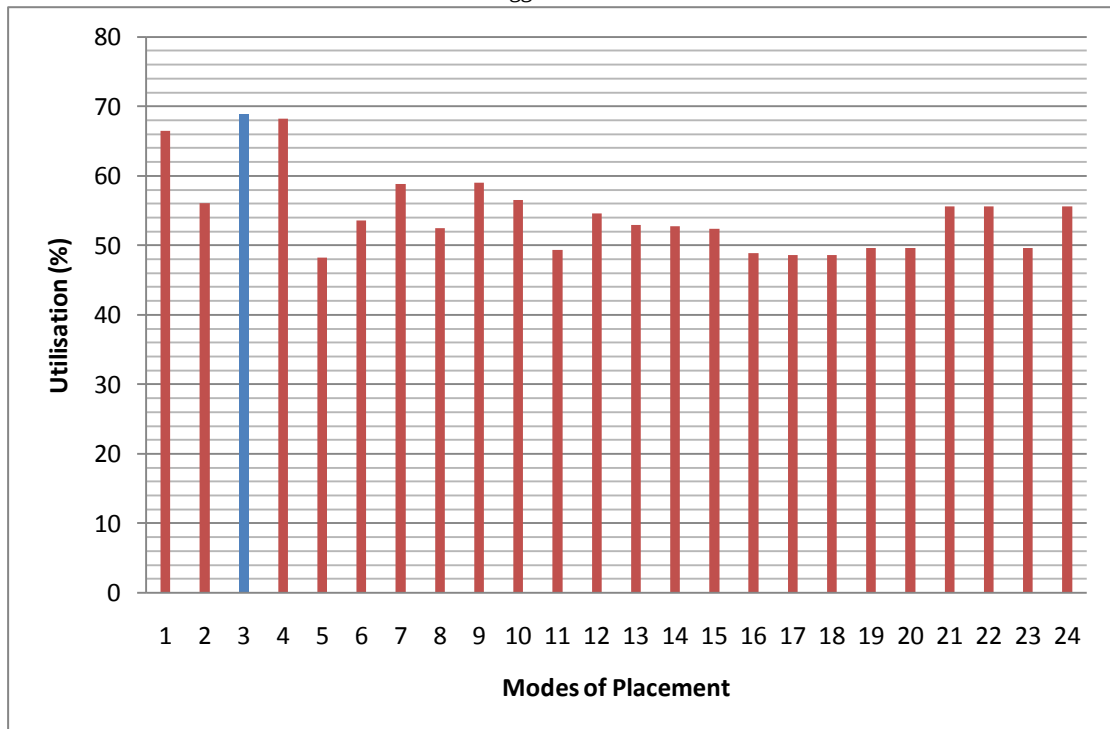
thpack5

Biggest Volume

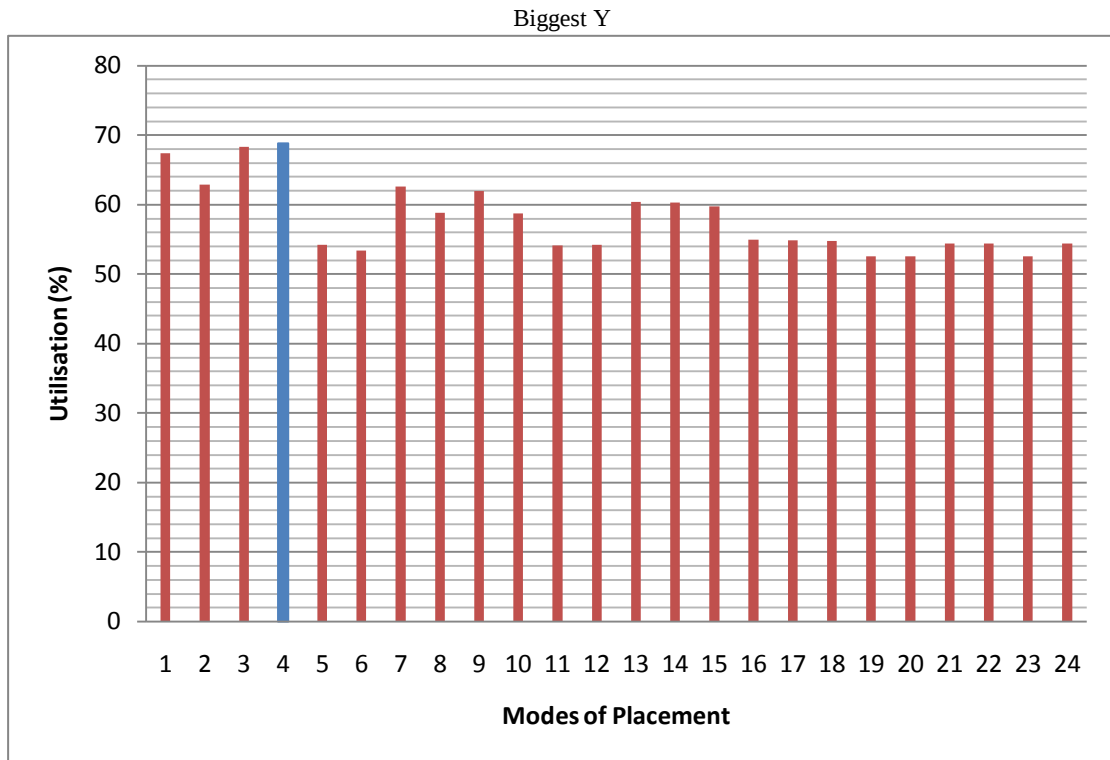


MAX 67,45

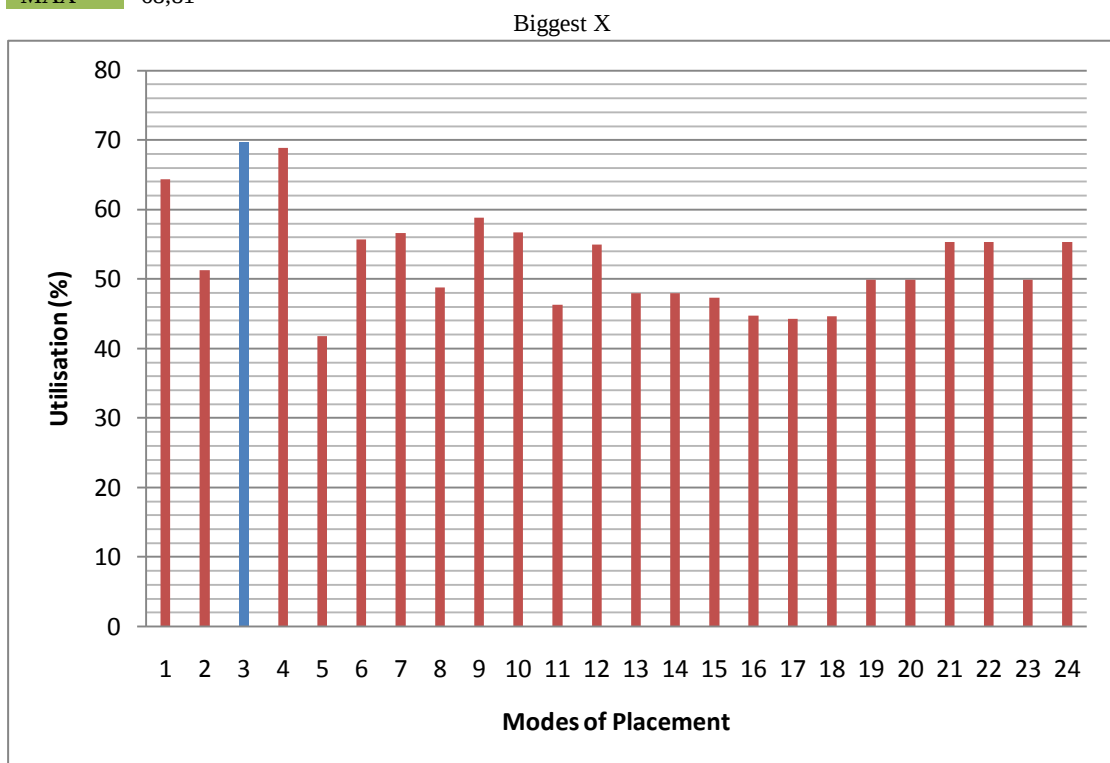
Biggest Surface



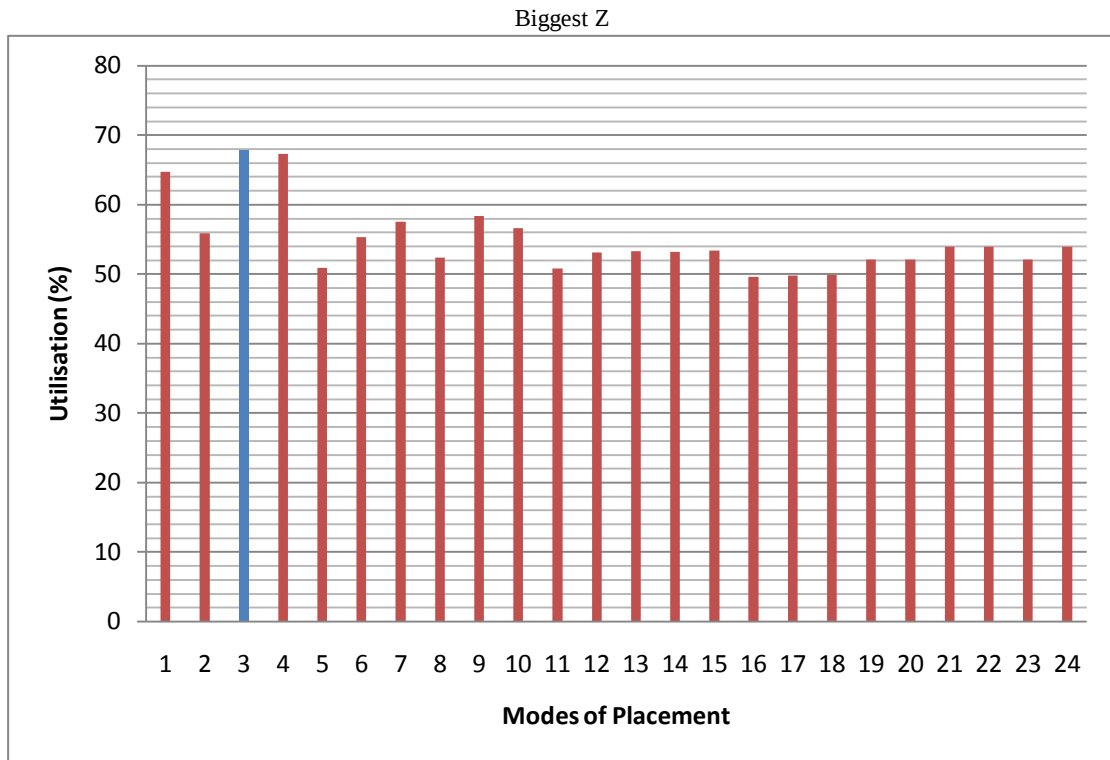
MAX 68,92



MAX 68,81



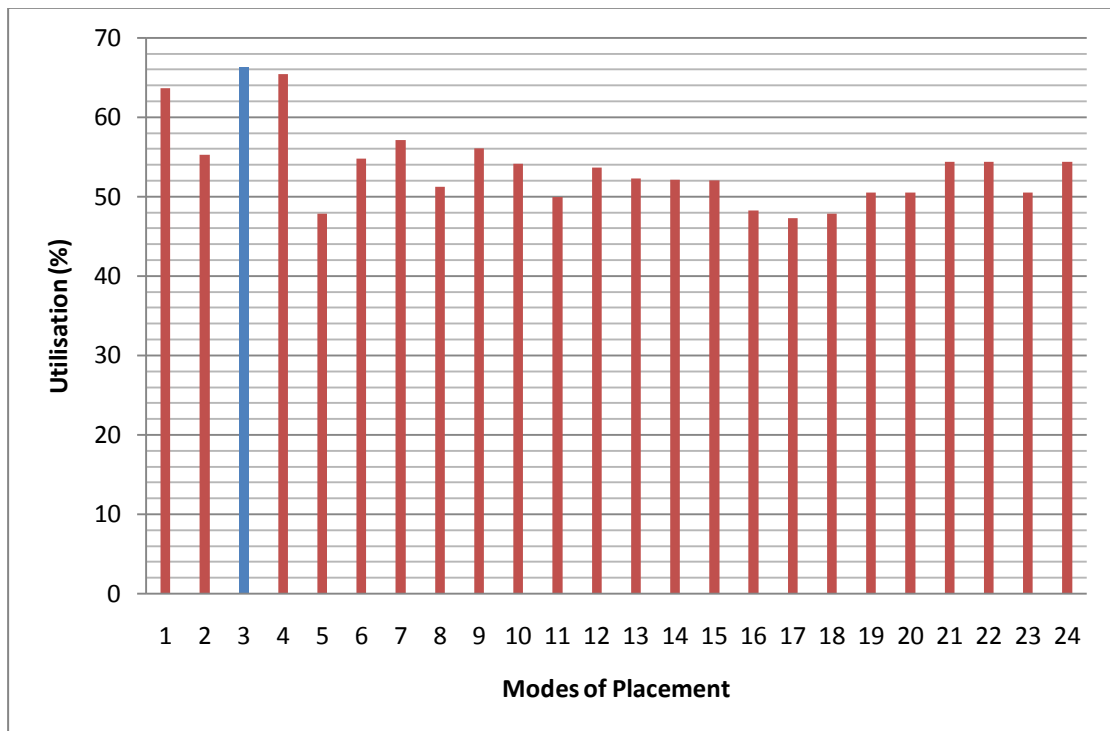
MAX 69,74



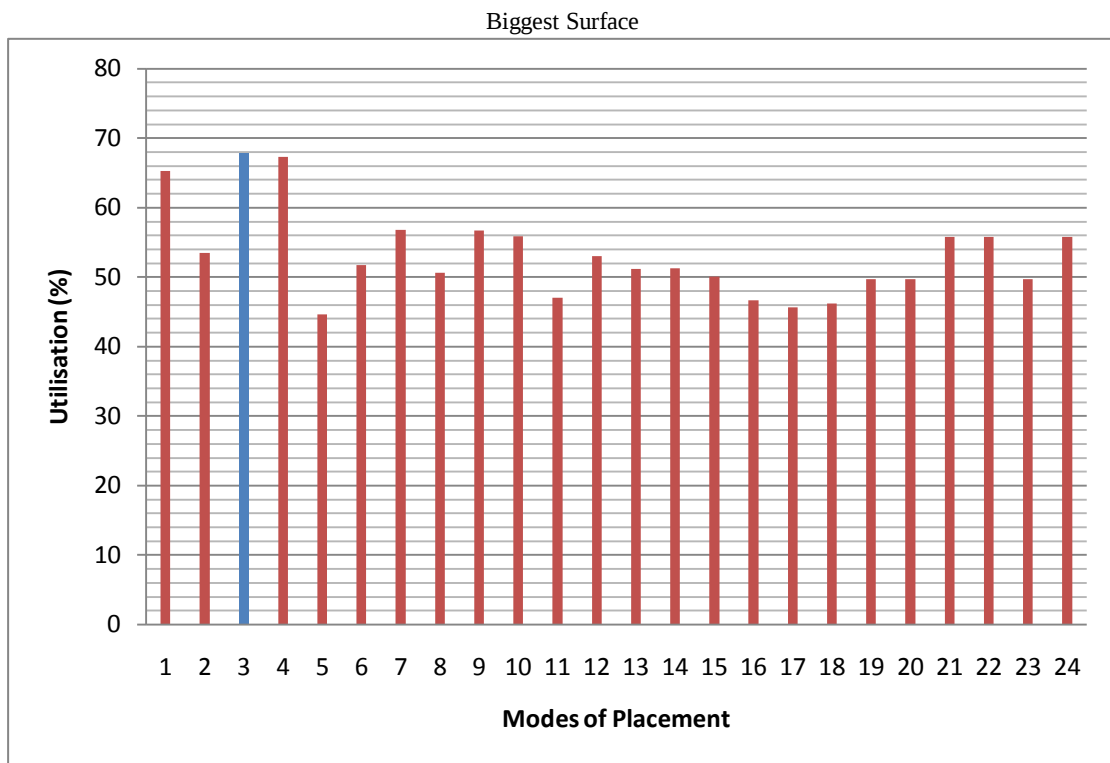
MAX 67,85

thpack6

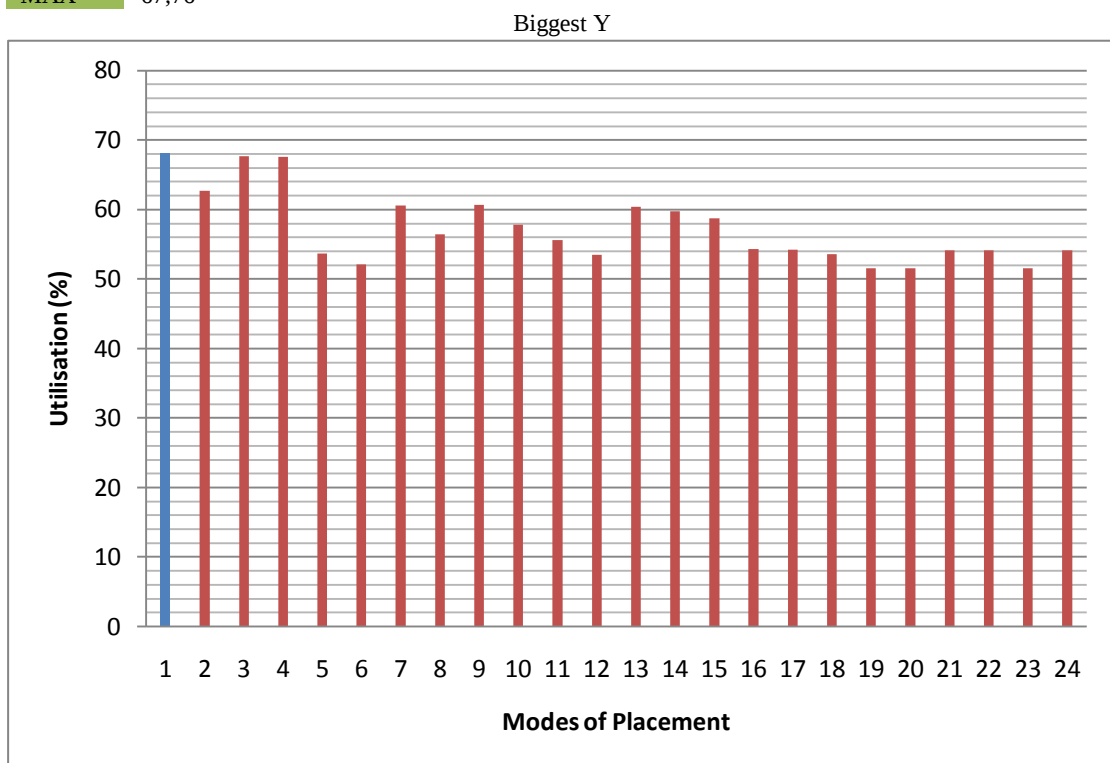
Biggest Volume



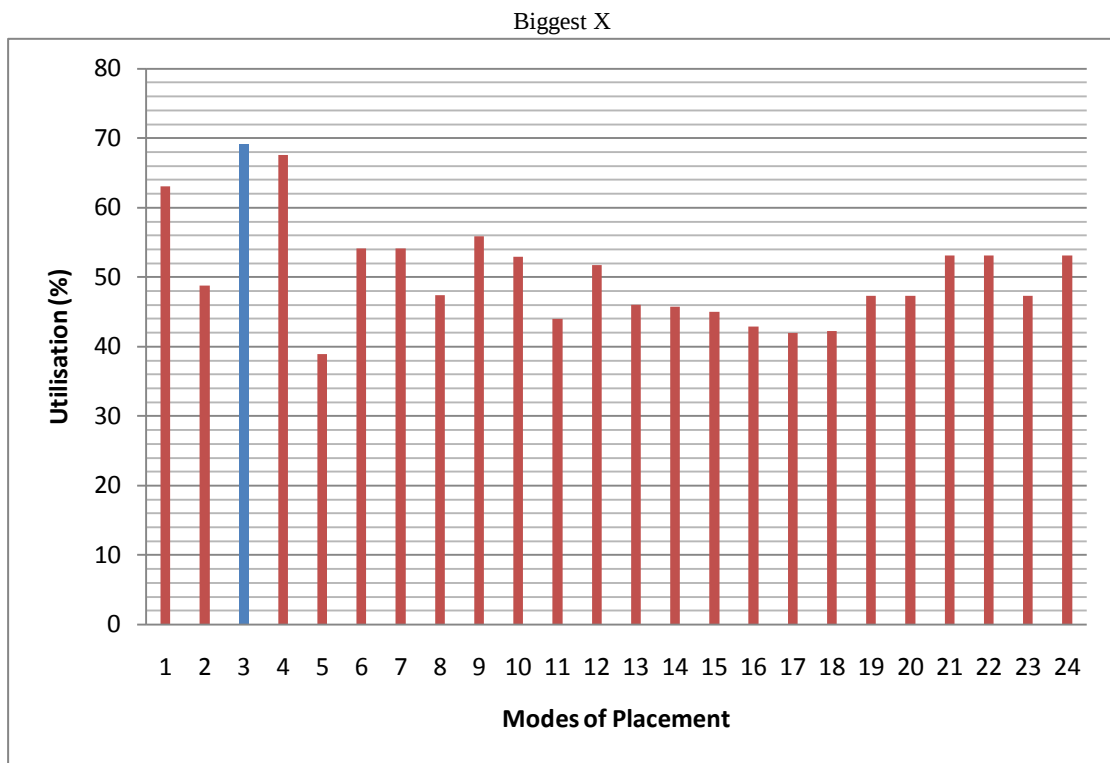
MAX 66,34



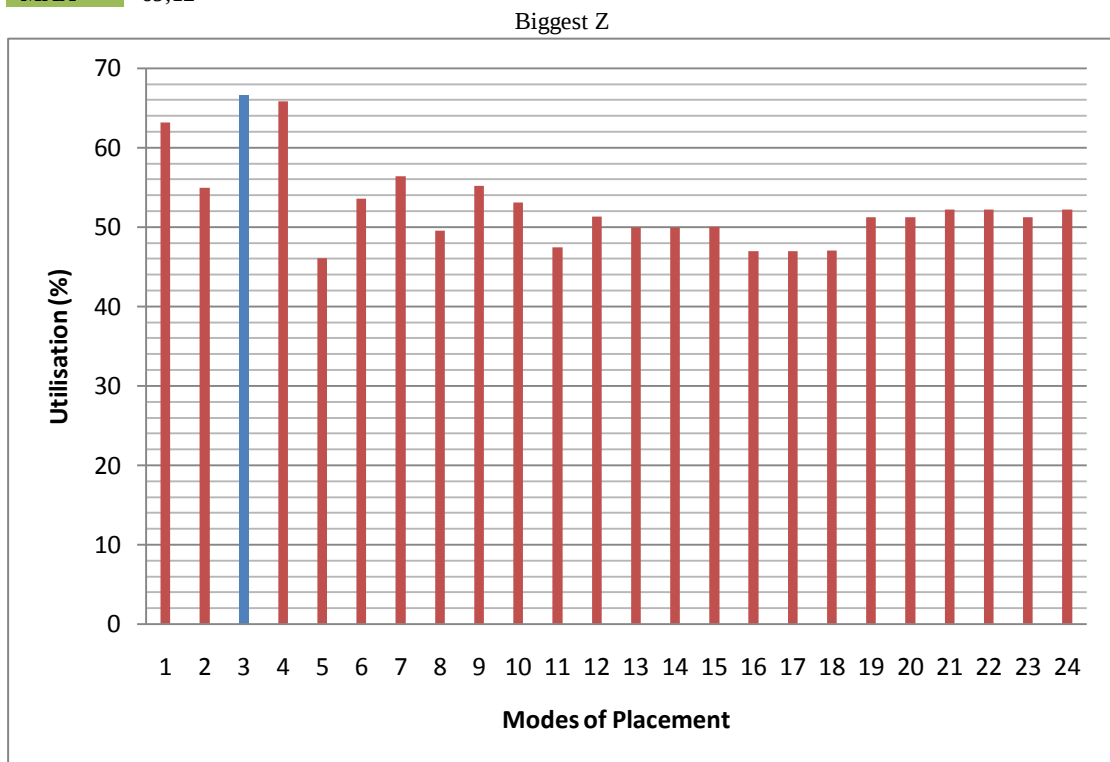
MAX 67,76



MAX 68,13

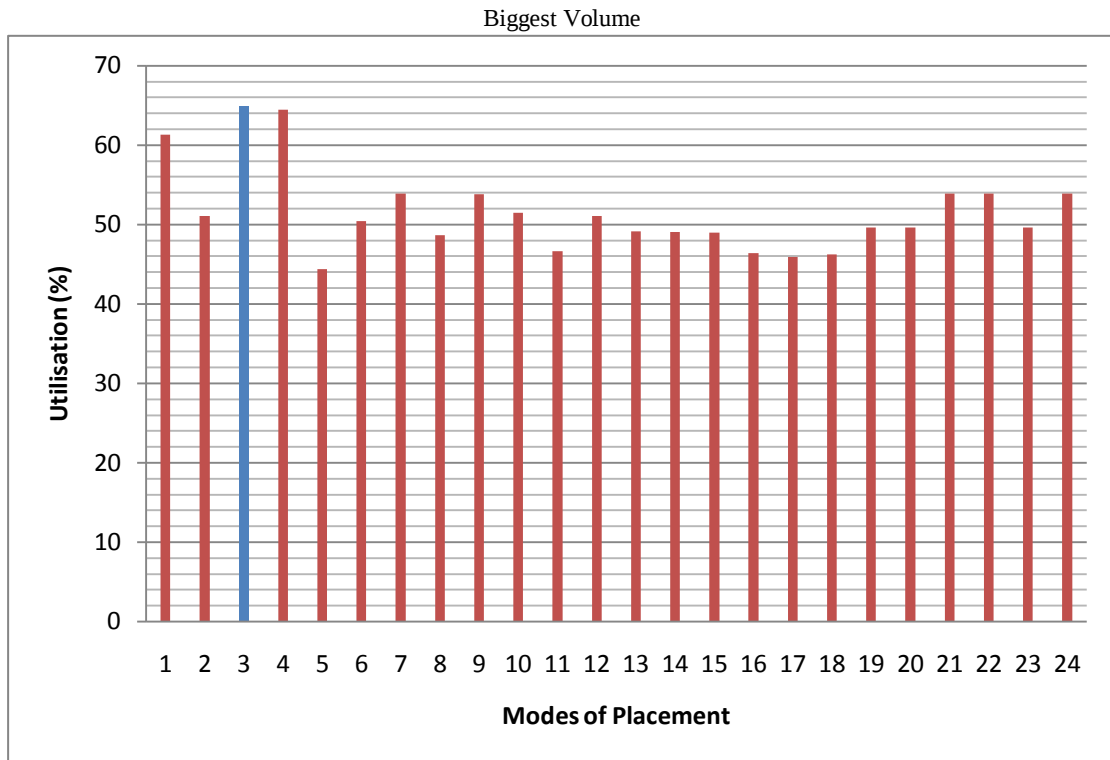


MAX 69,12

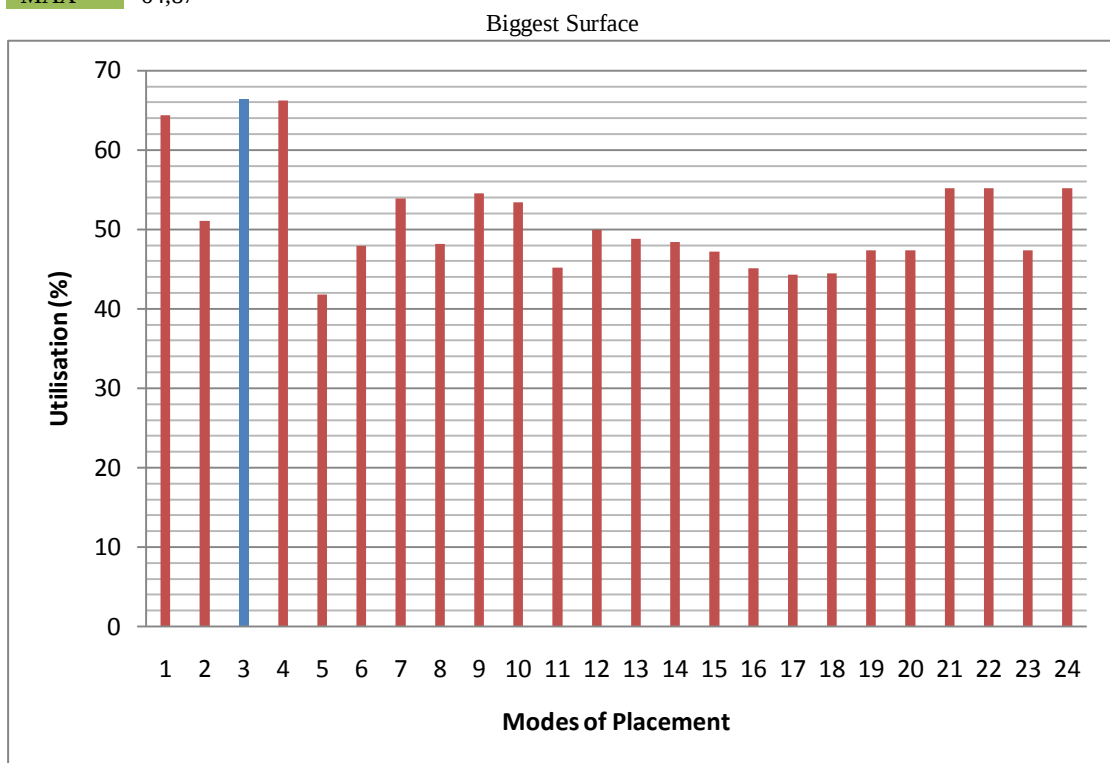


MAX 66,6

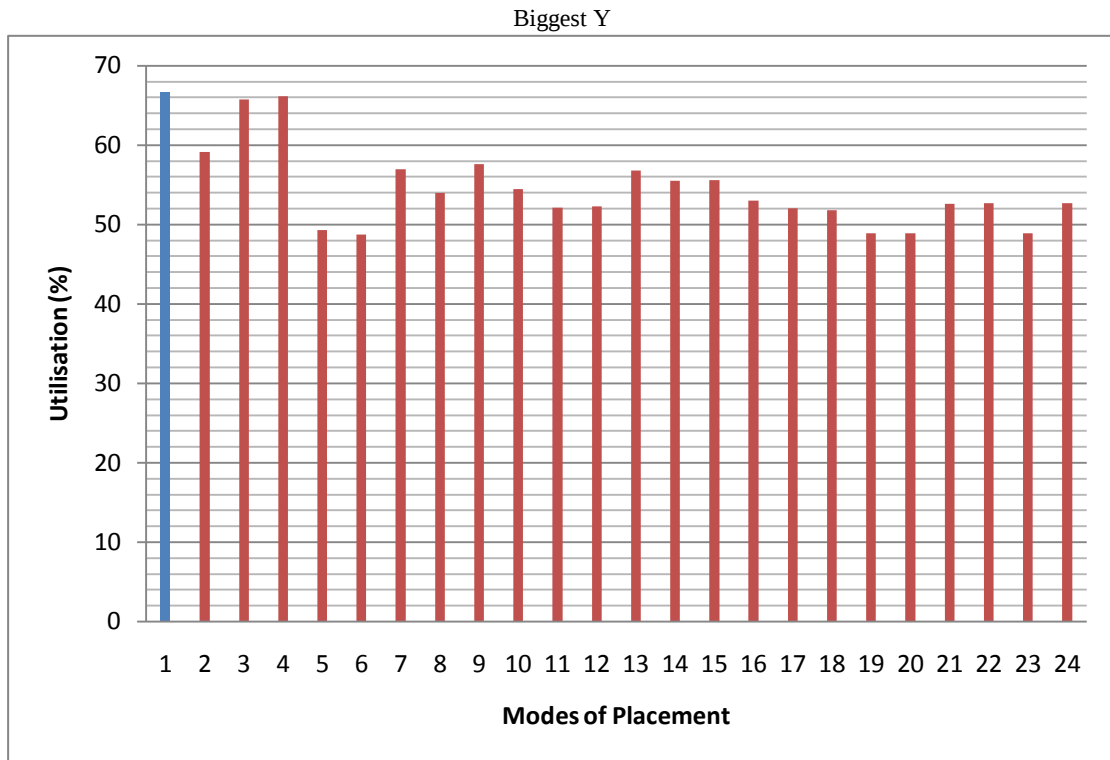
thpack7



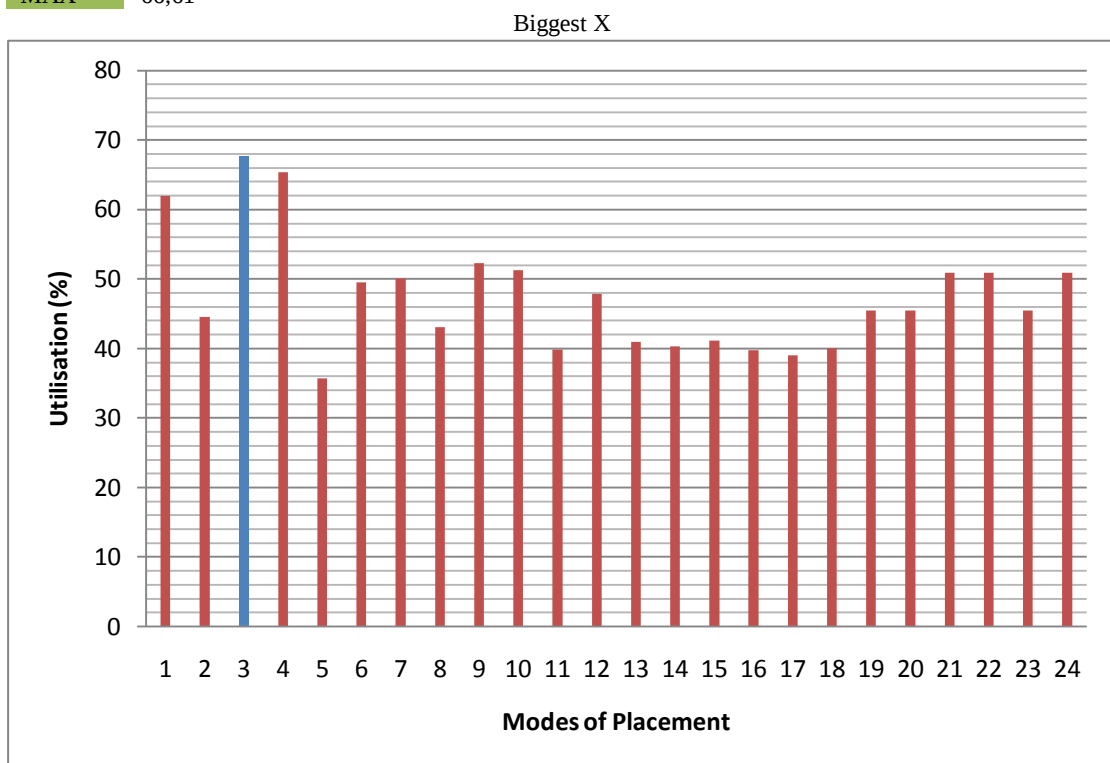
MAX 64,87



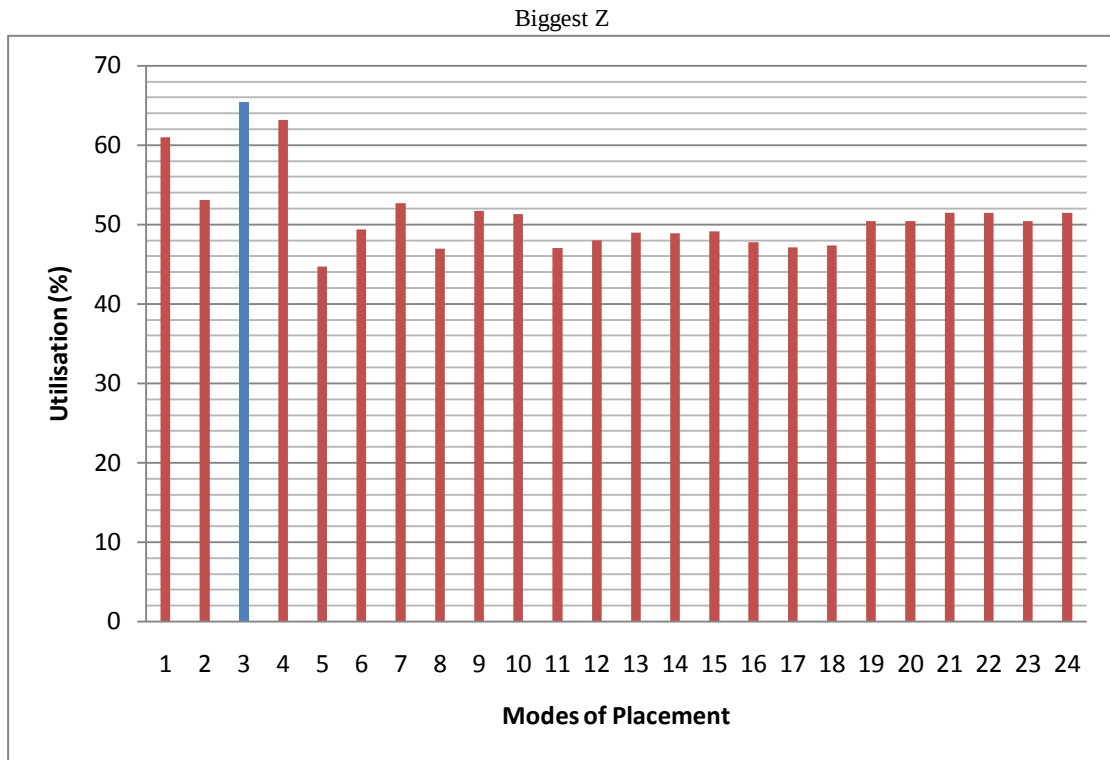
MAX 66,35



MAX 66,61

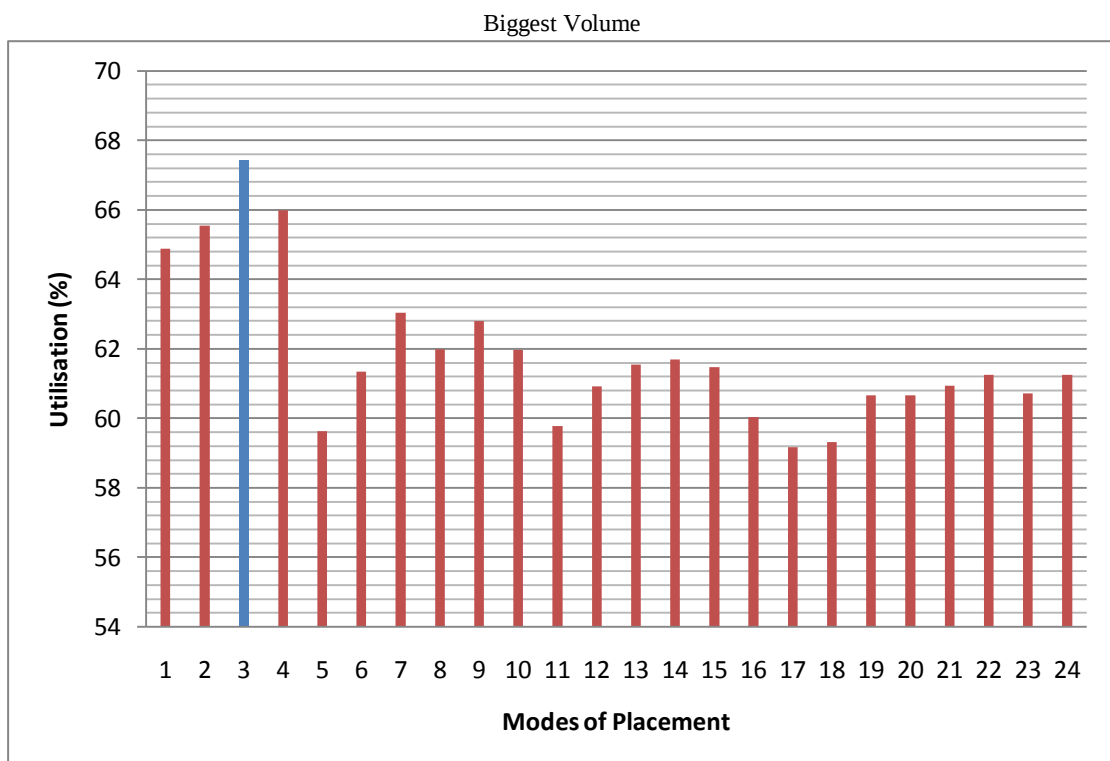


MAX 67,67

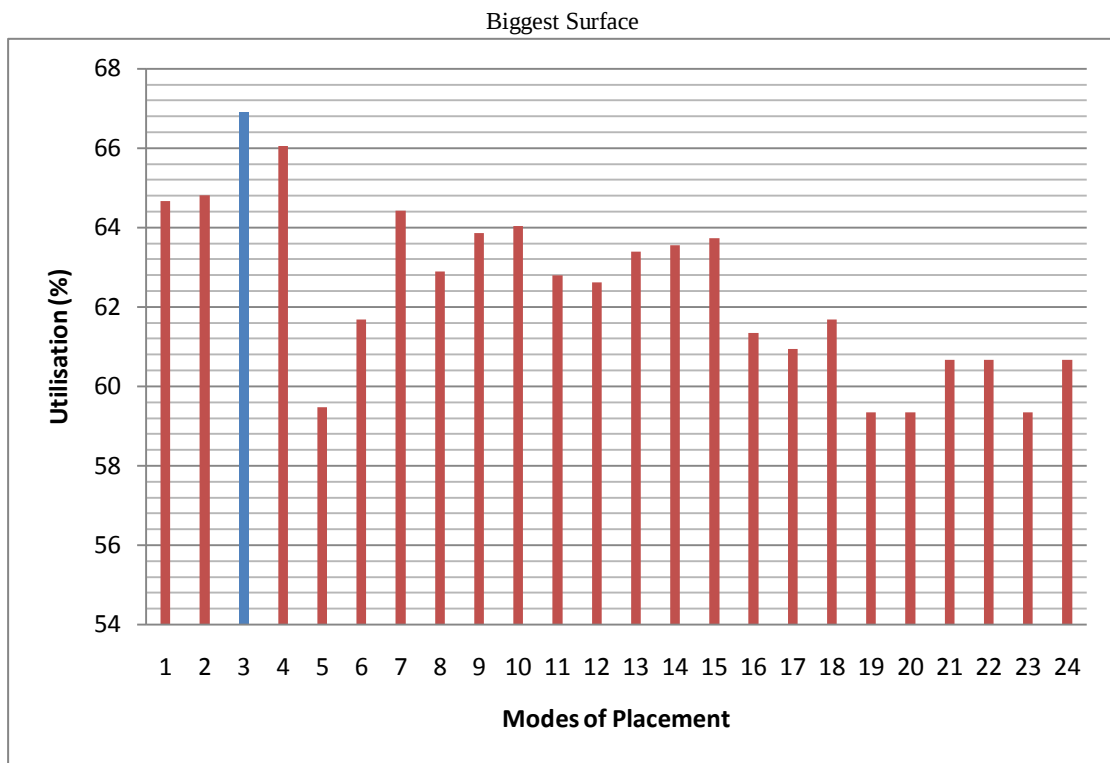


MAX 65,42

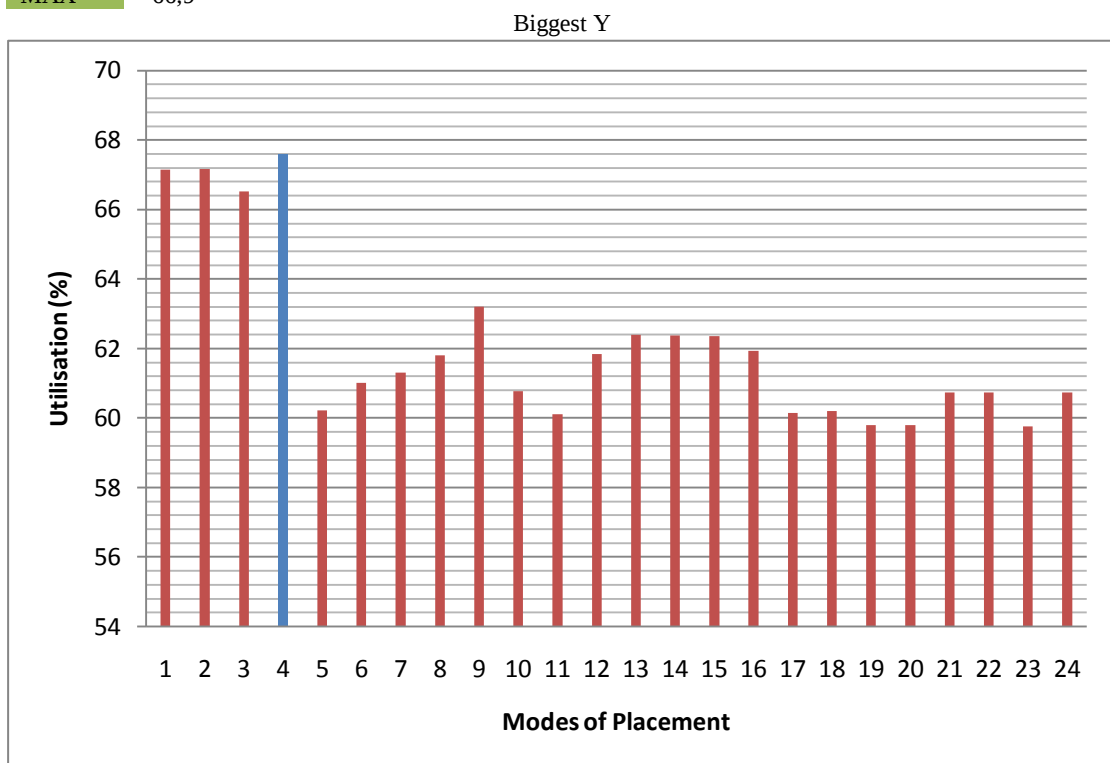
thpack8



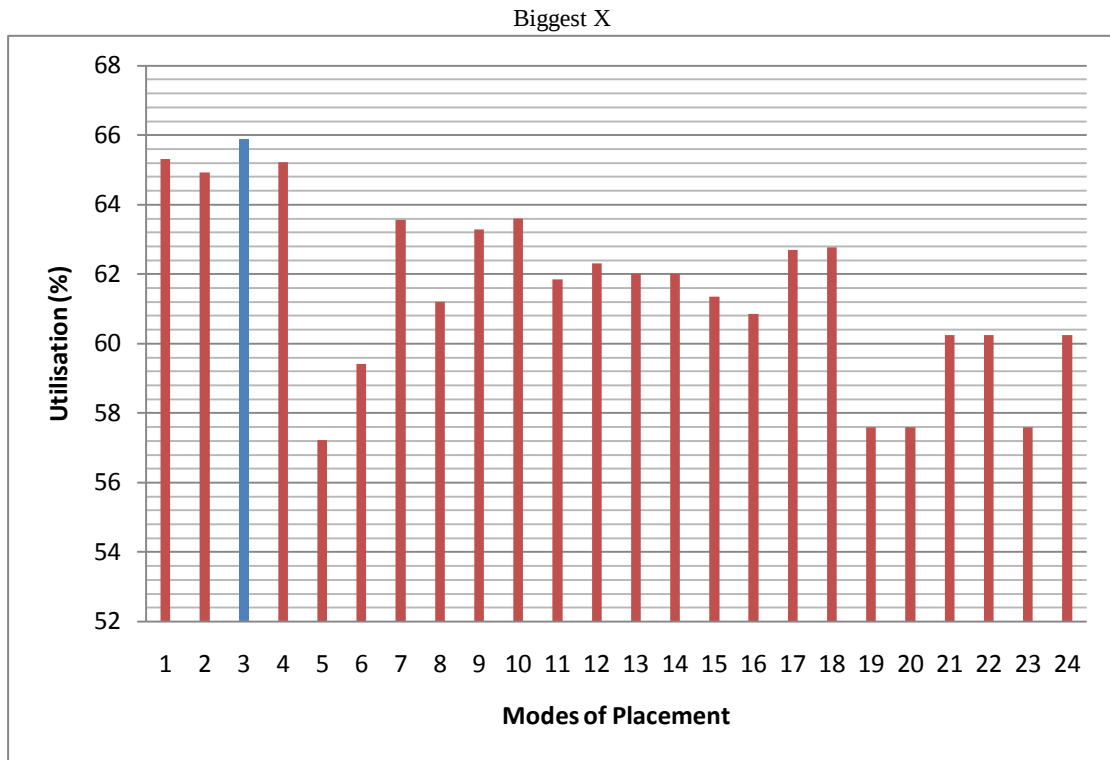
MAX 67,45



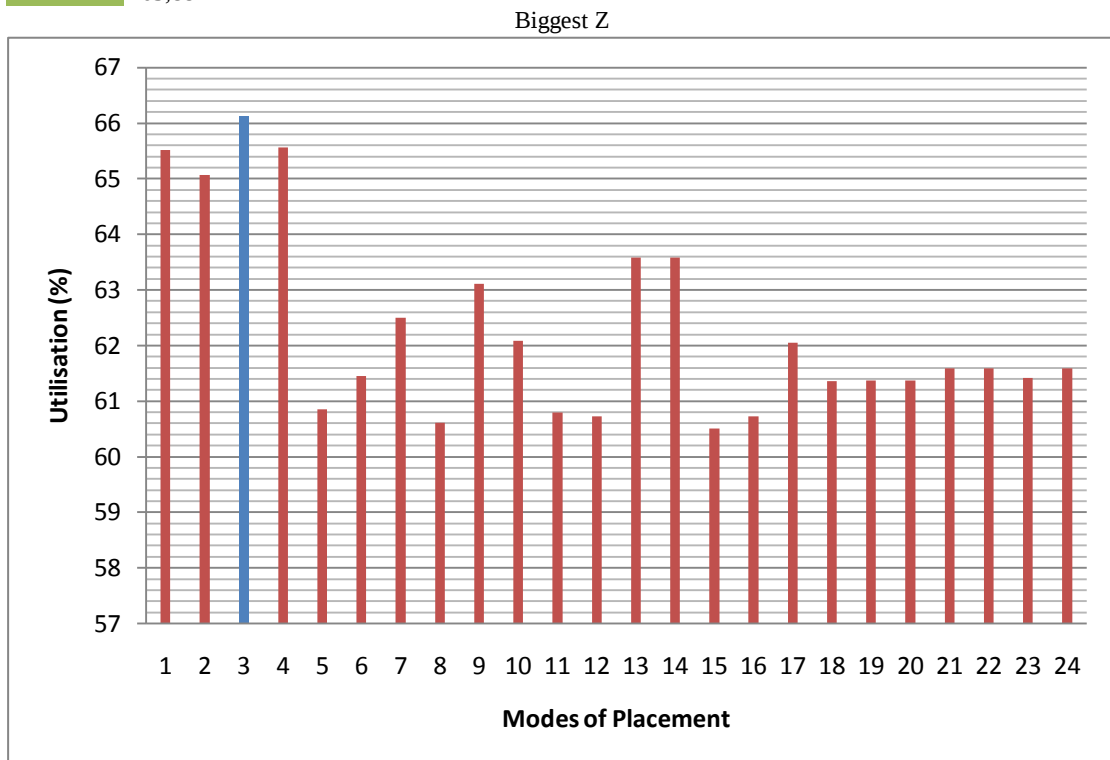
MAX 66,9



MAX 67,59



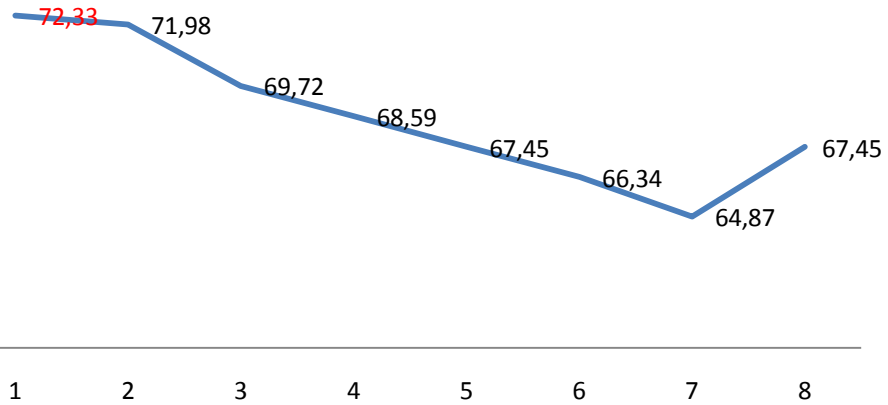
MAX 65,88



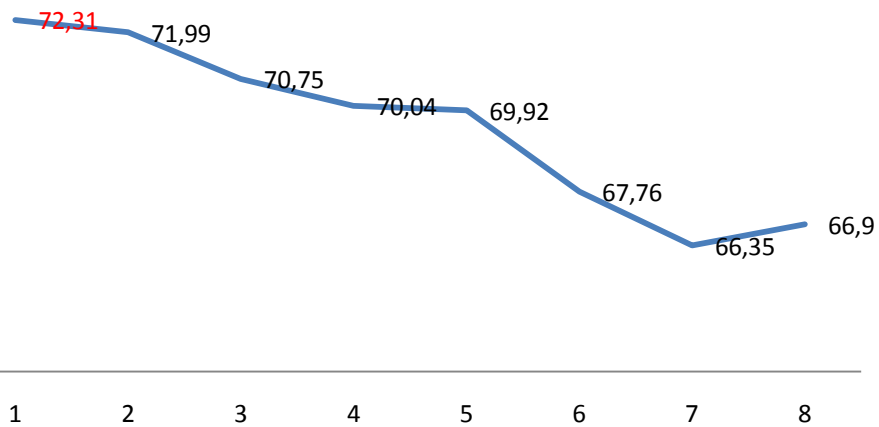
MAX 66,11

Max Utilisation (%) thpack

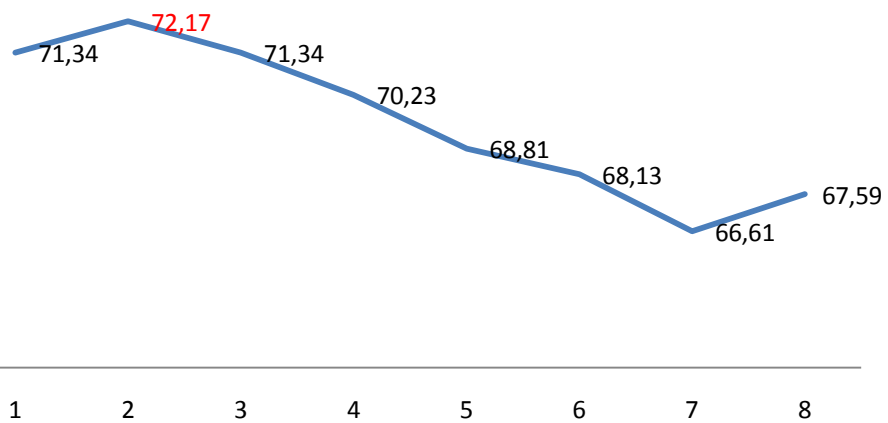
Biggest Volume



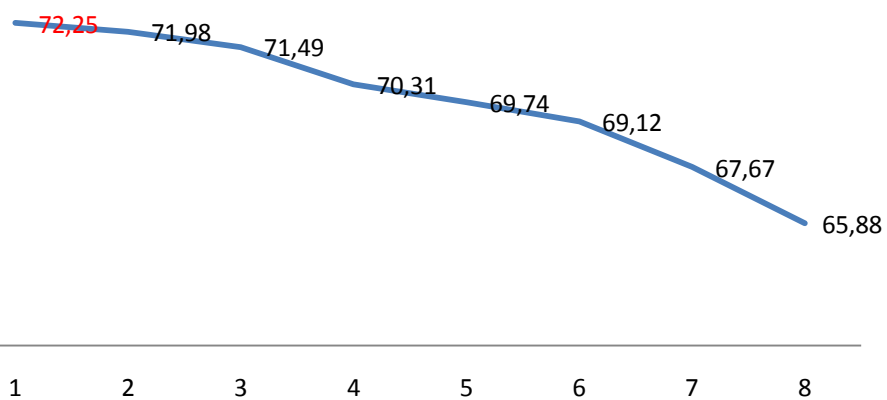
Biggest Surface



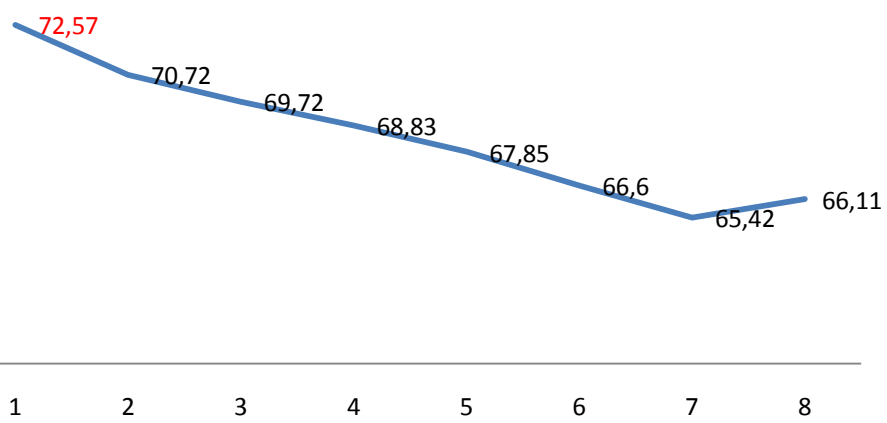
Biggest Y



Biggest X



Biggest Z



Βιβλιογραφία

1. Zachariadis E.E. , Tarantilis C.D. , Kiranoudis C.T. , (2011). The Pallet-Packing Vehicle Routing Problem. *Transportation Science. Articles in Advance*, 1 – 18.
2. Bischoff E.E. , Janetz F. , Ratcliff M.S.W. , (1995) Loading pallets with non-identical items. *European Journal of Operational Research* 84, 681 – 692.
3. Hodgson, T.J (1982), A combined approach to the pallet loading problem. *IIE Transactions* 14/3, 175 - 182
4. Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research* 44, 145 - 159.
5. George J.A and Robinson, D.F. (1980). A Heuristic of packing boxes into a container. *Computers & Operations Research* 7, 147 – 156.
6. Ngoi, B.K.A., Tay M.L, and Chua, E.S. (1994). Applying spatial representation techniques to the container packing problem. *International Journal of Production Research* 32, 111 – 123.
7. Bischoff E.E. and Marriott MD, (1990). A comparative evaluation of heuristics for container loading. *EJOR* 44, 267 – 276.
8. Bischoff E.E. and Ratcliff M.S.W. (1995). Loading multiple pallets. *Journal of the Operational Research Society* 46, 1322 – 1336.
9. Gehring, M., K. Menscher, M. Meyer. (1990). A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers. *European Journal of Operational Research* 44, 277-288.
10. Pisinger, D. (1997). The container loading problem. In *Proceedings NOAS'97*.
11. Scheithauser G. (1991). A three dimensional bin-packing algorithm. *Journal of Informations Processing and Cybernetics* 27. 263 – 271.
12. Faroe O. , Pisinger D. , Zachariasen M. (2000). Guide local search for the three dimensional bin packing problem. *INFORMS Journal of Computing*.
13. Martello S. , Pisinger D. , Vigo D. (2000). The three dimensional bin packing problem. *Operations Research* 48. 256 – 267.
14. Chen CS. , Lee SM. Shen QS. , (1995). An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Opeartional Research* 80, 509 – 527.
15. Bischoff E.E. , Ratcliff M.S.Q. , (1995a). Issues in the development of approaches to container loading. *Omega – International Journal of Management Science* 23 (4), 377 – 390.
16. Crainic, T.G., G. Perboli, R. Tadei. (2008). Extreme point-based heuristics for three-dimensional bin packing. *INFORMS J. Comput.* 20, 368 – 384
17. Chazelle, B. (1983). The bottom-left bin packing heuristic: An efficient implementation. *IEEE Trans. Comput.* C-32, 697 – 707.
18. Lodi, A., S. Martello, D. Vigo. 1999. Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems. *INFORMS J. Comput.* 11 345 – 357.
19. H.T. Loh & A.Y.C. Nee, 1992, A packing algorithm for hexahedral boxes, *Proc. Industrial Automation 92 Conf. Singapore*, 115-126.
20. B.K.A. Ngoi, M.L. Tay & E.S. Chua, 1994, Applying spatial representation techniques to the container packing problem, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 32, No. 1, 111-123.
21. Tarantilis, C.D. , E. E. Zachariadis, C.T. Kiranoudis. 2009. A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem. *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems* 10, 255 – 271.