

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



«Λειτουργική ανάλυση υδραυλικού εκσκαφέα με χωματουργικό αυτοκίνητο
σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις»

Διπλωματική Εργασία

Λαμπρινίδης Λάμπρος – Ελευθέριος

Εξεταστική Επιτροπή

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Μ. Γαλετάκης, Καθηγητής

Γ. Σαράτσης, ΕΔΙΠ

Χανιά

Μάρτιος, 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανά χείρας Διπλωματική Εργασία πραγματεύεται την λειτουργική ανάλυση του συνδυασμού υδραυλικού εκσκαφέα και χωματουργικού αυτοκινήτου σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις.

Το θέμα αντιμετωπίζεται σχεδιαστικά για τις πιθανές διατάξεις των μηχανημάτων στο υπαίθριο μέτωπο και λειτουργικά με βάση τις αποδόσεις των μηχανημάτων. Το σχεδιαστικό τμήμα της εργασίας δημιουργείται με κατάλληλο σχεδιαστικό πακέτο, πάνω σε πραγματικά μηχανήματα και θεωρείται ρεαλιστικό παράδειγμα υπαίθριας εκμετάλλευσης. Στη συνέχεια αναλύεται ο κινηματικός μηχανισμός του βραχίονα με τον κάδο του εκσκαφέα και μελετάται η συμπεριφορά του στη φόρτωση συναρτήσει των ιδιοτήτων του θραυσμένου υλικού ή του χαλαρού υλικού και του προφίλ της κοπής. Επιπλέον μελετάται η ωριαία απόδοση του χωματουργικού αυτοκινήτου και κατασκευάζονται σχετικά διαγράμματα.

ABSTRACT

The present paper deals with the functional analysis of the hydraulic shovel-dumper system in open pit mining.

The subject is dealt both with designs about the possible arrays of machinery on open pit bench and functionally, based on the performance of the machinery. The designing part of the study is created with a suitable designing program, on real machinery and is considered a realistic example of open pit mining. Afterwards, the kinematic mechanism of the arm with the bucket of the shovel is analysed and the performance, during loading, in conjunction with the properties of the broken material or loose material and the cutting profile, is studied. Furthermore, the hourly performance of the mining truck is examined and the corresponding charts are created.

Περιεχόμενα:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ:.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ	12
1.1 Σκοπός της εργασίας	12
1.2 Περί των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων	14
1.2.1 Υπαίθρια εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining).....	14
1.2.2 Υπαίθρια εκμετάλλευση κλειστού ή ανοικτού τύπου (Open pit mining).....	15
1.2.3 Υπαίθρια εκμετάλλευση ή απομάκρυνση βουνοκορφής (Mountaintop removal)	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	19
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία των εργοταξίων	19
2.2 Η εκμηχάνιση του εργοταξίου.....	19
2.2.1 Βαθμός εκμηχάνισης του εργοταξίου.....	20
2.3 Η εξέλιξη των δομικών μηχανών	21
2.4 Η εξέλιξη του εκσκαφέα.....	21
2.4.1 Εκσκαφέας γενικής χρήσεως.....	22
2.4.2 Μηχανικός εκσκαφέας	23
2.4.3 Υδραυλικός εκσκαφέας	24
2.4.4 Προδιαγραφές του υδραυλικού εκσκαφέα	27
2.5 Η εξέλιξη των μεταφορικών οχημάτων.....	33
2.5.1 Αυτοκινούμενο χωματουργικό όχημα οπίσθια ανατροπής (βαρέως τύπου).....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ	38
3.1 Περιγραφή των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.....	38
3.2 Στάδια δημιουργίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης.....	39
3.2.1 Προσπέλαση	39
3.2.2 Αποκάλυψη	39
3.2.3 Μέτωπα εξόρυξης.....	43
3.3 Τύποι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων	45
3.4 Η κλίση της εκμετάλλευσης	46
3.5 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων για την επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΜΕΤΩΠΩΝ.....	50
4.1 Παρουσίαση μηχανημάτων	50
4.1.1 Παρουσίαση υδραυλικού εκσκαφέα LIEBHERR (R9350).....	50
4.1.2 Μοντέλο κίνησης υδραυλικού εκσκαφέα.....	54
4.1.3 Χωματοургικό όχημα.....	65
4.2 Σχεδιασμός εκσκαφών με υδραυλικό εκσκαφέα μετωπικού κάδου και χωματοургικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου).....	69
4.2.1 Εκσκαφή με περιορισμένες συνθήκες εργασίας.....	69
4.2.2 Εκσκαφή σε ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας.....	71
4.2.3 Μετωπικές εκσκαφές.....	74
4.2.4 Εκσκαφή με κίνηση.....	76
4.2.5 Παράλληλες εκσκαφές	78
4.2.6 Παράδειγμα εκσκαφής με δύο εκσκαφείς και ένα χωματοургικό όχημα και με έναν εκσκαφέα και ένα χωματοургικό όχημα	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	95
5.1 Εισαγωγικά στοιχεία	95
5.2 Προσδιορισμός του χρόνου εργασίας.....	95
5.2.1 Ο χρόνος εργασίας του εργοταξίου	96
5.2.2 Ο χρόνος εργασίας των δομικών μηχανών του εργοταξίου	96
5.3 Υπολογισμός αποδόσεως δομικών μηχανών.....	99
5.4 Προσδιορισμός ταχύτητας κινήσεως χωματοургικών οχημάτων	106
5.5 Προσδιορισμός αριθμού χωματοургικών αυτοκινήτων	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (1): ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΕΚΣΚΑΦΕΑ (SHOVEL).	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (2): ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ (DUMPER).....	126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ:

Σχ. 1: Καδοφόρος εκσκαφέας σε υπαίθρια εκμετάλλευση κατά λωρίδες σε κοίτασμα λιγνίτη (Wikipedia).....	15
Σχ. 2: Υπαίθρια εκμετάλλευση κατά λωρίδες σε κοίτασμα λιγνίτη (Strip mining at Garzweiler, Germany, Wikipedia).....	15
Σχ. 3: Τομή υπαίθριας εκμετάλλευσης λιγνίτη. Με (1) είναι το εξορυχθέν υλικό, με (2) είναι οι αποθέσεις αγόνων, με (4,5) είναι οι ενεργές και ξοφλούμενες βαθμίδες, με (6) είναι τα τελικά όρια εκσκαφής, ενώ με (I,II,III) είναι η ακολουθία εξόρυξης των βαθμίδων (Εξαδάκτυλος, 2007).	15
Σχ. 4: Υπαίθρια εκμετάλλευση. Αρχικά διακρίνονται ορθές βαθμίδες ανοικτού τύπου στα ανώτερα υψόμετρα και όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής μετατρέπονται σε κλειστού τύπου (http://www.mining-technology.com/contractors/project/marston/attachment/marston4/). ...	16
Σχ. 5: Σχηματική απεικόνιση (α) πριν την εφαρμογή της μεθόδου και (β) μετά την εφαρμογή της μεθόδου εκμετάλλευσης Mountaintop Removal (Mountaintop removal mining: Big coal obliterating central Appalachia one mountain at a time).....	18
Σχ. 6: Σχηματική σύγκριση των ισοδυνάμων εργοταξίων Σουέζ και Μαναγκίλ (Εφραιμίδης, 2002).....	20
Σχ. 7: Εκσκαφέας με κάδο κατασκευής Ottis (1832).	22
Σχ. 8: Μηχανικός εκσκαφέας με μετωπικό κάδο (CATERPILLAR).	24
Σχ. 9: Εκσκαφέας υδραυλικής λειτουργίας με μετωπικό κάδο.	25
Σχ. 10: (α) Αρχή λειτουργίας υδραυλικού πιεστηρίου, (β) Υδροστατικό σύστημα με οδοντωτή αντλία.(Εφραιμίδης, 2002).	26
Σχ. 11: Μηχανικός εκσκαφέα (αριστερά) και υδραυλικός εκσκαφέα (δεξιά)(http://www.5dt.com/shovel-training-simulators/).....	27
Σχ. 12: Ανάλυση των επί μέρους τμημάτων του κάδου υδραυλικού εκσκαφέα.	29
Σχ. 13: Χαρακτηριστικοί τύποι κοπτικών άκρων (δοντιών) των κάδων (Construction equipment management for engineers, μεταφρασμένο).	29
Σχ. 14: Σχηματική αναπαράσταση με σκοπό την περιγραφή του συντελεστή πλήρωσης του κάδου (Construction equipment management for engineers,μεταφρασμένο).	30
Σχ. 15: Προφίλ εκσκαφής κατά το οποίο περιγράφεται η διαδικασία εκσκαφής του εκσκαφέα. Το σχήμα ανήκει στον εκσκαφέα LIEBHERR R9350 (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350)	31
Πίν. 1: Ο πρώτος πίνακας περιγράφει τις εκσκαπτικές προδιαγραφές του μηχανήματος, ενώ ο δεύτερος το βάρος λειτουργίας και την πίεση που δέχεται το έδαφος για εκσκαφέα με κάδο χωρητικότητας 18 m ³ (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350 μεταφρασμένο).	32
Πίν. 2: Πίνακας όλων των προδιαγραφών των κάδων που μπορεί να δεχτεί ο εκσκαφέας (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350 μεταφρασμένο).....	32
Σχ. 16: Παρουσίαση των βασικών λειτουργικών τμημάτων του υδραυλικού εκσκαφέα.	33
Σχ. 17: Στο (α) δίνεται τρισδιάστατη άποψη της σκάφης(καρότσας) του χωματουργικού αυτοκινήτου οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής χωρίς φορτίο, ενώ στο (β) δίνεται τρισδιάστατη άποψη της σκάφης(καρότσας) του χωματουργικού αυτοκινήτου οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής με φορτίο.....	35
Σχ. 18: Μεταβολή της γωνίας της σκάφης (καρότσας) του οχήματος, ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται.	35
Σχ. 19: Χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου)(Komatsu 785-7) (http://www.archiexpo.com/prod/komatsu-hanomag-gmbh/product-92858-1744491.html) ..	37

Σχ. 20: Τρισδιάστατο μοντέλο του χωματουργικού οχήματος οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) όπως αυτό σχεδιάστηκε σε σχεδιαστικό πακέτο Autocad.	37
Σχ. 21: Εξέλιξη από την αρχική τοπογραφική φάση στην τελική μορφή της εκμετάλλευσης. Στο δεύτερο στερεό διακρίνεται μια κλειστή υπαίθρια εκμετάλλευση (Hustrulid, 1979). ..	38
Σχ. 22: Κυκλικό εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα, στο οποίο είναι εμφανής τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (Hustrulid, 1979).	40
Σχ. 23: Διαστασιολόγηση ράμπας για την προσέγγιση σε κοιτάσμα (Hustrulid, 1979).	41
Σχ. 24: Σχέδιο ανατίναξης για την διάνοιξη της ράμπας (Hustrulid, 1979).	41
Σχ. 25: Διάνοιξη ράμπας προσέγγισης εξωτερικά του κοιτάσματος, και σε δεύτερη φάση η εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε κατακόρυφα κυκλικά μέτωπα εξόρυξης (Hustrulid, 1979).	42
Σχ. 26: Διάνοιξη ράμπας προσέγγισης εσωτερικά του κοιτάσματος (αριστερά), και στα δεξιά σε δεύτερη φάση η όπισθεν εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε κατακόρυφα κυκλικά μέτωπα εξόρυξης (Hustrulid, 1979).	42
Σχ. 27: Τρισδιάστατη απεικόνιση των γεωμετρικών παραμέτρων της υπαίθριας βαθμίδας ..	44
Σχ. 28: Τομή τελικής φάσης υπαίθριας εκμετάλλευσης. Διακρίνονται όλοι οι βασικοί παράμετροι σχεδιασμού.	44
Σχ. 29: Τύποι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. (α, β) κλειστή εκμετάλλευση αναπτυσσόμενη εις βάθος και οριζοντίως αντίστοιχα, (γ) ανοικτή εκμετάλλευση (Εξαδάκτυλος, 2007).	46
Σχ. 30: Τομή παραγωγικού μετώπου υπαίθριας εκμετάλλευσης (Hustrulid, 1979).	47
Σχ. 31: Τομή τελικής φάσης εκμετάλλευσης. Διακρίνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις του αναχώματος (berm) και το τελικό πλάτος του δαπέδου βαθμίδας (Hustrulid, 1979).	48
Σχ. 32: Απεικόνιση μηχανολογικού εξοπλισμού σε δάπεδο βαθμίδας (Hustrulid, 1979).	49
Για την επιλογή του κατάλληλου εκσκαφέα λαμβάνονται υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος, η κατάσταση του εδάφους στην οποία θα εργαστεί, η ακτίνα εκσκαφής και όλα τα χαρακτηριστικά του κάδου εκσκαφής. Στο κεφάλαιο 2 στο Σχ.15 και στους Πίν. 1 και Πίν. 2 δίνονται οι προδιαγραφές του LIEBHERR (R9350) (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350).	50
Πίν. 3: Περιγραφή των χαρακτηριστικών του κάδου του εκσκαφέα, του χρόνου φόρτωσης και της ισχύς του κινητήρα.	50
Σχ. 33: Υδραυλικός εκσκαφέας μετωπικού κάδου LIEBHERR (R9350) (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350).	51
Σχ. 34 : Τρισδιάστατο μοντέλο του υδραυλικού εκσκαφέα όπως αυτό σχεδιάστηκε στο Autocad.	51
Σχ. 35: Διαστασιολόγηση παραμέτρων σχεδιασμού εκσκαφέα κατά την εκσκαφή.	52
Σχ. 36: Διαστασιολόγηση παραμέτρων σχεδιασμού εκσκαφέα κατά τη φόρτωση.	53
Σχ. 37: Αναλυτική περιγραφή του κάδου του εκσκαφέα.	55
Σχ. 38: Διαστασιολόγηση πλάτους (S) και ακτίνας περιστροφής του κάδου (R).	56
Σχ. 39: Παρουσίαση δομικών στοιχείων του υδραυλικού Βραχίονα του εκσκαφέα.	57
Σχ. 40: Περιγραφή του συστήματος κίνησης του εκσκαφέα, όπου (FB) και (FS) είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από τον κύλινδρο κίνησης του κάδου και του κανόνα αντίστοιχα.	58
Σχ. 41: Θεωρητικό προφίλ εκσκαφής γεωυλικού.	59
Σχ. 42: Διαστασιολόγηση κάδου εκσκαφέα.	59
Σχ. 43: Επιφάνεια εκσκαφής εδαφικού πρανούς.	61
Σχ. 44: Παρουσίαση δυνάμεων κοπής.	61

Πίν. 4: Εκτίμηση χρόνου εκσκαφής.	62
Πίν. 5 : Πίνακας ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, και χρόνος εκσκαφής για το καθένα αντίστοιχα. Ο Χρόνος εκσκαφής υπολογίζεται σύμφωνα με το κινηματικό-στατικό μοντέλο του βραχίονα του εκσκαφέα.	63
Σχ. 45: Διαστασιολόγηση χωματουργικού οχήματος οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου). .	66
Σχ. 46: Διαστασιολόγηση χωματουργικού οχήματος όταν αυτό βρίσκεται σε θέση απόρριψης υλικού.	67
Πίν. 6: Πίνακας λειτουργικών παραμέτρων χωματουργικού οχήματος οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου).	68
Πίν. 7: Πίνακας παραμέτρων σχεδιασμού κατάστασης οδοστρώματος.	68
Σχ. 47: Κάτοψη εκσκαφής με περιορισμένες συνθήκες. Διακρίνεται η ράμπα προσεγγίσεως κλήσης 8%, το φρύδι και το πόδι του πρανούς και οι γεωμετρικές διαστάσεις G, E οι οποίες σχετίζονται με τις διαστάσεις του εκσκαφέα (βλέπε Σχ.35).	69
Σχ. 48: Κάτοψη εκσκαφής με περιορισμένες συνθήκες λειτουργίας.	70
Σχ. 49: Κάτοψη εκσκαφής με ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας.	71
Σχ. 50: Τρισδιάστατη άποψη της παραγωγικής λειτουργίας.	72
Σχ. 51: Απεικόνιση σε κάτοψη προχώρησης της εκσκαφής.	73
Σχ. 52: Απεικόνιση σε κάτοψη προχώρησης της εκσκαφής.	74
Σχ. 53: Απεικόνιση σε κάτοψη της κατά μέτωπο εκσκαφής.	75
Σχ. 54: Διπλή διάταξη σε κάτοψη της κατά μέτωπο εκσκαφής. Με κυκλικές διακεκομμένες γραμμές απεικονίζεται η νέα θέση προχώρησης του μετώπου.	76
Σχ. 55: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεθόδου κατά μέτωπο εκσκαφή.	76
Σχ. 56: Απεικόνιση σε κάτοψη της εκσκαφής με κίνηση.	77
Σχ. 57: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεθόδου Εκσκαφή με κίνηση.	78
Σχ. 58: Κάτοψη παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων.	79
Σχ. 59: Κάτοψη παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη χωματουργικού αυτοκινήτου.	80
Σχ. 60: Κάτοψη, (Α) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	81
Σχ. 61: Κάτοψη, (Β) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	81
Σχ. 62: Κάτοψη, (C) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	82
Σχ. 63: Κάτοψη, (D) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	83
Σχ. 64: Κάτοψη, (E) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	83
Σχ. 65: Κάτοψη, (F) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	84
Σχ. 66: Κάτοψη, (G) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.	84
Σχ. 67: Κάτοψη, (Α) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	85
Σχ. 68: Κάτοψη, (Β) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	86
Σχ. 69: Κάτοψη, (C) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	86
Σχ. 70: Κάτοψη, (D) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	87
Σχ. 71: Κάτοψη, (E) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	87

Σχ. 72: Κάτοψη, (F) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.	88
Σχ. 73: Κάτοψη, διάταξη δύο εκσκαφών με ένα φορτηγό.	88
Σχ. 74: Κάτοψη, διάταξη ένας εκσκαφής με ένα φορτηγό.	89
Πίν. 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά χωματουργικού αυτοκινήτου CAT.	90
Πίν. 9: Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου.	90
Πίν. 10: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή διόρθωσης της ταχύτητας 'n _τ ' (Εφραιμίδης, 2002).	97
Σχ. 75: Διαγράμματα υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης της ταχύτητας 'n _τ ' (Εφραιμίδης, 2002).	98
Σχ. 76: Σχεδιαστική απεικόνιση για τον ορισμό της γωνίας περιστροφής 'r' του πτύου του εκσκαφέα.	98
Πίν. 11: Ανάλυση χρόνου κύκλου εργασίας για κάθε εδαφικό υλικό.	100
Πίν. 12: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή πληρώσεως κάδου εκσκαφέα σε σχέση με το υλικό φόρτωσης (CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK, ed26).	101
Διαγρ. 1: Διάγραμμα μεταβολής της ωριαίας απόδοσης του εκσκαφέα για διάφορα εδαφικά υλικά.	102
Πίν. 13: Πίνακας τιμών συντελεστή εκμετάλλευσης μηχανήματος (Εγκύκλιος 44/7 ΥΠΕΧΩΔΕ).	103
Διαγρ. 2: Διάγραμμα μεταβολής της ωριαίας απόδοσης του υδραυλικού εκσκαφέα σε συνάρτηση με το χρόνο 't _s ' για διάφορους συντελεστές διαθεσιμότητας, για εξόρυξη αργιλικού υλικού.	105
Πίν. 14: Τιμές ανηγμένης αντιστάσεως κυλίσεως w_r (kp/Mp) (Εφραιμίδης, 2002).	107
Σχ. 77: Ανάλυση δυνάμεων για τον υπολογισμό της ανηγμένης αντιστάσεως κλίσεως $w_s =$ (kp/Mp).	107
Σχ. 78: Διάγραμμα δυνάμεως έλξεως - ταχύτητα χωματουργικού οχήματος (εγχειρίδιο Komatsu HD785-7).	108
Διαγρ. 3: Τρισδιάστατο διάγραμμα προσδιορισμού του αριθμού των χωματουργικών οχημάτων, σε σχέση με την απόσταση του δρομολογίου και της ωριαίας παραγωγής, χωρίς την εμφάνιση χρόνου αναμονής.	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ

1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η λειτουργική ανάλυση υδραυλικού εκσκαφέα και των χωματουργικών αυτοκινήτων(βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής σε υπαίθρια εκμετάλλευση. Σχεδιάζονται και μελετώνται οι διατάξεις του υδραυλικού εκσκαφέα και των χωματουργικών αυτοκινήτων, συναρτήσει:

- των γεωμετρικών παραμέτρων της υπαίθριας εκσκαφής (κλίση, πλάτος, ύψος πρανών κ.λ.π.)
- των διαστάσεων των μηχανημάτων (διαστασιολόγηση αυτών π.χ. μέγεθος κάδου, μήκος βραχίονα κ.λ.π.)
- των λειτουργικών παραμέτρων (ισχύς, ταχύτητες κίνησης, κ.λ.π.)
- των παραμέτρων του εκσκαπτόμενου γεωϋλικού (γωνία εσωτερικής τριβής, συνοχή γεωϋλικού).

Με βάση αυτά αναλύεται ο συνολικός χρόνος κύκλου εργασίας, των μηχανημάτων στις επιμέρους λειτουργικές τους εργασίες, που περιλαμβάνουν την εκσκαφή, την περιστροφή του βραχίονα με ή χωρίς φορτίο, την εκκένωση του κάδου στο χωματουργικό όχημα και την τοποθέτηση του εκσκαφέα μπροστά από το μέτωπο εξόρυξης. Τέλος δίνονται διαγράμματα εκτίμησης της ωριαίας αποδόσεως του εκσκαφέα και αντίστοιχα τρισδιάστατα διαγράμματα εκτίμησης των χωματουργικών αυτοκινήτων συναρτήσει του χρόνου κύκλου εργασίας, του μήκους δρομολογίου και της ωριαίας παραγωγής.

Στη συνέχεια του 1^{ου} Κεφαλαίου παρουσιάζεται συνοπτικά η μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης κοιτασμάτων. Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά ο μηχανικός και υδραυλικός εκσκαφέας και τα οχήματα (φορτηγά) μεταφοράς αγόνων και μεταλλεύματος. Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σχεδιαστικές παράμετροι των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η παραγωγική διαδικασία του υδραυλικού εκσκαφέα σε συνδυασμό με το χωματουργικό όχημα στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να δοθεί έμφαση στο τρόπο με τον οποίο δύο βασικά μηχανήματα των δομικών μηχανών μπορούν να εργαστούν ομαδικά με σκοπό την επίτευξη του έργου. Για το σκοπό αυτό έγινε ο σχεδιασμός με χρήση κατάλληλου σχεδιαστικού πακέτου δύο μηχανημάτων ήτοι υδραυλικού εκσκαφέα και χωματουργικού αυτοκινήτου, καθώς και ο σχεδιασμός διαφόρων τύπων υπαίθριων μετώπων με σκοπό να μελετηθούν διάφορες δυνατές περιπτώσεις ή διατάξεις εργασίας των δύο αυτών μηχανημάτων. Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται λειτουργική ανάλυση υδραυλικού εκσκαφέα και χωματουργικού αυτοκινήτου στο χώρο των υπαίθριων εκσκαφών. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση του χρόνου, της ταχύτητας μεταφοράς και διαφόρων παραγόντων που συμβάλλουν στην απόδοση των μηχανών. Κατασκευάζονται δισδιάστατα

διαγράμματα ευαισθησίας του εκσκαφέα και τρισδιάστατα διαγράμματα λειτουργικής ανάλυσης των χωματουργικών αυτοκινήτων των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων .

1.2 Περί των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων

Η διαδικασία εκσκαφής εδαφο-βραχομαζών με χρήση υπαίθριας εκμετάλλευσης ξεκίνησε στα μέσα του 16 αιώνα και εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο, με πλειονότητα την υπαίθρια εξόρυξη άνθρακα να εμφανίζεται στην Βόρειο Αμερική. Κατά την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε και εξελίχτηκε πλήρως διότι, τα περισσότερα ορυχεία συμπεριλαμβανομένων και των ορυχείων άνθρακα στις Ηνωμένες Πολιτείες, ήταν υπαίθρια λόγω πληθώρας επιφανειακών κοιτασμάτων προς εκμετάλλευση ([Wikipedia, Surface mining](#)). Στις περισσότερες υπαίθριες εκσκαφές χρησιμοποιείται βαρύς μηχανολογικός εξοπλισμός, όπως για παράδειγμα χωματουργικά αυτοκίνητα, φορτωτές υπαίθριων μετώπων, shovel (υδραυλικά ή ηλεκτρικά), καδοφόροι εκσκαφείς, διατρητικά μηχανήματα κ.α. τα οποία σε πρώτη φάση χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της υπερκείμενης στείρας βραχομάζας, και σε δεύτερη φάση χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη και μεταφορά του χρήσιμου υλικού. Ακόμη χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες για την εξόρυξη στειρών και χρήσιμων υλικών.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων οι οποίοι εφαρμόζονται με βάση τις μηχανικές ιδιότητες των κοιτασμάτων και περιβαλλόντων πετρωμάτων. Αυτοί οι τύποι είναι:

- Υπαίθρια εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining).
- Υπαίθρια εκμετάλλευση κλειστού ή ανοικτού τύπου (Open pit mining).
- Υπαίθρια εκμετάλλευση ή απομάκρυνση βουνοκορφής (Mountaintop removal).

1.2.1 Υπαίθρια εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining)

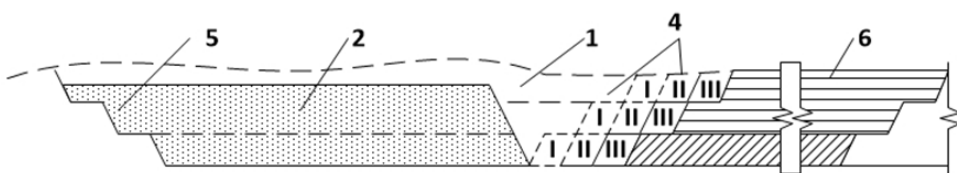
Η υπαίθρια εκμετάλλευση κατά λωρίδες αποτελεί πρακτική εφαρμογή για την εξόρυξη κοιτασμάτων λεπτού πάχους και μεγάλης έκτασης. Αρχικά πραγματοποιείται αφαίρεση μιας μακριάς λωρίδας υπερκείμενων σχηματισμών, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιείται εξόρυξη σε λωρίδες του χρήσιμου υλικού. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων λιγνίτη και άνθρακα. Η διαδικασία παραγωγής είναι πλήρως μηχανοποιημένη, χρησιμοποιούνται γιγαντιαίες εκσκαπτικές μηχανές που ονομάζονται καδοφόροι εκσκαφείς. Για την μεταφορά του εξορυγμένου υλικού χρησιμοποιούνται μεταφορικές ταινίες μεγάλου μήκους. Οι καδοφόροι εκσκαφείς είναι από τις μεγαλύτερες δομικές μηχανές πάνω στην Γή οι οποίες φέρουν πάνω τους καδοτροχό και έχουν την ικανότητα να εξορύσσουν έως και 12.000m³ υλικά ανά ώρα ([Wikipedia, Surface mining](#)). Η χρήση αυτών των μηχανών, χαρακτηρίζει τη μέθοδο εκμετάλλευσης ως συνεχή.



Σχ. 1: Καδοφόρος εκσκαφέας σε υπαίθρια εκμετάλλευση κατά λωρίδες σε κοίτασμα λιγνίτη ([Wikipedia](#)).



Σχ. 2: Υπαίθρια εκμετάλλευση κατά λωρίδες σε κοίτασμα λιγνίτη (*Strip mining at Garzweiler, Germany, Wikipedia*).



Σχ. 3: Τομή υπαίθριας εκμετάλλευσης λιγνίτη. Με (1) είναι το εξορυχθέν υλικό, με (2) είναι οι αποθέσεις αγόνων, με (4,5) είναι οι ενεργές και ξοφλούμενες βαθμίδες, με (6) είναι τα τελικά όρια εκσκαφής, ενώ με (I,II,III) είναι η ακολουθία εξόρυξης των βαθμίδων ([Εξαδάκτυλος, 2007](#)).

1.2.2 Υπαίθρια εκμετάλλευση κλειστού ή ανοικτού τύπου (Open pit mining)

Με τον όρο υπαίθρια εκμετάλλευση κλειστού τύπου ονομάζεται η εξόρυξη που αναπτύσσεται σε βάθος, δημιουργώντας μια χοανοειδή εκσκαφή, με κύριο χαρακτηριστικό τις κλειστές βαθμίδες. Αντίθετα ως ανοικτού τύπου ονομάζεται η εκμετάλλευση που πραγματοποιείται στην πλαγιά λόφου με ανοικτές βαθμίδες. Το

στείρο υλικό αποτίθεται σε χώρους απόθεσης ενώ το μέταλλευμα ακολουθεί την γραμμή παραγωγής για επιπλέον επεξεργασία. Η δημιουργία υπαίθριων ορυχείων επιλέγεται όταν τα ορυκτά και τα πετρώματα προς εκμετάλλευση βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της Γης. Αντίθετα όταν βρίσκονται σε μεγάλα βάθη, απαντώνται με μορφή φλεβών και ο προσανατολισμός τους δεν επιτρέπει την υπαίθρια εξόρυξη, τότε η εκμετάλλευση αυτών πραγματοποιείται με υπόγειες μεθόδους. Ορυχεία που παράγουν οικοδομικά υλικά και όγκους μεγάλων διαστάσεων (μάρμαρα) ονομάζονται λατομεία, ενώ εκείνα που παράγουν μεταλλεύματα ονομάζονται μεταλλεία. Η εκσκαφή ξεκινάει από την επιφάνεια του εδάφους και διευρύνεται μέχρις εξάντλησης του κοιτάσματος ή μέχρις ότου η υπαίθρια εκμετάλλευση γίνει οικονομικά ασύμφορη. Οικονομικά ασύμφορη εκμετάλλευση ονομάζεται όταν η σχέση αποκάλυψης αυξάνει συνεχώς και ξεπεράσει την κρίσιμη τιμή που έχει οριστεί. Ως σχέση αποκάλυψης ορίζεται ο όγκος (m^3) ή το βάρος (t) των αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να εξορυχτεί μία μονάδα χρήσιμου συστατικού μετρούμενη σε κυβικά μέτρα ή τόνους (m^3 ή t). Μετά το πέρας της εκμετάλλευσης ο χώρος που έχει διαμορφωθεί από την εκσκαφή θα αποκατασταθεί και θα παραδοθεί στο περιβάλλον ως αρχικά ήταν. Αυτό θα επιτευχθεί με την προσθήκη φυτών όμοιων με εκείνα της ευρύτερης περιοχής.



Σχ. 4: Υπαίθρια εκμετάλλευση. Αρχικά διακρίνονται ορθές βαθμίδες ανοικτού τύπου στα ανώτερα υψόμετρα και όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής μετατρέπονται σε κλειστού τύπου (<http://www.mining-technology.com/contractors/project/marston/attachment/marston4/>).

Πολλές φορές εργοτάξια μετά το πέρας της εκσκαφής, εκτίθενται στην διάθεση άλλων υπηρεσιών προς αξιοποίηση σε χώρους υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό απαιτείται εκπόνηση γεωτεχνικής μελέτης με σκοπό η εξέταση της στρωματογραφίας των στρωμάτων που έχουν απομείνει, καθώς επίσης το βάθος και η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα ώστε να αποφευχθεί πιθανή μόλυνσή του ([Wikipedia, Surface mining](#)).

1.2.3 Υπαίθρια εκμετάλλευση ή απομάκρυνση βουνοκορφής (Mountaintop removal)

Είναι υπαίθρια μέθοδος εκμετάλλευσης κατά την οποία πραγματοποιείται απομάκρυνση ολόκληρης βουνοκορφής, με σκοπό την αποκάλυψη του χρήσιμου υλικού εξόρυξης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην εξόρυξη άνθρακα από ανθρακωρυχεία, μετά την απομάκρυνση της στείρας βουνοκορφής (όγκος στείρου πετρώματος το οποίο βρίσκεται στην επαφή με την ράχη κοιτάσματος άνθρακα). Για την εξόρυξη χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες για την απομάκρυνση των στρώσεων του στείρου πετρώματος. Στην συνέχεια τα στείρα προϊόντα εξόρυξης απομακρύνονται από τον χώρο αφού πρώτα φορτωθούν σε χωματουργικά φορτηγά (Dumper), εν συνεχεία αποτίθενται σε χώρους απόθεσης κοντά στον χώρο εκσκαφής. Χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η μαζική αναδιάρθρωση της γης με σκοπό την προσέγγιση του κοιτάσματος άνθρακα σε βάθος από 120 έως 400 μέτρα κάτω από την τοπογραφική επιφάνεια ([Wikipedia, Surface mining](#)). Βασική ιδιότητα της μεθόδου είναι η αφαίρεση του υπερκείμενου στείρου πετρώματος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της τοπογραφικής επιφάνειας. Μετά το πέρας της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ο χώρος που έχει διαμορφωθεί αξιοποιείται κατάλληλα. Λόγω της επίπεδης τοπογραφικής επιφάνειας που έχει διαμορφωθεί πραγματοποιούνται προσπάθειες οικονομικής ανάπτυξης του χώρου με έργα μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος λ.χ. γήπεδα γκολφ, βιομηχανικά εργοστάσια, χώροι υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων, αιολικά πάρκα, πάρκα διάσωσης της χλωρίδας, αποθήκες, εργοστάσια εκρηκτικών υλών κ.α. ([Wikipedia, Surface mining](#)).

Οι αλλαγές που υφίσταται η τοπογραφία της περιοχής και οι διαταραχές των προϋπαρχόντων οικοσυστημάτων έχουν καταστήσει την μέθοδο αυτή άκρως αμφιλεγόμενη. Οι υποστηρικτές της μεθόδου υπογραμμίζουν πως όταν υπάρχει αποκατάσταση των περιοχών με την εντολή του νόμου, τότε η τεχνική εξόρυξης που προτιμάται παρέχει εκτάσεις υψηλής ποιότητας κατάλληλες για πολλές χρήσεις σε μία περιοχή όπου η επίπεδη τοπογραφία σπανίζει ([Wikipedia, Surface mining](#)).



(α)



(β)

Σχ. 5: Σχηματική απεικόνιση (α) πριν την εφαρμογή της μεθόδου και (β) μετά την εφαρμογή της μεθόδου εκμετάλλευσης Mountaintop Removal (*Mountaintop removal mining: Big coal obliterating central Appalachia one mountain at a time*).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ.

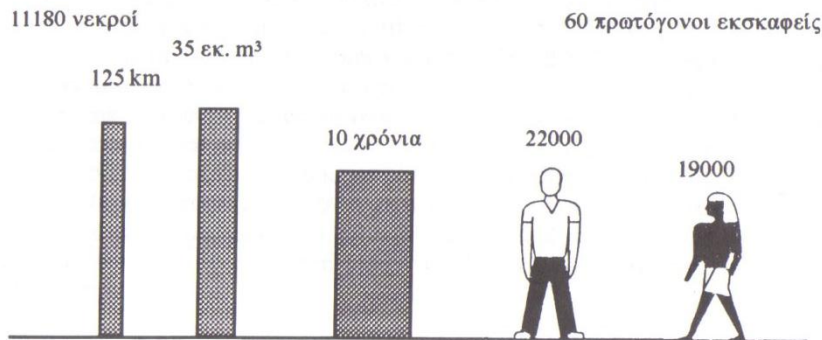
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία των εργοταξίων

Για την σωστή ανάπτυξη και εξέλιξη ενός εργοταξίου κύριοι συντελεστές παραγωγής (μέσα ή πόροι οι οποίοι συμμετέχουν στην παραγωγή ενός έργου/εργοταξίου) είναι *ο άνθρωπος, τα μηχανικά μέσα και το κεφάλαιο*. Ο *άνθρωπος* θεωρείται παραγωγικός συντελεστής, διότι εξετάζεται σε συνάρτηση με τις οικονομοτεχνικές ιδιομορφίες του έργου ή εργοταξίου, από το κοινωνικό σύνολο της περιοχής στην οποία βρίσκεται το εργοτάξιο, από την οργάνωση και εκμηχάνιση του εργοταξίου αλλά και από το χρονικό όριο κατασκευής του έργου. *Τα μηχανικά μέσα* αποτελούν τον δεύτερο κατά σειρά συντελεστή παραγωγής βάση του οποίου στηρίζεται η εκμηχάνιση του εργοταξίου. Άμεση συνέπεια της εκμηχάνισης αυτής είναι η αύξηση της παραγωγικότητάς του με το μικρότερο δυνατό κόστος και ταυτόχρονα η βελτίωση της ποιότητας κατασκευής. *Το κεφάλαιο* είναι ο τρίτος και τελευταίος κατά σειρά συντελεστής παραγωγής, εξετάζονται το ύψος επενδύσεως σε μηχανικά μέσα και το κόστος κατασκευής. Με συνδυασμό και την κατάλληλη εφαρμογή των τριών αυτών συντελεστών ως προς την μορφή και τις απαιτήσεις του έργου ώστε να επιτυγχάνονται οι καθορισμένοι στόχοι του καταλήγουμε στο εξής: η ολοκλήρωση ενός έργου απαιτεί την βελτίωση της ποιότητας κατασκευής του, στο ελάχιστο δυνατό κόστος και μέσα στις χρονικές προθεσμίες.

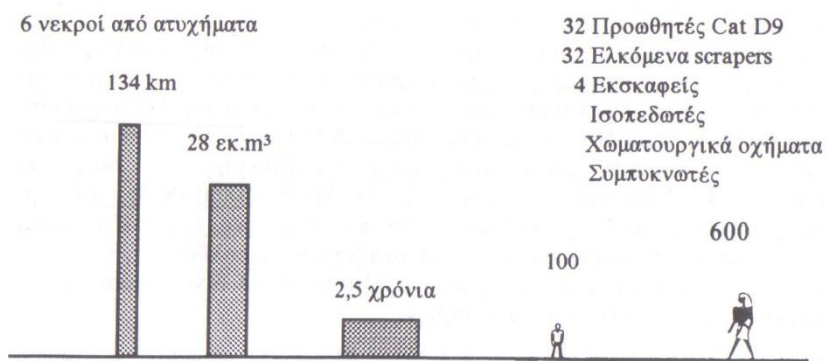
2.2 Η εκμηχάνιση του εργοταξίου

Με τον όρο εκμηχάνιση του εργοταξίου ονομάζουμε την αντικατάσταση του εργατικού δυναμικού από μηχανικά μέσα. Σε ένα εργοτάξιο η επένδυση κεφαλαίου σε μηχανικά μέσα είναι συνάρτηση της μορφής και του μεγέθους του έργου, παράλληλα με την σωστή οργάνωσή του. Έχει αποδειχθεί πως η εκμηχάνιση των εργοταξίων έχει θετική επίδραση στην αύξηση της παραγωγικότητας. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η κατασκευή της διώρυγας του Σουέζ, που είχε διάρκεια δέκα χρόνια (1860 – 1870) χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων, με εκείνη της διώρυγας Μαναγκίλ που κατασκευάστηκε σε ένα χρόνο (1957 – 1958) ως αποτέλεσμα εκμηχάνισης του έργου (Εφραιμίδης, 2002). Το τελευταίο πραγματοποιήθηκε σε χρονική περίοδο κατά την οποία οι μηχανές είχαν κάνει αισθητή την παρουσία τους στον χώρο των εργοταξίων, με αποτέλεσμα να αντικαθιστούν σιγά – σιγά την αργή εργατική δύναμη. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται παραστατικά η λειτουργική ανάλυση μεταξύ των δύο κατασκευαστικών έργων όπου η διαφορά είναι εμφανής.

Διώρυγα Σουέζ (Αίγυπτος) 1860-1870



Διώρυγα Μαναγκίλ (Σουδάν) 1957-1958



Σχ. 6: Σχηματική σύγκριση των ισοδυνάμων εργοταξίων Σουέζ και Μαναγκίλ (Εφραιμίδης, 2002).

2.2.1 Βαθμός εκμηχάνισης του εργοταξίου

Ένα βασικό δείκτη του εργοταξίου αποτελεί ο βαθμός εκμηχάνισης. Πρόκειται για την σχέση που συνδέει την επένδυση κεφαλαίου σε μέσα παραγωγής προς το συνολικό προϋπολογισμό του έργου. Η επιλογή των μέσων παραγωγής αλλά και ο βαθμός εκμηχάνισης ενός εργοταξίου εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Από το ύψος των αποδοχών των εργαζομένων και από τη διαθεσιμότητα εργατικών χεριών.
- Από τη δυνατότητα προσαρμογής της μορφής του έργου και των υλικών στη μηχανική λειτουργία.
- Από τον βαθμό απασχόλησης των μηχανικών μέσων, εφόσον το υψηλό κόστος λειτουργίας επηρεάζει το κόστος μονάδας αντιστρόφως ανάλογα.
- Με βάση τον προγραμματισμό και τη στάθμη οργάνωσης της επιχείρησης και του εργοταξίου, προκύπτει υψηλός συντελεστής εκμετάλλευσης των μέσων παραγωγής.

2.3 Η εξέλιξη των δομικών μηχανών

Την περίοδο του Μεσαίωνα παρατηρήθηκε έντονα η κατασκευή αρδευτικών και συγκοινωνιακών έργων ενώ η πολεμική τέχνη της εποχής βοήθησε στον σχεδιασμό και στην εξέλιξη βασικών μορφών δομικών μηχανών όπως ο εκσκαφέας με κάδο. Σημαντική στην εξέλιξη των δομικών μηχανών, ήταν η συμβολή του καλλιτέχνη και μηχανικού Leonardo da Vinci (1472). Η ανακάλυψη των ατμομηχανών στην βιομηχανία θεωρήθηκε κινητήριος δύναμη για την ουσιαστική εξέλιξη των μηχανών από εκείνη την εποχή έως και σήμερα. Το 1840 στην Αμερική κατασκευάστηκε ο πρώτος μηχανικός εκσκαφέας (Σχ. 7) με κάδο στα εργοστάσια Ottis ο οποίος κινούνταν με ατμομηχανή και χρησιμοποιήθηκε στα κατασκευαστικά έργα των διηπειρωτικών σιδηροδρόμων (Εφραιμίδης, 2002).

Με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού και την κατασκευή μηχανών εσωτερικής καύσης στις αρχές του αιώνα ξεκίνησε αστραπιαία η εξέλιξη και βελτίωση των δομικών μηχανών. Σκοπός της βιομηχανίας ήταν, τα καινούργια συστήματα κινήσεως να είναι σχεδιασμένα για καλύτερη προσαρμογή τους, στις μεταβαλλόμενες συνθήκες των δομικών έργων. Στο τέλος της τρίτης δεκαετίας το ποσοστό των εργοταξίων της προπολεμικής εποχής που χρησιμοποιούσε δομικές μηχανές ήταν 15 – 20%. Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο καταστράφηκε το ποσοστό των 80 – 85% των δομικών μηχανών της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Λόγω των μεγάλων καταστροφών σε έργα υποδομής, εργοστασίων και κατοικιών μετά το τέλος του πολέμου έδωσε την ώθηση για την κατασκευή και την εξέλιξη των δομικών μηχανών έως το 1950, με ισχύς μηχανών ανά εργαζόμενο να ανέρχεται στα 1,9PS. Μέχρι το 1956 η τιμή αυτή αυξήθηκε έως τα 4,6PS. Ως [PS] συμβολίζεται η παλαιά μονάδα μέτρησης της ισχύος των μηχανών (ιπποδύναμη).

2.4 Η εξέλιξη του εκσκαφέα

Η εξέλιξη του εκσκαφέα ξεκίνησε με την υπαίθρια εκμετάλλευση κοιτασμάτων λιγνίτη, στην εκσκαφή μεγάλων όγκων άγονου υπερκείμενου υλικού των κοιτασμάτων. Στην δεκαετία του 1950 χρησιμοποιήθηκε ο εκσκαφέας με καδοτροχό – ταινιοδρόμου – αποθέτη, ενώ αντίστοιχα εκείνη την περίοδο στην Αμερική κατασκευάστηκε και μπήκε σε λειτουργία ο μηχανικός εκσκαφέας με κάδο χωρητικότητας υλικού 75m³ (Εφραιμίδης, 2002). Λόγω του ότι ο καδοφόρος εκσκαφέας ήταν δυσκίνητος τα τελευταία χρόνια αντικαταστάθηκε από υδραυλικό χωρητικότητας υλικού 12 – 14 m³.



Σχ. 7: Εκσκαφέας με κάδο κατασκευής Ottis (1832).

2.4.1 Εκσκαφέας γενικής χρήσεως

Ο εκσκαφέας γενικής χρήσεως αποτελεί τη βασική εκσκαπτική δομική μηχανή της κατηγορίας των χερσαίων εκσκαφέων, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε πλωτό εκσκαφέα, όταν τοποθετηθεί πάνω σε ειδικό πλωτήρα. Θεωρείται δομική μηχανή γενικής χρήσεως, διότι με την αλλαγή του εκσκαπτικού εργαλείου μπορεί και παίρνει διάφορες μορφές ώστε να χρησιμοποιείται σε σχεδόν όλες τις εργοταξιακές εργασίες. Με βάση το εκσκαπτικό εργαλείο διακρίνονται οι παρακάτω μορφές εκσκαφέα:

- Εκσκαφέας με μετωπικό κάδο φορτώσεως (Shovel) είτε μηχανικός είτε υδραυλικός.
- Εκσκαφέας με ανεστραμμένο κάδο (τσάπα).
- Εκσκαφέας με συρόμενο κάδο.
- Εκσκαφέας με αρπάγη, αχιβάδα.
- Εκσκαφέας γερανός.
- Εκσκαφέας πασσαλοεμπήκτης.

Οι εκσκαφείς γενικής χρήσεως διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα μετάδοσης κίνησης στα λειτουργικά τους μέρη:

- **Μηχανικοί εκσκαφείς**, όταν η μετάδοση κίνησης στα λειτουργικά στοιχεία γίνεται με μηχανικά μέσα, όπως για παράδειγμα οδοντωτούς τροχούς, συρματόσχοινα, αλυσίδες.
- **Υδραυλικοί εκσκαφείς** όταν η μετάδοση κίνησης στα λειτουργικά στοιχεία γίνεται με υδροδυναμική ή υδροστατική ενέργεια.

2.4.2 Μηχανικός εκσκαφέας

Η ταξινόμηση των εκσκαφέων βοηθά στην κατανόηση της τεχνολογικής τους εξέλιξης. Πρώτοι στην κατάταξη είναι οι μηχανικοί εκσκαφείς με συρματόσχοινα. Πριν την ανακάλυψη της υδροστατικής ενέργειας έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος κίνησης των λειτουργικών στοιχείων του μηχανήματος. Η μετάδοση κίνησης στους μηχανικούς εκσκαφείς πραγματοποιείται με την χρήση συρματόσχοινων. Ο άξονας του εκσκαφέα αποτελείται από τον κεντρικό πρόβολο, στην μέση του οποίου είναι τοποθετημένος οδοντωτός κανόνας, η κίνηση του οποίου πραγματοποιείται τηλεσκοπικά. Στο τέλος του κανόνα με ειδική άρθρωση συνδέεται ο κάδος του εκσκαφέα. Για να είναι λειτουργικό το μηχάνημα χρειάζεται και την κατάλληλη ώθηση του κάδου του για την κοπή του μετώπου. Η ώθηση αυτή παραλαμβάνεται από τα συρματόσχοινα του μηχανήματος, ενώ η κίνηση του κανόνα του βραχίονα πραγματοποιείται με την χρήση οδοντωτού τροχού. Η μετάδοση κίνησης στον οδοντωτό τροχό γίνεται με το αντίστοιχο τύμπανο κινήσεως και μεταφέρεται διάμεσο των συρματόσχοινων του ίδιου του τυμπάνου. Τα συρματόσχοινα του μηχανικού εκσκαφέα αποτελούνται από ειδική σύνθεση κλάδων με μεταλλικό πυρήνα, είναι εύκαμπτα ώστε να εφαρμόζουν κατάλληλα στις τροχαλίες του συστήματος, για την αποφυγή ανάπτυξης υπερβολικών καμπτικών τάσεων. Η ευκαμπτότητα των συρματόσχοινων καθορίζεται από την διάμετρο, από το πλήθος τους αλλά και την σύνθεση των κλάδων τους. Σημαντική είναι και η ποιότητα του υλικού κατασκευής τους. Ο μεγάλος αριθμός συρματιδίων σε κάθε κλάδο κάνει το συρματόσχοινο αρκετά εύκαμπτο, ενώ με την συνεχόμενη χρήση τους φθείρονται γρήγορα. Η λειτουργία του μηχανικού εκσκαφέα χαρακτηρίζεται πιο αργή σε σχέση με εκείνη των υδραυλικών εκσκαφέων. Η διαφορά δεν παρατηρείται μόνο στο σύστημα μετάδοσης κίνησης αλλά και στον τεράστιο όγκο του μηχανήματος (κάδοι με μεγάλες χωρητικότητες, τεράστια εξαρτήματα κ.λ.π.).



Σχ. 8: Μηχανικός εκσκαφέας με μετωπικό κάδο ([CATERPILLAR](#)).

Πλέον η κινητήρια ενέργεια των μηχανικών εκσκαφών με μετωπικό κάδο είναι η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο κίνησης του εκσκαφέα. Ο εκσκαφέας φέρει πάνω του κινητήρες συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος με δακτυλίους και αντιστάσεις. Τέλος στα νέα συστήματα χρησιμοποιείται σύστημα ελέγχου για την ρύθμιση της ταχύτητας.

2.4.3 Υδραυλικός εκσκαφέας

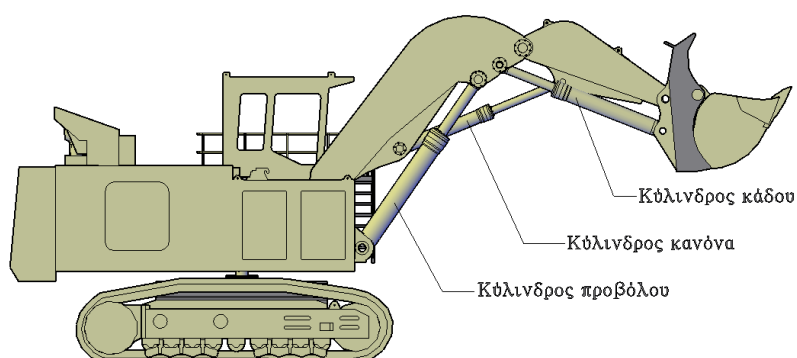
Τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας ο εκσκαφέας με την μηχανική λειτουργία αντικαταστάθηκε από τον εκσκαφέα υδραυλικής λειτουργίας, ο οποίος με την εξέλιξη των υδροστατικών συστημάτων χρησιμοποιείται έως σήμερα σε όλα τα χωματουργικά έργα. Τα μηχανικά μέρη του εκσκαφέα όπως το σύστημα βαρούλκου – τυμπάνων με τις πέδες και τα συρματόσχοινα, αντικαταστάθηκαν από συστήματα υδραυλικών αντλιών. Η βασική ενέργεια που δίνει κίνηση σε τέτοιου είδους συστήματα είναι η υδραυλική ενέργεια η οποία τα τελευταία χρόνια εμφανίζει ανοδική πορεία στον χώρο των μηχανών διότι παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της απλής μηχανικής ενέργειας.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η υδραυλική ενέργεια στον χώρο των μηχανών είναι:

- η απλοποίηση των χειρισμών
- η αύξηση στην ταχύτητα λειτουργίας με άμεση συνέπεια την αύξηση της απόδοσης των δομικών μηχανών
- η βελτίωση του βαθμού εκμεταλλεύσεως του κινητήρα
- η αυτοματοποιημένη λειτουργία καθώς επίσης και η αύξηση του συντελεστή ασφαλείας.

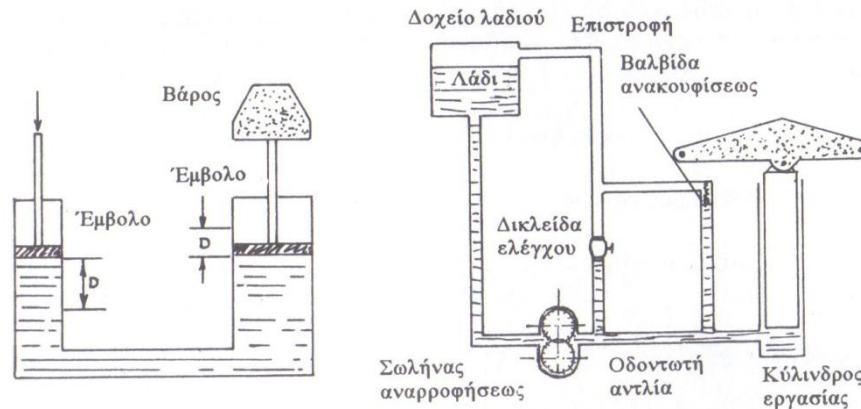
Το υδραυλικό σύστημα των εκσκαφών γενικής χρήσεως διακρίνεται σε *υδροδυναμικό* και *υδροστατικό*. Στο *υδροδυναμικό* σύστημα η ενέργεια που δίνει κίνηση στο μηχάνημα προέρχεται από δυνάμεις αδρανείας, όπως για παράδειγμα οι φυγοκεντρικές αντλίες (υδραυλικοί συμπλέκτες, υδραυλικός μετατροπέας ροπής στρέψεως). Το σύστημα αυτό παρέχει μεγάλη παροχή και ταυτόχρονα μικρή πίεση.

Στο Σχ. 9 φαίνονται τα βασικά μέρη του βραχίονα εκσκαφής ήτοι ο πρόβολος, ο κανόνας και ο κάδος καθώς και οι αντίστοιχοι υδραυλικοί κύλινδροι για την κίνηση τους.



Σχ. 9: Εκσκαφέας υδραυλικής λειτουργίας με μετωπικό κάδο.

Στο υδροστατικό σύστημα η ενέργεια που δίνει κίνηση στο μηχάνημα παρέχεται από εμβολοφόρες αντλίες με ειδική διαμόρφωση. Το σύστημα αυτό παρέχει μικρή παροχή και αντίστοιχα υψηλή πίεση της τάξεως των 400bar με υψηλό βαθμό αποδόσεως. Στους υδραυλικούς εκσκαφείς γενικής χρήσεως η λειτουργία τους προσαρμόζεται γύρω από το υδροστατικό σύστημα κίνησης.



Σχ. 10: (α) Αρχή λειτουργίας υδραυλικού πιεστηρίου, (β) Υδροστατικό σύστημα με οδοντωτή αντλία. (Εφραιμίδης, 2002).

Η υδροστατική ενέργεια είναι γνωστή από αιώνες και χρησιμοποιείται με σκοπό την παραγωγή ισχυρών δυνάμεων. Ο γάλλος φυσικός και μαθηματικός Μπλέζ Πασκάλ διατύπωσε την αρχή λειτουργίας του νόμου της υδροστατικής. Με βάση την αρχή του Pascal οποιαδήποτε πίεση ασκηθεί μέσω εμβόλου στην επιφάνεια ενός υγρού το οποίο βρίσκεται εντός ανοιχτού δοχείου, τότε η δύναμη αυτή μεταφέρεται ομοιόμορφα εντός του υγρού προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλο το βάθος του υγρού ([Wikipedia νόμος Pascal](#)). Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι ανάλογες προς την επιφάνεια.

Με την εφαρμογή του υδροστατικού συστήματος με οδοντωτή αντλία του Σχ.10 επιτρέπεται η ανύψωση φορτίων, ή η εφαρμογή ισχυρών δυνάμεων. Για παράδειγμα τέτοια φορτία είναι το βάρος που ζυγίζει ο κάδος του εκσκαφέα μαζί με το υλικό φόρτωσης. Αντίθετα η αυτοματοποίηση του συστήματος λειτουργίας είναι αδύνατη. Στα καινούργια υδροστατικά συστήματα υψηλών πιέσεων παρατηρείται η αντικατάσταση της οδοντωτής αντλίας από πολύ-κύλινδρο εμβολοφόρο αντλία. Το πλεονέκτημα έναντι της οδοντωτής αντλίας είναι ότι η πολύ-κύλινδρο αντλία ενεργεί ως μετατροπέας της ενέργειας που αναπτύσσεται στον κινητήρα, σε δύναμη και ταχύτητα. Στον υδραυλικό εκσκαφέα γενικής χρήσεως τα απαραίτητα στοιχεία λειτουργίας του, είναι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης ή ηλεκτρικής ενέργειας, η αντλία, ο εμβολοφόρος υδραυλικός κύλινδρος, ο υδροστατικός κινητήρας καθώς επίσης και τα όργανα διανομής και ελέγχου. Ως όργανα διανομής και ελέγχου αποτελούν οι σωληνώσεις του λαδιού, οι βαλβίδες, οι δικλείδες, οι διανομείς και οι ρυθμιστές.

Τέλος η ισχύς του κινητήρα του υδραυλικού εκσκαφέα εκφραζόμενη σε μονάδες (PS) υπολογίζεται ως εξής:

$$N = \frac{p * Q}{450} (PS)$$

όπου: p (σε kp/cm^2) είναι η πίεση που προσφέρει το σύστημα και Q (σε lt/min) είναι η παροχή του ελαίου του συστήματος. Στο Σχ. 11 παρουσιάζονται τα εικονικά μοντέλα ενός μηχανικού και ενός υδραυλικού εκσκαφέα.



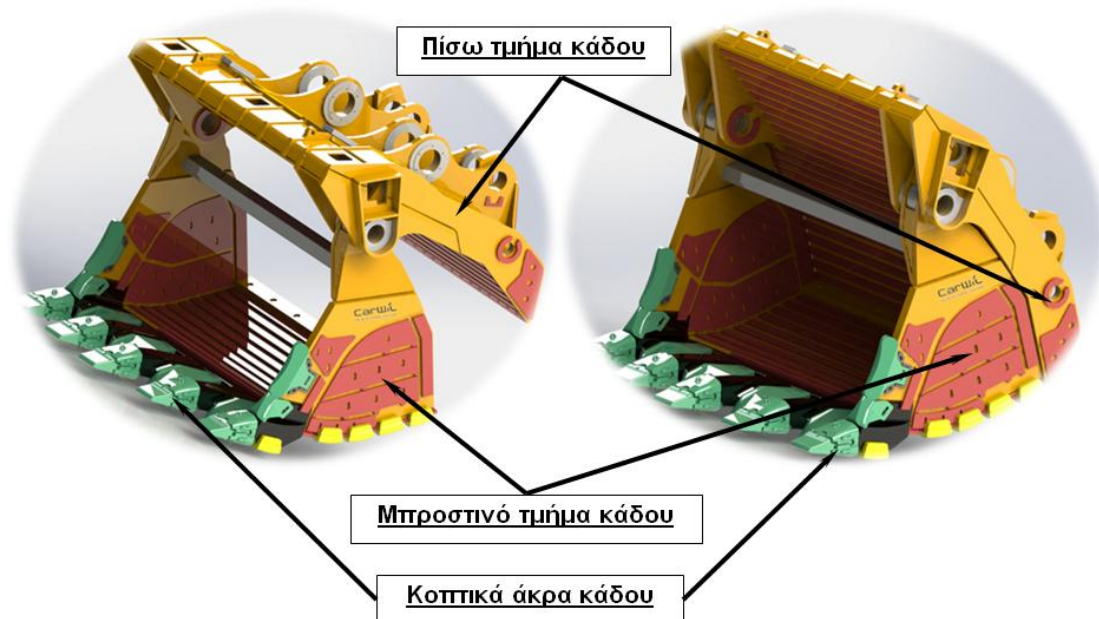
Σχ. 11: Μηχανικός εκσκαφέα (αριστερά) και υδραυλικός εκσκαφέα (δεξιά)(<http://www.5dt.com/shovel-training-simulators/>).

2.4.4 Προδιαγραφές του υδραυλικού εκσκαφέα

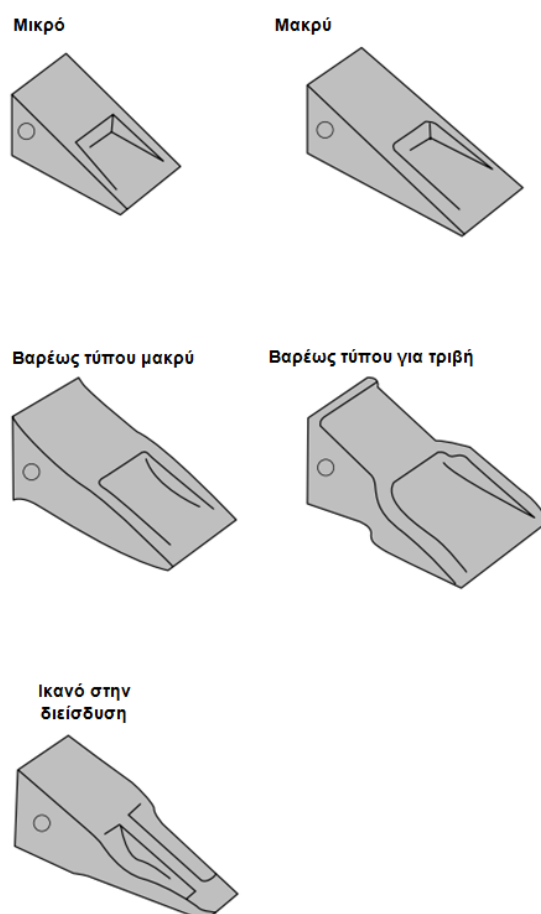
Ένα από τα βασικά εργαλεία του εκσκαφέα γενικής χρήσεως είναι το κοπτικό εργαλείο. Ανάλογα με την χρήση του, προσαρμόζεται και το κατάλληλο κοπτικό εξάρτημα. Στην εν λόγω παράγραφο γίνεται αναφορά στις διαφορές που εμφανίζει ως προς το σχεδιασμό του ο κάδος του υδραυλικού εκσκαφέα με αυτόν του μηχανικού. Υπάρχουν πρότυποι κάδοι οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εκσκαφών. Το υλικό κατασκευής του κάδου καθώς επίσης και ο σχεδιασμός των κοπτικών άκρων του (δοντιών) καθορίζονται με τον ίδιο τρόπο και για τους δύο εκσκαφείς. Ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή του σωστού κάδου είναι το μέγεθος και το τελικό ωφέλιμο φορτίο του. Με άλλα λόγια πρέπει η δύναμη του εκσκαφέα, να ανυψώνει τον κάδο με το απαιτούμενο φορτίο. Για παράδειγμα αν σε έναν εκσκαφέα με μικρές δυνατότητες και μικρό κινητήρα τοποθετηθεί ένας αρκετά μεγάλος κάδος τότε ο εκσκαφέας δεν θα είναι αποτελεσματικός. Το αποτέλεσμα θα είναι η υπερβολική καταπόνησή του, το οποίο θα σημάνει την καταστροφή του κινητήρα

του. Συμπερασματικά, ένας πλατύς κάδος απαιτεί περισσότερη δύναμη, δηλαδή μεγαλύτερη ενέργεια ανύψωσης, σε σχέση με έναν πιο στενό κάδο ο οποίος έχει λιγότερες απαιτήσεις σε ενέργεια για την ανύψωσή του. Οι κάδοι των εκσκαφών διαφέρουν σε πλάτος, βάθος και δομή ανάλογα με την ισχύ του μηχανήματος, ενώ χαρακτηριστική λεπτομέρεια είναι το χαλαρό ή συμπαγές υλικό προς εκσκαφή. Το ωφέλιμο φορτίο του κάδου προσδιορίζεται με βάση τον όγκο ή το βάρος του.

Το υλικό κατασκευής του κάδου του εκσκαφέα είναι χυτοχάλυβας, ενώ ο ίδιος διαιρείται σε δύο τμήματα. Το μπροστινό τμήμα του φέρει πάνω του αποσπώμενα κοπτικά άκρα (δόντια), και είναι κατασκευασμένο από μαγγανιούχο χάλυβα (βλέπε Σχ. 12). Το υλικό αυτό είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και χρησιμοποιείται στο μπροστινό τμήμα λόγω της μεγάλης τριβής κάδου με το έδαφος, κατά την εκσκαφή. Τα κοπτικά άκρα (δόντια) του εκσκαφέα επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την μορφή, του προς εξόρυξη υλικού. Η μορφή της μύτης των κοπτικών άκρων είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται το αρχικό αιχμηρό σχήμα της, ανεξάρτητα από την φθορά που της προκαλείται κατά την κοπή του υλικού. Όταν η φθορά των κοπτικών άκρων υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο, τότε αυτά επισκευάζονται με αναγόμευση από ηλεκτρόδια μαγγανίου. Ανακατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρείται και πάλι η σκληρότητα τους για την εκσκαφή. Σε υπερβολική φθορά αυτών, όταν δηλαδή το κοπτικό άκρο έχει φτάσει έως το μαλακό πυρήνα, η ανακατασκευή του πραγματοποιείται αρχικά με μαλακά ηλεκτρόδια για την διατήρηση της ελαστικότητάς του και στην συνέχεια με σκληρά ηλεκτρόδια για να αποκτήσει την απαραίτητη σκληρότητα κοπής. Όσο πιο μεγάλα και μυτερά είναι τα δόντια του κάδου, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση στο έδαφος. Τα μικρά δόντια χρησιμεύουν για την εκσκαφή αρκετά χαλαρού υλικού με εύκολη διείσδυση, τα μακριά δόντια για υλικό μέτριο έως σκληρό ενώ τα μακριά δόντια βαρέως τύπου για πολύ σκληρό υλικό και επίπονη διείσδυση. Τα βαρέως τύπου αιχμηρά κοπτικά άκρα (δόντια) καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια διείσδυσης έναντι των απλών δοντιών (βλέπε Σχ. 13). Με την βοήθεια του πίσω τμήματος του κάδου πραγματοποιείται η εκκένωση του υλικού εκσκαφής. Το πίσω τμήμα κινείται είτε μηχανικά (στους μηχανικούς εκσκαφείς), είτε υδραυλικά (στους υδραυλικούς εκσκαφείς) (βλέπε Σχ. 12).

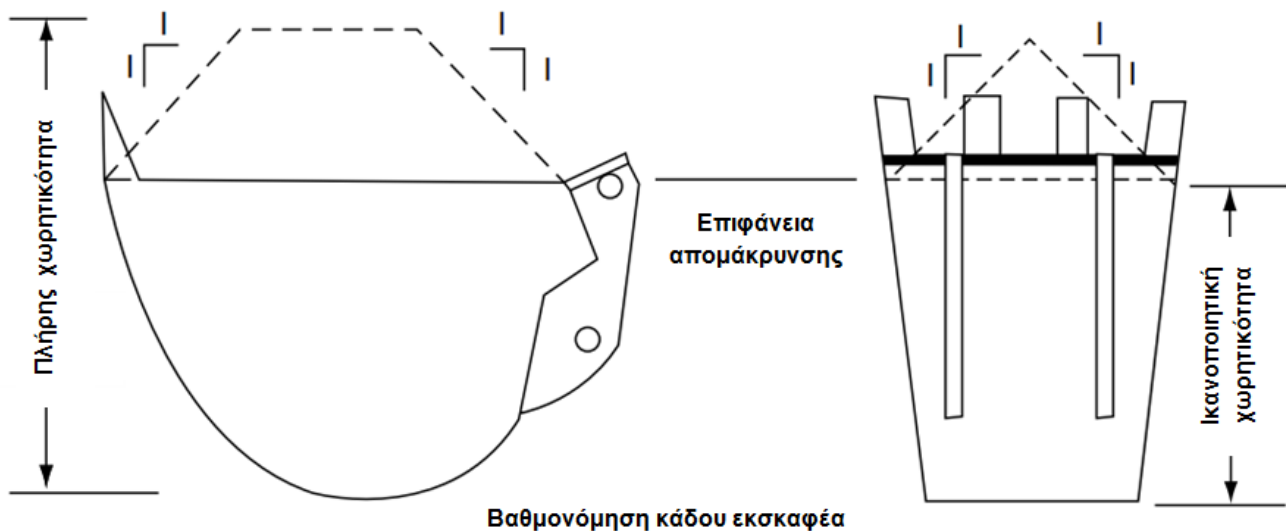


Σχ. 12: Ανάλυση των επί μέρους τμημάτων του κάδου υδραυλικού εκσκαφέα.



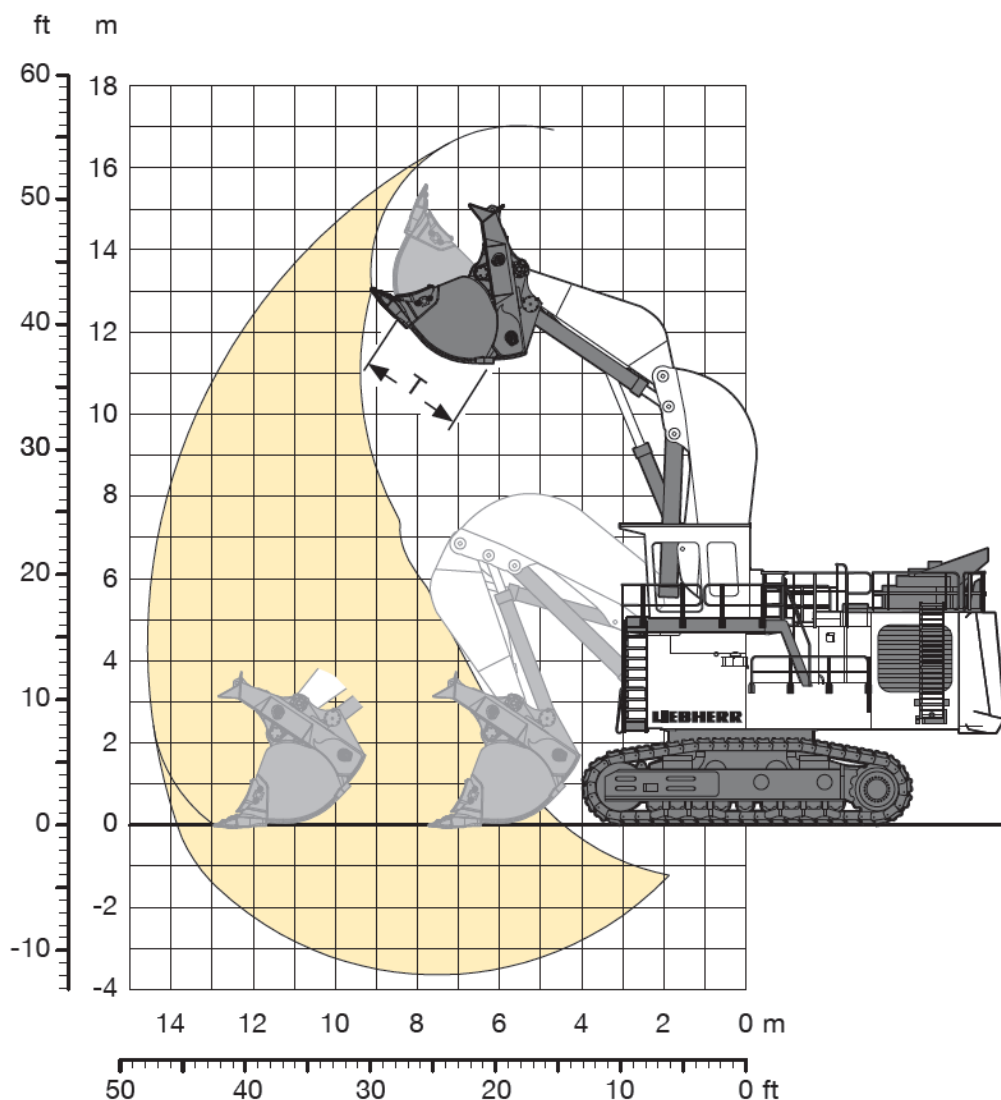
Σχ. 13: Χαρακτηριστικοί τύποι κοπτικών άκρων (δοντιών) των κάδων (*Construction equipment management for engineers, μεταφρασμένο*).

Σημαντική αναφορά γίνεται στον συντελεστή πλήρωσης του κάδου. Κάθε έδαφος έχει διαφορετικό συντελεστή πλήρωσης, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή πλήρωσης τόσο περισσότερο υλικό συσσωρεύεται στον κάδο. Εκφράζει την ποσότητα του υλικού εξόρυξης που χωράει ώστε να πληρωθεί στο μέγιστο ο κάδος του εκσκαφέα (βλέπε Σχ. 14). Συγκεντρωτικά ο όγκος του υλικού εξόρυξης που χωράει να γεμίσει τον κάδο του εκσκαφέα, προκύπτει αν πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα του κάδου (σε m^3) με την τιμή του συντελεστή πλήρωσης του κάδου.



Σχ. 14: Σχηματική αναπαράσταση με σκοπό την περιγραφή του συντελεστή πλήρωσης του κάδου (*Construction equipment management for engineers, μεταφρασμένο*).

Εκτός του κάδου εκσκαφής του εκσκαφέα ένα βασικό χαρακτηριστικό του είναι η επιφάνεια κοπής του πρανούς που διαμορφώνεται κατά το στάδιο εκσκαφής (βλέπε Σχ. 15). Είτε στους μηχανικούς είτε στους υδραυλικούς εκσκαφείς το προφίλ της εκσκαφής χαρακτηρίζεται ως ημικυκλική και μετωπική καμπύλη. Κατά την διαδικασία εκσκαφής, το μηχάνημα συνυπάρχει στον χώρο εκμετάλλευσης μαζί με μεταφορικά οχήματα ή ταινιόδρομους ή σιδηροδρομικά οχήματα. Το πιο σύνηθες και πιο αποδοτικό είναι η επιλογή χωματουργικών αυτοκινήτων (dumper ή off-road mining trucks), που είναι ελαστιχοφόρα για τα οποία αναφέρονται λεπτομέρειες σε επόμενη ενότητα. Στο χώρο εκσκαφής μπροστά από το μέτωπο εργασίας, ο εκσκαφέας εργάζεται στο ίδιο επίπεδο με το χωματουργικό όχημα. Οι διάφορες θέσεις που εργάζεται εκσκαφέας και χωματουργικό όχημα με σκοπό την βέλτιστη παραγωγική λειτουργία θα μελετηθούν διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχ. 15: Προφίλ εκσκαφής κατά το οποίο περιγράφεται η διαδικασία εκσκαφής του εκσκαφέα. Το σχήμα ανήκει στον εκσκαφέα LIEBHERR R9350 (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350).

Το Σχ. 15 περιγράφει την ημικυκλική ή μετωπική καμπύλη κίνησης του εκσκαφέα, έχοντας ως αρχή μέτρησης τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα του μηχανήματος, ενώ οι μετρήσεις εκτείνονται προς τα αριστερά στον οριζόντιο άξονα, και από κάτω προς τα πάνω στον κατακόρυφο άξονα. Στην λειτουργική ανάλυση των εκσκαφέων, τέτοιο διάγραμμα προσομοιώνει την καμπυλοειδή κίνηση του βραχίονά τους. Κάθε μηχανήμα έχει το δικό του προφίλ εκσκαφής. Τα όρια εκσκαφής και κίνησης του κάδου του εκσκαφέα περιγράφονται με το χρωματιστό μοτίβο. Επίσης προσδιορίζεται το μέγιστο ύψος φόρτωσης, αλλά και η μέγιστη ακτίνα εκσκαφής του. Εκτός από το διάγραμμα εκσκαφής το εγχειρίδιο κάθε μηχανήματος (εκσκαφέα) δίνει πίνακες με τις απαραίτητες προδιαγραφές της λειτουργικής ανάλυσής του (βλέπε Πίν. 1).

Εσκαπτικός Πίνακας

Πλάτος κανόνα	4,20 m
Πλάτος προβόλου	6,75 m
Μέγιστη ικανότητα στο επίπεδο του εδάφους	13,75 m
Μέγιστο ύψος φόρτωσης	11,20 m
Μέγιστο μήκος σύμπτυξης	5,20 m
Πλάτος ανοίγματος κάδου (Τ)	2,35 m
Δύ/μη ανύψωσης στο επ/δο του εδάφους (ISO 6015)	995 kN
Μεγ. δύναμη ανύψωσης (ISO 6015)	1.280 kN
Μεγ. δύναμη εκκίνησης (ISO 6015)	1.000 kN

Βάρος λειτουργίας και πίεση εδάφους

Το βάρος λειτουργίας αποτελείται από το βασικό μηχάνημα, τον βραχίονα και τον κάδο χωρητικότητας (18,00 m³).

Πλάτος πέλματος	mm	850
Βάρος	kg	310.000
Πίεση εδάφους *	kg/cm ² / psi	2,58/36.57

* σύμφωνα με ISO 16754

Πίν. 1: Ο πρώτος πίνακας περιγράφει τις εσκαπτικές προδιαγραφές του μηχανήματος, ενώ ο δεύτερος το βάρος λειτουργίας και την πίεση που δέχεται το έδαφος για εκσκαφέα με κάδο χωρητικότητας 18 m³ (εγχειρίδιο [LIEBHERR R9350 μεταφρασμένο](#)).

Προδιαγραφές κάδων φόρτωσης								
Για τις κατηγορίες υλικών σύμφωνα με το VOB, τμήμα C, DIN 18300	< 5	< 5	< 5	5 – 6	5 – 6	7 – 8	7 – 8	
Τυπική λειτουργία σύμφωνα με VOB, τμήμα C, DIN 18300	GP	GP	GP	HD	HD	XHD	XHD	
Χωρητικότητα ISO 7546	m³	15,30	17,00	20,50	17,00	18,00	15,30	16,50
Κατάλληλο για υλικό μέχρι το ειδικό βάρος	t/m³	2,2	2,0	1,6	1,9	1,8	1,9	1,7
Πλάτος κοπής	mm	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100
Βάρος	kg	29.900	30.600	31.000	31.620	31.900	35.000	35.950
Επίπεδο εξοπλισμού φθοράς	I	I	I	II	II	III	III	III

GP: Κάδος γενικής χρήσης με κωδικό δοντιών Liebherr Z140

HD: Κάδος βαρέως τύπου με κωδικό δοντιών Liebherr Z140

XHD: Κάδο βαρέως τύπου ειδικός για σκληρό βράχο με κωδικό δοντιών Liebherr Z140

Level I: Για θρυμματισμένα πετρώματα και χαλαρά υλικά κ.λ.π.

Level II: Για σκληρά πετρώματα που έχουν υποστεί αποκόλληση με ανατίναξη, ή τεκτονισμένα, ρηγματωμένα υλικά (ταξινόμηση 5 έως 6, σύμφωνα με DIN 18300)

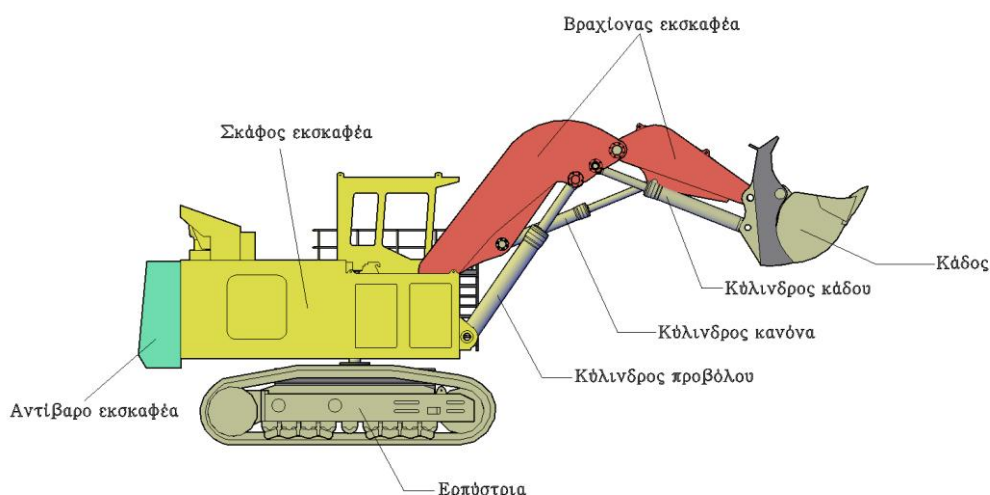
Level III: Για πολύ σκληρά υλικά και πετρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο και ψαμμίτη κ.λ.π.

Πίν. 2: Πίνακας όλων των προδιαγραφών των κάδων που μπορεί να δεχτεί ο εκσκαφέας (εγχειρίδιο [LIEBHERR R9350 μεταφρασμένο](#)).

Σημείωση: Εντός του κόκκινου πλαισίου βρίσκονται οι προδιαγραφές του εκσκαφέα LIEBHERR (R9350) με κάδο χωρητικότητας 18,00 m³. Η επιλογή του κάδου έγινε αυθαίρετα (βλέπε Πίν. 2).

Στην τελική του μορφή ένας υδραυλικός εκσκαφέας μετωπικού κάδου αποτελείται από τα κάτωθι λειτουργικά μέρη (βλέπε Σχ. 16):

- σκάφος εκσκαφέα
- ερπύστρια
- αντίβαρο εκσκαφέα
- βραχίονας εκσκαφέα
- υδραυλικοί κύλινδροι (κύλινδρος προβόλου, κύλινδρος κανόνα, κύλινδρος κάδου)
- κάδος εκσκαφέα



Σχ. 16: Παρουσίαση των βασικών λειτουργικών τμημάτων του υδραυλικού εκσκαφέα.

2.5 Η εξέλιξη των μεταφορικών οχημάτων

Δεύτερο στάδιο της εκσκαφής στα υπαίθρια μέτωπα αποτελεί η μεταφορά των προϊόντων εξόρυξης προς τους χώρους απόθεσης. Τέτοιοι χώροι βρίσκονται εντός ή εκτός του εργοταξίου. Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει επικοινωνία με τα μέτωπα παραγωγής, με την βοήθεια δρόμων προσπέλασης. Στο παρελθόν για την μεταφορά των προϊόντων εξόρυξης χρησιμοποιούνταν σιδηροδρομικοί συρμοί, μεταφορικές ταινίες ή μεταφορικά οχήματα. Με την πάροδο του χρόνου και με την ευελιξία των μηχανών ως βασική προϋπόθεση στο στάδιο της μεταφοράς, είναι το μέσο μεταφοράς του υλικού, το οποίο περιορίστηκε στα χωματουργικά οχήματα. Οι σιδηροδρομικοί συρμοί δεν χρησιμοποιούνται σήμερα ή χρησιμοποιούνται σπάνια, λόγω της μικρής ευελιξίας που διαθέτουν. Οι μεταφορικές ταινίες χρησιμοποιούνται έως σήμερα μόνο σε εκμεταλλεύσεις κοιτασμάτων λιγνίτη, λόγω της τεράστιας έκτασης τέτοιων εργοταξίων, με την εξόρυξη να πραγματοποιείται με καδοφόρους εκσκαφείς. Τα

χωματουργικά οχήματα αποτελούν σήμερα, βασική δομική μηχανή μεταφοράς υλικού σε ένα εργοτάξιο. Ονομάζονται και ελαστιχοφόρα οχήματα λόγω των ελαστικών τους, είναι αρκετά ευέλικτα και μπορούν ταυτόχρονα να εναλλάσσονται σε διάφορες θέσεις εργασίας, ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Διαφέρουν αρκετά από τα εμπορικά οχήματα μεταφοράς διότι φέρουν πάνω τους ενισχυμένους άξονες, χοντρά ελαστικά για κίνηση σε ανώμαλες και τραχείες επιφάνειες, έχουν ενισχυμένα συστήματα μετάδοσης κίνησης (κιβώτια ταχυτήτων και διαφορικά) και φίλτρα αέρος κατάλληλα για λειτουργία μέσα σε πυκνή σκόνη. Τα οχήματα μεταφοράς υλικού εξόρυξης διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο απόρριψης του υλικού της σκάφης τους:

1. Χωματουργικά οχήματα (βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής, με χωρητικότητα σκάφης από 3 έως 70 m³.
2. Χωματουργικά οχήματα εμπρόσθιας ανατροπής, με χωρητικότητα σκάφης 0,5 έως 5m³.
3. Χωματουργικά οχήματα απορρίψεως υλικού από τον πυθμένα της σκάφης, με χωρητικότητα σκάφης έως 35m³.
4. Χωματουργικά οχήματα πολύπλευρης ανατροπής της σκάφης, με χωρητικότητα σκάφης μέχρι 8m³.
5. Χωματουργικά οχήματα με αφαιρούμενη σκάφη. Τέτοια οχήματα έχουν την ιδιότητα να τοποθετούν κοντά στον εκσκαφέα την αποσπώμενη σκάφη προς φόρτωση του υλικού, ενώ με την βοήθεια ανυψωτικού μηχανήματος που φέρουν πάνω τους, φορτώνουν την γεμάτη σκάφη και την μεταφέρουν στον χώρο απόθεσης. Με την μέθοδο αυτή μειώνεται ο χρόνος παραμονής του μεταφορικού οχήματος στην θέση φόρτωσης. Τα ωφέλιμο φορτίο της σκάφης φόρτωσης είναι μέχρι 19 Mr.

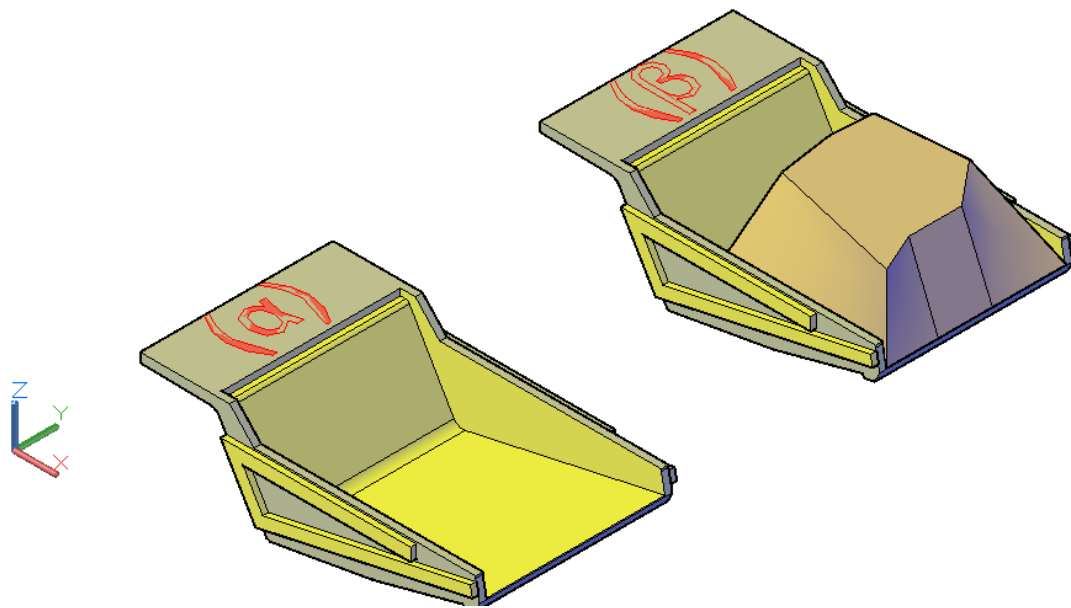
Τα αυτοκινούμενα χωματουργικά οχήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τους λοιπούς τύπους μεταφορικών οχημάτων, ίδιου μεγέθους και ισχύος, ως προς την περίπτωση εκσκαφής σε μεγάλες προσβάσεις, μεγάλες κλίσεις και με μικρή πρόσφυση του εδάφους εντός του χώρου εκσκαφής. Μία τάξη μεγέθους των επιτρεπόμενων ορίων είναι 5 έως 10% κλίση σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ για μικρές διαδρομές η τιμή της κλίσης του εδάφους φτάνει έως τα 20%. Οι τιμές αυτές διαμορφώνονται ανάλογα με την ικανότητα του οχήματος να μπορεί να διανύσει αποστάσεις με φορτίο στην σκάφη (καρότσα) του.

2.5.1 Αυτοκινούμενο χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου)

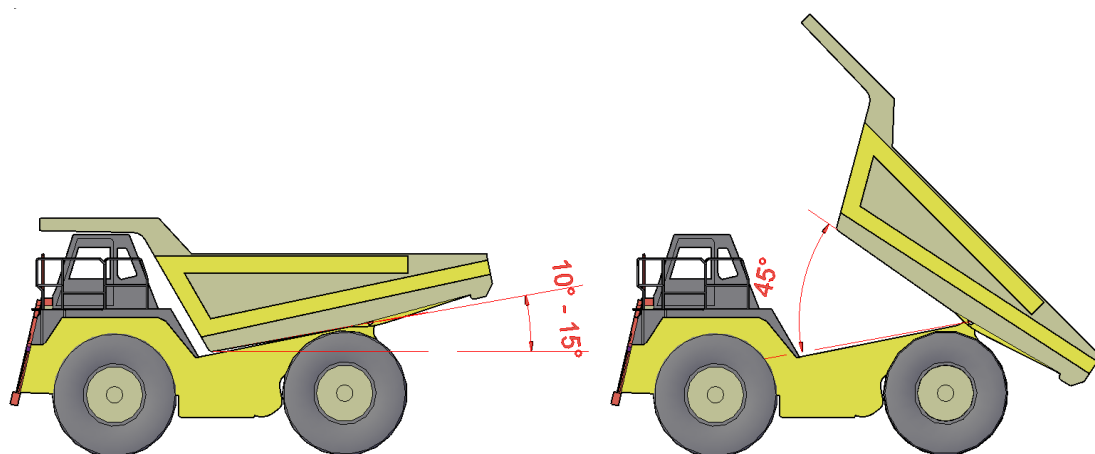
Είναι το βασικό χωματουργικό όχημα το οποίο έχει σχεδιαστεί για να αντέχει τις ισχυρές καταπονήσεις σε συνδυασμό με τις μεγάλες μεταφορικές αποστάσεις. Κατασκευαστικά αποτελείται από δύο έως και τρεις άξονες (διαξονικό ή τριαξονικό όχημα), βάση των οποίων ένας εξ αυτών θεωρείται κινητήριος.

Σημαντικό λειτουργικό εξάρτημα των χωματουργικών οχημάτων, ως προς την χρήση τους αποτελεί ο σχεδιασμός της σκάφης (καρότσας) τους (βλέπε Σχ. 17).

Κατασκευάζεται από χαλύβδινο έλασμα πάχους 4 – 6 mm με κατακόρυφες και οριζόντιες ενισχύσεις, οι οποίες προσδίδουν στο όχημα υψηλή αντοχή και ακαμψία (Εφραιμίδης, 2002).



Σχ. 17: Στο (α) δίνεται τρισδιάστατη άποψη της σκάφης(καρότσας) του χωματουργικού αυτοκινήτου οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής χωρίς φορτίο, ενώ στο (β) δίνεται τρισδιάστατη άποψη της σκάφης(καρότσας) του χωματουργικού αυτοκινήτου οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) οπίσθιας ανατροπής με φορτίο.



Σχ. 18: Μεταβολή της γωνίας της σκάφης (καρότσας) του οχήματος, ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται.

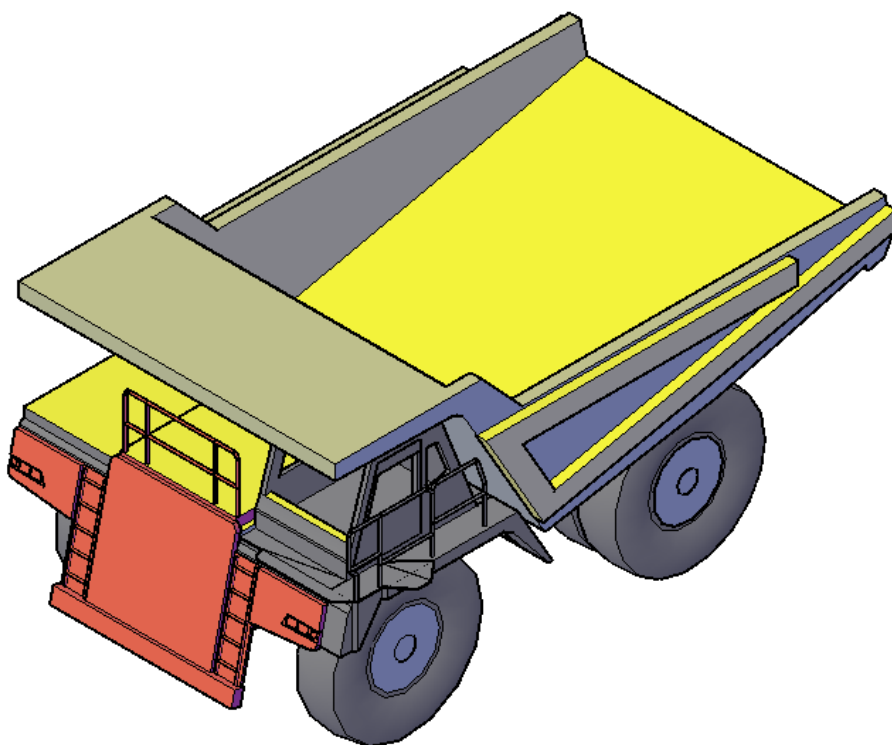
Τέτοιες ιδιότητες δίνουν επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα στο όχημα κατά το στάδιο της φόρτωσης και ανατροπής του υλικού. Λεπτομέρεια αποτελεί το γεγονός πως η οπίσθια πλευρά της σκάφης του οχήματος δεν έχει πόρτα. Το μυστικό είναι στην κλίση της καρότσας του οχήματος. Η κλίση κυμαίνεται από 10° έως 15° όταν το όχημα έχει την σκάφη (καρότσα) του κατεβασμένη, με αποτέλεσμα να προσδίδει επιπλέον αύξηση του βαθμού πληρώσεώς της (βλέπε Σχ. 18). Αντίθετα όταν η καρότσα σηκώνεται για την εκκένωση του υλικού φορτώσεως, η γωνία που σχηματίζεται έχει τουλάχιστον 45° κλίση (βλέπε Σχ. 18). Οι προδιαγραφές της καρότσας σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η ολίσθηση και γρήγορη απόρριψη του υλικού φορτώσεως.

Η κινητήριος δύναμη ανατροπής της καρότσας είναι η υδροστατική ενέργεια. Αυτό σημαίνει πως το όχημα φέρει πάνω του υδραυλικό σύστημα κινήσεως της σκάφης (καρότσας) του. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ή δυο υδραυλικούς κυλίνδρους οι οποίοι τροφοδοτούνται με λάδι μέσω αντλίας υδροστατικής λειτουργίας. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται από το σύστημα είναι από 100 έως 140 bar, ενώ η παροχή της αντλίας πρέπει να έχει την ικανότητα, να σηκώνει την καρότσα με το υλικό πλήρωσης στο διάστημα από 30 έως 50 δευτερόλεπτα.

Στα σύγχρονα χωματουργικά οχήματα οι σκάφες συνήθως σχεδιάζονται για να είναι με δύο πυθμένες. Αυτός ο σχεδιασμός αποτελεί βασικό πλεονέκτημα για το όχημα, διότι εντός του κενού μεταξύ των δύο πυθμένων της σκάφης κινούνται τα καυσάερια του κινητήρα, τα οποία εισέρχονται από το μπροστινό μέρος της καρότσας και εξέρχονται από το πίσω μέρος της. Αυτή η καθυστέρηση έχει ως αποτέλεσμα την θέρμανση του πυθμένα της σκάφης, η οποία βοηθάει στο στέγνωμα του υλικού εξόρυξης από την υγρασία που εμπεριέχεται σε αυτό. Με την υγρασία το υλικό επικολλάται στον πυθμένα και στα τοιχώματα της σκάφης (καρότσας). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένει υπολειμματικό υλικό, στη σκάφη με άμεση συνέπεια την καθυστέρηση της απόρριψής του. Τα χωματουργικά οχήματα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) σχεδιάζονται ως διαξονικά, για να είναι ευέλικτα ως προς την κίνησή τους, εντός του χώρου του εργοταξίου, ώστε να μπορούν να εκτελούν τους απαραίτητους ελιγμούς, στα σημεία εκσκαφής και απόθεσης. Φέρουν πάνω τους ισχυρά συστήματα αποσβέσεως (αναρτήσεων) των κρουστικών φορτίων, τα οποία αναπτύσσονται κατά την φόρτωση και την μεταφορά του υλικού. Τα συστήματα αυτά μειώνουν τις καταπονήσεις του πλαισίου και της σκάφης (καρότσας) του οχήματος και παίζουν σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά και την διάρκεια ζωής του οχήματος. Χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) φαίνεται στο Σχ. 19, ενώ στο Σχ. 20 δίνεται το τρισδιάστατο μοντέλο αυτού, όπως προέκυψε από την σχεδίαση στο σχεδιαστικό πακέτο Autocad.



Σχ. 19: Χωματουργικό όχημα οπίσθια ανατροπής (βαρέως τύπου)(Komatsu 785-7)
(<http://www.archiexpo.com/prod/komatsu-hanomag-gmbh/product-92858-1744491.html>)



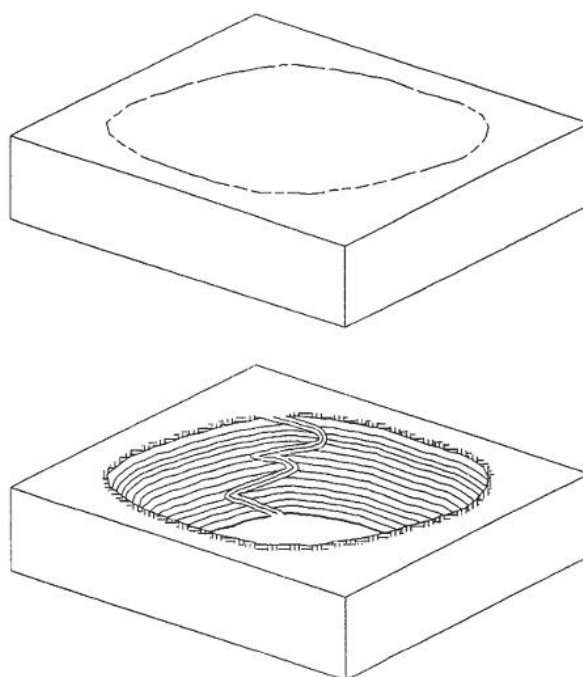
Σχ. 20: Τρισδιάστατο μοντέλο του χωματουργικού οχήματος οπίσθια ανατροπής (βαρέως τύπου) όπως αυτό σχεδιάστηκε σε σχεδιαστικό πακέτο Autocad.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ

3.1 Περιγραφή των υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων

Στην σημερινή εποχή για την εξόρυξη ορυκτών πρώτων υλών με την υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης διερευνώνται τέσσερις βασικοί γεωμετρικοί παράγοντες α)το μέγεθος, β)το σχήμα, γ)ο προσανατολισμός, δ)το βάθος των υπό εξόρυξη ορυκτών πρώτων υλών. Αυτοί οι παράγοντες αναφέρονται για τα εκμεταλλεύσιμα ορυκτά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (τοπογραφική επιφάνεια).

Με τον όρο τοπογραφική επιφάνεια ονομάζεται η επιφάνεια που διαμορφώνεται με βάση τα βουνά, τις κοιλάδες της κάθε περιοχής. Ενώ υπαίθρια εξόρυξη είναι η αφαίρεση υλικού κάτω από την τοπογραφική επιφάνεια κινούμενοι από πάνω προς τα κάτω, σε οριζόντιες σειρές με ομοιόμορφο πάχος κάθε σειράς, που καλούνται βαθμίδες. Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις εφαρμόζεται η μέθοδος των ορθών βαθμίδων, οι οποίες διαμορφώνονται από το τελικό ύψος εκμετάλλευσης, το τελικό πλάτος εκμετάλλευσης και την τελική κλίση του πρανούς της εκμετάλλευσης (βλέπε Σχ. 21).



Σχ. 21: Εξέλιξη από την αρχική τοπογραφική φάση στην τελική μορφή της εκμετάλλευσης. Στο δεύτερο στερεό διακρίνεται μια κλειστή υπαίθριας εκμετάλλευσης (Hustrulid, 1979).

Από το στάδιο της γεωλογικής έρευνας κατά το οποίο έχουν πραγματοποιηθεί δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, έχει εντοπιστεί το κοίτασμα και τα αποτελέσματα των

ερευνών δείχνουν την εκμεταλλευσιμότητά του. Το στάδιο που ακολουθεί είναι τα στάδια δημιουργίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης.

3.2 Στάδια δημιουργίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης

3.2.1 Προσπέλαση

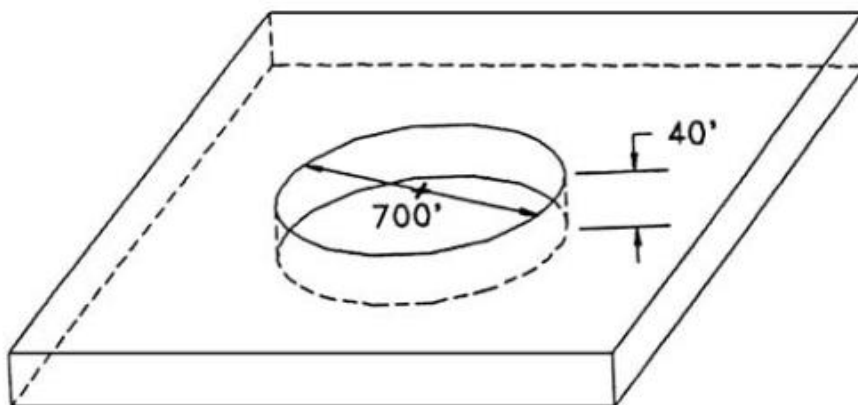
Πρώτη διαδικασία έναρξης της εκσκαφής αποτελεί η προσπέλαση. Κατά αυτή την διαδικασία γίνεται περιχάραξη της περιοχής προς εκσκαφή και δημιουργείται το βασικό δίκτυο των οδών προσπέλασης. Αρχικά χρησιμοποιείται κατάλληλος χάρτης σε κλίμακα 1:5000 ή 1:2000 (*Εξαδάκτυλος, 2007*) πάνω στον οποίο, σχεδιάζεται η αρχική προσπέλαση των οδών, ενώ για τις δευτερεύουσες προσπελάσεις οδών, προς τα μέτωπα εργασίας ο σχεδιασμός πραγματοποιείται σε χάρτες κλίμακας 1:1000 ή 1:500. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ικανοποιητική κλίση δρόμων μικρότερη από 10%.

Βασικό κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης οδών αποτελεί το είδος και η συνεκτικότητα του εδάφους. Για βραχώδη τεκτονισμένα ή αποσαθρωμένα εδάφη χρησιμοποιείται συνήθως ερπυστριοφόρος προωθητής (D7, D8 ή D9) ο οποίος φέρει στο πίσω μέρος του άροτρο (ripper). Το πλάτος των οδών προσπέλασης συνήθως κυμαίνεται από 4–8m. Πολλές φορές όταν το έδαφος χαρακτηρίζεται βραχώδες με καλή αντοχή και πολύ καλή συνοχή και ο προωθητής δεν μπορεί να το διαμορφώσει, χρησιμοποιούνται σε πρώτη φάση εκρηκτικά για την χαλάρωση του υλικού και στην συνέχεια ακολουθεί διαμόρφωση με ερπυστριοφόρο προωθητή.

3.2.2 Αποκάλυψη

Αποκάλυψη πραγματοποιείται για την απομάκρυνση των υπερκείμενων πετρωμάτων, έως ότου αποκαλυφθεί πλήρως το εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα. Η διαδικασία της αποκάλυψης πραγματοποιείται με σχέδιο διάτρησης – ανατίναξης, ενώ μετά το πέρας της ανατίναξης, σχηματίζονται υπαίθρια μέτωπα ή ράμπες κ.λ.π. Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιείται μηχανολογικός εξοπλισμός φόρτωσης – μεταφοράς, για την απομάκρυνση του στείρου υλικού από τα μέτωπα εργασίας.

Αν για παράδειγμα (βλέπε Σχ. 22) ένα εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα έχει κυκλική διατομή με ακτίνα 2230m, βρίσκεται σε βάθος 130m από την επιφάνεια του εδάφους και έχει υψηλή σκληρότητα, τότε για την εξόρυξή του απαιτείται εκπόνηση σχεδίου διάτρησης – ανατίναξης. Η διεξαγωγή της αποκάλυψης και προσέγγισης στο κοίτασμα, αρχικά πραγματοποιείται με κάθετη εκσκαφή, με σκοπό την προσέγγιση του κοιτάσματος πριν την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας.



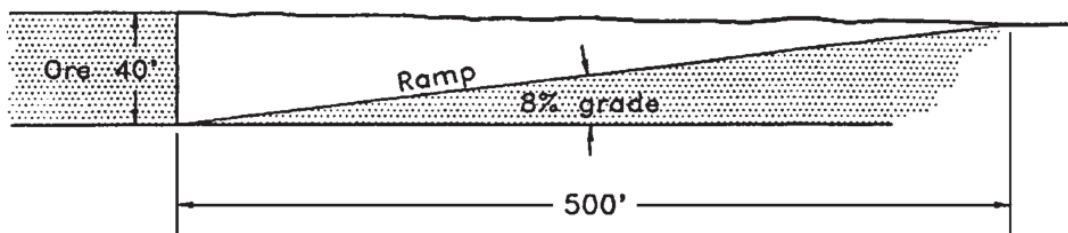
Σχ. 22: Κυκλικό εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα, στο οποίο είναι εμφανής τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (Hustrulid, 1979).

Σε δεύτερη φάση Σχ. 23 δημιουργείται ράμπα μεταφοράς, έτσι ώστε να επιτραπεί πρόσβαση στον μηχανολογικό εξοπλισμό, στο επίπεδο από το οποίο θα ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία. Κατά την έναρξη της εκσκαφής όταν δημιουργούνται κάθετα διατρήματα για την αρχική διάνοιξη, απαιτείται η ύπαρξη τουλάχιστον μίας κάθετης ελεύθερης επιφάνειας. Τα προϊόντα της ανατίναξης (θραυσμένο υλικό) κινούνται κάθετα και προς τα πάνω, με περιορισμένη πλάγια κίνηση (Hustrulid, 1979). Αυτό επιφυλάσσει κίνδυνο λόγω άτακτης εκτίναξης υλικού. Για την δημιουργία φιλικών συνθηκών εκσκαφής, σημαντικός παράγοντας είναι η απόσταση των διατρημάτων. Όσο πιο πυκνά είναι τόσο πιο ευνοϊκό θα είναι το αποτέλεσμα.

Παράδειγμα κατασκευής ράμπας προσέγγισης του κοιτάσματος

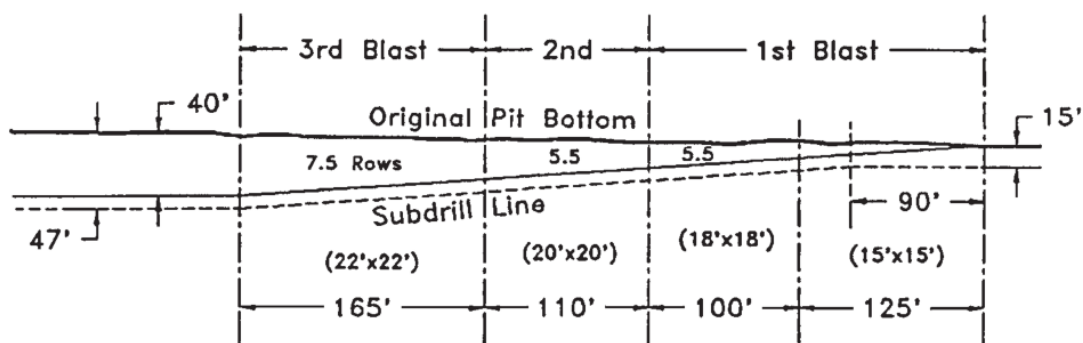
Για την προσέγγιση του κυκλικού κοιτάσματος πάχους 12.19m κατασκευάζεται ράμπα κλίσης 8% και πλάτους 19.81m. Για την επίτευξη της κλίσης, το μήκος της οριζόντιας προβολής της ράμπας είναι 152.4m. (βλέπε Σχ. 23). Όταν το έδαφος είναι χαλαρό, η κατασκευή της ράμπας πραγματοποιείται από εκσκαφέα μετωπικού κάδου ενώ όταν το έδαφος είναι αρκετά σκληρό προηγείται αυτού κατάλληλο σχέδιο διάτρησης – ανατίναξης.

Για την κατασκευή της ράμπας με σχέδιο διάτρησης – ανατίναξης, ορύσσονται αρχικά διατρήματα ίδιου μήκους, ώστε το πρώτο μέρος της ράμπας να επικαλύπτεται από ανατιναγμένο υλικό. Σε δεύτερη φάση ορύσσονται διατρήματα μεταβλητού μήκους, με σκοπό το τελευταίο τμήμα της να βρίσκεται σε σωστή τοποθέτηση (βλέπε Σχ. 24). Αρχικά η διάνοιξη της ράμπας διαιρείται σε 3 τμήματα και πραγματοποιείται ανατίναξη υλικού σε κάθε τμήμα. Τα διατρήματα που χρησιμοποιούνται έχουν διάμετρο 22.86cm, 17.78cm, 20.32cm.



Σχ. 23: Διαστασιολόγηση ράμπας για την προσέγγιση σε κοιτάσμα (Hustrulid, 1979).

Το ελάχιστο βάθος των διατρημάτων για την διάνοιξη της ράμπας είναι 4.57m και η όρυξή τους ξεκινά μετά τα πρώτα 27.43m σε οριζόντιο επίπεδο. Μετά τα πρώτα 27.43m το βάθος κοπής διατηρείται στα 2.13m έως τον πυθμένα του κοιτάσματος.



Σχ. 24: Σχέδιο ανατίναξης για την διάνοιξη της ράμπας (Hustrulid, 1979).

Επιπλέον παράμετρος σχεδιασμού αποτελεί το ελάχιστο πλάτος της ράμπας, το οποίο καθορίζεται από τις διαστάσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Στο 4^ο Κεφάλαιο δίνονται διαγράμματα διαστασιολόγησης του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται. Οι απαιτούμενοι παράμετροι σχεδιασμού είναι τα “Κ” , “J” (βλέπε Σχ. 35). Ενώ το ελάχιστο πλάτος της ράμπας υπολογίζεται από το άθροισμα των “Κ + J”.

Όγκος εξόρυξης υλικού για την εκσκαφή της ράμπας:

$$Ramp\ volume = \frac{1}{2} * H * \frac{100 * H}{g} * R_w\ (m^3)$$

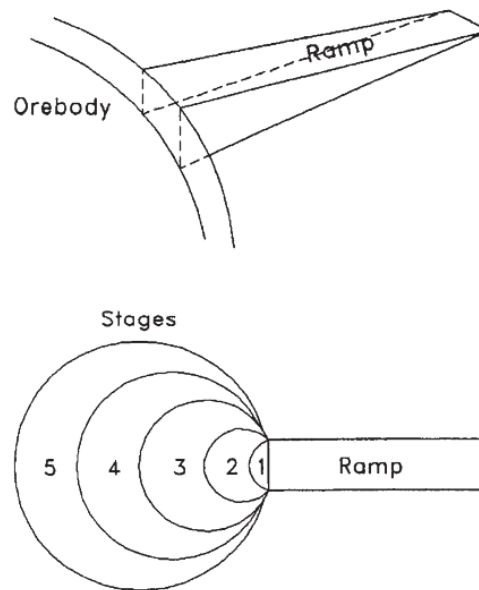
- H[m]: ύψος εκσκαφής
- R_w [m]: μέση τιμή πλάτους ράμπας
- g: κλίση δαπέδου ράμπας σε %

Αν για παράδειγμα, η ράμπα αντί να διανοιχτεί εξωτερικά του κοιτάσματος (βλέπε Σχ. 25), θα διανοιχτεί στο εσωτερικό του κοιτάσματος, τότε η εκμετάλλευση

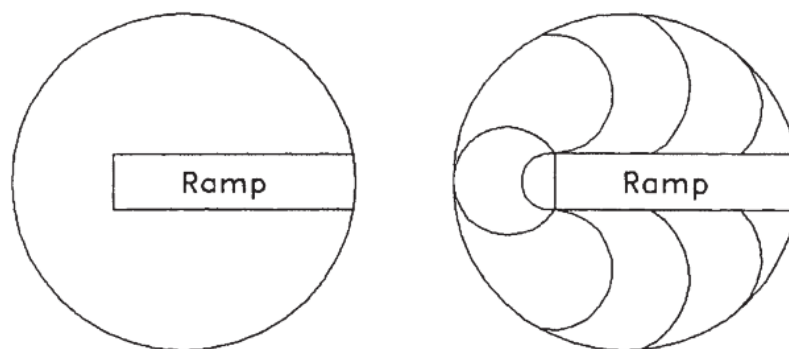
του κοιτάσματος θα πραγματοποιηθεί προς τα πίσω (βλέπε Σχ. 26). Και στις δύο περιπτώσεις μετά την διάνοιξη της ράμπας είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά του κοιτάσματος, η εκμετάλλευσή του πραγματοποιείται με κατακόρυφα κυκλικά μέτωπα εξόρυξης. Οπότε ο όγκος εξόρυξης υλικού υπολογίζεται:

$$\text{Ore volume} = \frac{\pi * D^2 * H}{4} \text{ (m}^3\text{)}$$

- D[m]: διάμετρος κατακόρυφων κυκλικών μετώπων
- H[m]: ύψος εκσκαφής



Σχ. 25: Διάνοιξη ράμπας προσέγγισης εξωτερικά του κοιτάσματος, και σε δεύτερη φάση η εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε κατακόρυφα κυκλικά μέτωπα εξόρυξης ([Hustrulid, 1979](#)).



Σχ. 26: Διάνοιξη ράμπας προσέγγισης εσωτερικά του κοιτάσματος (αριστερά), και στα δεξιά σε δεύτερη φάση η όπισθεν εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε κατακόρυφα κυκλικά μέτωπα εξόρυξης ([Hustrulid, 1979](#)).

Αξίζει να αναφερθεί ότι η διάνοιξη της ράμπας προσέγγισης εντός του κοιτάσματος (βλέπε Σχ. 26), μετά το πέρας της εκμετάλλευσης θα παραμείνει ως έχει, με

αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση του μεταλλεύματος ως προς τα τελικά μεταλλευτικά αποθέματα. Σε σχέση με την πρώτη περίπτωση Σχ. 25 που πραγματοποιείται 100% εκμετάλλευση του μεταλλεύματος.

3.2.3 Μέτωπα εξόρυξης

Τα μέτωπα εξόρυξης αποτελούν κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης. Ανάλογα με την μορφή της υπαίθριας εκσκαφής διακρίνονται σε:

- τάφροι
- μέτωπα κατά την φυσική επιφάνεια
- ορθές βαθμίδες

Τάφροι

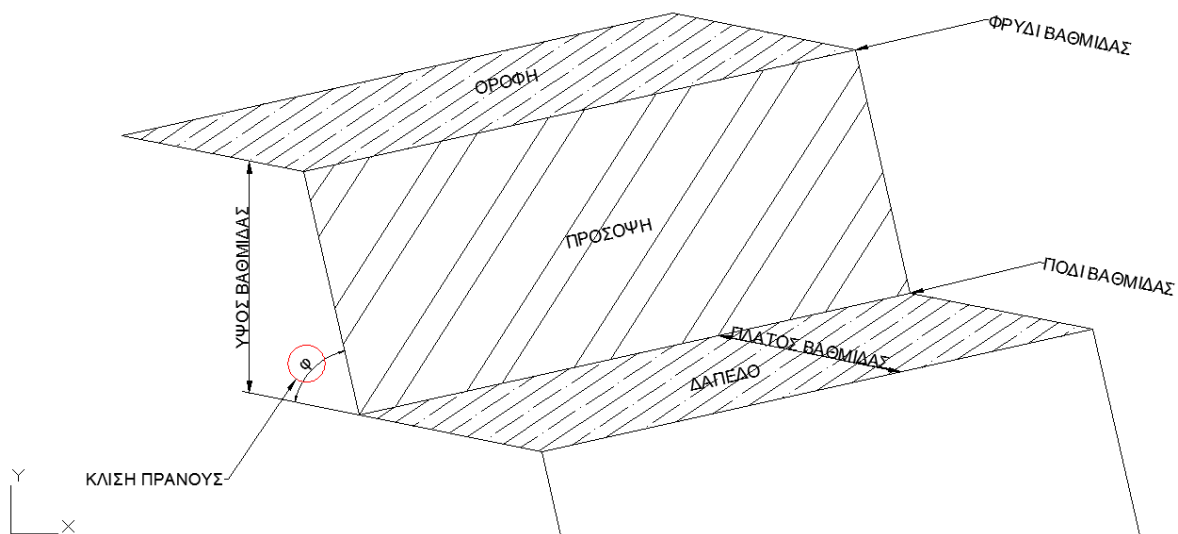
Αποτελούν στενές και επιμήκεις εκσκαφές με σχετικά μικρό βάθος. Το πέτρωμα προσβάλλεται επί κατακόρυφου επιπέδου ή κατευθείαν επί της φυσικής επιφάνειας. Οι τάφροι χρησιμοποιούνται μόνο για την προσπέλαση των κοιτασμάτων και για την διάνοιξη νέων βαθμίδων και παρουσιάζουν μία ή δύο ελεύθερες επιφάνειες, ανάλογα με τον τρόπο προσβολής τους.

Μέτωπα κατά την φυσική επιφάνεια

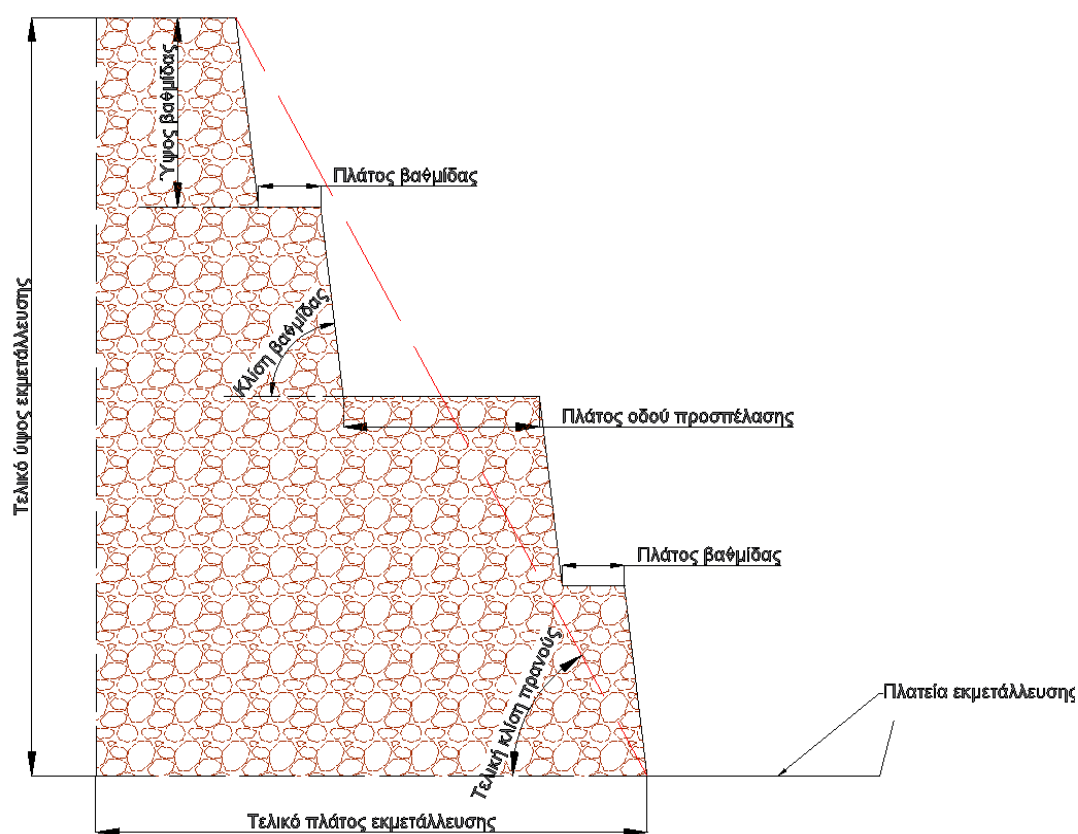
Το πέτρωμα προσβάλλεται παράλληλα προς την φυσική επιφάνεια του εδάφους και εξορύσσεται κατά ισοπαχείς περίπου πλάκες μικρού πάχους (5m). Τέτοιος τύπος μετώπων συναντάται σε μικρές εκσκαφές (μικρού βάθους). Τα μέτωπα αυτά παρουσιάζουν μία μόνο ελεύθερη επιφάνεια και έχουν κατά κανόνα σημαντικές διαστάσεις σε ότι αφορά την διάσταση του πλάτους, ενώ η διαδρομή τους είναι περιορισμένη.

Ορθές βαθμίδες

Αποτελούν την πιο σύνηθες μορφή υπαίθριου μετώπου. Αποτελούνται από δύο ελεύθερες επιφάνειες, μία οριζόντια επιφάνεια που ονομάζεται δάπεδο και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη επιφάνεια επί της οριζόντιας επιφάνειας, η οποία ονομάζεται μουρέλο ή πρόσοψη (βλέπε Σχ. 27). Το ύψος κάθε βαθμίδας κυμαίνεται από 10 έως 15 μέτρα (βαδίζοντας πάντα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών Κ.Μ.Λ.Ε.), ενώ το πλάτος κάθε βαθμίδας μεταβάλλεται ανάλογα με τις εργασίες παραγωγής. Μία ενδεικτική τιμή είναι 6m πλάτος για την τελική φάση της εκμετάλλευσης και 10m πλάτος κατά την παραγωγική διαδικασία της εκμετάλλευσης (Hustrulid, 1979). Κριτήριο για την διαμόρφωση του πλάτους είναι οι διαστάσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού που εργάζεται στην υπαίθρια εκσκαφή. Ακολουθούν σχήματα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ορθών βαθμίδων (βλέπε Σχ. 27, 28).



Σχ. 27: Τρισδιάστατη απεικόνιση των γεωμετρικών παραμέτρων της υπαίθριας βαθμίδας.



Σχ. 28: Τομή τελικής φάσης υπαίθριας εκμετάλλευσης. Διακρίνονται όλοι οι βασικοί παράμετροι σχεδιασμού.

Στα Σχ. 27 και Σχ. 28 ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι σχεδιασμού όπως διαμορφώνονται σε μία υπαίθρια εκμετάλλευση.

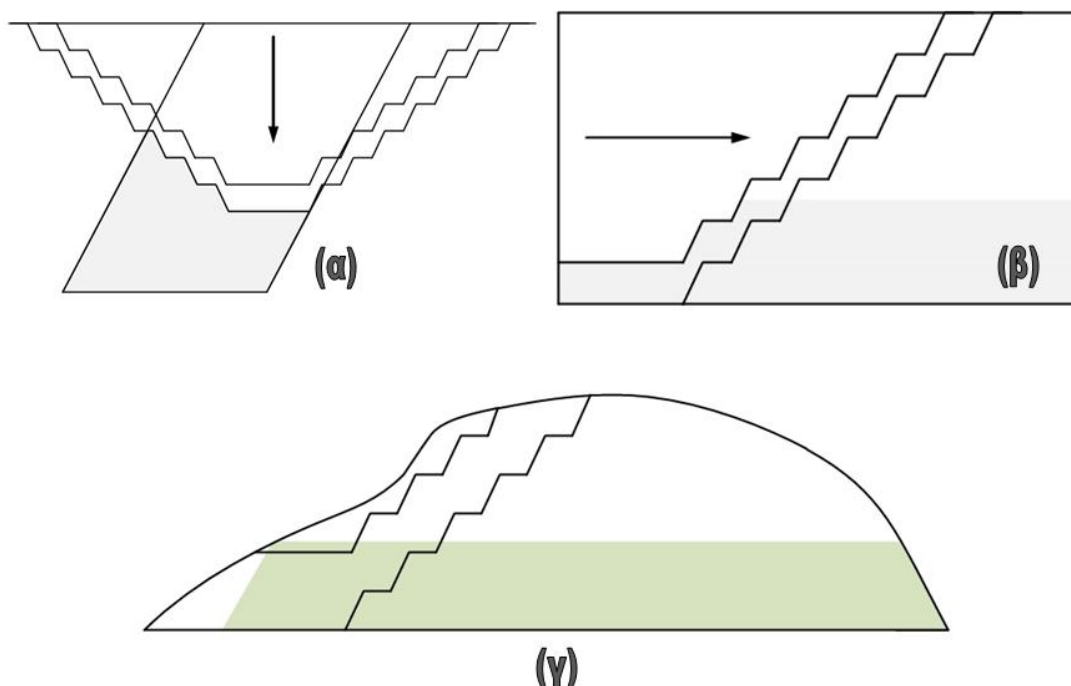
- Ύψος βαθμίδας: ονομάζεται το γεωμετρικό ύψος που οριοθετείται από την οροφή και το δάπεδο της κάθε βαθμίδας.
- Πλάτος βαθμίδας: ονομάζεται το γεωμετρικό πλάτος που οριοθετείται από το πόδι της εν λόγω βαθμίδας και από το φρύδι της αμέσως κατώτερης βαθμίδας.
- Οροφή: ονομάζεται η ανώτερη οριζόντια επιφάνεια της υπαίθριας βαθμίδας.
- Δάπεδο: ονομάζουμε την κατώτερη οριζόντια επιφάνεια της υπαίθριας βαθμίδας.
- Κλίση πρανούς (ϕ): ονομάζεται και κλίση της βαθμίδας ή κλίση της προσόψεως της υπαίθριας βαθμίδας και προσδιορίζεται ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Φρύδι βαθμίδας: είναι η ανώτερη ακμή της προσόψεως της υπαίθριας βαθμίδας.
- Πόδι βαθμίδας: είναι η κατώτερη ακμή της προσόψεως της υπαίθριας βαθμίδας.
- Πρόσοψη: είναι η κάθετη ή κεκλιμένη επιφάνεια της υπαίθριας βαθμίδας.
- Τελικό ύψος εκμετάλλευσης: ονομάζεται το γεωμετρικό ύψος που καθορίζεται από το ανώτερο υψόμετρο και το κατώτερο υψόμετρο της υπαίθριας εκμετάλλευσης.
- Τελικό πλάτος εκμετάλλευσης: ονομάζεται το γεωμετρικό πλάτος κατά το οποίο εκτείνεται η εκμετάλλευση.
- Πλάτος οδού προσπέλασης: ονομάζεται το πλάτος του δρόμου που συνδέει όλα τα επίπεδα της υπαίθριας εκμετάλλευσης.
- Τελική κλίση πρανούς: ονομάζεται η τελική κλίση της εκμετάλλευσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Πλατεία εκμετάλλευσης: ονομάζεται ο χώρος που εκτείνεται από το πόδι της κατώτερης βαθμίδας έως το πόδι της απέναντι κατώτερης βαθμίδα (σε εκμεταλλεύσεις κλειστού τύπου), και από το πόδι της κατώτερης βαθμίδας έως την ακμή της πλαγιάς (σε εκμεταλλεύσεις ανοικτού τύπου).

Η εκκίνηση της εκσκαφής στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ξεκινάει από την υψηλότερη βαθμίδα. Σε χαλαρά υλικά η εξόρυξη πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα, ενώ σε σκληρά πετρώματα χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες. Για την προχώρηση της εκσκαφής απαιτείται η επίτευξη ικανοποιητικού πλάτους για την εκκίνηση της εξόρυξης υλικού, στην αμέσως επόμενη βαθμίδα. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το κατώτερο σημείο (πόδι της βαθμίδας) ώστε να επιτευχθεί το τελικό υψόμετρο της βαθμίδας.

3.3 Τύποι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων

Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις με βάση την τοπογραφία της περιοχής επιλέγεται ανοικτού ή κλειστού τύπου εκμετάλλευση με ορθές βαθμίδες. Η εκσκαφή ανοικτού τύπου χρησιμοποιείται σε λοφώδη τοπογραφία και η υπαίθρια ορθή βαθμίδα εκκινεί επί ισοϋψούς καμπύλης, επί της οποίας χαράσσεται με χρήση προωθητού γαιών. Η κλειστού τύπου εκσκαφή επιλέγεται σε πεδινά εδάφη, για την εκκίνηση βαθμίδας σε

κλειστή εκσκαφή αρχικά διανοίγεται τάφρος η οποία τοποθετείται κατά τον μακρύτερο άξονα της εκσκαφής (βλέπε Σχ. 29).



Σχ. 29: Τύποι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. (α, β) κλειστή εκμετάλλευση αναπτυσσόμενη εις βάθος και οριζοντίως αντίστοιχα, (γ) ανοικτή εκμετάλλευση (Εξαδάκτυλος, 2007).

3.4 Η κλίση της εκμετάλλευσης

Η κλίση της εκμετάλλευσης αποτελεί παράγοντα σχεδιασμού συναρτήσει του ύψους και του πλάτους του δαπέδου της βαθμίδας. Για το λόγο αυτό, σε κάθε σχεδιασμό υπαίθριας εκσκαφής λαμβάνεται και τηρείται αυστηρά ο (Κ.Μ.Λ.Ε) έτσι ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο ύψος με το ελάχιστος πλάτος βαθμίδας και αντίστοιχα. Το πόρισμα το οποίο προκύπτει, αναφέρει πως όσο μεγαλύτερη είναι η τελική κλίση της εκμετάλλευσης τόσο πιο ευνοϊκή είναι η σχέση αποκάλυψης ή για σταθερή σχέση αποκάλυψης, τόσο μεγαλύτερη η απόληψη σε χρήσιμο υλικό.

Ως σχέση αποκάλυψης ονομάζεται ο όγκος ή το βάρος των αγόνων υλικών που απομακρύνονται ώστε να εξορυχτεί μια μονάδα (τή m^3) χρήσιμου υλικού.

$$\text{Σχέση αποκάλυψης} = \frac{\text{Άγονο υλικό (m}^3 \text{ ή ton)}}{\text{Χρήσιμο υλικό (m}^3 \text{ ή ton)}}$$

3.5 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων για την επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού

Για την επιλογή του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ελέγχουμε τις κάτωθι τρεις παραμέτρους σχεδιασμού:

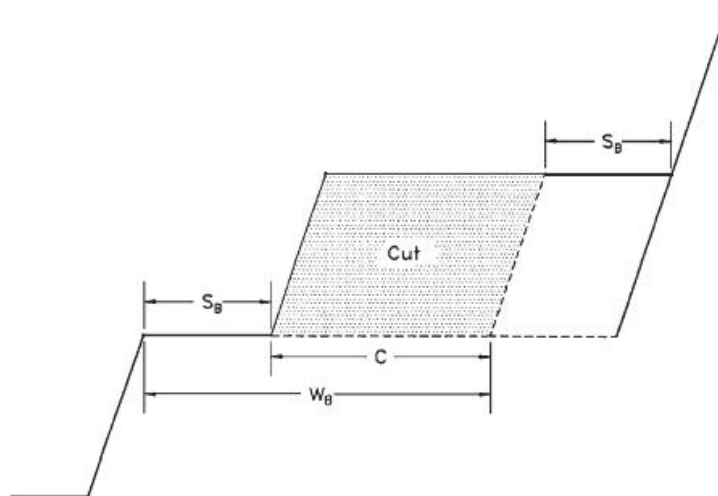
- πλάτος βαθμίδας
- κλίση βαθμίδας
- κλίση ράμπας (οδών μεταφοράς υλικού εντός της εκσκαφής)

Το κάθε μηχάνημα έχει γεωμετρικά χαρακτηριστικά που συμβάλουν στον σχεδιασμό των μετώπων εργασίας. Σε μία υπαίθρια εκμετάλλευση ο συνήθης μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι:

- εξοπλισμός διάτρησης
- εξοπλισμός φόρτωσης – μεταφοράς

Στην τελική φάση της υπαίθριας εκμετάλλευσης, αφήνεται πάντα ένα πλάτος ασφαλείας το οποίο χρησιμοποιείται για:

- την συγκέντρωση του υλικού που πέφτει από τις παραπάνω βαθμίδες
- την αποφυγή κατολισθήσεων ογκοτεμαχίων πετρώματος.



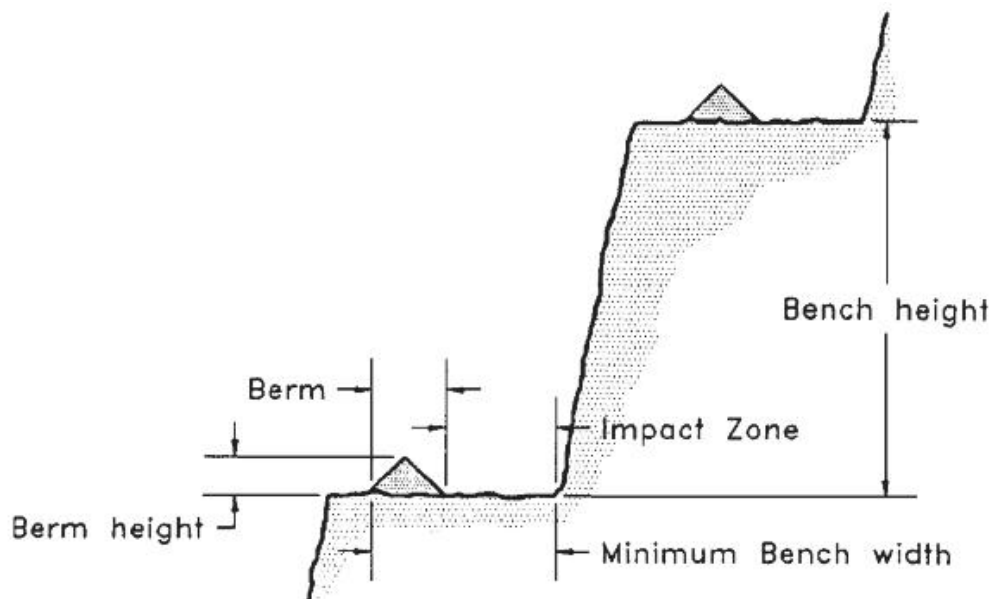
Σχ. 30: Τομή παραγωγικού μετώπου υπαίθριας εκμετάλλευσης (Hustrulid, 1979).

Στο Σχ. 30 ορίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού, με το σύμβολο “ S_B ” το πλάτος βαθμίδας το οποίο διαμορφώνεται μετά την εξόρυξη του όγκου (Cut). Μετά την εξόρυξη του όγκου “Cut” απελευθερώνεται ένα μήκος “C” το οποίο ήταν δεσμευμένο λόγω του όγκου του υλικού. Το καινούργιο πλάτος βαθμίδας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οδό προσπέλασης ονομάζεται “ W_B ” και εξαρτάται από τις διαστάσεις του όγκου εξόρυξης.

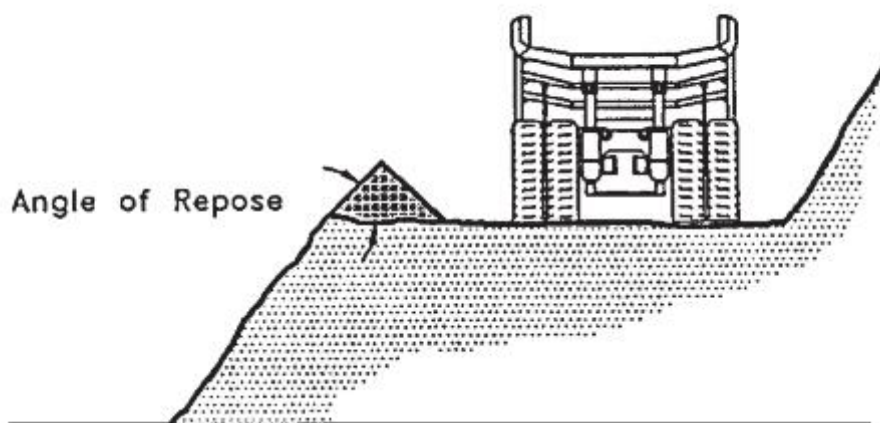
Σε ανοικτή εκσκαφή το πλάτος ασφαλείας της κάθε βαθμίδας αντιστοιχεί περίπου στα 2/3 του ύψους της κάθε βαθμίδας (Hustrulid, 1979). Σε μερικές

περιπτώσεις συνηθίζεται κατά το τελικό στάδιο της εκμετάλλευσης, το πλάτος της εξοφλημένης βαθμίδας είναι περίπου 1/3 του ύψους της (*Hustrulid, 1979*). Πολλές φορές κατά το τελικό στάδιο διαμορφώνονται διπλές βαθμίδες. Βασικό πλεονέκτημα τους είναι το διπλό ύψος του πρανού, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα με δεδομένη γωνία κλίσης να διαμορφώνεται διπλό πλάτος. Κατά το πέρας της εκμετάλλευσης πραγματοποιείται ομαλή ή ελεγχόμενη ανατίναξη σκοπός της οποίας, είναι η δημιουργία του τελικού περιγράμματος των βαθμίδων, και την διατήρηση του εντατικού πεδίου των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της βράχο-μάζας. Σε κάθε δάπεδο βαθμίδας δημιουργείται ένα χαντάκι μεταξύ του αναχώματος (berm) και του ποδιού της βαθμίδας (βλέπε Σχ. 31) , με σκοπό την συγκράτηση πιθανής πτώσης ογκοτεμαχίων πετρώματος. Τέλος δημιουργούνται αναχώματα από θραυσμένα υλικά (berms). Δημιουργούνται ακριβώς στο όριο φρυδιού βαθμίδας και στο πέρας του πλάτους της βαθμίδας ώστε να λειτουργούν ως προειδοποιητικά για τους οδηγούς του μηχανολογικού εξοπλισμού (βλέπε Σχ. 32). Τα χαρακτηριστικά αυτών των αναχωμάτων είναι:

- έχουν ύψος μεγαλύτερο ή ίσο με μία ακτίνα του ελαστικού του μηχανήματος
- η κλίση τους είναι 35° (*Hustrulid, 1979*)
- κατασκευάζονται από τα στεία θραυσμένα υλικά της ανατίναξης.



Σχ. 31: Τομή τελικής φάσης εκμετάλλευσης. Διακρίνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις του αναχώματος (berm) και το τελικό πλάτος του δαπέδου βαθμίδας (*Hustrulid, 1979*).



Σχ. 32: Απεικόνιση μηχανολογικού εξοπλισμού σε δάπεδο βαθμίδας (Hustrulid, 1979).

Σε μεγάλες εκσκαφές πολλές φορές, όταν χρησιμοποιούνται οδοί μεταφοράς δύο κατευθύνσεων κατασκευάζεται ένα ανάχωμα επιπλέον στο κέντρο του δρόμου, για να διαχωρίζει τις δύο κατευθύνσεις του δρόμου. Σε μία απλή εκμετάλλευση οι παραγωγικές λειτουργίες διατάσσονται, με την διαδικασία διάτρησης να πραγματοποιείται μακριά και σε διαφορετική επιφάνεια, από το σημείο ή το μέτωπο στο οποίο εργάζονται φορτηγά και εκσκαφείς. Αυτό έχει σκοπό την μείωση της πιθανότητας κινδύνου. Άλλη μία από τις παραμέτρους διαμόρφωσης της βαθμίδας είναι το ύψος της που παίρνει τιμές έως 15m για μικρές και μεσαίες εκσκαφές και έως τα 12m για μεγάλες. Πολλές φορές σε μικρά κοιτάσματα, π.χ. σε κοιτάσματα χρυσού το ύψος της βαθμίδας μπορεί να καθοριστεί στα 7,5m. Η επιλογή του ύψους της βαθμίδας καθορίζεται με βάση το μηχανολογικό εξοπλισμό φόρτωσης – μεταφοράς του υλικού. Με την εισαγωγή και την χρήση ελαστικοφόρων ή ερπυστριοφόρων δομικών μηχανών στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, έχει βελτιστοποιηθεί κατά πολύ η διαδικασία της εξόρυξης και της διαμόρφωσης των βαθμίδων, σε σχέση με παλαιότερα που χρησιμοποιούσαν σιδηροτροχιές για την κίνηση του μηχανολογικού εξοπλισμού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΜΕΤΩΠΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η παραγωγική διαδικασία του υδραυλικού εκσκαφέα με το χωματουργικό αυτοκίνητο οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) στην υπαίθρια εκμετάλλευση. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να δοθεί έμφαση στο τρόπο με τον οποίο τα δύο μηχανήματα εργάζονται, ομαδικά με στόχο την επίτευξη της απαιτούμενης παραγωγής του εργοταξίου.

4.1 Παρουσίαση μηχανημάτων

Τα μηχανήματα που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη της παραγωγής της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι:

- ο υδραυλικός εκσκαφέας γενικής χρήσεως με μετωπικό κάδο λειτουργίας της εταιρίας LIEBHERR (R9350) (βλέπε Σχ. 33).
- το χωματουργικό αυτοκίνητο οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) της εταιρίας Komatsu (HD785-7).

Σημείωση: Η επιλογή των μηχανημάτων έγινε τυχαία και δεν έχει σαν στόχο την προώθηση τους μέσα από την Διπλωματική εργασία. Επίσης η σχεδίαση τους πραγματοποιήθηκε με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους που δίνονται σε κάθε εγχειρίδιο λειτουργίας, κάθε μηχανήματος (βλέπε βιβλιογραφία).

4.1.1 Παρουσίαση υδραυλικού εκσκαφέα LIEBHERR (R9350)

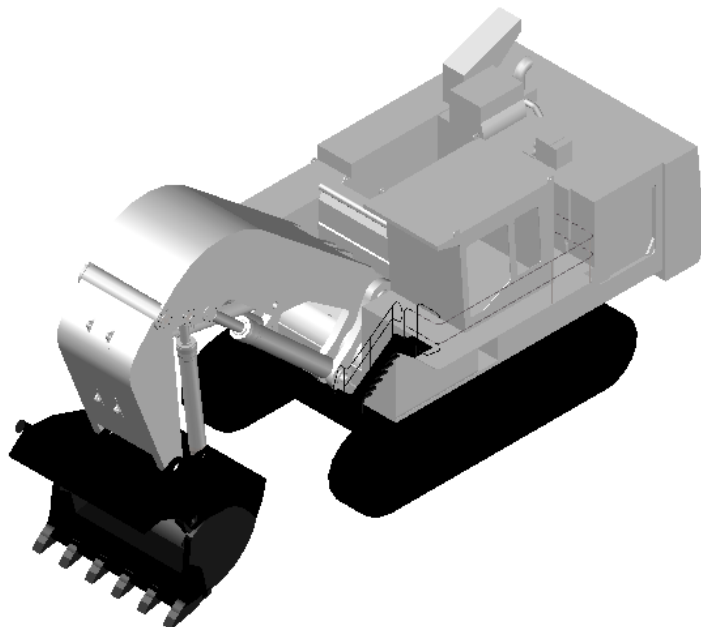
Για την επιλογή του κατάλληλου εκσκαφέα λαμβάνονται υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος, η κατάσταση του εδάφους στην οποία θα εργαστεί, η ακτίνα εκσκαφής και όλα τα χαρακτηριστικά του κάδου εκσκαφής. Στο κεφάλαιο 2 στο Σχ.15 και στους Πίν. 1 και Πίν. 2 δίνονται οι προδιαγραφές του LIEBHERR (R9350) (εγχειρίδιο LIEBHERR R9350).

Υδραυλικός εκσκαφέας: LIEBHERRR9350			
Ονομασία:	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Ωφέλιμο φορτίο κάδου	M_{ϕ}	45,00	t (Mp)
Όγκος κάδου:	V_{ϕ}	18,00	m ³
Συντελεστής πλήρωσης:	Φ_{ϕ}	1,05	-
Χρόνος κύκλου φόρτωσης:	t_{ϕ}	2,00	min
Ισχύς:		1500	HP
Κόστος κτήσης:		-	€/μηχάνημα
Κατανάλωση:		-	lt/HP/hr

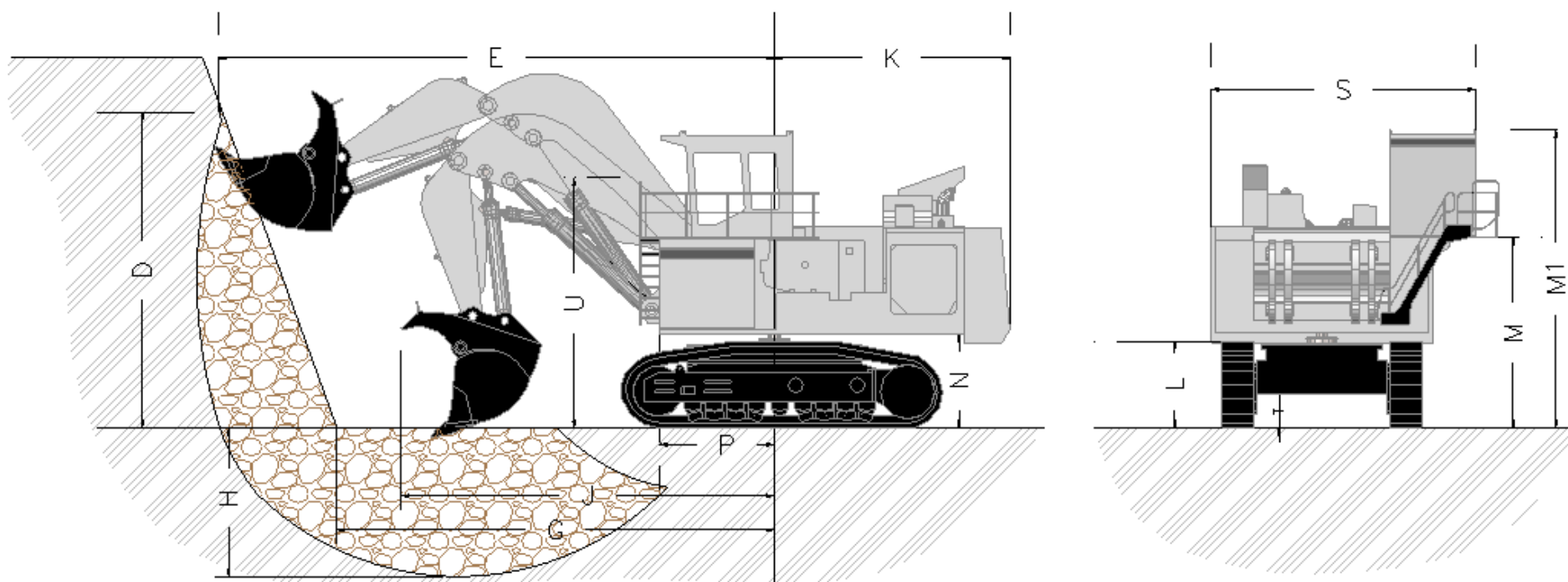
Πίν. 3: Περιγραφή των χαρακτηριστικών του κάδου του εκσκαφέα, του χρόνου φόρτωσης και της ισχύς του κινητήρα.



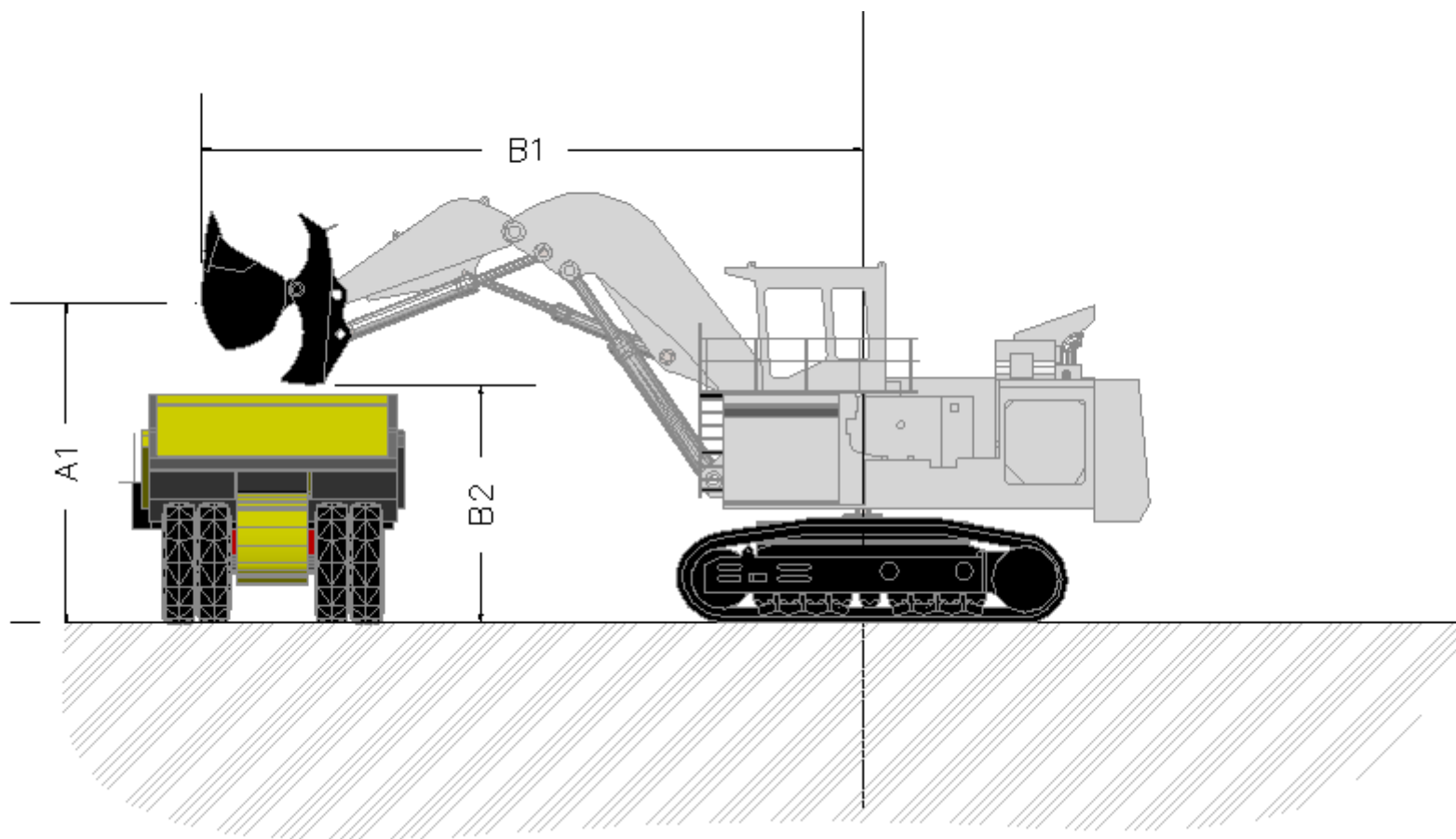
Σχ. 33: Υδραυλικός εκσκαφέας μετωπικού κάδου LIEBHERR (R9350) (*εγχειρίδιο LIEBHERR R9350*).



Σχ. 34 : Τρισδιάστατο μοντέλο του υδραυλικού εκσκαφέα όπως αυτό σχεδιάστηκε στο Autocad.



Σχ. 35: Διαστασιολόγηση παραμέτρων σχεδιασμού εκσκαφέα κατά την εκσκαφή.



Σχ. 36: Διαστασιολόγηση παραμέτρων σχεδιασμού εκσκαφέα κατά τη φόρτωση.

Αναλυτική περιγραφή των παραμέτρων διαστασιολόγησης των Σχ. 35 & Σχ. 36 του εκσκαφέα στο χώρο εργασίας:

- **E:** Μέγιστη ακτίνα εκσκαφής ως προς τον άξονα περιστροφής του εκσκαφέα.
- **K:** Ελεύθερη ακτίνα περιστροφής του μηχανήματος.
- **D:** Μέγιστο ύψος εκσκαφής του μετώπου από το δάπεδο εργασίας.
- **H:** Μέγιστο βάθος εκσκαφής κάτω από το δάπεδο εργασίας.
- **G:** Ακτίνα περιστροφής του εκσκαφέα στο δάπεδο εργασίας.
- **P:** Απόσταση από το πόδι του βραχίονα έως το κέντρο του άξονα περιστροφής του εκσκαφέα.
- **U:** Ορατό επίπεδο χειριστή.
- **N:** Ύψος ερπύστριας από το δάπεδο εργασίας.
- **S:** Συνολικό πλάτος μηχανήματος (μαζί με την καμπίνα χειριστού).
- **M1:** Ανώτερο ύψος της καμπίνας χειρισμού.
- **M:** Ανώτερο ύψος κελύφους του κινητήρα.
- **L:** Ελεύθερος χώρος πέδilu ερπύστριας πάνω από το δάπεδο εργασίας.
- **T:** Ελεύθερος χώρος κάτω από την βάση του εκσκαφέα έως το δάπεδο εργασίας.
- **A1:** Ύψος εκκένωσης του κάδου όταν ο βραχίονας βρίσκεται σε ακτίνα (**B1**).
- **B1:** Μέγιστο μήκος μηχανήματος ως προς τον άξονα περιστροφής του, όταν ο κάδος βρίσκεται σε ύψος (**A1**) για την εκκένωση του κάδου.
- **B2:** Μέγιστο ύψος απόρριψης του κάδου από το δάπεδο εργασίας.

Σημείωση: Τα σχέδια διαστασιολόγησης βρίσκονται σε κλίμακα στο παράρτημα σχεδίων.

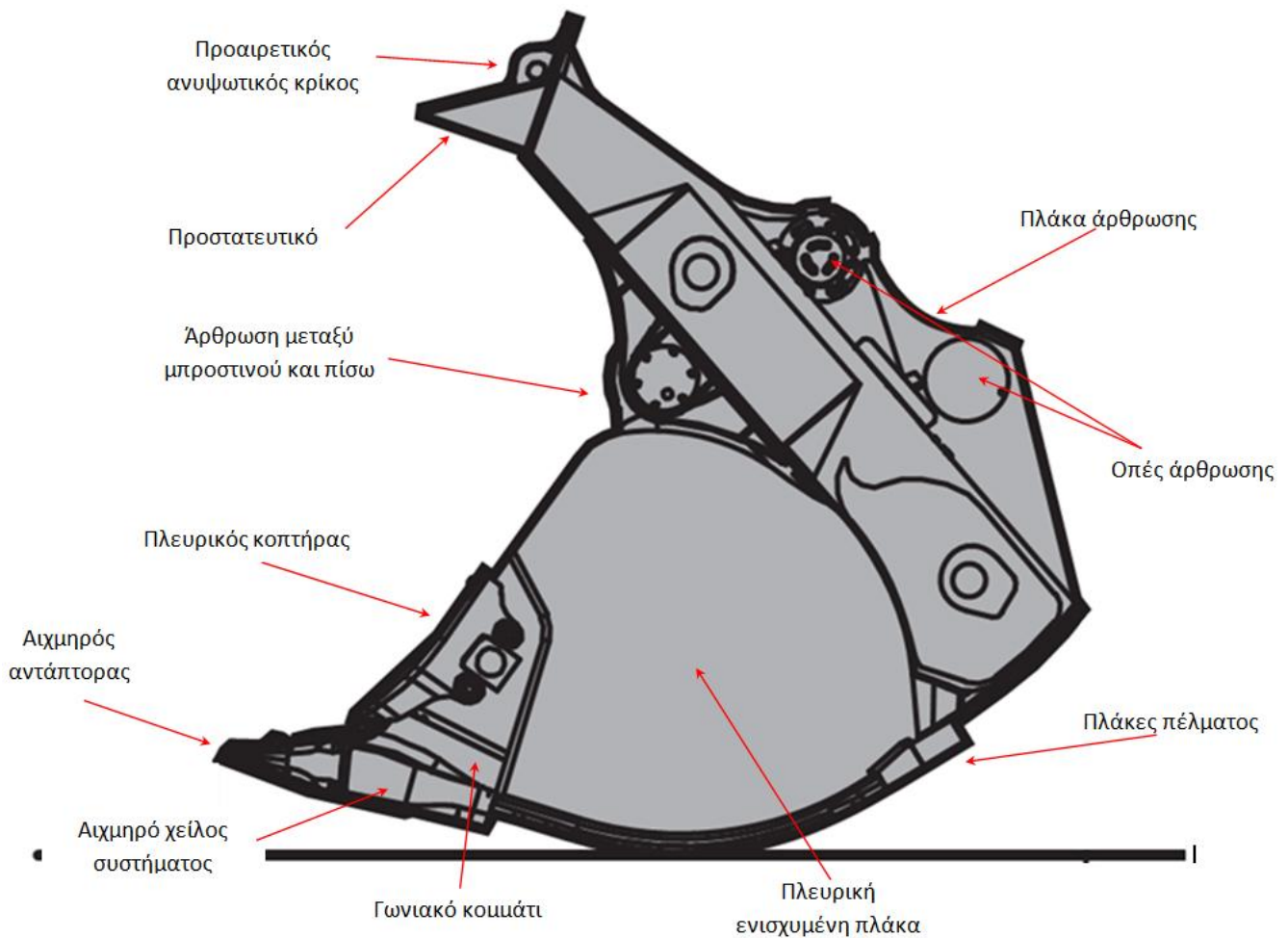
4.1.2 Μοντέλο κίνησης υδραυλικού εκσκαφέα

Κατά το στάδιο διεξαγωγής της εκσκαφής, προκειμένου ο εκσκαφέας να εξορύξει την απαραίτητη ποσότητα υλικού, χρειάζεται και την απαραίτητη ώθηση ώστε να κόψει το υλικό. Σ αυτή την ενότητα περιγράφεται ο κινηματικός μηχανισμός εκσκαφής του υδραυλικού εκσκαφέα.

Ο βραχίονας του εκσκαφέα αποτελείται από υδραυλικούς κυλίνδρους, και από τρία μεταλλικά τμήματα. Τα τμήματα αυτά είναι **ο πρόβολος, ο κανόνας και ο κάδος** του εκσκαφέα. Το όλο σύστημα είναι συνδεδεμένο με τέτοιο τρόπο ώστε το αποτέλεσμα της κίνησής του να είναι μια ημικυκλική κίνηση.

Περιγραφή κάδου εκσκαφέα.

Στο Σχ. 12 περιγράφονται τα αποσπώμενα τμήματα του κάδου. Πέραν αυτών ο κάδος αποτελείται και από δομικά στοιχεία ενίσχυσης, τα οποία προσδίδουν σε αυτόν επιπλέον αντοχή καθώς επίσης και κοπτικά άκρα. Στο Σχ. 37 παρουσιάζεται η ανάλυση του κάδου του εκσκαφέα στα επιμέρους δομικά στοιχεία ενίσχυσής του και στα κοπτικά άκρα του.

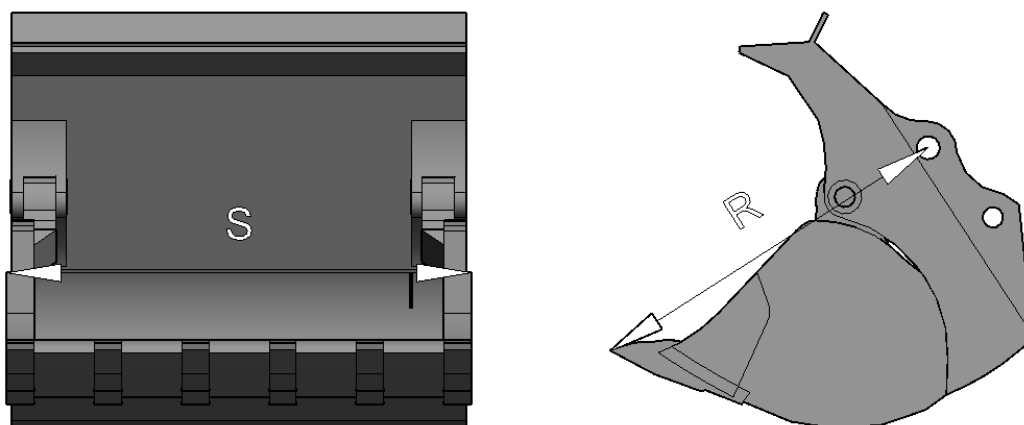


Σχ. 37: Αναλυτική περιγραφή του κάδου του εκσκαφέα.

Μέγιστη χωρητικότητα κάδου

Ως μέγιστη χωρητικότητα ενός κάδου, ονομάζεται ο όγκος του υλικού πάνω από την επιφάνεια απομάκρυνσης, καθώς επίσης και ο όγκος του υλικού που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια απομάκρυνσης, όταν η σωρός του υλικού σχηματίζει με την επιφάνεια αναφοράς γωνία 1:1 (βλέπε Σχ. 14). Για την μέγιστη πλήρωση του κάδου, πραγματοποιείται διείσδυση αυτού με την εφαρμογή των δυνάμεων που αναπτύσσονται από τον κύλινδρο κίνησης του κάδου (FB) και από τον κύλινδρο κίνησης του κανόνα (FS) (Σχ. 40). Οι δυνάμεις αυτές ονομάζονται, ονομαστικές δυνάμεις εκσκαφής, διότι έχουν την ικανότητα να εξασκούνται στο εξωτερικό σημείο αιχμής των δοντιών του κάδου. Προέρχονται από την εφαρμογή υψηλής υδραυλικής πίεσης, η οποία παράγεται από τους κυλίνδρους του συστήματος.

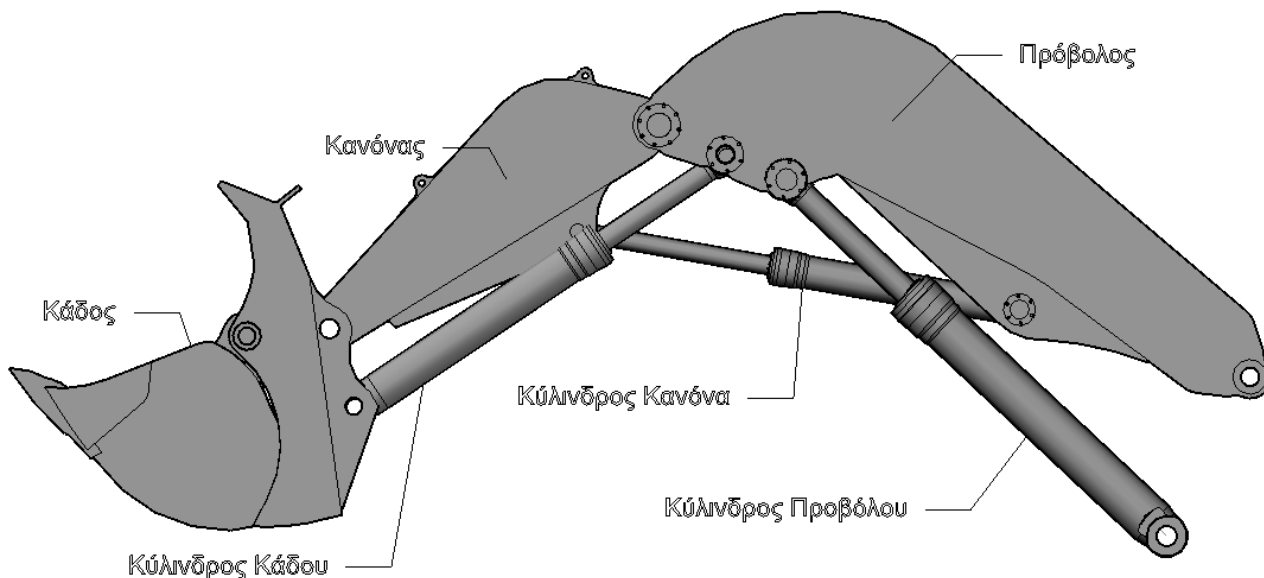
Ο συνδυασμός των δυνάμεων κίνησης του κανόνα (FS) και του κάδου (FB), δίνουν μία μηχανική διαμόρφωση για την επιλογή του πιο αποτελεσματικού κάδου, με διείσδυση της κοπτικής αιχμής σε χιλιοστά (mm). Οι μεγάλες δυνάμεις διείσδυσης έχουν σαν αποτέλεσμα εύκολη φόρτωση του κάδου, σε αντίθεση με τις πιο μικρές όπου η φόρτωση διεξάγεται πιο δύσκολα. Για να επιτευχθούν μεγάλες δυνάμεις διείσδυσης, θα πρέπει να επιλέγεται κάδος με κατάλληλες προδιαγραφές, για τις εκάστοτε συνθήκες του εδάφους. Βασικοί παράγοντες είναι το πλάτος του κάδου και η ακτίνα περιστροφής του (βλέπε Σχ. 38). Γενικότερα οι ευρύχωροι κάδοι (κάδοι με μεγάλο πλάτος), χρησιμοποιούνται στην εκσκαφή χαλαρών υλικών, ενώ οι στενοί στην εκσκαφή πιο σκληρών υλικών. Στους μικρούς κάδους η ακτίνα περιστροφής είναι μικρή, αντίθετα στους μεγαλύτερους είναι μεγαλύτερη. Το αποτέλεσμα είναι ότι στην εκσκαφή σκληρότερων υλικών λαμβάνεται υπόψη η ακτίνα περιστροφής του, ως προς την συνολική δύναμη κοπής που προσφέρει το σύστημα στο εξωτερικό σημείο του δοντιού του κάδου (αιχμή). Άρα μικρότεροι κάδοι έχουν και μικρότερη ακτίνα περιστροφής, οπότε αναπτύσσεται μεγαλύτερη δύναμη, και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι πιο ευνοϊκή φόρτωση.



Σχ. 38: Διαστασιολόγηση πλάτους (S) και ακτίνας περιστροφής του κάδου (R).

Κινηματικός μηχανισμός βραχίονα του εκσκαφέα.

Για να είναι λειτουργικός ο κάδος του εκσκαφέα, πρέπει να δίνεται η απαιτούμενη δύναμη ώθησης, για την κοπή του πετρώματος. Στο Σχ. 39 δίνεται μία τυπική διάταξη του βραχίονα ενός υδραυλικού εκσκαφέα.



Σχ. 39: Παρουσίαση δομικών στοιχείων του υδραυλικού Βραχίονα του εκσκαφέα.

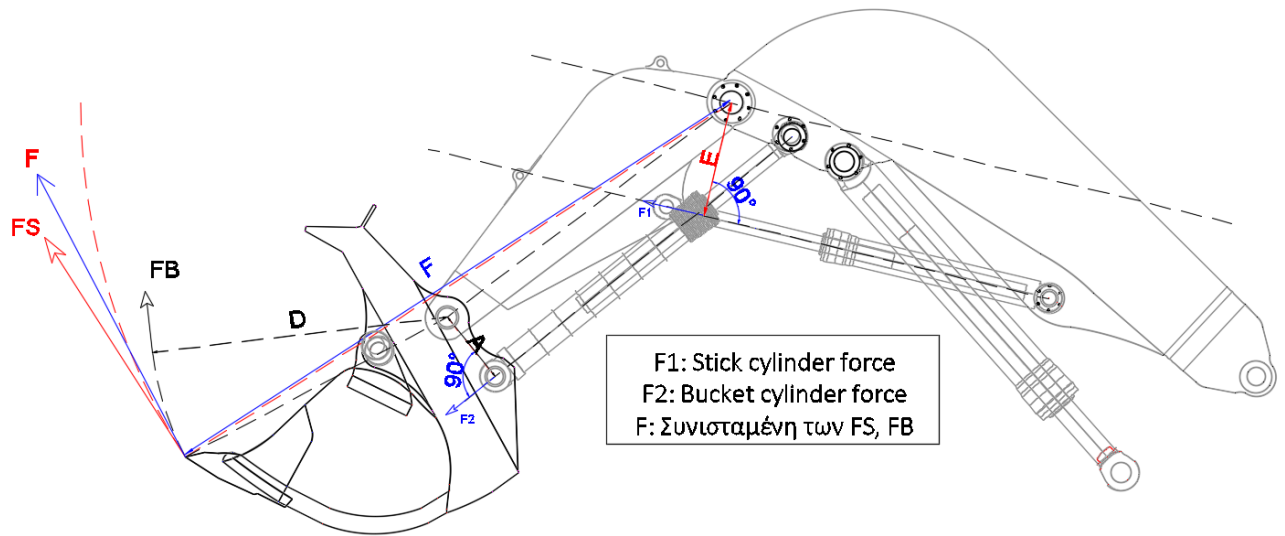
Όπως παρατηρείται από το Σχ. 40 η όλη διαδικασία εκσκαφής εξελίσσεται γύρω από τις δυνάμεις που παρέχονται από τους υδραυλικούς κυλίνδρους. Στην παρούσα φάση το ενδιαφέρον εστιάζεται στους κυλίνδρους του κάδου και του κανόνα. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι η δύναμη (FB) και η δύναμη (FS). Στο Σχ. 39 δίνονται αναλυτικά τα δομικά στοιχεία του υδραυλικού βραχίονα του εκσκαφέα. Οι συνισταμένες των δύο αυτών δυνάμεων περιγράφει την συνολική δύναμη που εξασκείται στο εξωτερικό σημείο του κοπτικού άκρου (δοντιού) του κάδου, μέσω της οποίας ξεκινά η διείσδυση στο εδαφικό υλικό (βλέπε Σχ. 40).

Εφαρμόζεται ισορροπία ροπών στο σύστημα, για τον υπολογισμό της δύναμης (FB) (βλέπε Σχ. 40):

$$(Stick\ Cylinder\ Force * A) = (D * FB) \rightarrow$$

$$\rightarrow FB = \frac{Bucket\ Cylinder\ force * A}{D}$$

- **Bucket Cylinder force:** δύναμη που παράγει ο κύλινδρος του κάδου.
- **A:** ο μοχλοβραχίονας της δύναμης του κυλίνδρου του κάδου.
- **D:** ακτίνα περιστροφής του κάδου ως σημείο αναφοράς το σημείο επαφής κάδου και κανόνα.



Σχ. 40: Περιγραφή του συστήματος κίνησης του εκσκαφέα, όπου (FB) και (FS) είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από τον κύλινδρο κίνησης του κάδου και του κανόνα αντίστοιχα.

Όμοια με εφαρμογή ισορροπίας των ροπών στο σύστημα, για τον υπολογισμό της (FS) προκύπτει (βλέπε Σχ. 40):

$$(Bucket\ Cylinder\ Force * E) = (F * FS) \rightarrow$$

$$\rightarrow FS = \frac{Bucket\ Cylinder\ force * E}{F}$$

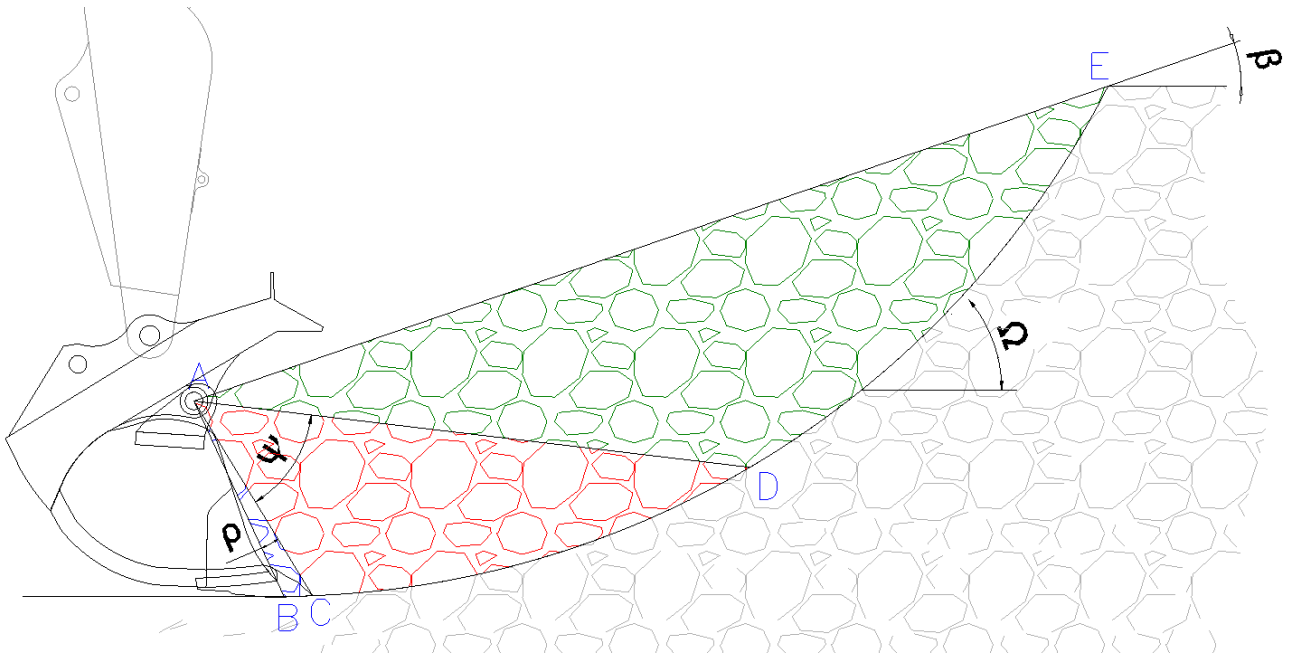
- **Bucket Cylinder force:** δύναμη που παράγεται από τον κύλινδρο του κανόνα.
- **E:** ο μοχλοβραχίονας της δύναμης του κυλίνδρου του κανόνα.
- **F:** ακτίνα περιστροφής του κανόνα και του κάδου ως προς το σημείο επαφής κανόνα και προβόλου.

$$\vec{F} = \vec{FS} + \vec{FB}$$

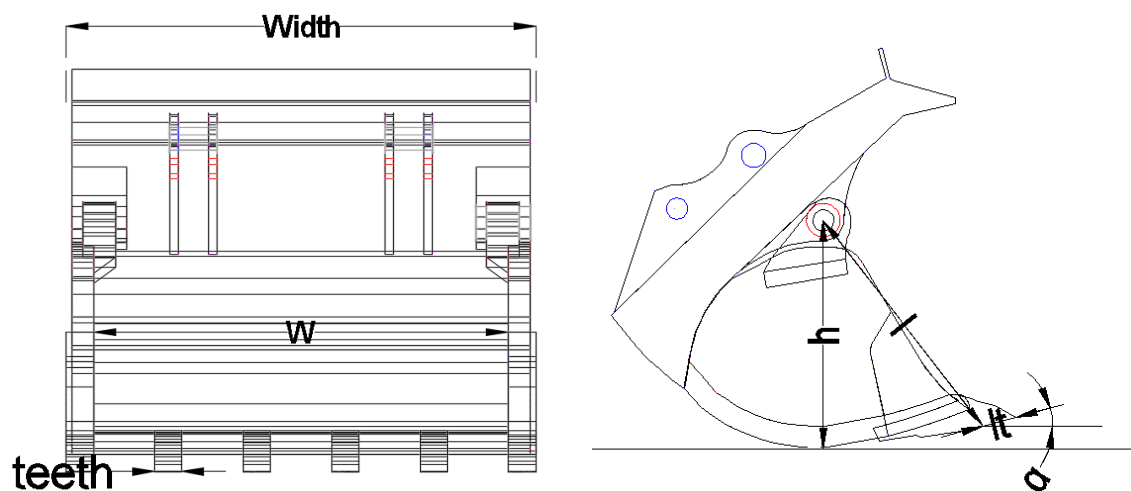
Για την περιγραφή του μοντέλου κίνησης του εκσκαφέα, αρχικά κατασκευάζονται τρίγωνα τα οποία περιγράφουν την καμπύλη, που ακολουθεί ο κάδος (βλέπε Σχ. 41). Η διαδικασία ξεκινά (βλέπε Σχ. 41) με το πρώτο άκαμπτο τρίγωνο ABC, που σχηματίζεται από το ίχνος BC των δοντιών επί του κατακόρυφου επιπέδου, το ίχνος AC του επιπέδου διάτμησης, από το σημείο C στην αιχμή του δοντιού έως την ελεύθερη επιφάνεια στο σημείο A. Άρα αναφέρεται στην πλευρική τομή πλάκας του κάδου, και την ελεύθερη επιφάνεια και το ίχνος AB. Το ίχνος AB αντιπροσωπεύει το όριο μεταξύ του τοιχώματος του κάδου και την ακμή της εκσκαφής. Το σύμβολο l αντιπροσωπεύει το κενό μήκος του κάδου στο εσωτερικό του, ενώ με το σύμβολο l_t παριστάνεται το αιχμηρό μήκος του δοντιού (βλέπε Σχ.

42). Με βάση τα παραπάνω η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της πλευρικής πλάκας, και του επιπέδου αστοχίας με το ίχνος AC συμβολίζεται με 'ρ' και δίνεται:

$$\rho = \tan^{-1} \frac{l_t}{l}$$



Σχ. 41: Θεωρητικό προφίλ εκσκαφής γεωυλικού.



Σχ. 42: Διαστασιολόγηση κάδου εκσκαφέα.

Η περιοχή ACD αποτελεί μία λογαριθμική σπειροειδή καμπύλη ολίσθησης μεταξύ των άκαμπτων τριγώνων ABC και ADE. Το τρίγωνο ADE, προκύπτει από τα

ίχνη AD, AE και DE. Το DE αποτελεί αιχμή διατμητικής ολίσθησης, και σχηματίζει γωνία 'Ω' με το οριζόντιο επίπεδο (βλέπε Σχ. 41). Οι ασυνέχειες AC, AD χρησιμοποιούνται για την συνέχιση της παραμόρφωσης μετά το πέρας, της πλήρους ανάπτυξης των άλλων τριών διατμητικών ταινιών. Πιο συγκεκριμένα το BC αναπτύχθηκε σε πρώτη φάση ίσο με 'lt', και τα CD, CE αναπτύχθηκαν στη δεύτερη και τρίτη φάση αντίστοιχα. Το έργο που δαπανήθηκε για την διεύθυνση των δοντιών στο έδαφος οφείλεται στο επίπεδο ολίσθησης BC. Για να περιγραφεί πλήρως ο μηχανισμός αστοχίας απαιτούνται τρεις γωνίες, ρ, ψ, Ω για δεδομένη γωνία κλήσης πρανούς 'β', και 'α' γωνία ευθυγράμμισης του κάδου.

Αν θεωρηθεί πως οι ταχύτητες των δύο άκαμπτων τριγώνων είναι κάθετες στα ακτινικά ίχνη AC, AD αντίστοιχα, τότε οι μόνοι παράμετροι που περιγράφουν τον μηχανισμό κίνησης είναι οι γωνίες 'ρ' και 'ψ'. Οπότε γεωμετρικά από το Σχ. 39 υπολογίζεται η γωνία 'Ω' :

$$\Omega = \frac{\pi}{2} - \varphi - \alpha + \rho + \psi$$

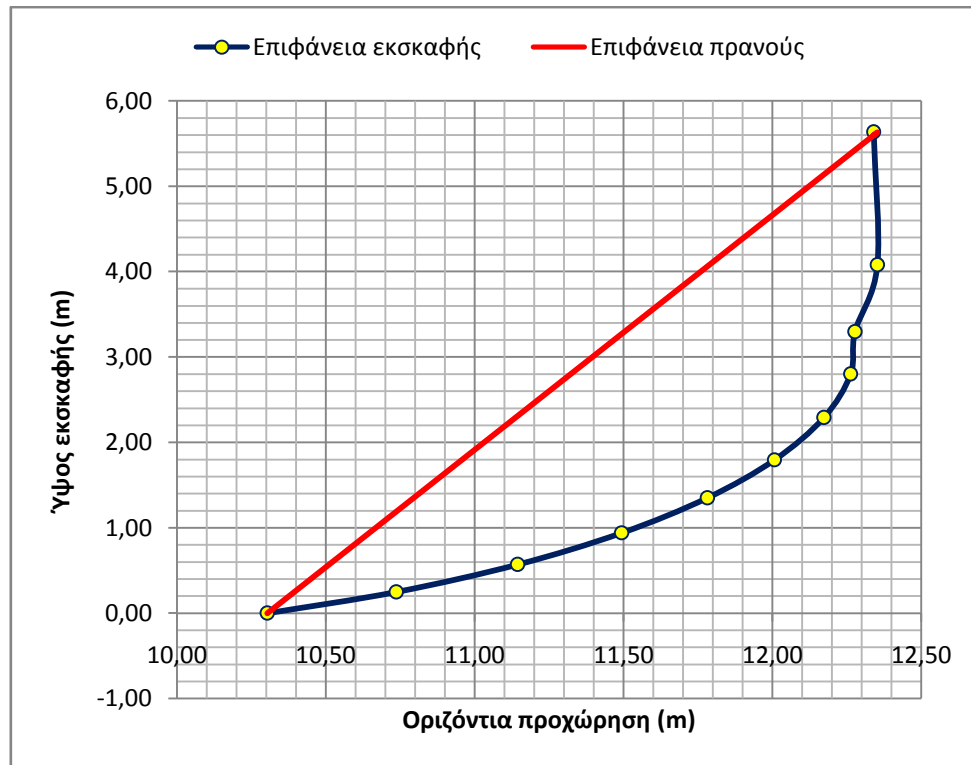
Η μόνη άγνωστη παράμετρος είναι η γωνία 'ψ', η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την παθητική πίεση που προκύπτει, από την δημιουργία του μηχανισμού αστοχίας μέσα σε ένα Mohr-Coulomb, χρησιμοποιώντας τον κανόνα της σχετικής ροής, και χαρακτηρίζεται από το ειδικό βάρος 'γ', την συνοχή 'c' και την γωνία εσωτερικής τριβής 'φ' του υλικού. Οπότε από την θεωρία παθητικής πίεσης, η συνολική παθητική ειδική πίεση συμβολίζεται με 'Pp' και εκφράζεται από το μοντέλο του (Chen 1975). Δίνεται ως εξής:

$$Pp = \frac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma h^2 + K_{pc} ch, \quad h = l \sin \alpha$$

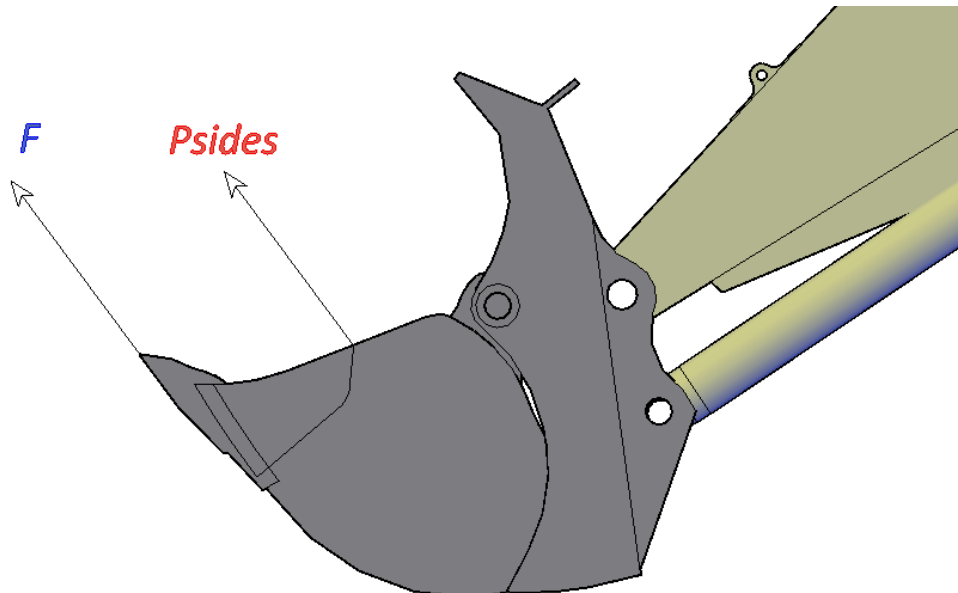
Με βάση το μηχανισμό κίνησης του εκσκαφέα, προσδιορίζεται ο χρόνος εκσκαφής 't1' για διάφορα εδαφικά υλικά (βλέπε Πίν. 5).

Οι συντελεστές ωθήσεως γαιών ($K_{p\gamma}$), (K_{pc}), ειδικού βάρους και συνοχής αντίστοιχα, είναι αδιάστατα μεγέθη και προσδιορίζονται από την θεωρία ανάλυσης οριακών τιμών, η οποία περιγράφει την πρόβλεψη φορτίων σε μια εκσκαφή. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ρυθμό εργασίας του βραχίονα και τον ρυθμό προχώρησης της εκσκαφής, στις ζώνες διάτμησης AC, BC, CD, AD και DE. Το αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις περιγράφεται από το μοντέλο του Chen (Chen 1975) (Xiroudakis et al. 2013)

Στη συνέχεια θεωρείται εδαφικό πρανές με κλίση 70° και ύψος 5,6m με ιδιότητες αντοχής $c = 90 \text{ kPa}$, $\phi = 30^\circ$, και προφίλ εκσκαφής που αποδίδεται από την καμπύλη του Σχ. 43. Η εκσκαφή πραγματοποιείται σε 11 βήματα κατά μήκος του προφίλ αυτού (φαίνονται με κύκλους).



Σχ. 43: Επιφάνεια εκσκαφής εδαφικού πρανούς.



Σχ. 44: Παρουσίαση δυνάμεων κοπής.

Για τον προσδιορισμό του χρόνου εκσκαφής (t_1) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Σχ. 41, με βάση το οποίο υπολογίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα τοιχώματα του

κάδου (P_{sides}), και στην αιχμή των κοπτικών άκρων (F) (βλέπε Σχ. 44). Οι υπολογισμοί που έγιναν με το παρόν μοντέλο για κάθε βήμα εκσκαφής ξεχωριστά παρουσιάζονται στον Πίν. 4.

Βήμα	δ [m]	H [m]	F [kN]	P_{sides} [kN]	W [kJ]	$dt1$ [sec]
1	2.64	0.00	74.7	0.0	197.4	0.24
2	0.50	0.94	317.8	373.7	345.7	0.41
3	0.52	1.74	315.4	339.0	339.8	0.40
4	0.51	2.33	313.6	322.9	323.6	0.39
5	0.50	2.71	312.0	298.0	306.3	0.36
6	0.50	2.89	315.6	265.6	289.3	0.34
7	0.52	2.85	313.5	227.0	282.5	0.34
8	0.52	2.58	308.1	188.1	256.8	0.31
9	0.50	2.13	259.0	152.4	204.0	0.24
10	0.79	1.55	301.9	127.1	337.8	0.40
11	1.56	0.00	215.3	30.5	382.5	0.46
Συν. t1:						3.89

Πίν. 4: Εκτίμηση χρόνου εκσκαφής.

με τις κάτωθι επεξηγήσεις:

- **δ [m]:** το μήκος προχώρησης ανά βήμα.
- **F [kN]:** η δύναμη στα κοπτικά άκρα που υπολογίζεται με βάση την εξίσωση του Pr (δύναμη παθητικών ωθήσεων του μηχανισμού χρησιμοποιώντας την γεωμετρία των κοπτικών άκρων, 6 άκρα ύψους 0,2m/άκρο και πλάτους 0,25m/άκρο)
- **P_{sides} [kN]:** η δύναμη στα τοιχώματα του κάδου (θεωρώντας την γεωμετρία του κάδου με πλάτος τοιχώματος 0,2m και ύψος βυθισμένου κάδου H).
- **W [kJ]:** το έργο που παράγεται από τις δυνάμεις κοπής.

$$W = (P_{sides} + F) \cdot \delta$$

- **$dt1$ [sec]:** ο χρόνος για την εκσκαφή στα διαδοχικά βήματα, $n=0,75$ (συντελεστής διαθεσιμότητας του μηχανήματος), $P=1120kW$ η ονομαστική ισχύς του μηχανήματος, $t_0=3$ sec ο χρόνος ανύψωσης του αφόρτιστου κάδου στα 5.6 m.

$$dt1 = \frac{W}{n \cdot P[kW]}$$

$$t_1 = t_0 + \sum dt_1$$

Με βάση το ίδιο μοντέλο εκσκαφής με υδραυλικό εκσκαφέα έγινε και ανάλυση ευαισθησίας του απαιτούμενου χρόνου εκσκαφής για το ίδιο προφίλ εκσκαφής για

διάφορους τύπους εδαφών. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης φαίνονται στο Πίν.5.

Υλικό	Γωνία Εσωτερικής Τριβής [φ]	Συνοχή [c] (kPa)	Χρόνος εκσκαφής [t1](sec)
Αμμοχάλικες θραυστοί	35	0	3,344
Αμμοχάλικες φυσικοί	37	0	3,353
Άμμος, στεγνή, χαλαρή	30	0	3,328
Άμμος, υγρή, συμπαγής	32	20	4,116
Άργιλος με άμμο	33	5	3,532
Άργιλος	23	20	4,063
Μάργα	30	10	3,713
Χέρσο έδαφος	30	90	6,888
Σκύρα λατομείων 10cm	38	0	3,358
Σκύρα λατομείων 50cm	38	0	3,358
Σκύρα λατομείων 100cm	38	0	3,358

Πίν. 5 : Πίνακας ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, και χρόνος εκσκαφής για το καθένα αντίστοιχα. Ο Χρόνος εκσκαφής υπολογίζεται σύμφωνα με το κινηματικό-στατικό μοντέλο του βραχίονα του εκσκαφέα.

Οι συντελεστές ωθήσεως γαιών (K_{py}), (K_{pc}), υπολογίζονται ως εξής:

→ Για ομαλή επιφάνεια εκσκαφής με ($\delta < \varphi$), όπου η γωνία δ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής στην επαφή του κάδου με το έδαφος (βλέπε Σχ. 41).

$$\begin{aligned}
 K_{py} = & \frac{\sec(\delta)}{\sin(\alpha - \beta_d) + \tan \delta \cos(\alpha - \beta_d) - \tan \delta \frac{\cos(\alpha - \rho - \beta_d)}{\cos \rho}} \frac{\sin(\alpha - \beta_d)}{\cos \rho} \times \\
 & \times \left[\frac{\tan(\rho) \cos(\alpha - \rho)}{\sin^2 a} + \frac{1}{(9 \tan^2 \varphi + 1) \sin^2 a \cos^2 \rho} \times \right. \\
 & \times \{ (3 \tan \varphi \cos(\alpha - \rho - \psi) - \sin(\alpha - \rho - \psi)) \exp(3\theta \tan \varphi) - \\
 & \quad \left. - (3 \tan \varphi \cos(\alpha - \rho) + \sin(\alpha - \rho)) \} + \right. \\
 & \left. + \frac{\cos \varphi \sin(\alpha + \beta - \rho - \psi) \cos(\alpha - \rho - \psi)}{\sin^2 a \cos^2 \rho \cos(\alpha + \beta - \rho - \psi - \varphi)} \exp(3\theta \tan \varphi) \right], \\
 K_{pc} = & \frac{\sec(\delta)}{\sin(\alpha - \beta_d) + \tan \delta \cos(\alpha - \beta_d) - \tan \delta \frac{\cos(\alpha - \rho - \beta_d)}{\cos \rho}} \frac{\sin(\alpha - \beta_d)}{\cos \rho} \times
 \end{aligned}$$

$$\times \left[\frac{\sin \rho}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \frac{\cot \varphi [\exp(2\theta \tan \varphi) - 1]}{\sin \alpha \cos \rho} + \frac{\sin(\alpha + \beta - \rho - \psi) \cos \varphi \exp(2\theta \tan \varphi)}{\sin \alpha \cos \rho \cos(\alpha + \beta - \rho - \psi + \varphi)} \right]$$

→ Για ανώμαλη επιφάνεια εκσκαφής με $(\delta \geq \varphi)$.

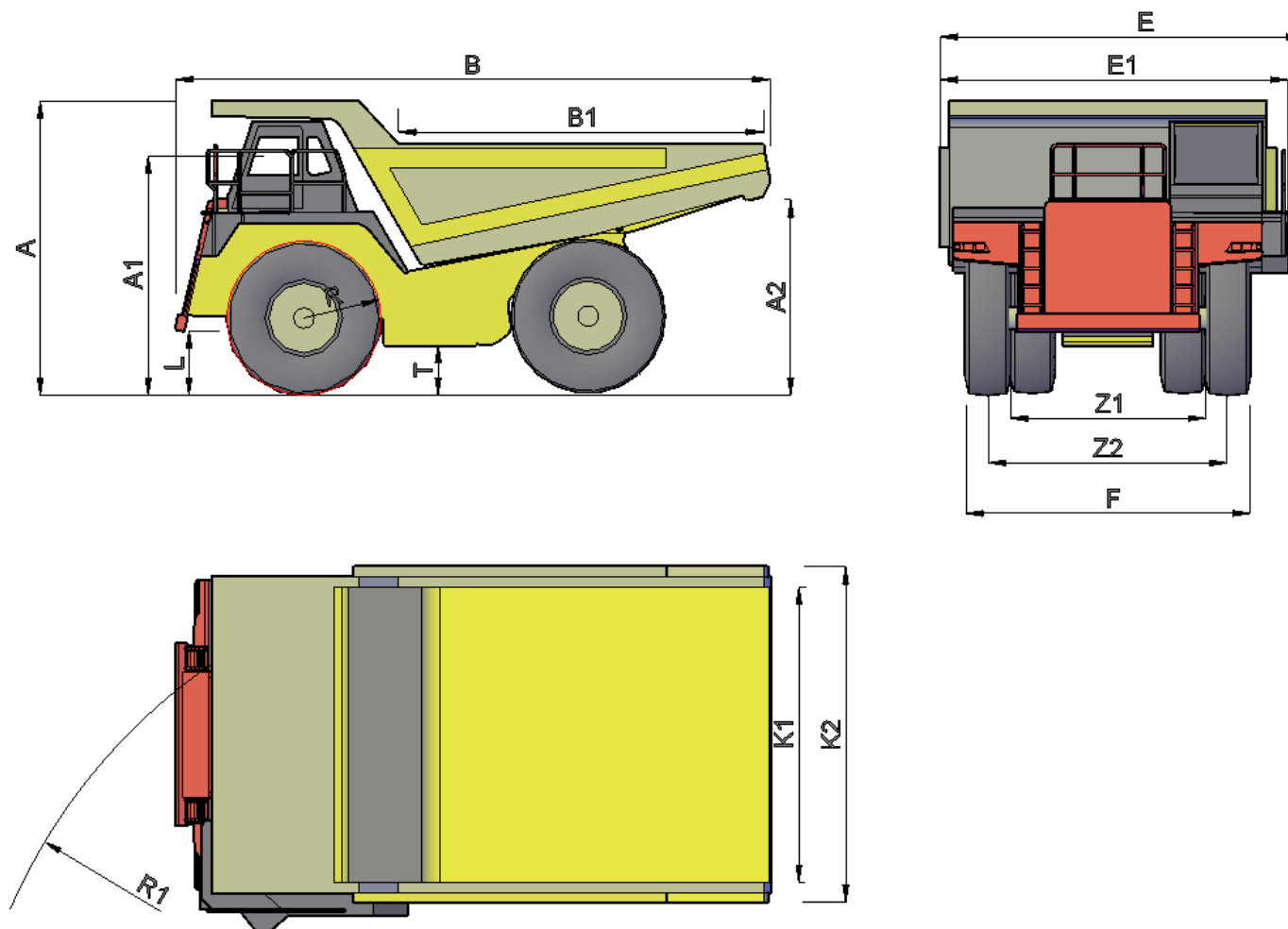
$$\begin{aligned} K_{py} &= \frac{\sec(\delta)}{\sin(\alpha - \beta_d) + \tan \delta \cos(\alpha - \beta_d)} \frac{\sin(\alpha - \beta_d + \varphi)}{\cos(\rho + \varphi)} \times \\ &\times \left[\frac{\tan \rho \cos(\alpha - \rho)}{\sin^2 a} + \frac{1}{(9 \tan^2 \varphi + 1) \sin^2 a \cos^2 \rho} \times \right. \\ &\times \{ (3 \tan \varphi \cos(\alpha - \rho - \psi) - \sin(\alpha - \rho - \psi)) \exp(3\theta \tan \varphi) - \\ &\quad \left. - (3 \tan \varphi \cos(\alpha - \rho) + \sin(\alpha - \rho)) \} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\cos \varphi \sin(\alpha + \beta - \rho - \psi) \cos(\alpha - \rho - \psi)}{\sin^2 a \cos^2 \rho \cos(\alpha + \beta - \rho - \psi + \varphi)} \exp(3\theta \tan \varphi) \right], \\ K_{pc} &= \frac{\sec(\delta)}{\sin(\alpha - \beta_d) + \tan \delta \cos(\alpha - \beta_d)} \times \\ &\times \left[\frac{\cos \varphi \cos(\alpha - \rho - \beta_d)}{\sin a \cos(\rho + \varphi)} + \frac{\sin(\alpha - \beta_d + \varphi)}{\cos(\rho + \varphi)} \cdot \left\{ \frac{\sin \rho}{\sin \alpha} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{1}{2} \frac{\cot \varphi [\exp(2\theta \tan \varphi) - 1]}{\sin \alpha \cos \rho} + \frac{\sin(\alpha + \beta - \rho - \psi) \cos \varphi \exp(2\theta \tan(\varphi))}{\sin \alpha \cos \rho \cos(\alpha + \beta - \rho - \psi + \varphi)} \right\} \right] \end{aligned}$$

4.1.3 Χωματοургικό όχημα

Από την άλλη πλευρά η επιλογή του χωματοургικού οχήματος (ή αυτοκινήτου, (σε αγγλική ορολογία mining truck) είναι συνάρτηση κάποιων παραμέτρων σχεδιασμού, είτε αυτό αφορά τις διαστάσεις του ίδιου του οχήματος, είτε την κατάσταση του εδάφους(υλικό, κλίση εδάφους κ.λ.π.). Βασική παράμετρος είναι η χωρητικότητα της σκάφης (καρότσας).

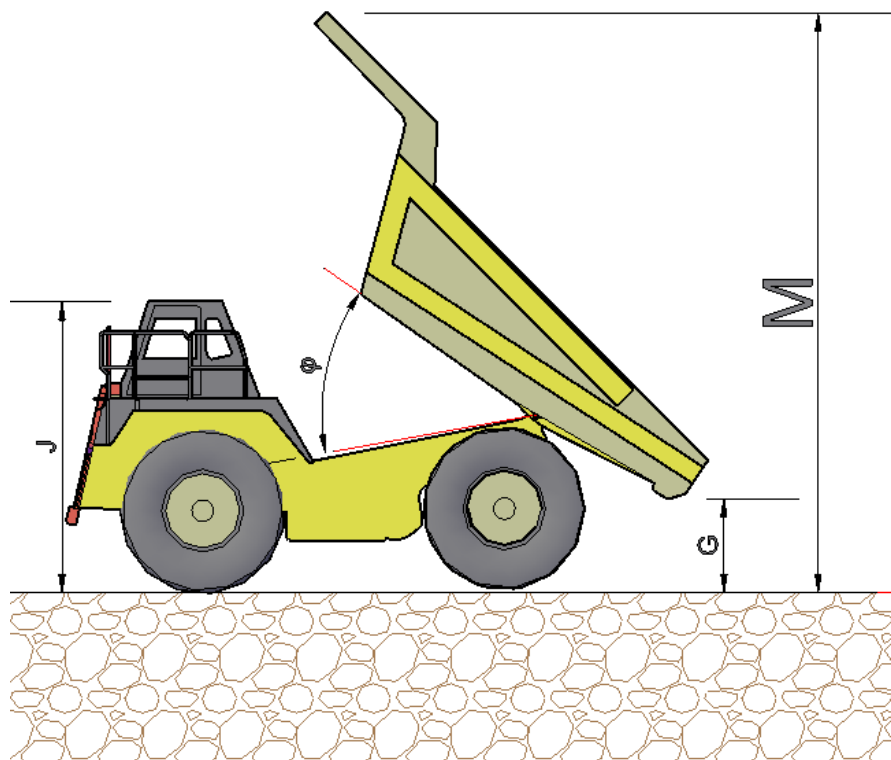
Αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών διαστάσεων του χωματοургικού οχήματος δίνονται στο Σχ. 45. Η επεξήγηση των διαστάσεων αυτών δίνεται παρακάτω:

- **A:** Ύψος χωματοургικού οχήματος από το δάπεδο εργασίας.
- **A1:** Ορατό επίπεδο χειριστή.
- **A2:** Ύψος σκάφης (καρότσας) οχήματος όταν βρίσκεται σε θέση φόρτωσης.
- **B:** Μήκος χωματοургικού οχήματος.
- **B1:** Εσωτερικό μήκος σκάφης για την φόρτωση υλικού.
- **T:** Ελεύθερος χώρος κάτω από το σώμα του φορτηγού έως το δάπεδο εργασίας.
- **L:** Ελεύθερος χώρος κάτω από το μπροστινό τμήμα του οχήματος.
- **R:** Ακτίνα τροχού.
- **E:** Πλάτος χωματοургικού οχήματος.
- **E1:** Πλάτος χωματοургικού οχήματος χωρίς το προστατευτικό δάπεδο του χειριστή.
- **Z1:** Μήκος από κέντρο σε κέντρο των ζευγών των πίσω τροχών.
- **Z2:** Μήκος οπίσθιου άξονα κίνησης.
- **F:** μήκος μπροστινού άξονα μαζί με τα ελαστικά κύλισης.
- **K1:** πλάτος εσωτερικής σκάφης οχήματος.
- **K2:** πλάτος σκάφης (καρότσας) οχήματος.
- **R1:** ακτίνα καμπυλότητας χωματοургικού οχήματος.



Σχ. 45: Διαστασιολόγηση χωματουργικού οχήματος οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου).

Σημείωση: Τα σχέδια διαστασιολόγησης βρίσκονται σε κλίμακα στο παράρτημα σχεδίων.



Σχ. 46: Διαστασιολόγηση χωματουργικού οχήματος όταν αυτό βρίσκεται σε θέση απόρριψης υλικού.

Αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών διαστάσεων του χωματουργικού οχήματος σε θέση απόρριψης υλικού δίνονται στο Σχ. 46. Η περιγραφή αυτών δίνεται παρακάτω:

- **G**: ελάχιστος ύψος καρότσας σε θέση απορρίψεως υλικού.
- **M**: μέγιστο ύψος καρότσας σε θέση απορρίψεως υλικού.
- **J**: ύψος καμπίνας χειρισμού από το δάπεδο εργασίας.
- **φ**: μέγιστη κλίση καρότσας κατά την απόρριψη υλικού.

Στους πίνακες που ακολουθούν (δίνονται οι υπολογιστικοί παράμετροι λειτουργικής αναλύσεως του χωματουργικού αυτοκινήτου οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου) (βλέπε Πίν. 6). Ενώ στον Πίν. 7 δίνονται οι τιμές σχεδιασμού όπως προκύπτουν για την ποιότητα του οδοστρώματος πάνω στο οποίο κινείται ο μηχανολογικός εξοπλισμός μεταφοράς υλικού.

Χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου): Komatsu HD 785-7			
Ονομασία:	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο:	B₀	150,00	t
Όγκος σκάφης (καρότσας):	V_a	60,00	m ³
Απόβαρο:	B_a	72,30	t
Συντελεστής πλήρωσης:	Φ_a	1,1	
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς φόρτωση)	t_{σταθ.}	7,0	min
Ονομαστική ισχύς:	N_a	1200	HP
Κόστος κτήσης:		-	€/μηχάνημα
Κατανάλωση:		-	lt/HP/hr
Μέγιστη ταχύτητα μετακίνησης:	V_{max}	65,00	km/hr

Πίν. 6: Πίνακας λειτουργικών παραμέτρων χωματουργικού οχήματος οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου).

Παράμετροι σχεδιασμού κατάστασης οδοστρώματος			
Ονομασία:	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Ανηγμένη αντίσταση κύλισης:	w_r	30	Kp/Mp
Μέση κλίση δρομολογίου:	S	0,08	
Ανηγμένη αντίσταση κλίσης: w _s = 1000S	w_s	80	Kp/Mp
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο:	n_{al}	0,550	
Συντελεστής ταχύτητας άδειο:	n_{ae}	0,725	
Όριο ταχύτητας μετακίνησης:	v_R	54	km/hr

Πίν. 7: Πίνακας παραμέτρων σχεδιασμού κατάστασης οδοστρώματος.

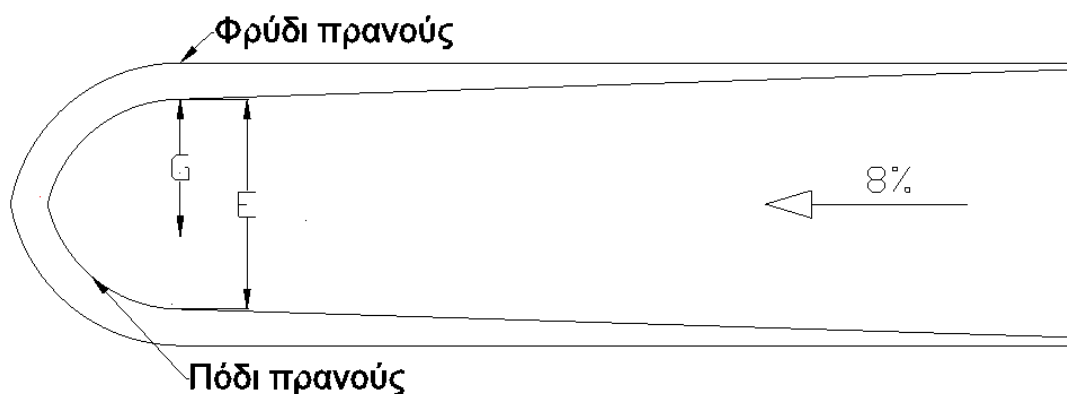
Πιο αναλυτικά τα στοιχεία του Πίν. 6, δίνονται από τον κατασκευαστή του μηχανήματος. Αναγράφονται λεπτομερώς στο ειδικό εγχειρίδιο λειτουργίας του χωματουργικού οχήματος. Αντίθετα τα στοιχεία του Πίν. 7, υπολογίζονται με βάση την κατάσταση του εδάφους, πάνω στο οποίο πρόκειται να εργαστεί το όχημα. Οι σχετικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται για την κατασκευή του Πίν.7, αναλύονται λεπτομερώς στο 5^ο Κεφάλαιο.

4.2 Σχεδιασμός εκσκαφών με υδραυλικό εκσκαφέα μετωπικού κάδου και χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου)

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται διεξοδικά, οι πιθανές διατάξεις (θέσεις) των μηχανημάτων φόρτωσης και μεταφοράς δηλ. υδραυλικός εκσκαφέας μετωπικού κάδου και χωματουργικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου), ανάλογα με τη μορφή του μετώπου και το πλάτος εργασίας μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης. Τα σχήματα που παρουσιάζονται κατασκευάστηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας με κατάλληλο σχεδιαστικό πακέτο.

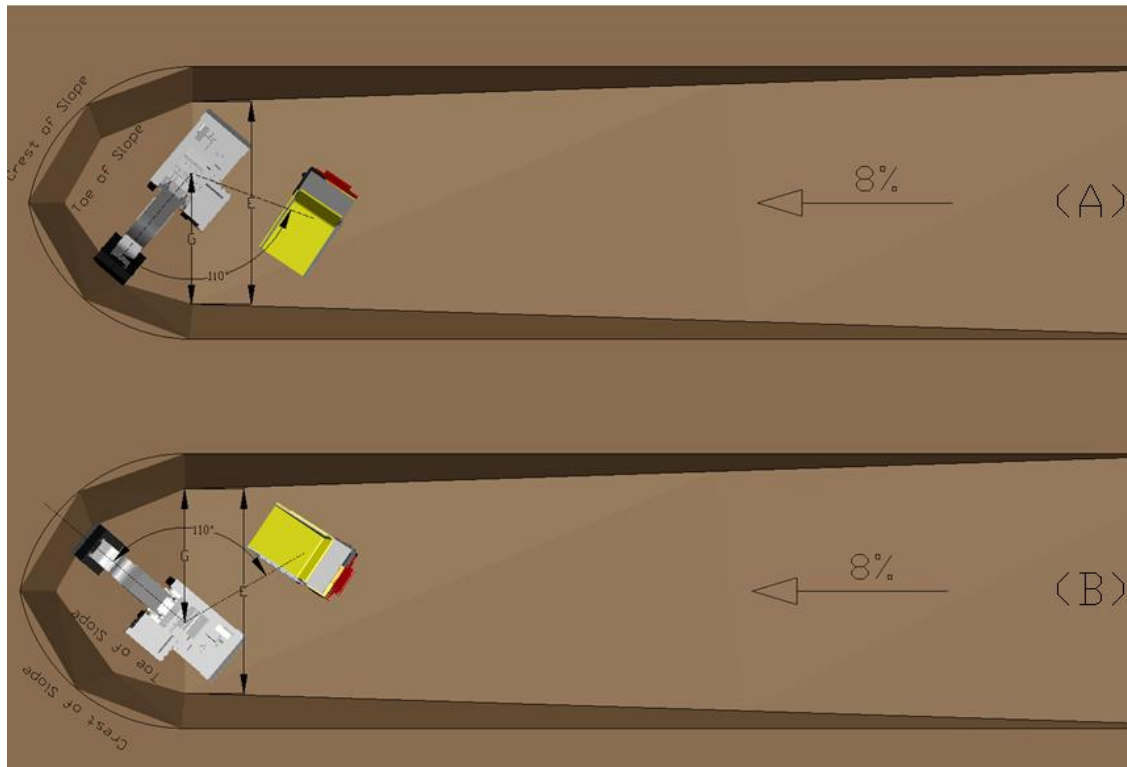
4.2.1 Εκσκαφή με περιορισμένες συνθήκες εργασίας

Οι συνθήκες εργασίας είναι ένα σύννηθες φαινόμενο που παρατηρείται στο χώρο της εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα οι συνθήκες εργασίας μιας εκσκαφής, μπορεί να εξαρτώνται από τον χώρο στον οποίο έχει την δυνατότητα να κινηθεί ο εκσκαφέας. Πρακτικά είναι οι διαστάσεις της εκσκαφής.



Σχ. 47: Κάτοψη εκσκαφής με περιορισμένες συνθήκες. Διακρίνεται η ράμπα προσεγγίσεως κλίσης 8%, το φρύδι και το πόδι του πρανούς και οι γεωμετρικές διαστάσεις G , E οι οποίες σχετίζονται με τις διαστάσεις του εκσκαφέα (βλέπε Σχ. 35).

Στο Σχ. 48 δίνεται σε κάτοψη ο χώρος εργασίας στον οποίο κινείται ο εκσκαφέας και ακολουθεί το χωματουργικό όχημα για φόρτωση. Στο σχήμα περιγράφεται η ράμπα εργασίας με κλίση προς τα κάτω 8%. Οι διαστάσεις G , E περιγράφουν τις αποστάσεις του εκσκαφέα (βλέπε Σχ. 35). Η γεωμετρία του δαπέδου εργασίας έχει την ελάχιστη διάσταση, εντός της οποίας κινείται ο εκσκαφέας. Αρχικά ο εκσκαφέας προσεγγίζει το μέτωπο παραγωγής, διανύοντας μια απόσταση με κλίση 8% καθοδικά. Ακολουθεί το χωματουργικό όχημα με τον ίδιο τρόπο. Μόλις προσεγγίσει την απαραίτητη θέση το εκσκαπτικό μηχανήμα, το όχημα μεταφοράς διατάσσεται σχεδόν παράλληλά του και σε απόσταση που καθορίζεται από την γεωμετρία του μετώπου (βλέπε Σχ. 48).



Σχ. 48: Κάτοψη εκσκαφής με περιορισμένες συνθήκες λειτουργίας.

Η εκκίνηση της εκσκαφής του υλικού ξεκινά αρχικά μονόπλευρα (βλέπε Σχ. 48(A)), και στην συνέχεια προχωρά προς την αντίθετη πλευρά (βλέπε Σχ. 48(B)). Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός, ότι ο εκσκαφέας δεν μπορεί να πραγματοποιεί εκσκαφή του υλικού σε όλη την έκταση του μετώπου, λόγω του περιορισμένου πλάτους του δαπέδου εργασίας. Η επιτρεπόμενη γωνία περιστροφής κατά την οποία στρέφεται, για να φορτώσει το χωματουργικό όχημα υπολογίζεται στις 110° είτε εργάζεται στην α' φάση είτε εργάζεται στην β' φάση. Η γωνία περιστροφής του θεωρείται μέγιστη. Το χωματουργικό όχημα βρίσκεται σε απόσταση με τον εκσκαφέα ίση με G. Αντίθετα το συνολικό πλάτος του δαπέδου εργασίας είναι ίσο με E.

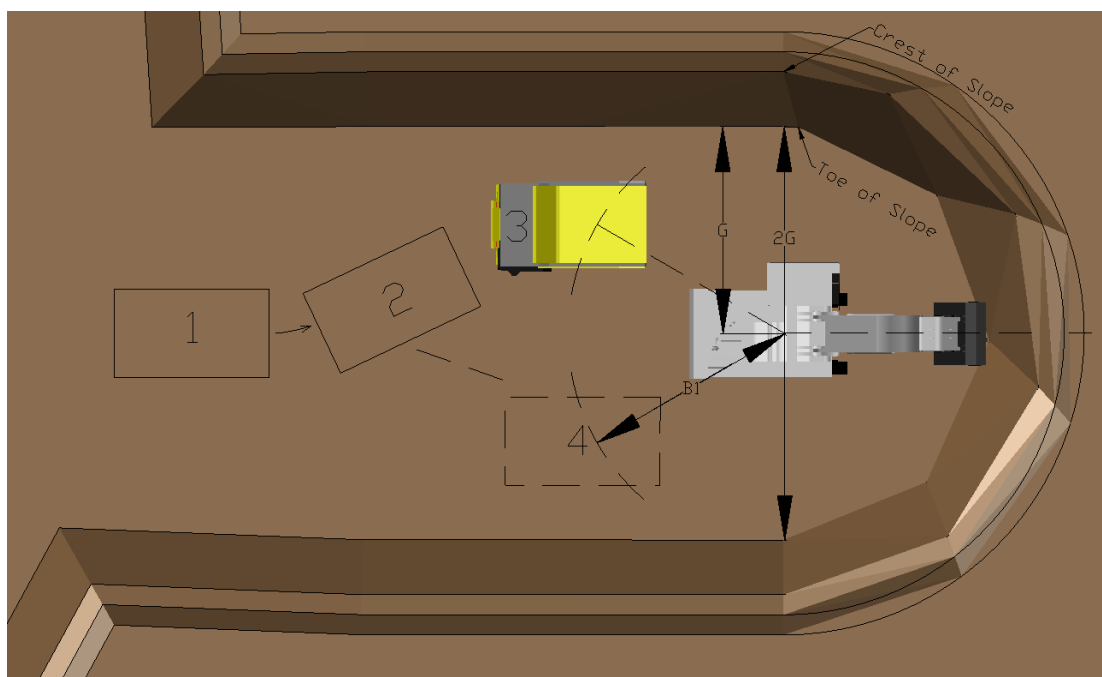
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της μεθόδου περιγράφηκε παραπάνω στο Σχ. 23. Η πρόοδος ή εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας δίνεται στα Σχ. 25 (κατασκευή ράμπας εκτός του κοιτάσματος), Σχ. 26 (κατασκευή ράμπας εντός του κοιτάσματος). Στο Σχ. 25 η προσέγγιση του κοιτάσματος πραγματοποιείται με την δημιουργία κεκλιμένου διαδρόμου εκτός του κοιτάσματος. Αυτός ο σχεδιασμός δίνει εξ ολοκλήρου απόρριψη στείρου υλικού, ενώ το δάπεδο του κατώτερου σημείου του, πρέπει να φτάσει έως την ακμή του πυθμένα του κοιτάσματος. Η εκσκαφή προχωρά με σχεδόν κατακόρυφες ημικυκλικές κοπές, ύψους 10m και γωνία κλίσης 70° . Καθώς η προχώρηση του μετώπου εξελίσσεται, παράλληλα αυξάνεται και ο χώρος εργασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δυνατότητα αύξησης των μηχανημάτων φόρτωσης. Από αυτό το στάδιο και έπειτα παρατηρείται μεταβολή στην παραγωγική ικανότητα σε σχέση με τον χρόνο (Hustrulid, 1979). Άρα παρατηρείται πλήρης αποληψιμότητα (100%), του χρήσιμου υλικού. Με την επιλογή η ράμπα προσέγγισης

να διανοιγτεί εντός του κοιτάσματος (βλέπε Σχ. 26), έχει αποτέλεσμα την μη-βέλτιστη αποληψιμότητα χρήσιμου υλικού.

Η εκσκαφή ξεκινά από την οροφή του κοιτάσματος με κλίση προς το δάπεδο του. Μόλις το δάπεδο της ράμπας συναντήσει το δάπεδο της εκσκαφής, ο εκσκαφέας κινείται αντίστροφα και προς τα πίσω, με σχεδόν κατακόρυφες ημικυκλικές κοπές, με γωνία κλίσης 70° . Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην διατήρηση της ράμπας έτσι ώστε να υπάρχει συνεχής διέλευση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Πλεονέκτημα της εκσκαφής είναι ότι το στείρο υλικό που εξορύσσεται, μπορεί να υποστεί περεταίρω επεξεργασία, ώστε να δώσει επιπλέον κέρδος στην εκμετάλλευση (Hustrulid, 1979). Μειονέκτημα της εκσκαφής είναι ότι μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, ποσότητα χρήσιμου υλικού στο κοίτασμα που βρίσκεται στην ράμπα προσέγγισης, εγκαταλείπεται εκεί.

4.2.2 Εκσκαφή σε ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας

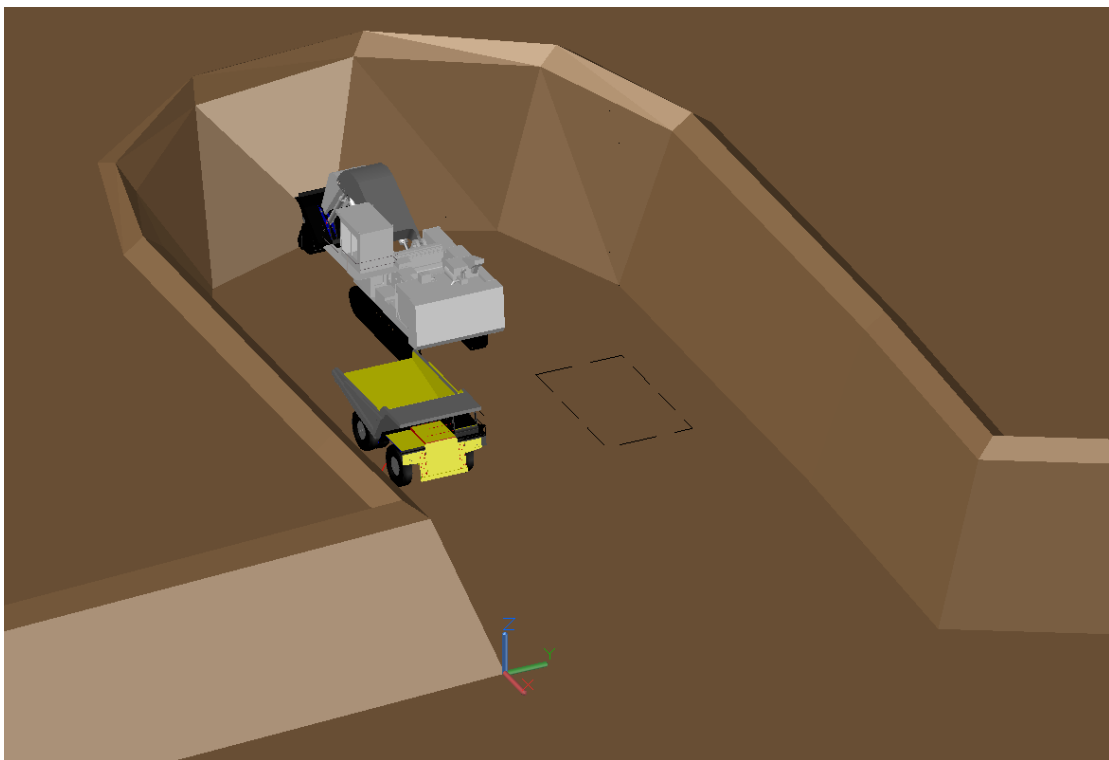
Η εκσκαφή αυτή μοιάζει αρκετά με την εκσκαφή στο Σχ. 48, εκσκαφή με περιορισμένες συνθήκες εργασίας. Η διαφορά είναι στις διαστάσεις της. Στο Σχ. 49 δίνεται σε κάτοψη του σχεδίου της παραγωγικής λειτουργίας της μεθόδου εκσκαφής (εκσκαφή σε ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας).



Σχ. 49: Κάτοψη εκσκαφής με ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας.

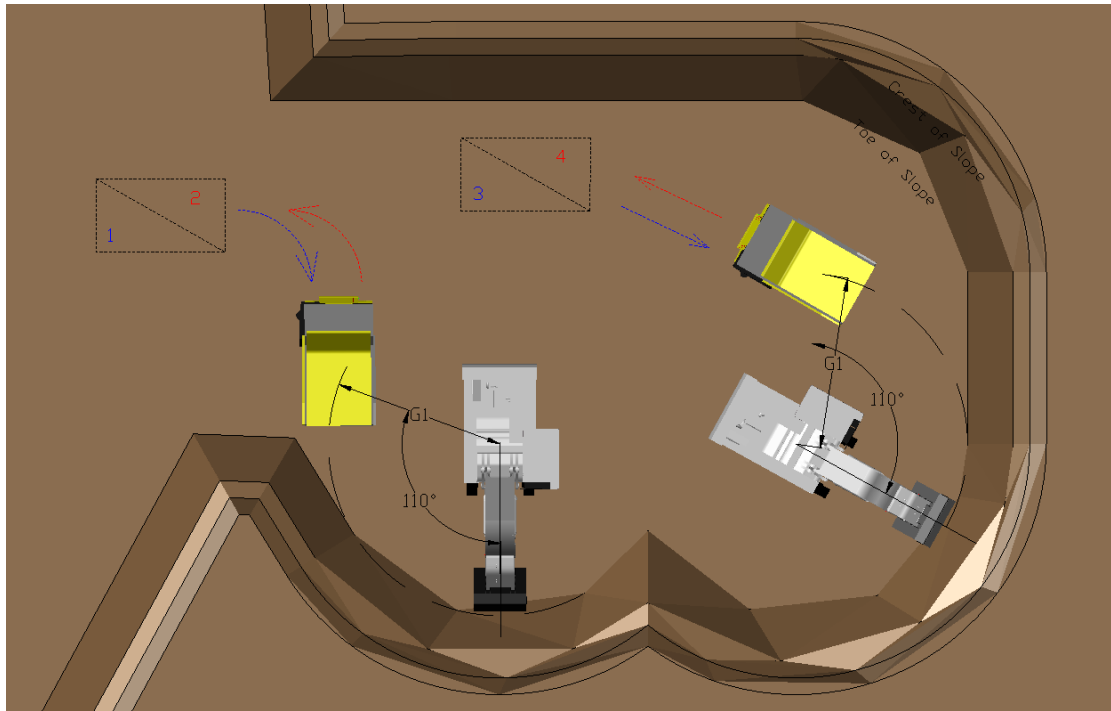
Αρχικά πραγματοποιείται η προσέγγιση του εκσκαφέα στο μέτωπο παραγωγής, κατά μήκος του κεντρικού άξονα του μετώπου. Βασικό πλεονέκτημα του μηχανήματος, είναι η εξόρυξη υλικού σε δύο μέτωπα εργασίας, χωρίς την αλλαγή θέσης του εκσκαφέα. Το μέγιστο πλάτος του δαπέδου, σχεδιάζεται με τιμή ίση με $2G$ (βλέπε Σχ. 49). Αντίθετα το όχημα προς φόρτωση, διατάσσεται σε απόσταση

Β1(βλέπε Σχ. 49). Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι κατά το στάδιο της φόρτωσης υλικού στο χωματουργικό όχημα, ο εκσκαφέας στρέφεται με μεγάλες γωνίες περιστροφής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση του χρόνου κύκλου φόρτωσης. Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε σε κεκλιμένο δάπεδο (ράμπα) είτε σε επίπεδο δάπεδο. Τα οχήματα φόρτωσης διαδέχονται το ένα το άλλο ώστε να αποφευχθεί ο χρόνος αναμονής των οχημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακολουθία του Σχ. 49. Το πρώτο όχημα ακολουθεί τις θέσεις $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow$ φόρτωση και μεταφορά. Το δεύτερο όχημα που έπεται του πρώτου ακολουθεί τις θέσεις $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow$ φόρτωση και μεταφορά (βλέπε Σχ. 49 και Σχ. 50), οπότε ο εκσκαφέας μόλις φορτώσει πλήρως το πρώτο όχημα, στρέφεται και φορτώνει το δεύτερο. Η παραγωγική διαδικασία σταματά μόλις σταματήσει ο εκσκαφέας να τροφοδοτεί με υλικό εξόρυξης τα χωματουργικά οχήματα.



Σχ. 50: Τρισδιάστατη άποψη της παραγωγικής λειτουργίας.

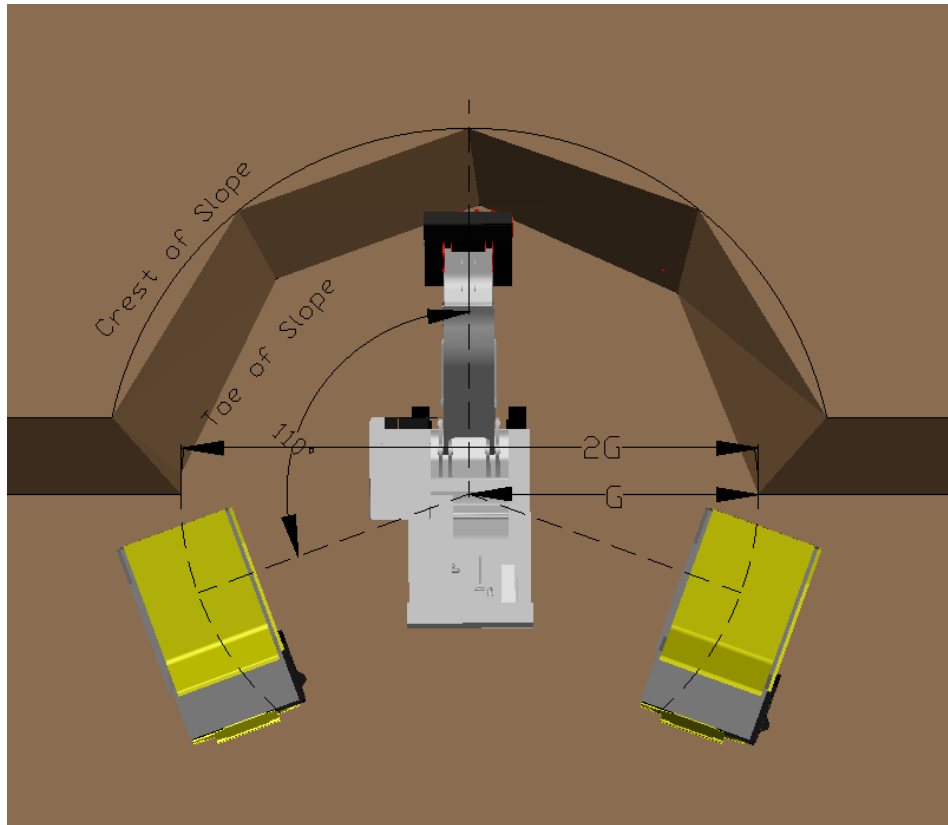
Μόλις η εκσκαφή φτάσει στο επιθυμητό βάθος προχώρησης, τότε σε δεύτερη φάση πραγματοποιείται διεύρυνση του μετώπου πλευρικά. Η διεύρυνση του μετώπου σε δεύτερη φάση στο Σχ. 51, πλεονεκτεί για τα χωματουργικά αυτοκίνητα. Διότι αντί να σταματούν και να γυρίζουν στην είσοδο της εκσκαφής, πραγματοποιούν τους ελιγμούς εντός του χώρου εκσκαφής (βλέπε Σχ. 51). Όμοια διαδικασία παρατηρείται όταν το έδαφος είναι κατηφορικό (βλέπε Σχ. 48).



Σχ. 52: Απεικόνιση σε κάτοψη προχώρησης της εκσκαφής.

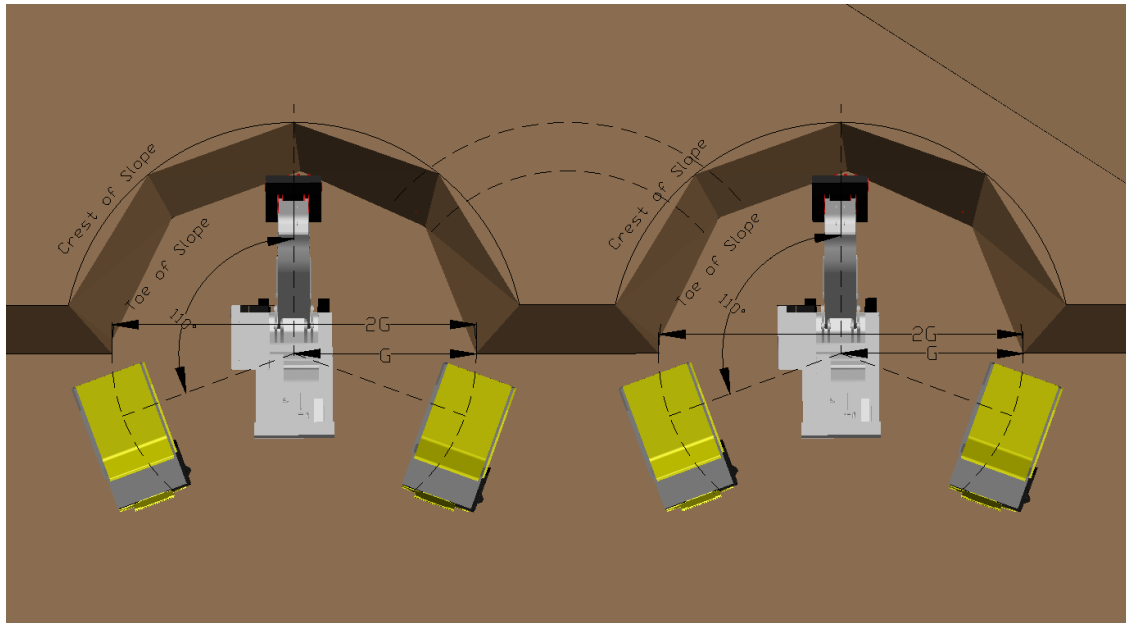
4.2.3 Μετωπικές εκσκαφές

Ονομάζονται οι εκσκαφές κατά τις οποίες πραγματοποιείται κατά μέτωπο προσβολή σε όλη την έκταση του μετώπου, από το εκσκαπτικό μηχάνημα. Αρχικά ο εκσκαφέας εκκινεί την παραγωγική λειτουργία, βρισκόμενος στο κέντρο του μετώπου, και με κυκλικές περιστροφικές κινήσεις εξορύσσει υλικό από το πρόσωπο της βαθμίδας (βλέπε Σχ. 53). Το υλικό παραγωγής φορτώνεται σε δύο χωματουργικά οχήματα, τα οποία είναι τοποθετημένα εκατέρωθεν του εκσκαφέα. Αυτό προϋποθέτει ικανοποιητικό χώρο εργασίας για την τοποθέτησή τους. Το εύρος της γωνίας περιστροφής του κατά την φόρτωση είναι κατά μέγιστη τιμή 110° , κατά ελάχιστη τιμή 10° , ενώ η μέση τιμή της είναι 60° (βλέπε Σχ. 53). Η φόρτωση πραγματοποιείται πρώτα στο χωματουργικό όχημα που βρίσκεται στα αριστερά και στην συνέχεια με κατάλληλη περιστροφή, συνεχίζεται η φόρτωση σε εκείνο στα δεξιά. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται χρόνος αναμονής για ένα εκ των δύο χωματουργικών οχημάτων. Το ύψος της βαθμίδας είναι στα 10m, η γωνία πρανούς του μετώπου διαμορφώνεται στις 70° και το πλάτος εκσκαφής ισούται με $2G$ (βλέπε Σχ. 53). Τα οχήματα μεταφοράς του εξορυγμένου υλικού, παρατάσσονται εξωτερικά του χώρου εκσκαφής. Η ακτίνα φόρτωσής των από τον εκσκαφέα ισούται με G (βλέπε Σχ. 53). Η παραγωγική διαδικασία χαρακτηρίζεται ως αρκετά αποδοτική, χωρίς να εμφανίζεται χρόνος αναμονής του εκσκαφέα (Hustrulid, 1979).

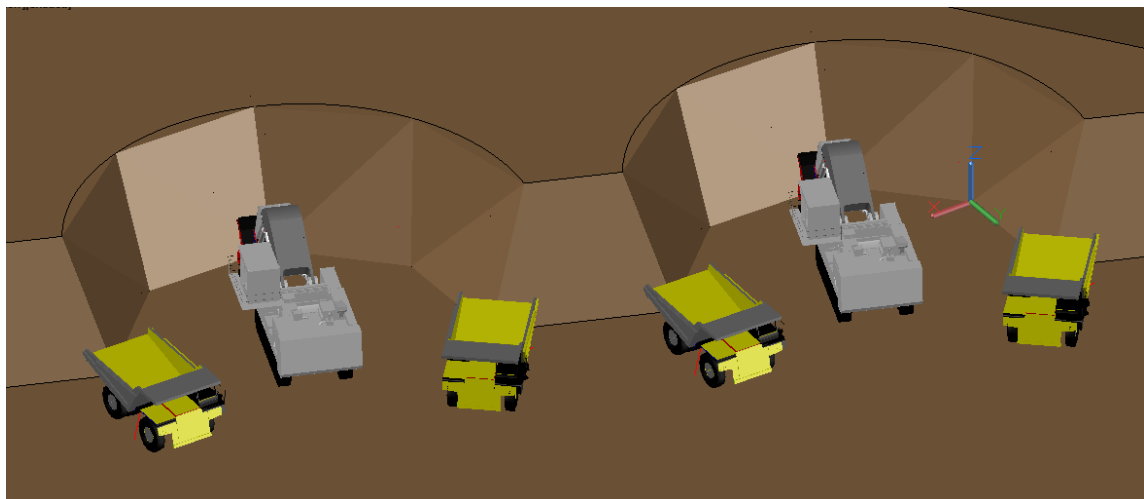


Σχ. 53: Απεικόνιση σε κάτοψη της κατά μέτωπο εκσκαφής.

Μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής, ο εκσκαφέας κινείται παράλληλα με τον εαυτό του, παίρνει την απαραίτητη θέση προσαρμογής και δημιουργεί μία νέα εκσκαφή ίδιου τύπου (βλέπε Σχ. 54). Στόχος της νέας διάταξης είναι η δημιουργία πολλών μετώπων εκσκαφής, έτσι ώστε κατά το στάδιο προχώρησής της, να εργάζονται περισσότερα από ένα εκσκαπτικά μηχανήματα. Η λειτουργία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των οχημάτων φόρτωσης - μεταφοράς και με άμεση συνέπεια την αύξηση του υλικού παραγωγής, στο χρόνο κύκλου εργασίας του ενός εκσκαφέα. Επίσης ενδιάμεσα των δύο μετώπων πραγματοποιείται με μονωμένη εκσκαφή, νέα θέση προχώρησης του μετώπου (βλέπε Σχ. 54 και Σχ. 55).



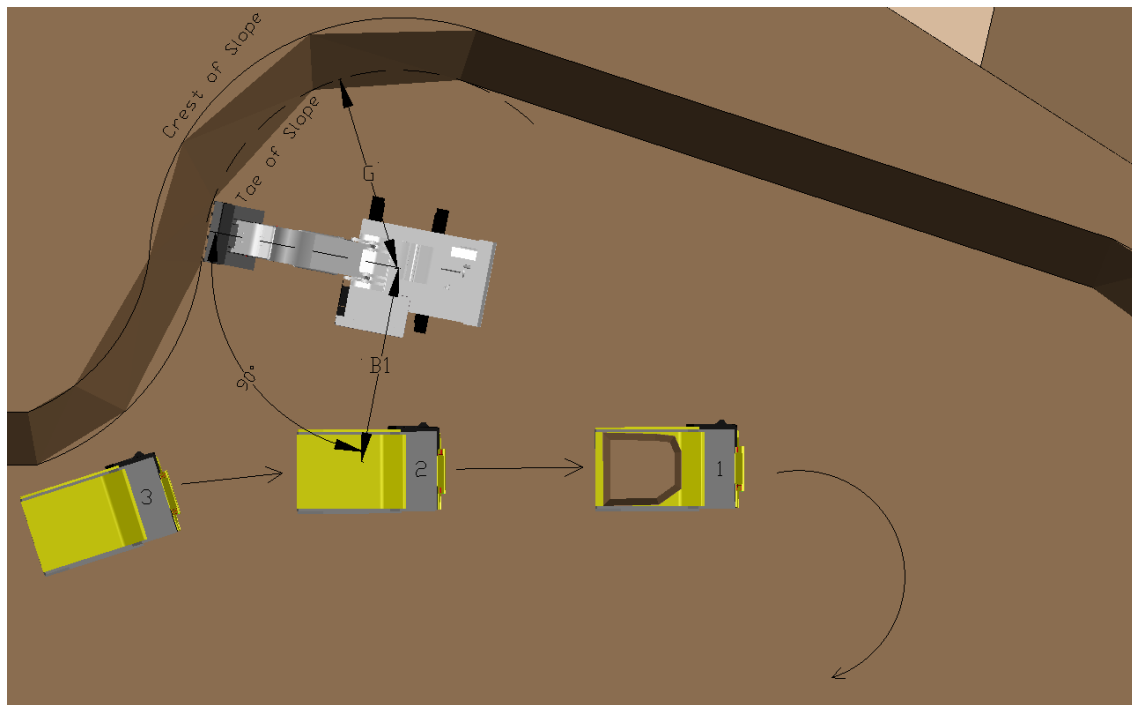
Σχ. 54: Διπλή διάταξη σε κάτοψη της κατά μέτωπο εκσκαφής. Με κυκλικές διακεκομμένες γραμμές απεικονίζεται η νέα θέση προχώρησης του μετώπου.



Σχ. 55: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεθόδου κατά μέτωπο εκσκαφή.

4.2.4 Εκσκαφή με κίνηση

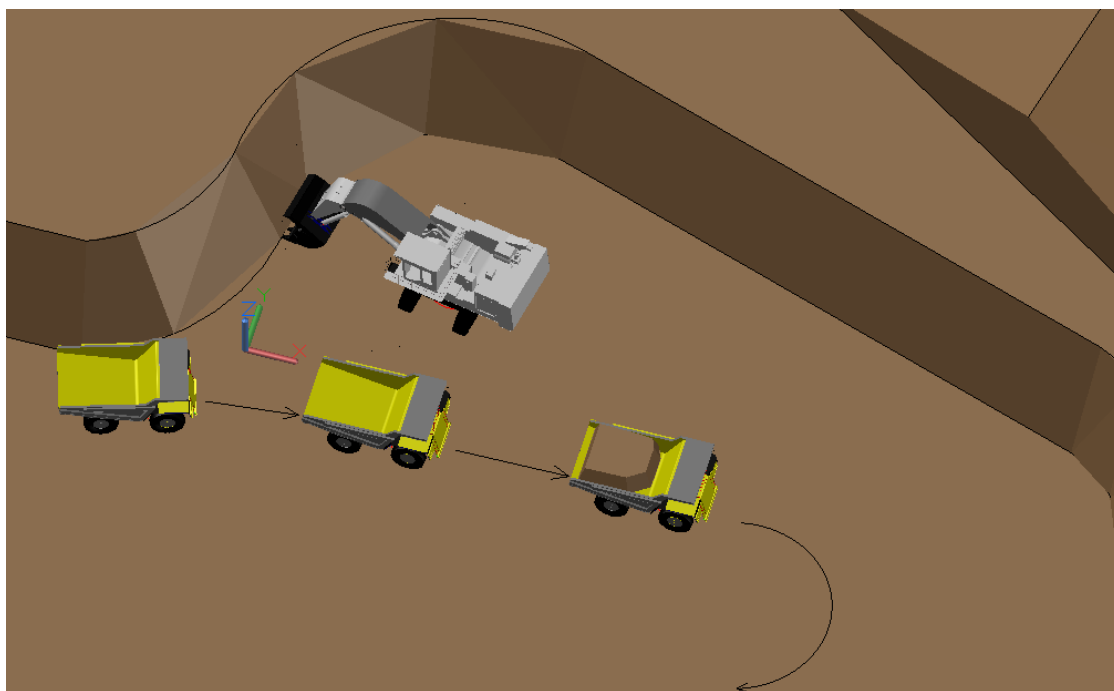
Η εκσκαφή αυτή είναι σχεδιασμένη για να εφαρμόζεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το πλάτος της βαθμίδος είναι ικανοποιητικό (μεγαλύτερο από 10m), για την διέλευση οχημάτων μεταφοράς και προς στις δύο κατευθύνσεις (βλέπε Σχ. 56). Ως προς την εκσκαφή, ονομάζεται 'Εκσκαφή με κίνηση' διότι το εκσκαπτικό μέσω, κινείται παράλληλα και σε απόσταση ίση με G , με την τελική πρόσωση του μετώπου (βλέπε Σχ. 56). Οι προσβάσεις των χωματουργικών οχημάτων πραγματοποιούνται και από τις δύο κατευθύνσεις.



Σχ. 56: Απεικόνιση σε κάτοψη της εκσκαφής με κίνηση.

Τα οχήματα προσεγγίζουν πλευρικά τον εκσκαφέα, στοιχισμένα το ένα πίσω από το άλλο και φορτώνονται συνεχόμενα σε σειρά (βλέπε Σχ. 56). Η ακτίνα φόρτωσης του εκσκαφέα και του χωματουργικού οχήματος είναι ίση με $B1$. Αντίθετα η γωνία περιστροφής κατά την φόρτωση διαμορφώνεται στις 90° . Η παραγωγική διαδικασία ξεκινά μόλις ο εκσκαφέας, λάβει την απαραίτητη θέση μπροστά από το μέτωπο εργασίας. Στην συνέχεια γίνεται η άφιξη των οχημάτων με σειρά $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ (βλέπε Σχ. 56).

Μόλις πραγματοποιηθεί η πλήρης φόρτωση του οχήματος με τον αριθμό (1), ακολουθεί το όχημα με τον αριθμό (2). Η διαδικασία πραγματοποιείται όμοια και για τα τρία χωματουργικά οχήματα. Μετά το πέρας της φόρτωσης και του τρίτου οχήματος, ακολουθεί η επόμενη διάταξη οχημάτων από την αντίθετη κατεύθυνση. Η φόρτωσή τους εκτελείται όμοια με την προηγούμενη. Η άφιξη των οχημάτων στην θέση της εκσκαφής είναι συνεχόμενη, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μηδενισμός του χρόνου αναμονής είτε για τον εκσκαφέα, είτε για τα οχήματα μεταφοράς (βλέπε Σχ. 57). Για τον λόγο αυτό η παραγωγική διαδικασία παρουσιάζεται ως πλήρως αποδοτική.



Σχ. 57: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεθόδου Εκσκαφή με κίνηση.

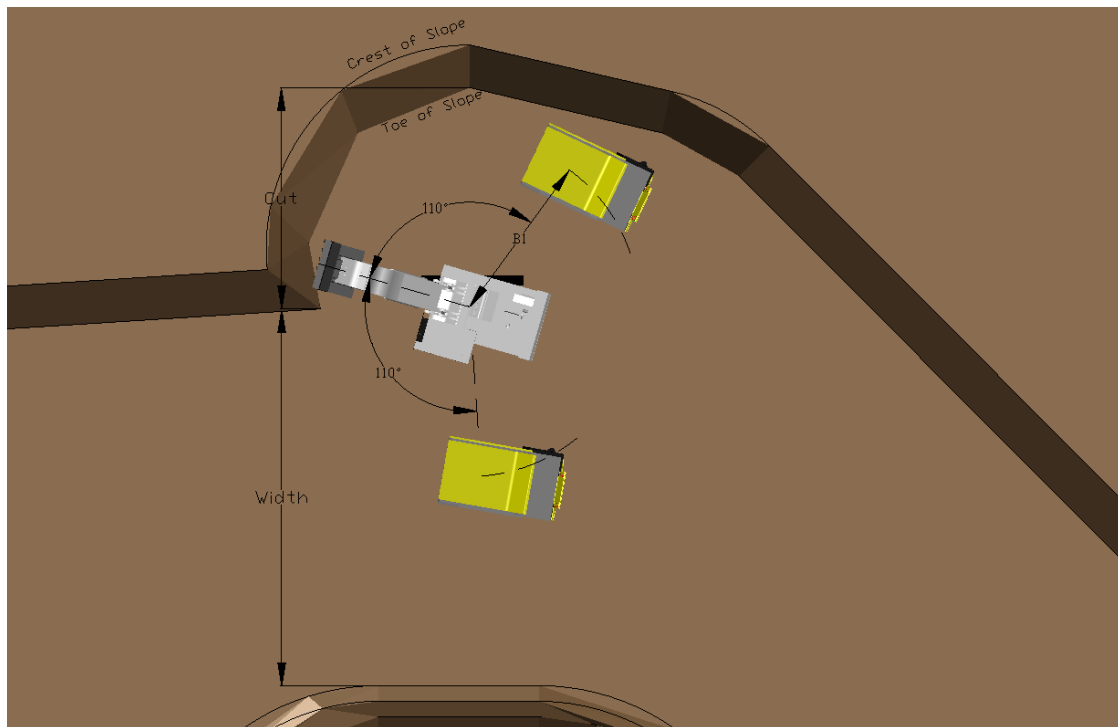
4.2.5 Παράλληλες εκσκαφές

Μέθοδος ευρέος χρησιμοποιούμενη με σκοπό την προχώρηση των βαθμίδων εκμετάλλευσης σε ανώτερα επίπεδα. Χαρακτηριστική παράμετρος για την εφαρμογή της, αποτελεί ο περιορισμένος χώρος εργασίας, πιο συγκεκριμένα το πλάτος του δαπέδου της βαθμίδας παραγωγής. Για το λόγο αυτό ο εκσκαφέας κατά την προσέγγισή του στο μετώπου έχει πρόσβαση σε αυτό μόνον από την μία πλευρά του. Η μέθοδος εξόρυξης με παράλληλες εκσκαφές διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται ‘παράλληλη εκσκαφή με διπλή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων’.
- Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται ‘παράλληλη εκσκαφή με μονή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων’.

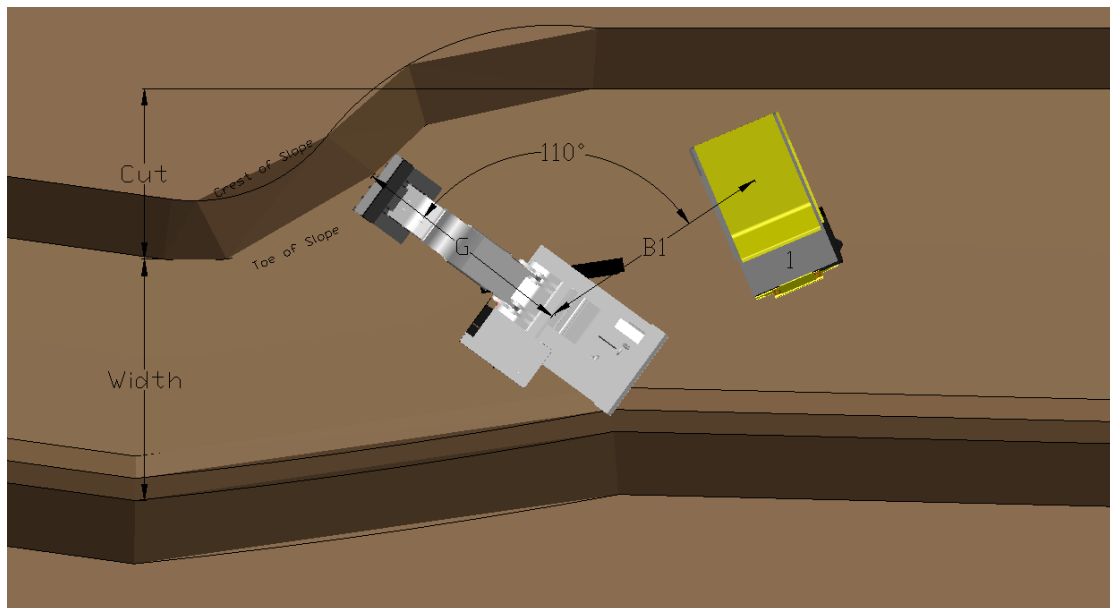
Στην πρώτη κατηγορία, όταν ο χώρος είναι επαρκής και το πλάτος της βαθμίδας είναι ικανοποιητικό, επιλέγεται διπλή διάταξη χωματουργικών οχημάτων. Τα οχήματα μεταφοράς αρχικά προσεγγίζουν των εκσκαφέα από το πίσω τμήμα του, και στην συνέχεια με κατάλληλους ελιγμούς σταματούν, γυρίζουν και διατάσσονται εκατέρωθεν αυτού, σε απόσταση ίση με BI (βλέπε Σχ.58).

Αντίθετα στην δεύτερη κατηγορία, όταν ο χώρος δεν είναι επαρκής και το πλάτος της βαθμίδας είναι μικρότερο επιλέγεται μονή διάταξη χωματουργικών οχημάτων. Το χωματουργικό όχημα αρχικά προσεγγίζει των εκσκαφέα από το πίσω τμήμα του, και στην συνέχεια με κατάλληλους ελιγμούς, σταματά γυρίζει και διατάσσεται εκατέρωθεν αυτού, σε απόσταση ίση με BI (βλέπε Σχ. 59).



Σχ. 58: Κάτοψη παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων.

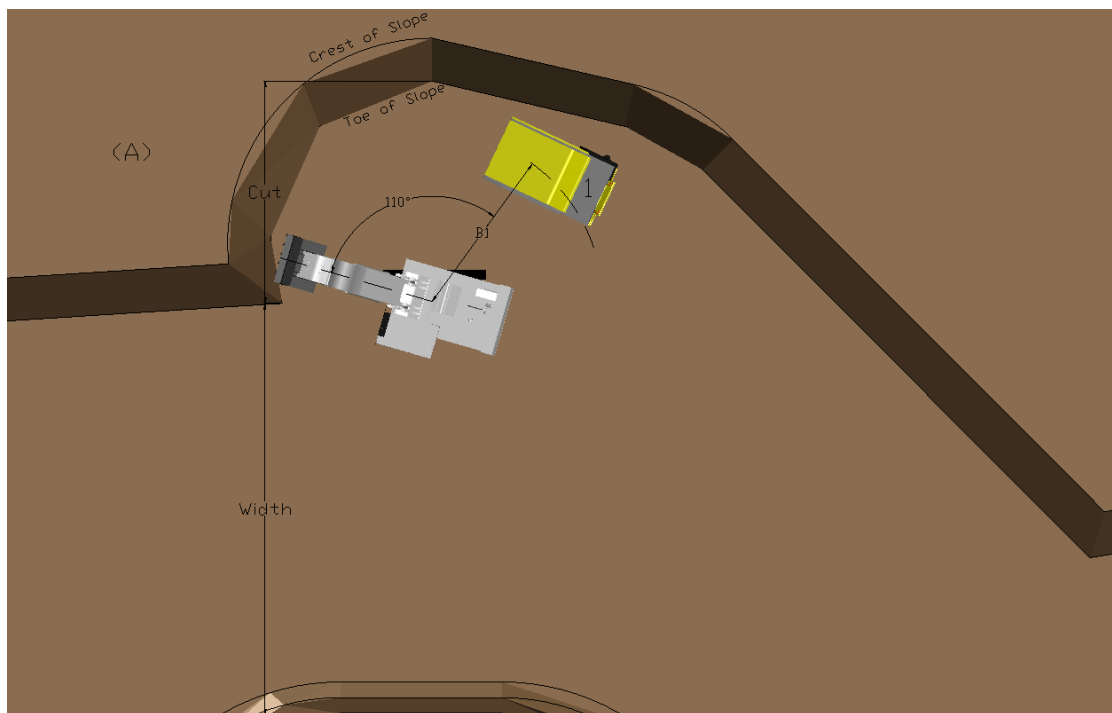
Κατά την διαδικασία της εκσκαφής παρατηρούνται κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς το κόστος εξόρυξης. Ο (Hustrulid, 1979) αναφέρει ότι η γεωμετρία των απότομων πρανών έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων, ως προς το κόστος εκσκαφής (stripping costs). Δηλαδή ο εκσκαφέας καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για την εκσκαφή των πρανών. Το υλικό πέφτει ευκολότερα, και καθώς μειώνεται ο χώρος λειτουργίας αυξάνονται τα λειτουργικά έξοδα, του εκσκαφέα. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι δύο μέθοδοι εκμετάλλευσης με τις παράλληλες εκσκαφές.



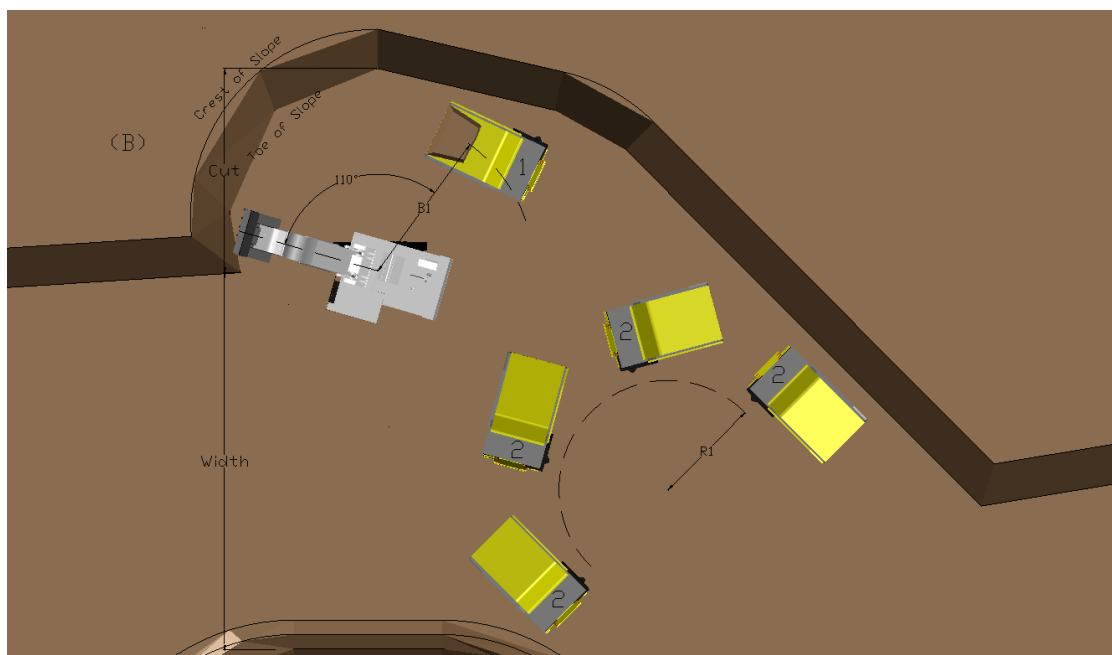
Σχ. 59: Κάτοψη παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη χωματουργικού αυτοκινήτου.

Παράλληλη εκσκαφή με διπλή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων.

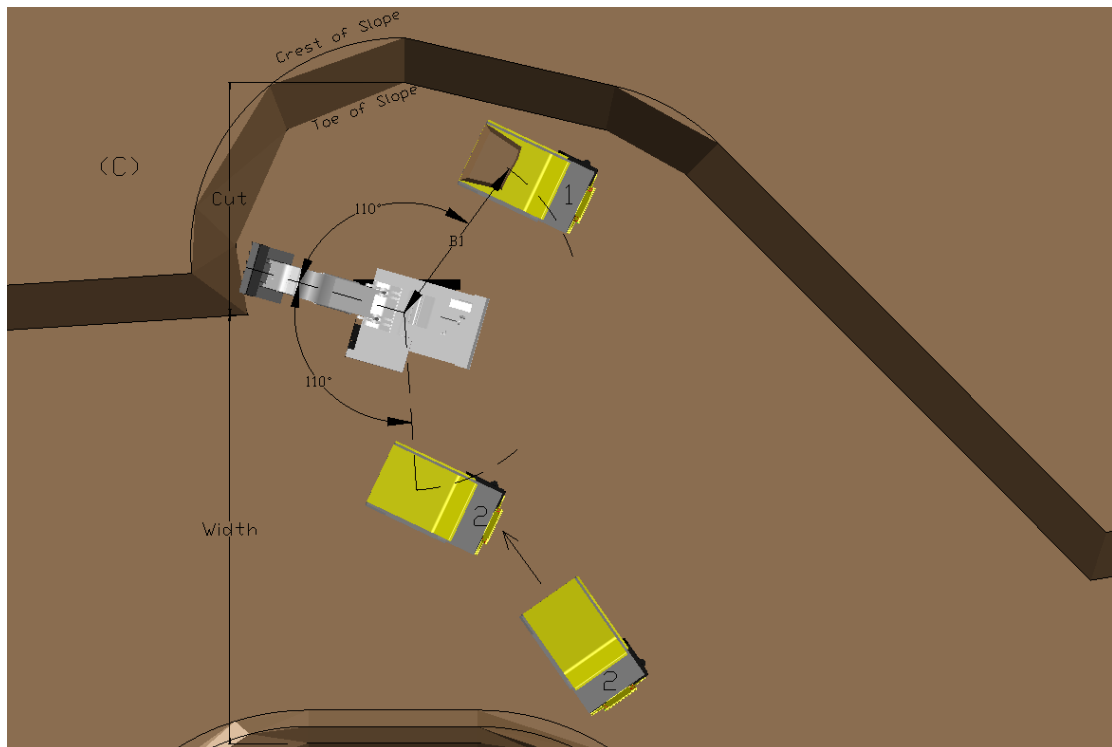
Τυπική μορφή της παραγωγικής διαδικασίας της μεθόδου περιγράφεται στο Σχ. 58. Σκοπός είναι η προχώρηση του μετώπου της βαθμίδας από τα δεξιά προς τα αριστερά. Αρχικά ο υδραυλικός εκσκαφέας, παρατάσσεται εμπρός του προσώπου του μετώπου. Πιο συγκεκριμένα η απόσταση του άξονά του από το πόδι της βαθμίδας είναι ίση με G (βλέπε Σχ. 60). Δίνεται το πλάτος εκσκαφής με την παράμετρο 'Cut', ενώ με την παράμετρο 'Width' περιγράφεται το υπάρχον πλάτος της βαθμίδας παραγωγής. Στην συνέχεια το χωματουργικό όχημα (1) προσεγγίζει τον εκσκαφέα, από το πίσω τμήμα του, σταματά, γυρίζει και με όπισθεν κίνηση παίρνει θέση φόρτωσης, σε απόσταση $B1$ (βλέπε Σχ. 61). Η φόρτωση ξεκινά. Όμοια με το όχημα (1), το όχημα (2) μόλις αφιχθεί στον χώρο διεξαγωγής της εκσκαφής, σταματά, γυρίζει κατά μέγιστη γωνία περιστροφή 180° και με όπισθεν κίνηση παίρνει θέση για φόρτωση, από την κενή πλευρά του εκσκαφέα (βλέπε Σχ. 61, 62). Η ακτίνα περιστροφής του χωματουργικού αυτοκινήτου είναι συγκεκριμένη, και είναι διαφορετική για κάθε τύπο οχήματος. Η ακτίνα περιστροφής συμβολίζεται ως $R1$.



Σχ. 60: Κάτοψη, (A) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.



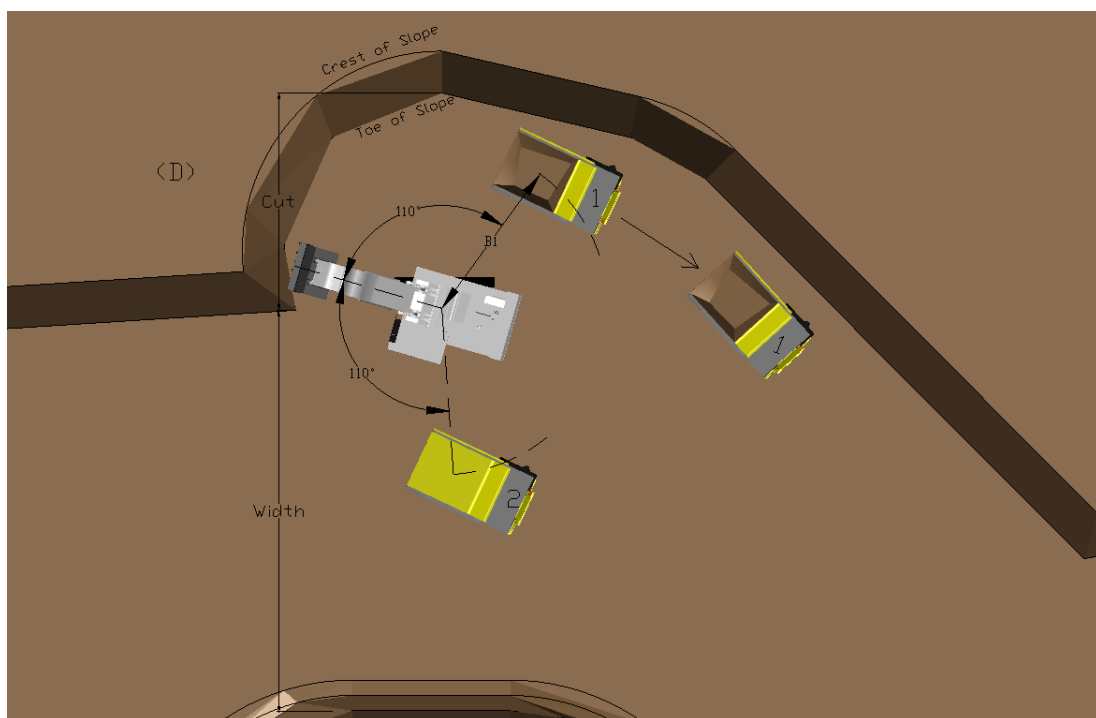
Σχ. 61: Κάτοψη, (B) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.



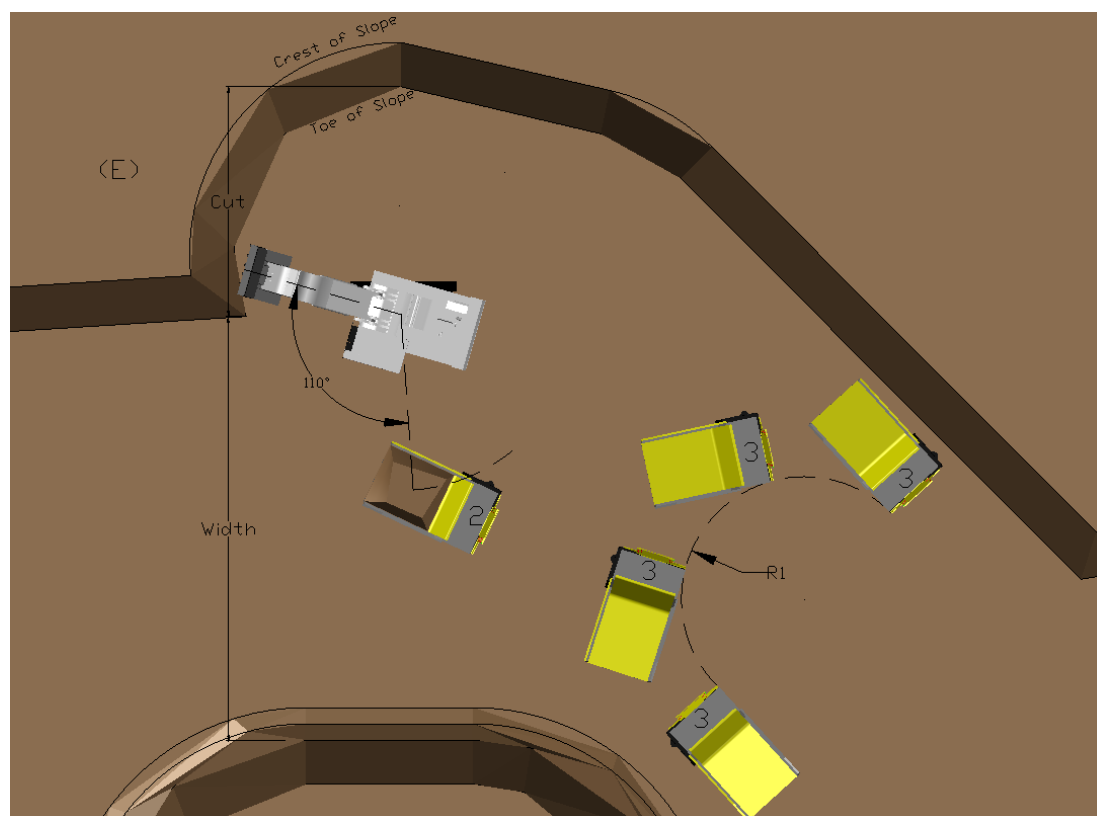
Σχ. 62: Κάτοψη, (C) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.

Εν συνεχεία ενώ το όχημα (2) κινείται με όπισθεν κίνηση, για να λάβει την κατάλληλη θέση φόρτωσης, ο εκσκαφέας συνεχίζει να τροφοδοτεί το όχημα (1) με υλικό (βλέπε Σχ. 62). Μόλις ολοκληρωθεί η φόρτωση του οχήματος (1), ο εκσκαφέας εκτελεί εκσκαφή, και στρέφει από την αντίθετη πλευρά και φορτώνει το όχημα (2) (βλέπε Σχ. 63). Στο στάδιο αυτό θεωρείται πως δεν εμφανίζεται χρόνος αναμονής για το χωματουργικό αυτοκίνητο. Αυτό σημαίνει πως όσο διάστημα χρειαστεί για την προσαρμογή του αυτοκινήτου (2), ίσο διάστημα χρειάζεται ο εκσκαφέας για να ολοκληρώσει την φόρτωση (βλέπε Σχ. 62).

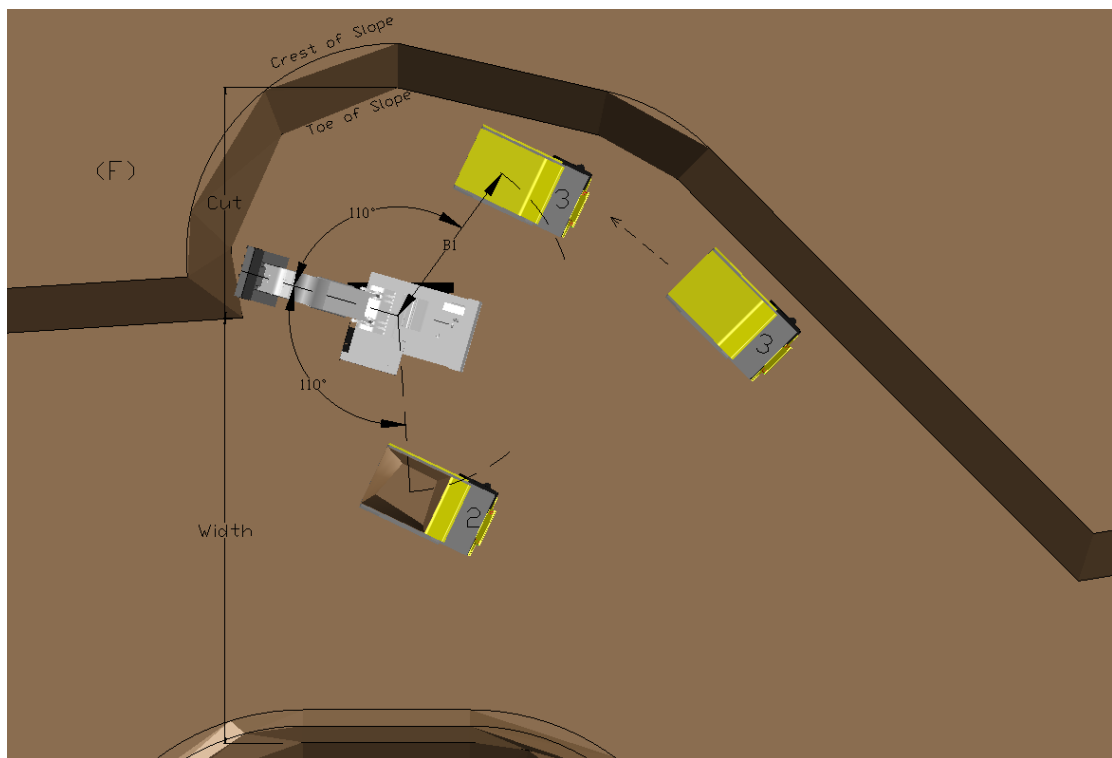
Η παραγωγική διαδικασία εξελίσσεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μηδενίζεται ο χρόνος αναμονής του μηχανολογικού εξοπλισμού φόρτωσης-μεταφοράς. Μετά την ολοκλήρωση της φόρτωσης το όχημα (1), αναχωρεί για τον χώρο απόθεσης του εργοταξίου (βλέπε Σχ. 63). Η φόρτωση συνεχίζεται στο όχημα (2), ενώ παράλληλα προσεγγίζει τον χώρο εκσκαφής το όχημα (3) και ακολουθεί με όμοιο τρόπο, την διαδικασία προσέγγισης του (2) (βλέπε Σχ. 64). Η διαδικασία παραγωγής εξελίσσεται περιοδικά, μέχρις ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη παραγωγή. Στα Σχ. 65 και Σχ. 66 περιγράφεται η υπόλοιπη παραγωγική διαδικασία.



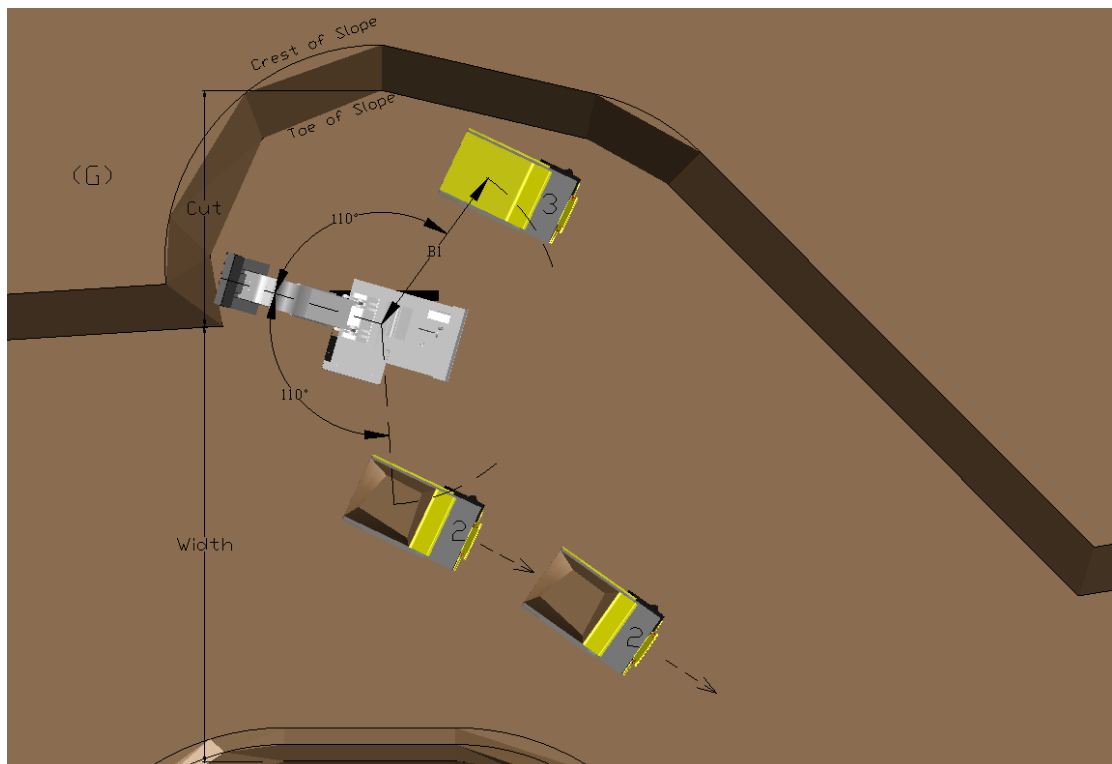
Σχ. 63: Κάτοψη, (D) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.



Σχ. 64: Κάτοψη, (E) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.



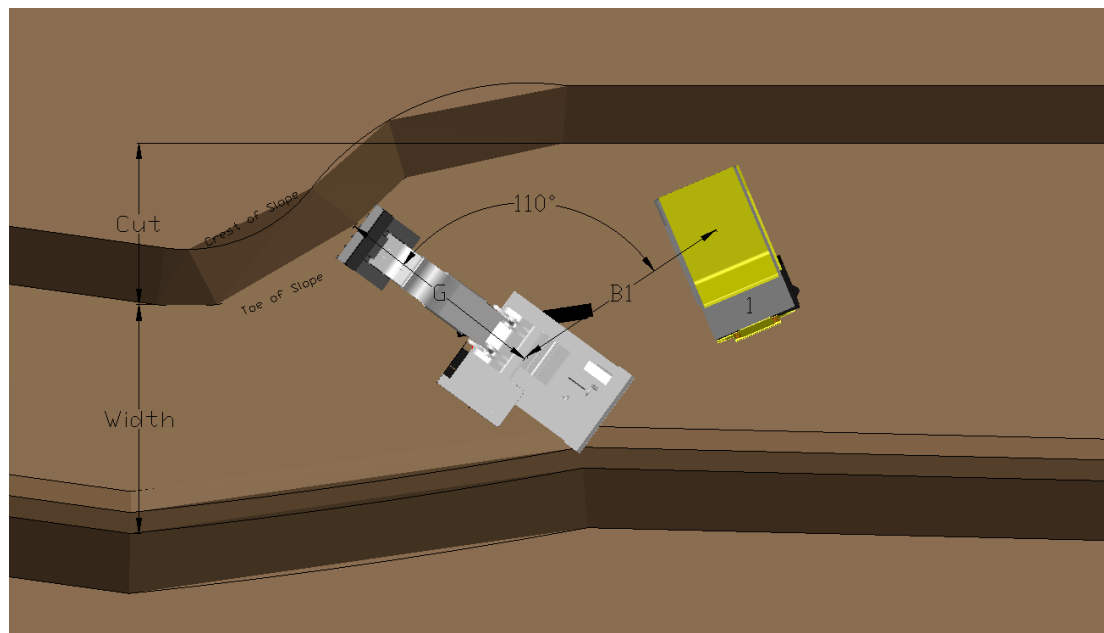
Σχ. 65: Κάτοψη, (F) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.



Σχ. 66: Κάτοψη, (G) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με διπλή διάταξη οχημάτων.

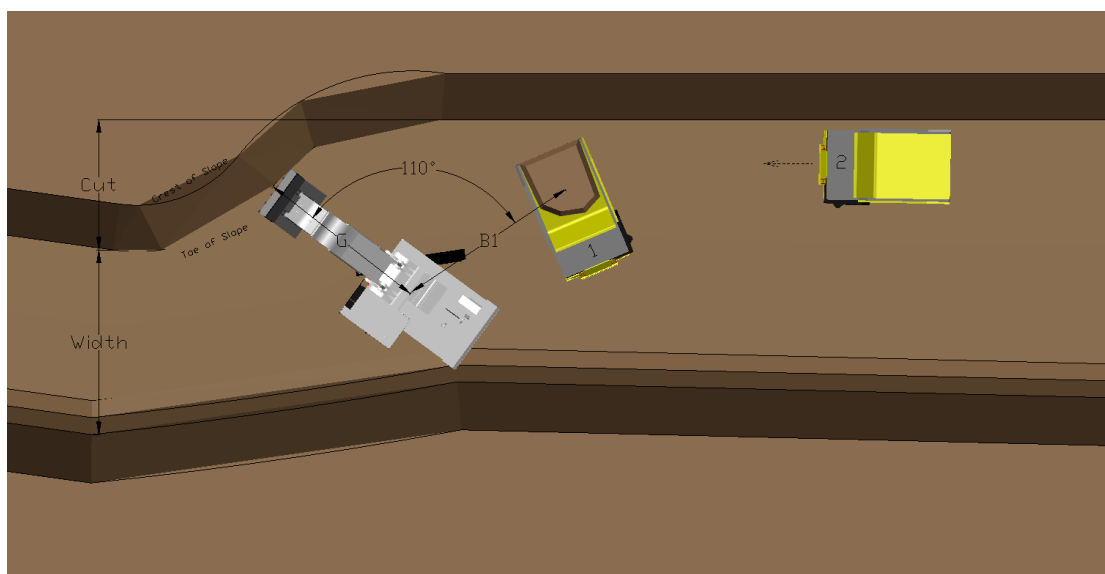
Παράλληλη εκσκαφή με μονή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων

Όταν ο χώρος εργασίας του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι περιορισμένος, τότε χρησιμοποιείται μικρότερο πλήθος χωματουργικών αυτοκινήτων, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση νεκρού χρόνου ή χρόνου αναμονής.

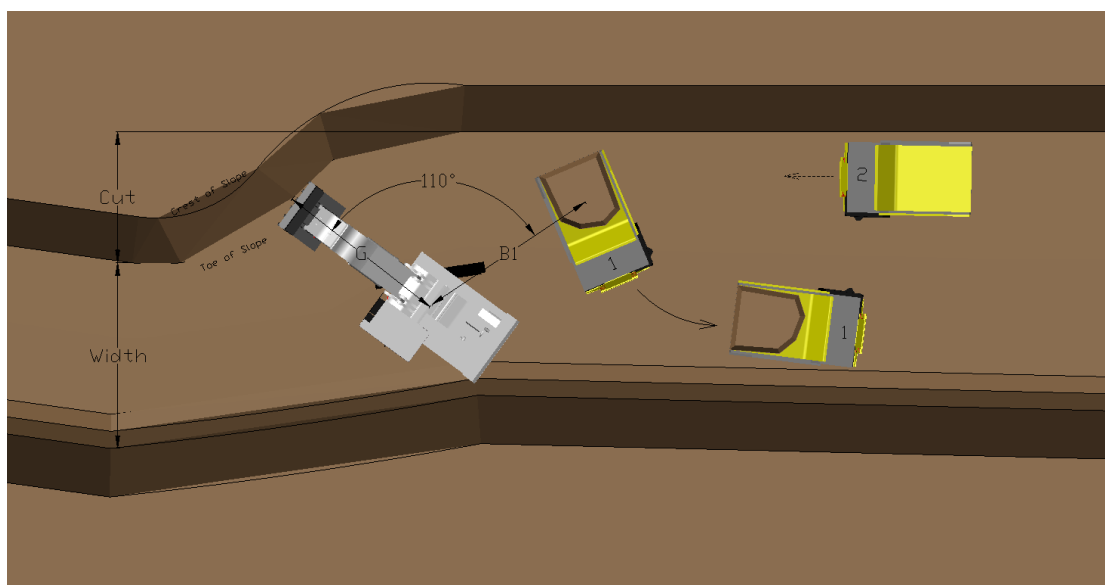


Σχ. 67: Κάτοψη, (Α) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.

Η παραγωγική διαδικασία της μεθόδου ξεκινά με την προσέγγιση του πρώτου οχήματος στην θέση φόρτωσης. Οι διαστάσεις της εκσκαφής είναι περιορισμένες, με αποτέλεσμα ο εκσκαφέας να περιστρέφεται μόνο από την μία πλευρά, ενώ βρίσκεται σε απόσταση G , από το πόδι του πρανούς, αντίθετα η απόστασή του από το αυτοκίνητο είναι $B1$ (βλέπε Σχ. 67). Η γωνία περιστροφής του είναι κατά μέγιστη τιμή 110° (βλέπε Σχ. 67). Σκοπός της μεθόδου είναι η προχώρηση του μετώπου από τα δεξιά στα αριστερά. Καθώς διεξάγεται η φόρτωση του οχήματος (1), το όχημα (2) φτάνει στον χώρο εκσκαφής και περιμένει μέχρις ότου ολοκληρωθεί η φόρτωση (βλέπε Σχ. 68). Αυτή η χρονική στιγμή ονομάζεται χρόνος αναμονής. Στην συνέχεια κατά την αποχώρηση του οχήματος (1) (βλέπε Σχ. 69), το όχημα (2) γυρίζει κατά μία μικρή γωνία, και με όπισθεν κίνηση τοποθετείται στην θέση φόρτωσης του προηγούμενου οχήματος (βλέπε Σχ. 70). Η χρονική στιγμή από την στιγμή της αναχώρησης του πρώτου αυτοκινήτου έως την τοποθέτηση του δεύτερου αυτοκινήτου, αποδίδεται σε νεκρό χρόνο του εκσκαφέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της συνολικής παραγωγικότητας της εκμετάλλευσης. Κάποιες φορές ο χρόνος αυτός μπορεί να απαλείφεται, και να μεταφράζεται σε χρόνο προετοιμασίας του μετώπου, κατά τον οποίο ο εκσκαφέας ξεσκαρώνει υλικό από το μέτωπο της βαθμίδας.

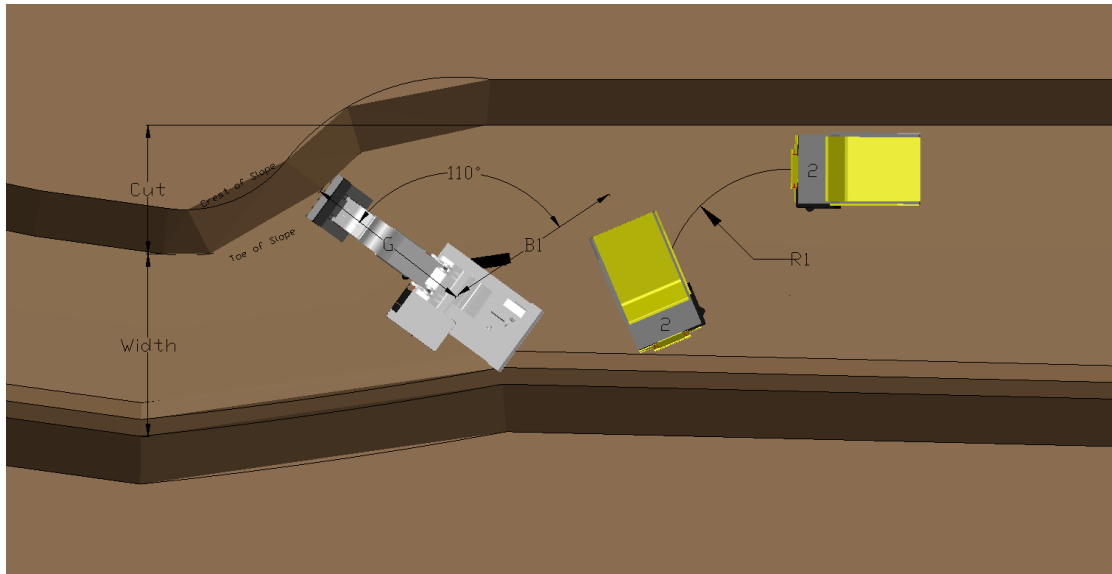


Σχ. 68: Κάτοψη, (B) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.

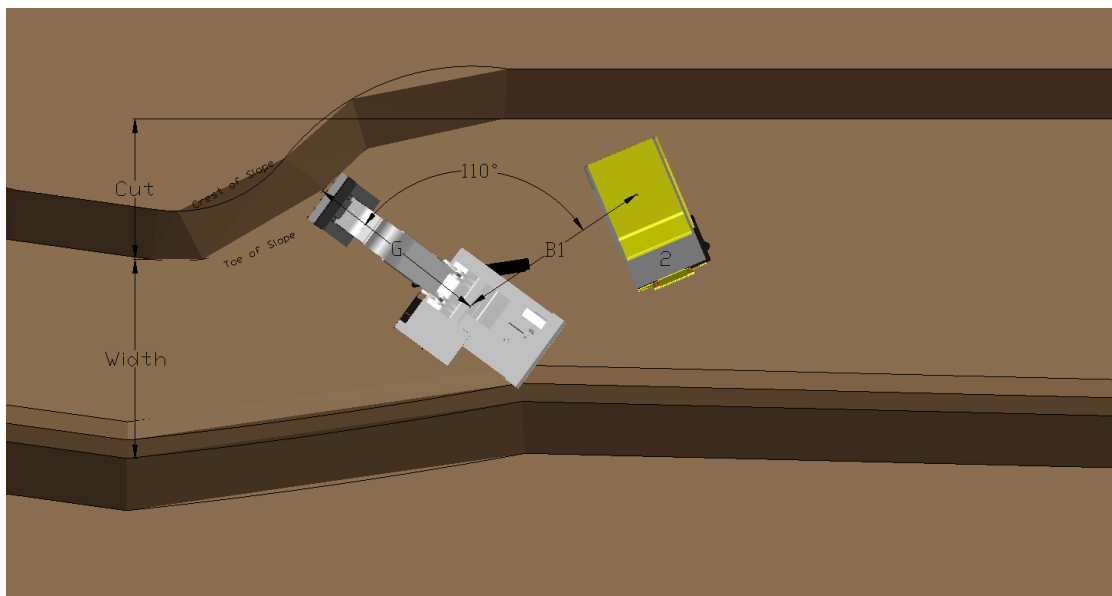


Σχ. 69: Κάτοψη, (C) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.

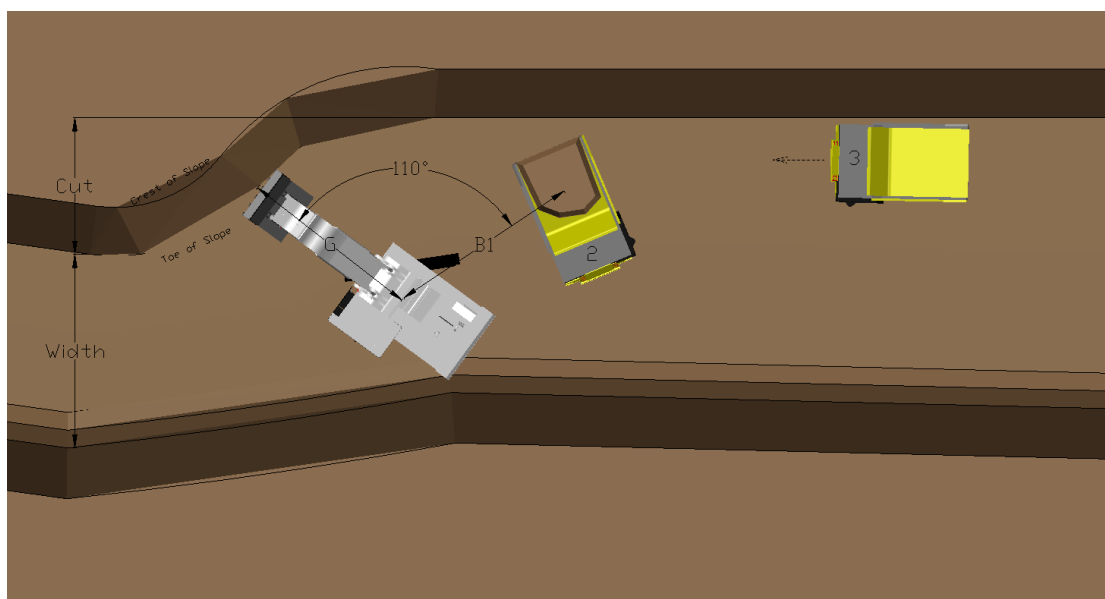
Η διαδικασία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως λιγότερο αποδοτική σε σχέση με την μέθοδο με διπλή διάταξη χωματουργικών αυτοκινήτων. Η ακτίνα καμπυλότητας του χωματουργικού αυτοκινήτου, που εμφανίζεται προκειμένου να γίνει η στροφή του περιγράφεται ως $R1$ (βλέπε Σχ. 70). Με την τοποθέτηση του οχήματος (2), ξεκινά η φόρτωση. Η διαδικασία συνεχίζεται με όμοιο τρόπο (βλέπε Σχ. 71, 72).



Σχ. 70: Κάτοψη, (D) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.



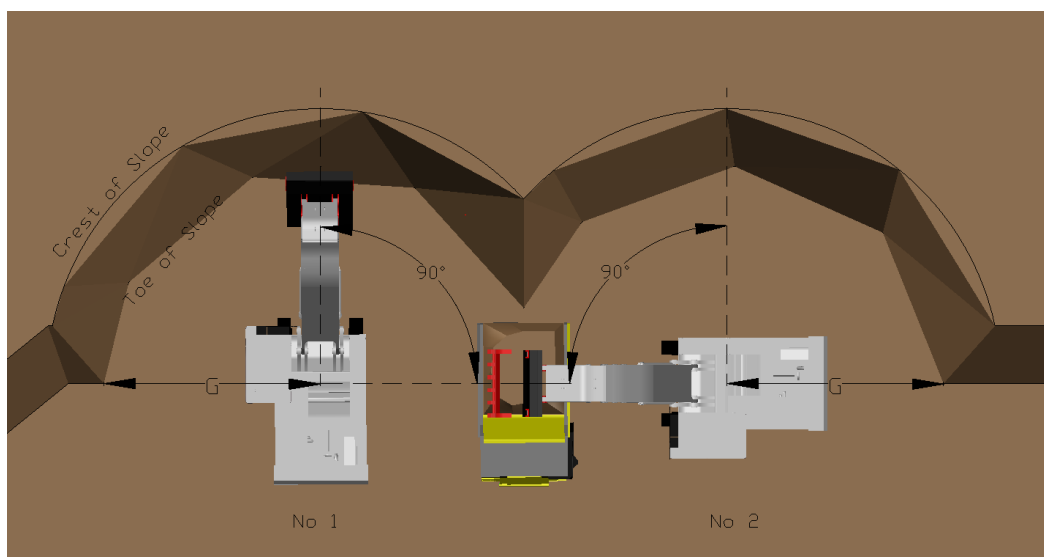
Σχ. 71: Κάτοψη, (E) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.



Σχ. 72: Κάτοψη, (F) φάση της μεθόδου παράλληλης εκσκαφής με μονή διάταξη οχημάτων.

4.2.6 Παράδειγμα εκσκαφής με δύο εκσκαφείς και ένα χωματουργικό όχημα και με έναν εκσκαφέα και ένα χωματουργικό όχημα

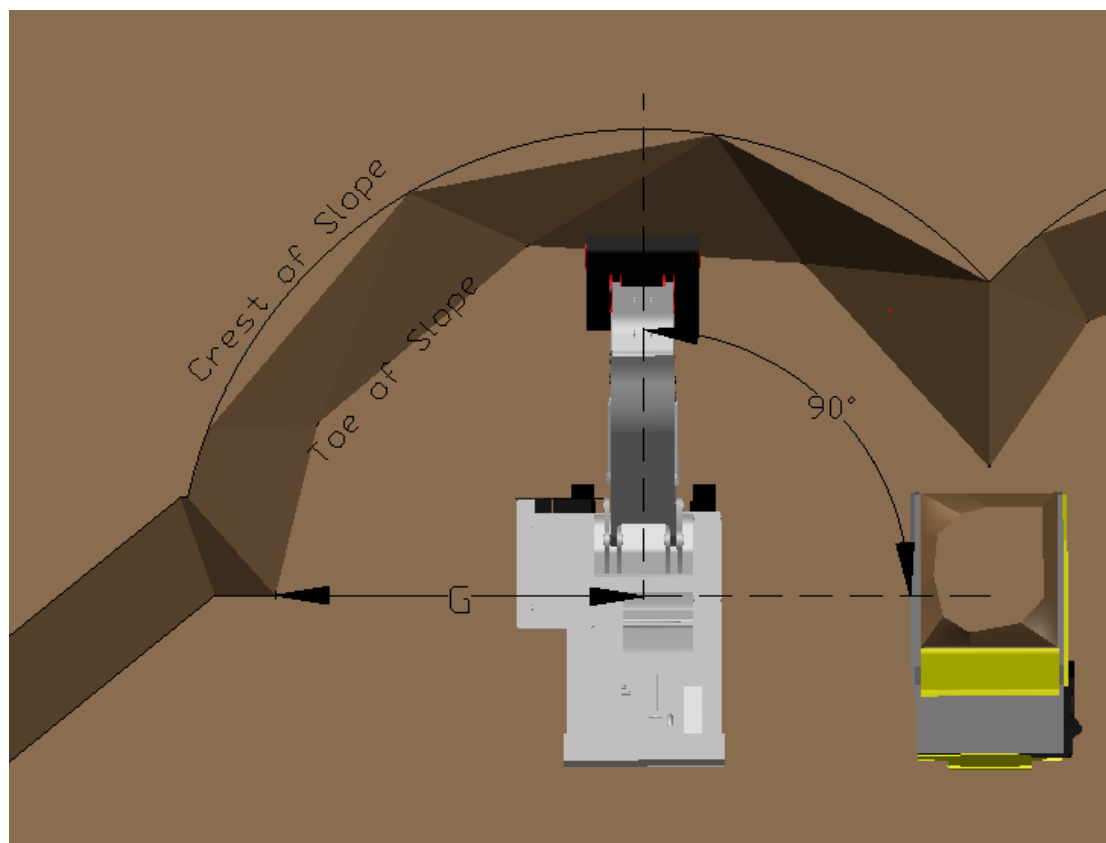
Σ' αυτό το παράδειγμα μελετάται η λειτουργική συμπεριφορά δύο διατάξεων με δύο διαφορετικά ζεύγη (εκσκαφέα – χωματουργικό όχημα), ώστε να πραγματοποιηθεί σύγκριση των δύο και να επιλεγεί η καταλληλότερη διάταξη. Στα σχήματα που ακολουθούν δίνονται οι δύο διατάξεις των ζευγών.



Σχ. 73: Κάτοψη, διάταξη δύο εκσκαφών με ένα φορτηγό.

Στο Σχ. 73 δίνεται η κάτοψη της λειτουργίας δύο εκσκαφών με ένα φορτηγό. Η τοποθέτηση των εκσκαφών είναι παράλληλη, και έχουν την δυνατότητα να

περιστρέφονται 90° και να εκτελούν εκκένωση του κάδου εντός της σκάφης (καρότσας) του χωματουργικού αυτοκινήτου. Η φόρτωση πραγματοποιείται εναλλάξ. Μόλις επιτευχθεί ικανοποιητική φόρτωση του χωματουργικού αυτοκινήτου, τότε αποχωρεί το φορτωμένο και την θέση του παίρνει ένα άδειο. Η παραγωγική διαδικασία εξελίσσεται με αυτό τον τρόπο, έως ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη παραγωγή. Ο εκσκαφέας είναι τοποθετημένος από το πόδι του μετώπου σε απόσταση ίση με G.



Σχ. 74: Κάτοψη, διάταξη ένας εκσκαφέας με ένα φορτηγό.

Στο Σχ. 74 δίνεται η κάτοψη της λειτουργίας ενός εκσκαφέα με ένα χωματουργικό όχημα. Ο εκσκαφέας είναι τοποθετημένος στο κέντρο της κυκλικής εκσκαφής και μπορεί να περιστρέφεται με γωνία 90° ώστε να πραγματοποιεί εκκένωση του κάδου του εντός του χωματουργικού αυτοκινήτου. Μόλις επιτευχθεί ικανοποιητική φόρτωση του φορτηγού τότε αυτό αποχωρεί και την θέση του παίρνει ένα άδειο.

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα είναι ο υδραυλικός εκσκαφέας μετωπικού κάδου [LIEBHERR R9350] τα χαρακτηριστικά του οποίου δίνονται στον Πίν. 3. Αντίθετα το χωματουργικό αυτοκίνητο που χρησιμοποιείται είναι το [CAT 785c] τα χαρακτηριστικά του οποίου δίνονται στον Πίν. 8. Για την υλοποίηση του παραδείγματος δίνονται οι παράμετροι του εργοταξίου Πίν. 9.

Χωματουργικό μεταφορικό όχημα οπίσθιας ανατροπής (βαρέως τύπου): CAT 785C			
Ονομασία:	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο:	B_o	144.86	t
Όγκος καρότσας:	V_a	78.00	m ³
Απόβαρο:	B_a	102.13	t
Συντελεστής πλήρωσης:	Φ_a	1.0	-
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς φόρτωση)	t_{σταθ.}	1.0	min
Ονομαστική ισχύς:	N_a	1450	HP
Κόστος κτήσης:		-	€/μηχάνημα
Κατανάλωση:		-	lt/HP/hr
Μέγιστη ταχύτητα μετακίνησης:	v_{max}	53.82	km/hr

Πίν. 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά χωματουργικού αυτοκινήτου CAT.

Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου			
Ονομασία:	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Απόδοση εργοταξίου:	n_{εργ}	0.88	-
Απόδοση Μηχανήματος:	n_{μηχ}	0.8	-
Απόδοση κινητήρα:	n_{κιν}	0.8	-
Συντελεστής επιπλήσματος:	ε	1.25	-
Ειδικό βάρος (συμπαγές):	γ	2.05	t/m ³

Πίν. 9: Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου.

Η ωριαία παραγωγή ορίζεται σε $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{hr}$ χαλαρό υλικό. Η τιμή είναι ρεαλιστική με σκοπό να προσεγγίζει κατάλληλα πραγματικά δεδομένα. Το υλικό που μπορεί να φορτωθεί στο χωματουργικό όχημα, μέσα σε έναν κύκλο φόρτωσης του εκσκαφέα είναι:

$$Q_e = \frac{V_\phi * \Phi_\phi * n_{\mu\eta\chi}}{t/60} \left(\text{m}^3/\text{hr} \right)$$

$$Q_e = 453,60 \left(\text{m}^3/\text{hr} \right)$$

Οπότε ο αριθμός των εκσκαφών που απαιτείται για να καλύψει όλη την ωριαία παραγωγή είναι:

$$Ze = \frac{Q}{Q_e} = 13$$

Άρα ο αριθμός των εκσκαφών ανεξαρτήτου διάταξης υπολογίζεται σε $Z_e = 13$.

Έστω ότι χρησιμοποιούνται δύο εκσκαφείς για την πρώτη διάταξη Σχ. 73, και ένας εκσκαφέας για την δεύτερη διάταξη Σχ. 74. Οπότε εκκρεμεί ο υπολογισμός των χωματουργικών οχημάτων σε κάθε διάταξη.

Βήμα 1: Υπολογισμός αριθμού φορτώσεων στο χωματουργικό αυτοκίνητο με βάση τον όγκο της καρότσας του χωματουργικού.

$$\xi = \frac{V_a (m^3)}{(V_\varphi * \Phi_\varphi)(m^3)}$$

$$\xi = 4 \text{ φορτώσεις}$$

Βήμα 2: Υπολογισμός όγκου χαλαρού υλικού ($V_{\chi\alpha}$) στο χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$V_{\chi\alpha} = \xi * (V_\varphi * \Phi_\varphi)(m^3)$$

$$V_{\chi\alpha} = 75.60 (m^3)$$

Πρέπει ο όγκος χαλαρού υλικού στο αυτοκίνητο ($V_{\chi\alpha}$) να είναι μικρότερος από την μέγιστη χωρητικότητα όγκου του αυτοκινήτου (V_a). Άρα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος ο περιορισμός είναι αποδεκτός οπότε ισχύει :

$$V_{\chi\alpha} < V_a$$

Βήμα 3: Υπολογισμός χρόνου και ταχυτήτων.

- Στην περίπτωση όπου μελετάται η διάταξη με έναν εκσκαφέα και χωματουργικό αυτοκίνητο ο χρόνος φόρτωσης του οχήματος είναι:

$$t_{\varphi op 1} = \xi * t_\varphi$$

$$t_{\varphi op 1} = 8.00 \text{ min}$$

- Αντίθετα στην διάταξη των δύο εκσκαφών με ένα χωματουργικό αυτοκίνητο ο χρόνος φόρτωσης του οχήματος είναι:

$$t_{\varphi op 2} = \frac{t_{\varphi op 1}}{2} = 4.00 \text{ min}$$

Η μέγιστη ταχύτητα του χωματουργικού αυτοκινήτου υπολογίζεται σε:

$$v_{max} = 15.80 \left(km/hr \right)$$

Η μαθηματική εξίσωση υπολογισμού της ταχύτητας του χωματουργικού αυτοκινήτου, σε συνδυασμό με σχετικούς πίνακες αναλυτικού προσδιορισμού της ταχύτητας, δίνονται στο 5^ο Κεφάλαιο.

Η ταχύτητα μεταφοράς του αυτοκινήτου είναι:

$$v_{μετ} = n * v_{max}$$

$$v_{μετ} = 0.75 * 15.80 = 11.88 \left(km/hr \right)$$

Αν οριστεί ως μέγιστη απόσταση δρομολογίου μεταφοράς $L = 500$ m. Τότε ο απαιτούμενος χρόνος μεταφοράς είναι:

$$t_{μετ} = 0.06 * \left(\frac{L (m)}{v_{μετ} (km/hr)} \right)$$

$$t_{μετ} = 2.53 (min)$$

Η ταχύτητα μεταφοράς άδειου χωματουργικού αυτοκινήτου είναι:

$$v_{αδειο} = 37.21 \left(km/hr \right)$$

Ο χρόνος επιστροφής του χωματουργικού αυτοκινήτου είναι:

$$t_{επιστρ} = 0.06 * \left(\frac{L (m)}{v_{αδειο} (km/hr)} \right)$$

$$t_{επιστρ} = 0.81 min$$

Άρα ο συνολικός χρόνος του χωματουργικού αυτοκινήτου στον χώρο της εκμετάλλευσης είναι:

- Για διάταξη με ένα εκσκαφέα και ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$t_{ολ1} = t_{φορ1} + t_{μετ} + t_{επιστρ} + t_{σταθ} (min)$$

$$t_{ολ1} = 12.34 (min)$$

- Για διάταξη με δύο εκσκαφής και ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$t_{ολ2} = t_{φορ2} + t_{μετ} + t_{επιστρ} + t_{σταθ} (min)$$

$$t_{ολ2} = 8.34 (min)$$

Βήμα 4: Υπολογισμός ωριαίας απόδοσης χωματουργικού αυτοκινήτου.

- Για διάταξη με ένα εκσκαφέα και ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$Q_{αυτ1} = \frac{60 * V_{χα} * n_{μηχ}}{t_{ολ1}} = \frac{60 * 75.60 * 0.8}{12.34} = 294.28 \left(m^3/hr \right)$$

- Για διάταξη με δύο εκσκαφής και ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$Q_{αυτ2} = \frac{60 * V_{χα} * n_{μηχ}}{t_{ολ2}} = \frac{60 * 75.60 * 0.8}{8.34} = 435.58 \left(m^3/hr \right)$$

Βήμα 5: Υπολογισμός αριθμού χωματουργικών αυτοκινήτων.

- Για διάταξη με ένα εκσκαφέα που φορτώνει ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$Z_{αυτ1} = \frac{Q_e}{Q_{αυτ1}} = \frac{453.60}{294.28} = 2$$

- Για διάταξη με δύο εκσκαφείς που φορτώνουν ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$Z_{αυτ2} = \frac{Q_e}{Q_{αυτ2}} = \frac{453.60}{435.58} = 3$$

Για τον υπολογισμό των χωματουργικών αυτοκινήτων έχει πραγματοποιηθεί στην τελική τιμή στρογγυλοποίηση προς τα πάνω κατά μία μονάδα.

Επομένως για να έχω πλήρης παραγωγικότητα έτσι ώστε να επιτευχθεί η ωριαία παραγωγή των $Q_e = 453.60 \text{ m}^3/hr$, τα συνολικά χωματουργικά αυτοκίνητα που θα συμμετέχουν σε ολόκληρη την διαδικασία και ανάλογα την διάταξη που επιλέγεται θα είναι:

- Διάταξη με έναν εκσκαφέα που φορτώνει ένα χωματουργικό αυτοκίνητο Σχ. 74.

$$Z_1 = \frac{Z_{αυτ1}}{Z_e} = \frac{2}{13} = 26 (Dumpers)$$

- Διάταξη με δύο εκσκαφείς που φορτώνουν ένα χωματουργικό αυτοκίνητο Σχ. 73.

$$Z_2 = \frac{Z_{\text{αυτ}2} * Z_e}{2} = \frac{3 * 13}{2} = 20 \text{ (Dumpers)}$$

Τα συμπεράσματα που δημιουργούνται είναι, όταν χρησιμοποιείται διπλάσιος αριθμός εκσκαπτικών μέσων μέσα σε έναν πλήρη κύκλο φόρτωσης, μειώνεται ο αριθμός των μεταφορικών οχημάτων. Ενώ όταν ο αριθμός των εκσκαπτικών μέσων σε κάθε κύκλο φόρτωσης είναι ανάλογος με τον αριθμό των μεταφορικών μέσων, τότε απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός μεταφορικών μέσων. Οπότε στην περίπτωση του Σχ. 73 παρατηρείται η εκσκαφή μεγαλύτερης ποσότητας υλικού, σε σχέση με την περίπτωση του Σχ. 74. Αυτό σε πραγματικές συνθήκες εξόρυξης έχει σαν αποτέλεσμα εξοικονόμηση χρόνου και κόστους των μεταφορικών οχημάτων, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας.

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των εκσκαφέων, τότε είναι προτιμότερο να επιλεγεί νέο μεταφορικό όχημα, με μεγαλύτερη χωρητικότητα σκάφης (καρότσας), ώστε να μειώνονται πιθανών υπολογιστικά προβλήματα στους τύπους που ακολουθήθηκαν στο παράδειγμα. Καθώς αυξάνεται η παραγωγικότητα πρέπει να επιλέγονται οχήματα με μεγαλύτερη χωρητικότητα σκάφης. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση της παραγωγικότητας παραμένοντας σταθερή η χωρητικότητα των μεταφορικών οχημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού του εξοπλισμού μεταφοράς. Μεγάλος αριθμός οχημάτων μεταφοράς μεταφράζεται σε αύξηση του κόστους του μηχανολογικού εξοπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Με τον όρο λειτουργική ανάλυση μιας παραγωγικής διαδικασίας για την κατασκευή ενός έργου ονομάζεται η μελέτη και ο προσδιορισμός των εργασιών σε συνάρτηση με τον χρόνο εργασίας, με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό του μεγέθους της ωριαίας αποδόσεως. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας κατάλληλες μεθόδους βελτιστοποίησης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγική ικανότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού του εργοταξίου, με το ελάχιστο κόστος ή την μέγιστη παραγωγικότητά τους. Βασικός στόχος της λειτουργικής ανάλυσης αποτελεί ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας των παραγωγικών διαδικασιών.

5.2 Προσδιορισμός του χρόνου εργασίας

Κατά το στάδιο εκτέλεσης μιας παραγωγικής δραστηριότητας όλος ο σχεδιασμός της λειτουργικής ανάλυσης του εργοταξίου επικεντρώνεται στην χρονική διάρκεια της εργασίας. Ο σκοπός που πρέπει να επιτευχθεί είναι η σωστή κατανομή του χρονικού διαστήματος της εργασίας που έχει τεθεί ώστε να πραγματοποιηθούν οι προγραμματισμένες εργασίες. Η χρονική διάρκεια μιας εργασίας προσδιορίζεται με τρεις δυνατές μεθόδους:

1. Μέτρηση του χρόνου
2. Υπολογισμός του χρόνου
3. Εκτίμηση του χρόνου

Πιο συγκεκριμένα για τον ακριβή προσδιορισμό του χρόνου χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος *‘μέτρηση του χρόνου’* έχοντας κατανοήσει, μελετήσει και προσδιορίσει πλήρως την εργοταξιακή δραστηριότητα. Όταν γίνεται αναφορά στην εργοταξιακή δραστηριότητα, αναφέρεται τόσο στο περιεχόμενό της όσο και στις συνθήκες και στα μεγέθη της εργασίας τα οποία την επηρεάζουν. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος δεν χρησιμοποιείται συχνά, ενώ όταν χρησιμοποιείται πραγματοποιείται από ειδικευμένο προσωπικό μελέτης του χρόνου. Πιο συχνά αλλά και για πρακτικούς λόγους η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι ο υπολογισμός του χρόνου. Ο υπολογισμός του χρόνου μπορεί να προκύψει είτε από αναλυτικά και λειτουργικά στοιχεία, είτε από πίνακες της βιβλιογραφίας δομικών μηχανών, είτε από εργασίες με παρόμοια μηχανήματα. Το πρόβλημα το οποίο χρειάζεται λύση είναι αρκετά περίπλοκο και τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να απαντηθεί με ακριβή στοιχεία. Αυτό που προτιμάται τις περισσότερες φορές είτε σε ακαδημαϊκό επίπεδο, είτε σε πραγματικό χώρο εργασίας είναι η χρήση ειδικών πινάκων προσδιορισμού του χρόνου εργασίας. Μέσω τέτοιων πινάκων προσδιορίζονται οι *δείκτες παραγωγής* σε ώρες εργασίας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Με την χρήση αυτών των πινάκων πρέπει να δίνεται έμφαση στο περιεχόμενο της εργασίας, στις συνθήκες εργασίας και στα μεγέθη που την επηρεάζουν ώστε να γίνεται ο επιτυχείς υπολογισμός του χρονικού προγραμματισμού.

5.2.1 Ο χρόνος εργασίας του εργοταξίου

Πρώτα απ' όλα για την ανάλυση του χρόνου εργασίας ενός μηχανήματος ή μιας ομάδας εργασίας, χρειάζεται η ανάλυση της εργασίας σε επί μέρους φάσεις. Άρα το βασικό πλεονέκτημα της λειτουργικής ανάλυσης των φάσεων εργασίας είναι ο άμεσος εντοπισμός του χρονικού διαστήματος των μερικών φάσεων, οι οποίες επηρεάζουν τον συνολικό χρόνο κύκλου εργασίας. Κάθε επί μέρους φάση της εργασίας αποτελείται από τον αντίστοιχο χρόνο εργασίας. Ο συνολικός χρόνος ανά μονάδα παραγωγής βρίσκεται από το άθροισμα των επιμέρους χρόνων:

$$t_e = t_{er} + t_v + t_g \text{ (hr)}$$

$$t_g = t_r + t_w \text{ (hr)}$$

όπου:

- t_e : συνολικός χρόνος ανά μονάδα παραγωγής.
- t_{er} : χρόνος στάσης (αποτελεί το 10% του συνολικού χρόνου).
- t_v : χρόνος μη περιοδικής εμφάνισης (οι χρόνοι που διαμορφώνονται από το προσωπικό και την δυσκολία του έργου, για παράδειγμα ανάγνωση σχεδίων, προετοιμασία μηχανών κ.α. Αποτελεί το 20% του συνολικού χρόνου).
- t_g : βασικός χρόνος λειτουργίας.
- t_w : χρόνος αναμονής(εντάσσονται οι λειτουργικά και τεχνικά χρόνοι διακοπής της εργασίας).
- t_r : χρόνος καθαρής απασχόλησης (εντάσσονται όλοι οι βασικοί και δευτερεύοντες χρόνοι της εργασίας).

5.2.2 Ο χρόνος εργασίας των δομικών μηχανών του εργοταξίου

Ο χρόνος εργασίας των δομικών μηχανών είναι χρόνος που εμπεριέχεται στον υπολογισμό του συνολικού χρόνου ανά μονάδα παραγωγής, και συγκεκριμένα αποτελεί τον βασικό χρόνο λειτουργίας μιας ομάδας μηχανών. Ονομάζεται χρόνος κύκλου εργασίας ' t_s ' και περιγράφει την χρονική περίοδο μέσα στην οποία πραγματοποιείται μία πλήρης παραγωγική εργασία, υπολογίζεται από το άθροισμα των σταθερών χρόνων ' t_r ' και μεταβλητών χρόνων ' t_v '. Μονάδα μέτρησης του χρόνου είναι η ώρα (hr). Η εξίσωση που περιγράφει τα μεγέθη είναι:

$$t_s = t_r + t_v$$

Σταθερός χρόνος t_r : ως σταθερός χρόνος ορίζεται το άθροισμα όλων των μερικών χρόνων και προσδιορίζεται από εμπειρικές τιμές ή από ειδικούς πίνακες της βιβλιογραφίας. Για την μέτρηση του χρόνου σε εργοταξιακές εργασίες χρησιμοποιούνται χρονόμετρα με μεγάλη ακρίβεια. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με βάση κάποιο μελετημένο πρόγραμμα, ώστε οι τιμές που προκύπτουν να τείνουν όσο το δυνατόν καλύτερα στην πραγματική τιμή του χρόνου. Παράδειγμα σταθερού χρόνου είναι ο κύκλος εργασίας του εκσκαφέα και ο χρόνος απορρίψεως υλικού εξόρυξης από χωματουργικό όχημα.

Μεταβλητός χρόνος t_v : ονομάζεται και χρόνος κυκλοφορίας και περιγράφει την χρονική διάρκεια της εργασίας των μεταφορικών οχημάτων. Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται σε συνάρτηση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος, του εδάφους, και του δρομολογίου. Ο γενικός τύπος των υπολογισμών είναι:

$$t_v = \sum_{i=1}^n t_{v_i} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i (km)}{v_{mi} \left(\frac{km}{hr}\right)} (hr)$$

Σημείωση: ο γενικός τύπος του μεταβλητού χρόνου ' t_v ' ισχύει αν υποδιαιρεθεί το αρχικό συνολικό δρομολόγιο σε 'n' επιμέρους τμήματα. Στην περίπτωση που θεωρήσουμε συνεχές δρομολόγιο τότε η παράμετρο 'n' παίρνει την τιμή της μονάδος, υπολογίζεται μόνο δύο φορές μία για την μετάβαση (φορτωμένο όχημα) και μία για την επιστροφή (άδειο όχημα). Αντίστοιχα ο τύπος που προκύπτει είναι:

$$t_v = \sum_{i=1}^2 \frac{L_{max} (km)}{v_{mi} \left(\frac{km}{hr}\right)} (hr)$$

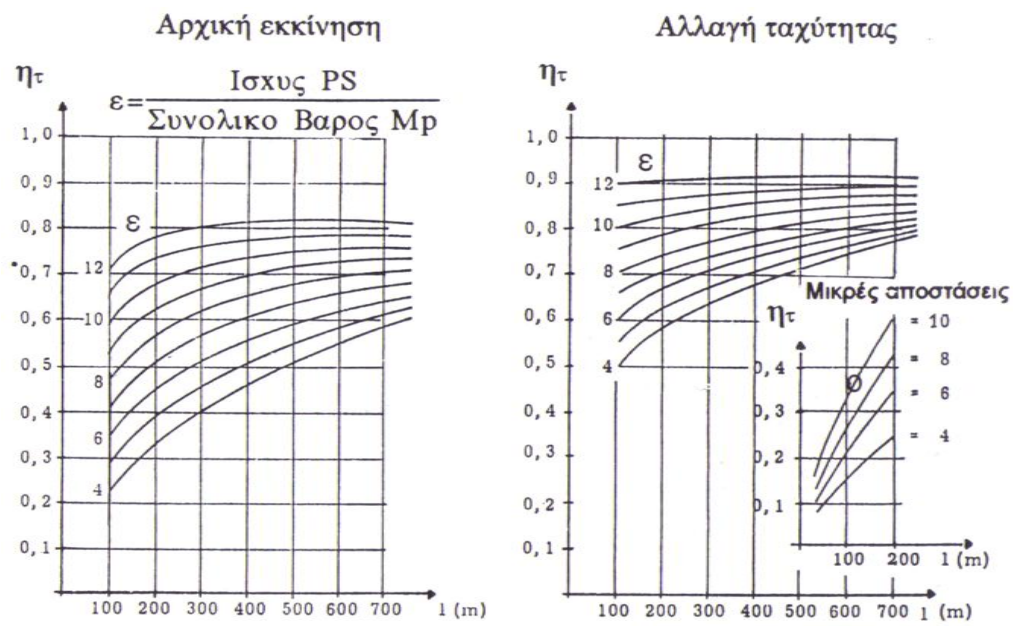
Οι τιμές τις μέσης ταχύτητας μεταφοράς του οχήματος είτε για την μετάβαση, είτε για την επιστροφή είτε ακόμη για την περίπτωση που το δρομολόγιο διαιρείται σε 'n' επιμέρους τμήματα δίνονται από την επόμενη εξίσωση:

$$v_{mi} = v_{max,i} * n_{\tau} \left(\frac{km}{hr}\right)$$

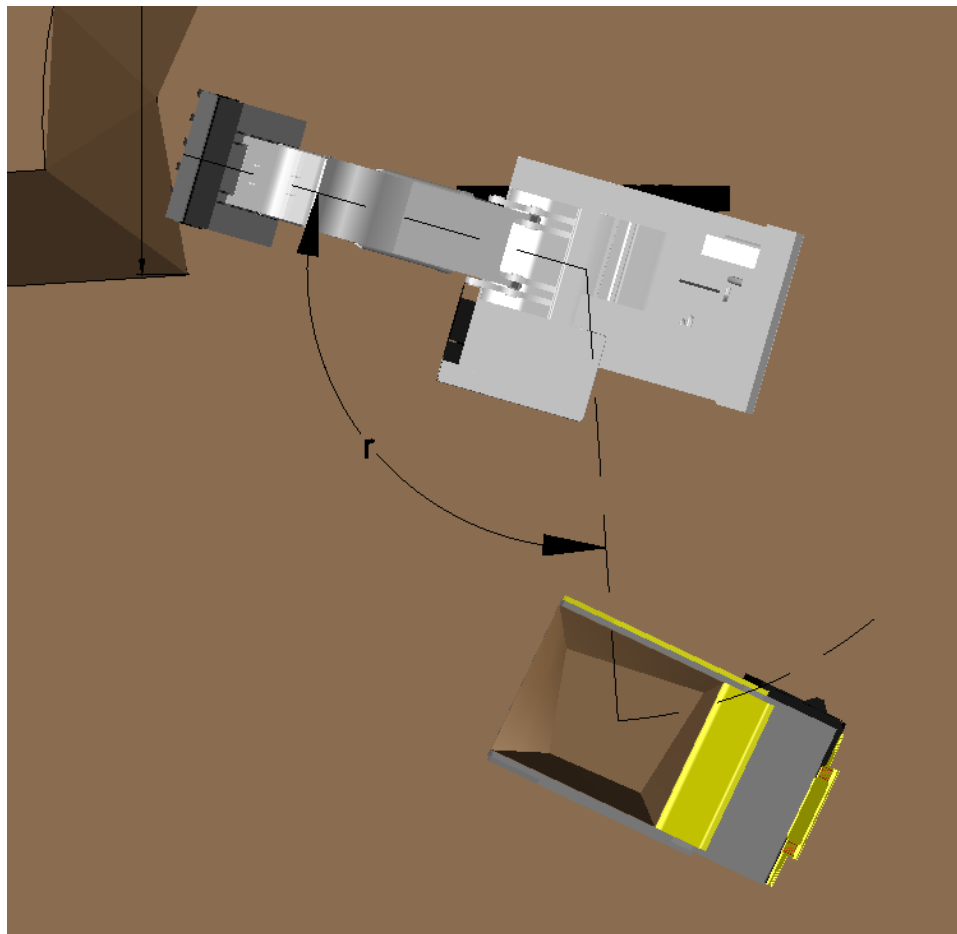
Ο όρος ' n_{τ} ' ονομάζεται συντελεστής διόρθωσης της ταχύτητας ' $v_{max,i}$ ', εξαρτάται από την κατάσταση του οδοστρώματος κύλισης, από την ικανότητα επιτάχυνσης του χωματουργικού οχήματος, από την σχέση ισχύος κινητήρα οχήματος προς μικτό βάρος οχήματος, από το μήκος της διαδρομής αλλά και από την διαθεσιμότητα του χειριστή. Υπολογίζεται από σχετικό πίνακα ή από διαγράμματα. Ο υπολογισμός της μέγιστης ταχύτητας ' $v_{max,i}$ ' του χωματουργικού οχήματος αναφέρεται παρακάτω.

Συνθήκες κυκλοφορίας	Με φορτίο	Χωρίς φορτίο
Ευνοϊκές	0,70-0,75	0,80-0,85
Μέτριες	0,60-0,70	0,75-0,80
Δυσμενείς	0,50-0,60	0,70-0,75

Πίν. 10: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή διόρθωσης της ταχύτητας ' n_{τ} ' (Εφραιμίδης, 2002).



Σχ. 75: Διαγράμματα υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης της ταχύτητας ' η_{τ} ' (Εφραιμίδης, 2002).



Σχ. 76: Σχεδιαστική απεικόνιση για τον ορισμό της γωνίας περιστροφής ' r ' του πτύου του εκσκαφέα.

5.3 Υπολογισμός αποδόσεως δομικών μηχανών

Οι δομικές μηχανές παραγωγής επηρεάζουν (αυξάνουν ή μειώνουν) την συνολική απόδοση του εργοταξίου και κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Μηχανές συνεχούς λειτουργίας.
- Μηχανές περιοδικής λειτουργίας.

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας στηρίζεται στις μηχανές περιοδικής λειτουργίας, ονομάζονται έτσι διότι η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται από μια χρονική διάρκεια η οποία μπορεί να επαναλαμβάνεται με σταθερό ή μεταβλητό ρυθμό στο χρόνο μίας περιόδου. Παράδειγμα τέτοιων μηχανών είναι ο εκσκαφέας με μετωπικό κάδο, ο εκσκαφέας με ανεστραμμένο κάδο, το χωματουργικό όχημα.

Ως ωριαία απόδοση ονομάζουμε το πηλίκο που εξαρτάται από την χωρητικότητα του κάδου ή της σκάφης της μηχανής που χωράει το υλικό εξόρυξης σε μια περίοδο.

$$Q_h = \frac{60 * V * \varphi}{t_s} * \eta_{μηχ} \left(\frac{m^3}{hr} \right)$$

όπου:

- **V:** ονομαστική χωρητικότητα κάδου ή σκάφης (m^3).
- **φ :** συντελεστής πλήρωσης του πτύου.
- **t_s :** ο χρόνος κύκλου που εξαρτάται από το υλικό εξόρυξης, από το μέγεθος του κάδου και από την μέθοδο της εργασίας και την ικανότητα του χειριστή. Μετράται σε (min).
- **$\eta_{μηχ}$:** ονομάζεται συντελεστής διαθεσιμότητας του μηχανήματος και εκφράζει τις χρονικές απώλειες που προκύπτουν κατά την διάρκεια της εργασίας του μηχανήματος.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, κατασκευάζονται καμπύλες της ωριαίας απόδοσης του εκσκαφέα Q (m^3/hr) σε συνάρτηση με τον χρόνο κύκλου εργασιών, για τα διάφορα εδαφικά υλικά του Πίν.5. Αρχικά προσδιορίζεται ο χρόνος κύκλου εργασίας και αναλύεται στις εξής παραμέτρους. Όλοι οι επιμέρους χρόνοι εξόν του χρόνου εκσκαφής ' t_1 ' είναι άγνωστοι. Για το λόγο αυτό χρονομετρήθηκαν με κατάλληλο χρονόμετρο από σχετικό βίντεο στο διαδίκτυο σε όμοια εκσκαφή. Ο εκσκαφέας που χρησιμοποιήθηκε στο σχετικό βίντεο ήταν όμοιος με τον Liebherr R9350, το υλικό εξόρυξης ήταν εδαφικό υλικό παρόμοιων μηχανικών ιδιοτήτων με τα γεωϋλικά του Πίν. 5 (<https://www.youtube.com/watch?v=pa4ja-Qk8kY>). Ενώ η γωνία περιστροφής (Σχ. 76) για την εκκένωση του κάδου και την επιστροφή αυτού άδειου, είχε εύρος τιμών από 90° έως 110°

$$t_s = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \text{ (sec)}$$

- **t_1 :** ο χρόνος εκσκαφής, διαφορετικός για κάθε εδαφικό υλικό (βλέπε Πίν.11).
- **t_2 :** ο χρόνος περιστροφής του πτύου με φορτίο στον κάδο (βλέπε Πίν.11).

- t_3 : ο χρόνος εκκένωσης του κάδου στην σκάφη του χωματουργικού αυτοκινήτου (βλέπε Πίν.11).
- t_4 : ο χρόνος περιστροφής του πτύου χωρίς φορτίο στον κάδο (βλέπε Πίν.11).

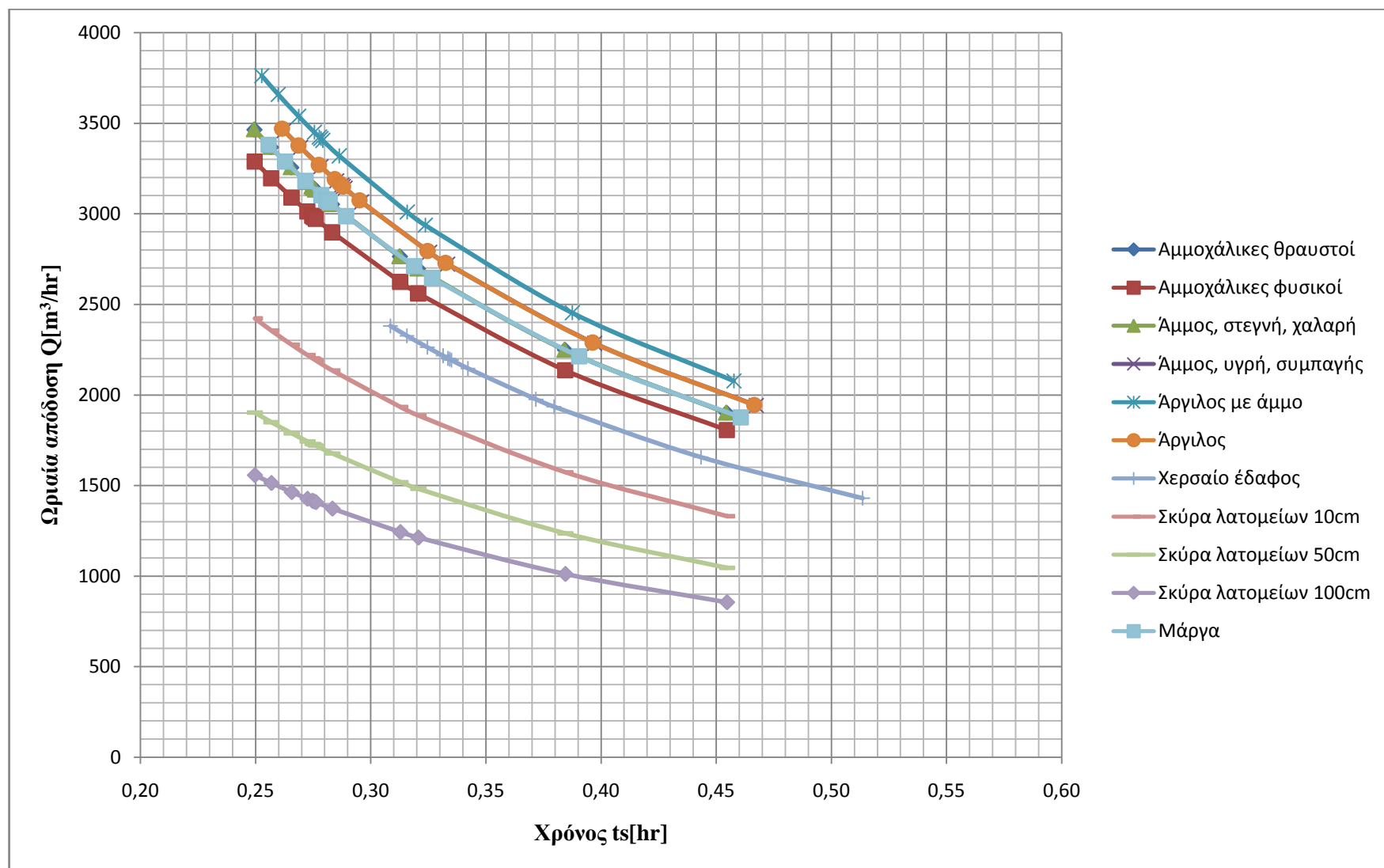
Υλικό	t_1 [sec]	t_2 [sec]	t_3 [sec]	t_4 [sec]	t_s [sec]
Αμμοχάλικες θραυστοί	3.344	5.993	5.882	5.905	18.123
Αμμοχάλικες φυσικοί	3.353	5.993	5.882	5.905	18.132
Άμμος, στεγνή, χαλαρή	3.328	5.993	5.882	5.905	18.107
Άμμος, υγρή, συμπαγής	4.116	5.993	5.882	5.905	18.895
Άργιλος με άμμο	3.532	5.993	5.882	5.905	18.312
Άργιλος	4.063	5.993	5.882	5.905	18.843
Μάργα	3.713	5.993	5.882	5.905	18.492
Χέρσο έδαφος	6.888	5.993	5.882	5.905	21.667
Σκύρα λατομείων 10cm	3.358	5.993	5.882	5.905	18.137
Σκύρα λατομείων 50cm	3.358	5.993	5.882	5.905	18.137
Σκύρα λατομείων 100cm	3.358	5.993	5.882	5.905	18.137

Πίν. 11: Ανάλυση χρόνου κύκλου εργασίας για κάθε εδαφικό υλικό

Επιπλέον από τον Πίν. 3, επιλέγεται η χωρητικότητα του κάδου ‘V’ του εκσκαφέα σε (m^3), ενώ ως συντελεστής διαθεσιμότητας μηχανήματος ‘ $n_{μηχ}$ ’ θεωρείται το 75% οπότε $n_{μηχ} = 0.75$. Ο συντελεστής πλήρωσης του κάδου ‘φ’ του εκσκαφέα είναι διαφορετικός από υλικό σε υλικό (βλέπε Πίν.12). Με βάση τα παραπάνω ακολουθεί το διάγραμμα μεταβολής της ωριαία απόδοσης του εκσκαφέα σε σχέση με τον χρόνο κύκλου εργασιών του εκσκαφέα (βλέπε Διαγ. 1).

Υλικό	φ
Αμμοχάλικες θραυστοί	1,00
Αμμοχάλικες φυσικοί	0,95
Άμμος, στεγνή, χαλαρή	1,00
Άμμος, υγρή, συμπαγής	1,05
Άργιλος με άμμο	1,10
Άργιλος	1,05
Μάργα	1,00
Χέρσο έδαφος	0,85
Σκύρα λατομείων 10cm	0,70
Σκύρα λατομείων 50cm	0,55
Σκύρα λατομείων 100cm	0,45

Πίν. 12: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή πληρώσεως κάδου εκσκαφέα σε σχέση με το υλικό φόρτωσης ([CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK, ed26](#)).



Διαγρ. 1: Διάγραμμα μεταβολής της ωριαίας απόδοσης του εκσκαφέα για διάφορα εδαφικά υλικά.

Οικονομική ζωή μηχανήματος			
Ηλικία μηχανήματος	8 χρόνια	10 χρόνια	12 χρόνια
1	0.95	0.95	0.95
2	0.92	0.92	0.93
3	0.89	0.89	0.91
4	0.86	0.86	0.89
5	0.83	0.83	0.86
6	0.77	0.80	0.83
7	0.73	0.77	0.81
8	0.70	0.75	0.79
9	0.67	0.72	0.76
10	0.63	0.70	0.74
11	0.59	0.67	0.72
12	0.55	0.64	0.70
13	0.51	0.61	0.68
14	0.48	0.58	0.65
15	0.44	0.55	0.63
16	0.40	0.52	0.60
17	0.40	0.49	0.58
18	0.40	0.46	0.55
19	0.40	0.43	0.52
20	0.40	0.40	0.50
21	0.40	0.40	0.47
22	0.40	0.40	0.45
23	0.40	0.40	0.42
24	0.40	0.40	0.40

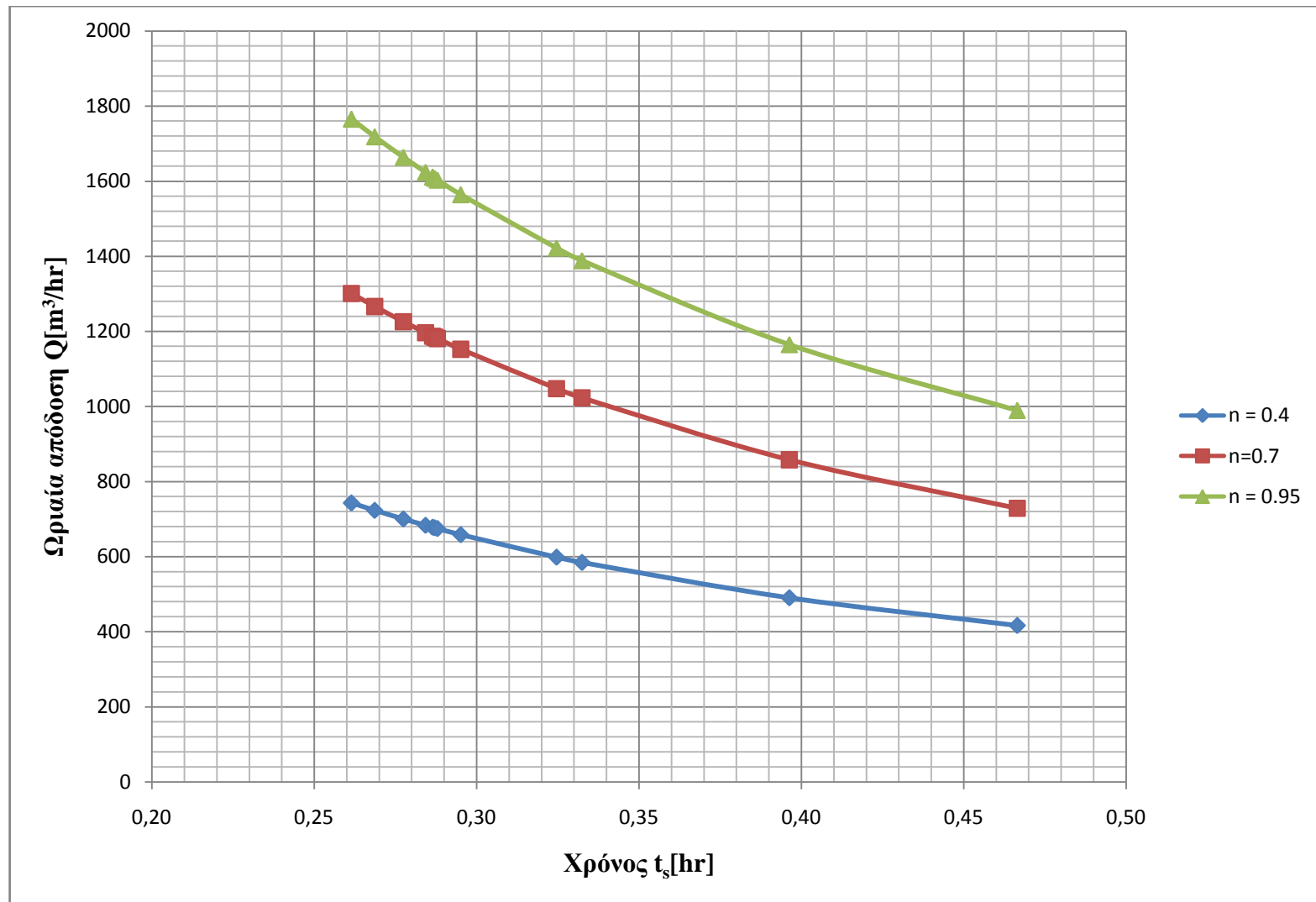
Τέλος οικονομικής ζωής

Πίν. 13: Πίνακας τιμών συντελεστή εκμετάλλευσης μηχανήματος (Εγκύκλιος 44/7 ΥΠΕΧΩΔΕ).

Στον Πίν. 13 δίνονται διάφορες τιμές του συντελεστή διαθεσιμότητας μηχανήματος ($n_{μηχ}$), για τα πρώτα οχτώ, δέκα και δώδεκα χρόνια λειτουργίας του. Στην πρώτη στήλη δίνεται η ηλικία του μηχανήματος, ενώ στις επόμενες τρεις στήλες με κατάλληλη αντιστοίχιση δίνονται τιμές του ' $n_{μηχ}$ ', που θα αποκτήσει στα αναγραφόμενα χρόνια λειτουργίας του. Για παράδειγμα, αν αγοραστεί ένα μηχάνημα με ηλικία ένδεκα χρόνων, τότε στα πρώτα οχτώ χρόνια λειτουργίας του η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης μηχανήματος θα ισούται με $n_{μηχ} = 0,59$.

Από το Διαγρ. 1 συμπεραίνεται ότι με την αύξηση του χρόνου κύκλου εργασιών του εκσκαφέα (t_s), παρατηρείται ελαχιστοποίηση της ωριαία απόδοσής του (Q). Άρα

λοιπόν η καμπύλη φθίνει, μεταξύ κάποιων ορίων χρόνου και παρουσιάζει διαφορετικές τιμές της ωριαίας απόδοσης για κάθε υλικό. Το ερώτημα που μπορεί να διατυπωθεί, είναι το πώς μπορεί να μεταβληθεί η καμπύλη αν οριστεί ένα συγκεκριμένο υλικό ώστε να περιγραφεί η συμπεριφορά των καμπυλών μεταβάλλοντας την τιμή του συντελεστή διαθεσιμότητας (βλέπε Πίν. 13) του μηχανήματος ($n_{μηχ}$) (βλέπε Διαγρ. 2).



Διαγρ. 2: Διάγραμμα μεταβολής της ωριαίας απόδοσης του υδραυλικού εκσκαφέα σε συνάρτηση με το χρόνο ' t_s ' για διάφορους συντελεστές διαθεσιμότητας, για εξόρυξη αργιλικού υλικού.

Στο Διαγρ. 2 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του εκσκαφέα για ένα γεωϋλικό και χρησιμοποιώντας διάφορες τιμές του συντελεστή διαθεσιμότητας μηχανήματος 'η_{μηχ}', παρατηρείται η μεταβολή της ωριαίας απόδοσης του εκσκαφέα. Οι καμπύλες είναι μετατοπισμένες μεταξύ τους, που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή διαθεσιμότητας του μηχανήματος τόσο πιο ψηλά βρίσκεται η καμπύλη και τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση αυτού. Το εδαφικό υλικό που επιλέχθηκε είναι χαλαρό υλικό με γωνία εσωτερικής τριβής ($\varphi = 23$), συνοχή ($c = 20$ kPa). Άρα ένας καινούργιος εκσκαφέας, θα έχει αρκετά υψηλή τιμή συντελεστή διαθεσιμότητας, οπότε θα είναι περισσότερο αποδοτικός σε αντίθεση με ένα μεταχειρισμένο ο οποίος θα έχει χαμηλότερες τιμές.

5.4 Προσδιορισμός ταχύτητας κινήσεως χωματουργικών οχημάτων

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας κινήσεως των χωματουργικών οχημάτων πραγματοποιείται συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα του οχήματος και των αντιστάσεων κινήσεως. Οι αντιστάσεις κινήσεως υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες τις:

- αντιστάσεις κυλίσεως w_r (kp)
- αντιστάσεις κλίσεως w_s (kp)

Οι αντιστάσεις αυτές ανάγονται στην μονάδα βάρους του οχήματος, ενώ για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται οι ανοιγμένες τιμές τους που συμβολίζονται με w_r και w_s αντίστοιχα. Ως μονάδα μέτρησης των ανοιγμένων τιμών των αντιστάσεων είναι το 1 kp/Mp.

Αντίσταση κυλίσεως (w_r): υπολογίζεται από το γινόμενο της ανηγμένης αντίστασης κύλισης (w_r) επί το μικτό βάρος (B σε Mp) του οχήματος. Ως μικτό βάρος οχήματος ορίζεται το άθροισμα του απόβαρου και του ωφέλιμου φορτίου του οχήματος. Άρα προκύπτει η εξίσωση:

$$w_r = w_r * B \text{ (kp)}$$

$$w_r = 20 + 6 * s \left(\frac{\text{kp}}{\text{Mp}} \right)$$

όπου: s: η διείδυση των ελαστικών στο έδαφος σε cm.

Εκτός από την εμπειρική σχέση της ανηγμένης αντίστασης κυλίσεως υπάρχει και σχετικός πίνακας υπολογισμού της ανάλογα με το υλικό του εδάφους αλλά και το σύστημα πέδησης του οχήματος (ελαστιχοφόρο ή ερπυστριοφόρο).

Ποιότητα επιφανείας οδοστρώματος	Ελαστικά	Ερπύστριες
Σκυρόδεμα στεγνό, τραχύ	20	-
Χωματοδρόμος συμπακνωμένος	20	-
με μικρή διείδυση	30	10
με διείδυση 10 cm	80	40
Άμμος σε χαλαρή κατάσταση	150	60
Άμμος σε υγρή κατάσταση	130	40
Αμμοχάλικες σε χαλαρή κατάσταση	100	80
Μάργα	40	20
Ασφαλτικός τάπης	20	60
Έδαφος με βλάστηση, υγρό	-	70
Έδαφος τραχύ, ανώμαλο, στεγνό	-	80

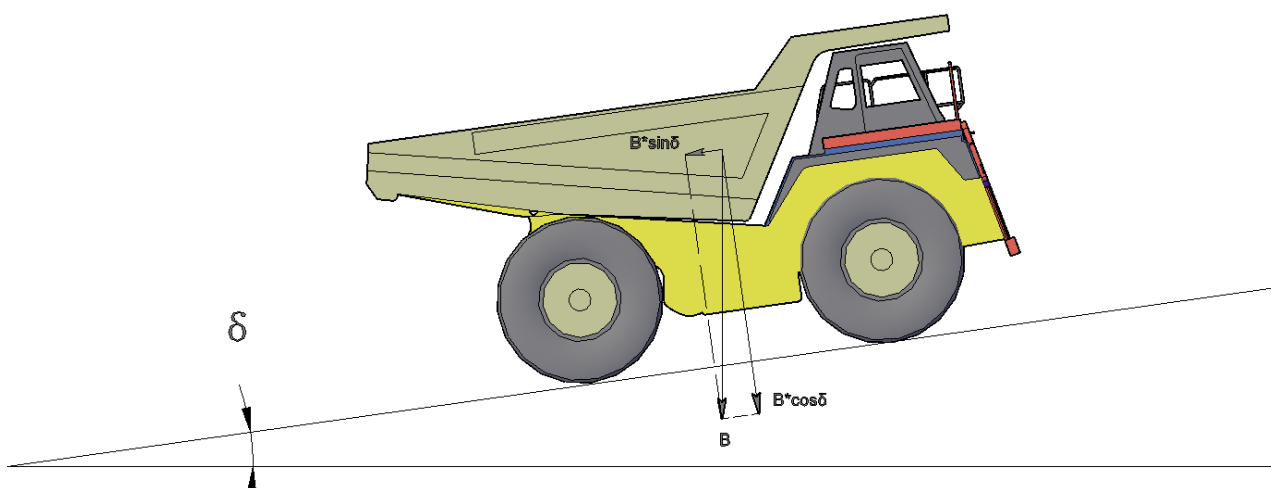
Πίν. 14: Τιμές ανηγμένης αντιστάσεως κλίσεως w_r (kp/Mp) (Εφραιμίδης, 2002).

Αντίσταση κλίσεως (w_s): υπολογίζεται από το γινόμενο του μικτού βάρους (B σε Mp) του οχήματος επί την ανοιγμένη αντίσταση κλίσεως (w_s).

$$w_s = w_s = * B \text{ (kp)}$$

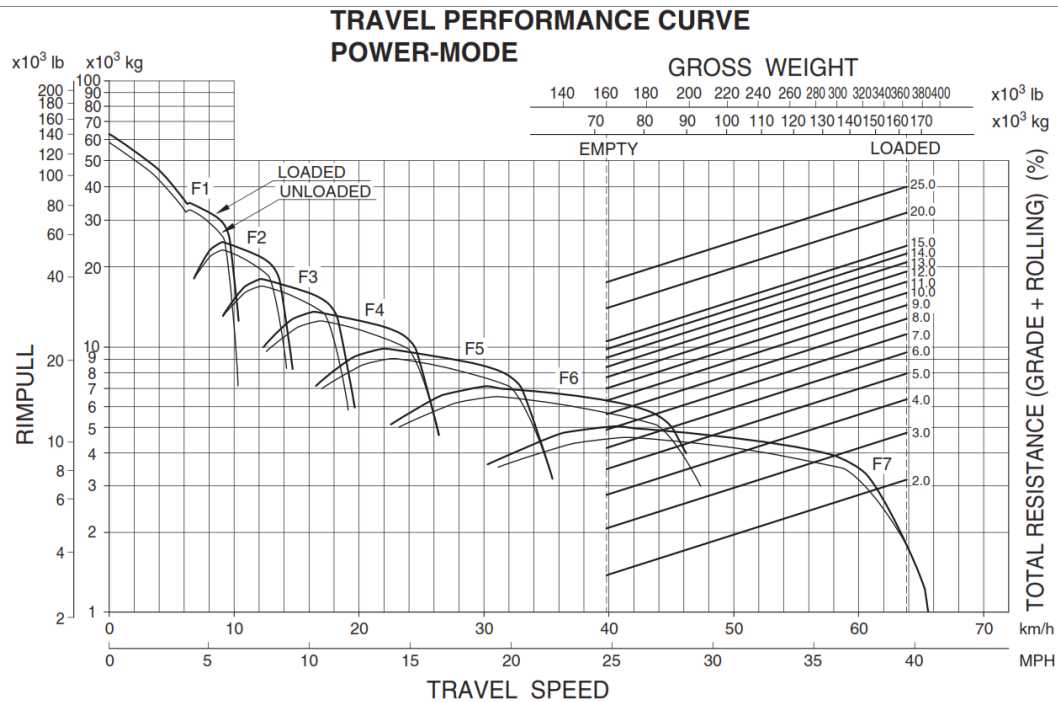
Για τον υπολογισμό της ανηγμένης αντίστασης κλίσεως (w_s) λαμβάνουμε υπόψη το Σχ. 77. Οπότε από την ανάλυση δυνάμεων του σχήματος προκύπτει η σχέση:

$$w_s = 1000 * \sin \delta \left(\frac{\text{kp}}{\text{Mp}} \right)$$

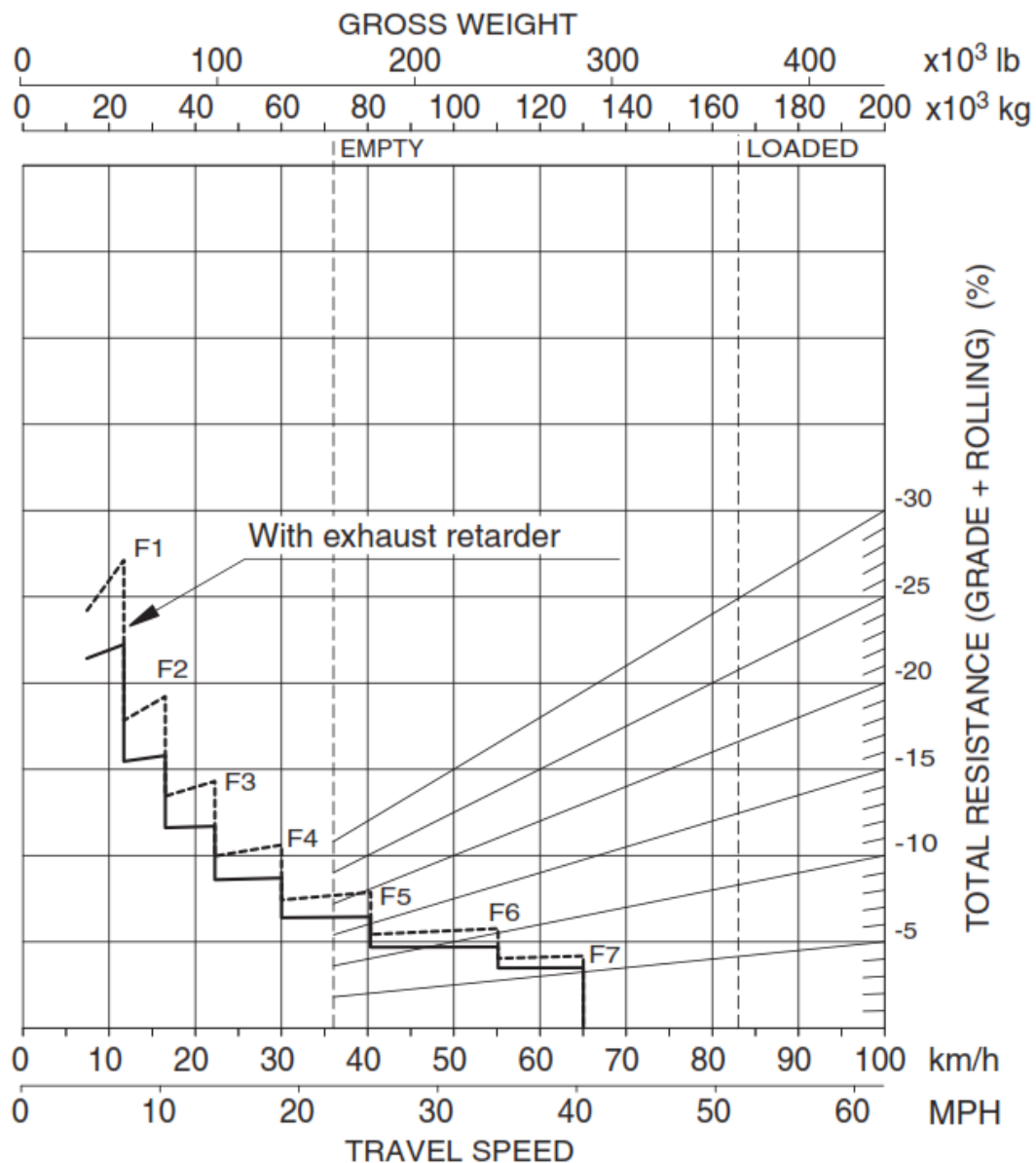


Σχ. 77: Ανάλυση δυνάμεων για τον υπολογισμό της ανηγμένης αντιστάσεως κλίσεως $w_s = (\text{kp/Mp})$.

Όταν το χωματουργικό όχημα κινείται σε αρνητική κλίση, αυτό σημαίνει ότι κινείται πάνω σε κατήφορο και ισχύει $w_s > w_r$, τότε για την επιβράδυνση του οχήματος και την αποτροπή του να αποκτήσει υπερβολική ταχύτητα εκτός των επιτρεπόμενων ορίων, εξασκείται στο όχημα δύναμη πεδήσεως. Τα σύγχρονα χωματουργικά οχήματα είναι εξοπλισμένα με ειδικό σύστημα επιβραδύνσεως είτε μηχανικής είτε υδραυλικής λειτουργίας. Συμπερασματικά όταν το όχημα κινείται σε κατήφορο η ταχύτητα που πρέπει να έχει υπολογίζεται στα Σχ.78, Σχ.79.



Σχ. 78: Διάγραμμα δυνάμεως έλξεως - ταχύτητα χωματουργικού οχήματος (εγχειρίδιο Komatsu HD785-7).



Σχ. 79: Διάγραμμα επιβραδύνσεως χωματουργικού οχήματος (εγχειρίδιο [Komatsu HD785-7](#)).

Όταν το χωματουργικό όχημα διαθέτει σύστημα επιβραδύνσεως, τότε με χρήση των παραπάνω διαγραμμάτων υπολογίζεται η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς, όταν είναι άδειο και όταν είναι φορτωμένο σε km/hr. Στην περίπτωση όπου το όχημα δεν διαθέτει σύστημα επιβραδύνσεως κινούμενο στον κατήφορο, τότε η πέδηση του πραγματοποιείται με τον κινητήρα. Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση κλίσεως λαμβάνεται ως θετική και προστίθεται στην αντίσταση κυλίσεως όπως και στον ανήφορο. Οπότε σκοπός της διαδικασίας είναι να βρεθεί η δύναμη 'P' που ονομάζεται και δύναμη Rimpull η οποία μεταφέρεται μέσω του κινητήρα στους τροχούς του οχήματος και είναι ίση ή μεγαλύτερη της δύναμης 'W'. Το ανώτατο όριο της δύναμης 'P' είναι το όριο ολισθήσεως.

$$W = (B_{\alpha} + B_o) * (w_r + w_s) (kp)$$

$$\text{Πρέπει: } P \geq W$$

Με βάση τα πιο πάνω η μέγιστη ταχύτητα που πρέπει να αποκτήσει το όχημα έτσι ώστε να μπορέσει να υπερνικήσει την δύναμη 'W' ώστε να κινηθεί είναι:

$$v_{max} = \frac{270 * N_e * \eta_{κιν}}{W} = \frac{270 * N_e * \eta_{κιν}}{(B_{\alpha} + B_o) * (w_r + w_s)} \left(\frac{km}{hr} \right)$$

Με 'N_e' συμβολίζεται η πραγματική ισχύς του κινητήρα του οχήματος. Σημείωση αποτελεί το γεγονός ότι η τιμή της πραγματικής ισχύος του οχήματος μετράται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας βαρομετρική πίεση 1,013 bar, θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία 60%. Όταν το όχημα εργάζεται σε περιβάλλον με διαφορετικές συνθήκες εργασίας από τις κανονικές τότε η πραγματική ισχύς τους μειώνεται. Με 'η_{κιν}' συμβολίζεται ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως μετάδοσης της ενέργειας στους κινητήριους τροχούς του μηχανήματος γνωστός και ως συντελεστής απόδοσης κινητήρα. Η συνήθης τιμή που λαμβάνει είναι 85% ή 0.85 (*Εφραιμίδης, 2002*).

5.5 Προσδιορισμός αριθμού χωματουργικών αυτοκινήτων

Στο χώρο τον υπαίθριων εκμεταλλεύσεων το πλήθος του μηχανολογικού εξοπλισμού, αποτελεί βασικό παράγοντα στην μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας της εκμετάλλευσης. Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφεται η παραγωγική διαδικασία του εκσκαφέα, ο οποίος συνυπάρχει μαζί με το χωματουργικό αυτοκίνητο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγική διαδικασία των χωματουργικών αυτοκινήτων είναι:

- το μήκος (L σε m) του δρομολογίου που πρέπει να διανύσει το αυτοκίνητο, ώστε από την θέση φόρτωσης, να μεταβεί στην θέση απόθεσης και από εκεί να επιστρέψει και πάλι στην θέση φόρτωσης
- ο χρόνος (t σε min) μέσα στον οποίο εκτελείται μία πλήρης παραγωγική διαδικασία
- η απαιτούμενη παραγωγή (Q σε m³/hr).

Η διαδικασία που ακολουθείται πραγματοποιείται κάνοντας χρήση του Πίν. 6 για τις προδιαγραφές του χωματουργικού αυτοκινήτου.

Αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός των φορτώσεων του 'ξ' με βάση τον όγκο της καρότσας:

$$\xi = \frac{V_{\alpha} (m^3)}{V_{\chi\varphi} (m^3)}$$

Η τιμή του 'ξ' στρογγυλοποιείται προς τα κάτω ώστε να προκύπτει καθαρός αριθμός. Με σύμβολο 'V_α' (m³) δίνεται όγκος χωρητικότητας της σκάφης (καρότσας) του

χωματουργικού αυτοκινήτου (βλέπε Πίν. 6), ενώ με το σύμβολο ' $V_{\chi\varphi} (m^3)$ ', δίνεται ο όγκος του χαλαρού υλικού, σε πλήρη φόρτωση στον εκσκαφέα και προσδιορίζεται :

$$V_{\chi\varphi} = V_{\varphi} * \varphi_{\varphi} (m^3)$$

Οι τιμές των μεταβλητών ' V_{φ} ', ' φ_{φ} ', δίνονται στον Πίν. 3.

Ακολουθεί η μάζα χαλαρού υλικού (B) στο χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$B = \xi * M_{\varphi} (t)$$

Με το σύμβολο ' M_{φ} ' σε t , δίνεται το ωφέλιμο φορτίο του κάδου του εκσκαφέα, (βλέπε Πίν. 3). Στην συνέχεια ακολουθεί σύγκριση τιμών, πρέπει να ισχύει:

$$B < B_0$$

Ως ' B_0 ' σε t , συμβολίζεται το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση όπου δεν τηρείται ο πάνω έλεγχος, ακολουθείται διαδικασία υπολογισμού του αριθμού φορτώσεων ' ξ ' με βάση το ωφέλιμο φορτίο ' B_0 ' της καρότσας.

Έστω ότι ο έλεγχος δεν ικανοποιείται και η μάζα χαλαρού υλικού ' B ', είναι μεγαλύτερη του μέγιστου ωφέλιμου φορτίου του αυτοκινήτου ' B_0 ', τότε ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός αριθμού φορτώσεων.

$$\xi = \frac{B_0 (Mp \text{ ή } t)}{M_{\varphi} (Mp \text{ ή } t)}$$

Ο αριθμός ' ξ ', στρογγυλοποιείται προς τα κάτω ώστε να προκύπτει καθαρός αριθμός.

Βήμα 2: Υπολογισμός όγκου χαλαρού υλικού ' $V_{\chi\alpha}$ ', στο αυτοκίνητο.

$$V_{\chi\alpha} = \xi * V_{\chi\varphi} (m^3)$$

Σ' αυτό το βήμα πραγματοποιείται έλεγχος, πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$V_{\chi\alpha} < V_{\alpha}$$

Ως ' V_{α} ' ορίζεται ο όγκος της καρότσας του χωματουργικού αυτοκινήτου (βλέπε Πίν. 6).

Βήμα 3: Έστω ότι η συνθήκη ικανοποιείται, τότε ακολουθεί η μάζα χαλαρού υλικού ' $B_{\chi\alpha}$ ' σε t , στο αυτοκίνητο.

$$B_{\chi\alpha} = \xi * M_{\varphi} (t)$$

Επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας του χωματουργικού αυτοκινήτου. Για τον προσδιορισμό, απαιτείται η κατασκευή του πίνακα παραμέτρων, που σχετίζονται με το δρομολόγιο που πρόκειται να ακολουθήσει το όχημα. Οι παράμετροι σχεδιασμού δίνονται στον Πίν. 7.

Υπολογισμός μέγιστης ταχύτητας κίνησης αυτοκινήτου.

$$v_{max} = \frac{270 * N_e * n_{κiv}}{(B_{ολ}) * (w_r + w_s)} \left(\frac{km}{hr} \right)$$

Ως 'N_e', δίνεται η ονομαστική ισχύς του αυτοκινήτου (βλέπε Πίν. 6), ενώ με 'n_{κiv}' συμβολίζεται ο συντελεστής απόδοσης κινητήρα. Η τιμή του συντελεστή προσδιορίζεται σε n_{κiv} = 0.80, θεωρείται ότι δουλεύει στο 80%. Η μεταβλητή 'B_{ολ}' ονομάζεται μικό βάρος αυτοκινήτου και προκύπτει, από το άθροισμα του ωφέλιμου φορτίου και το απόβαρο (B_{ολ} = B_ο + B_α (t)). Οι τιμές των 'w_r', 'w_s' δίνονται στον Πίν. 7.

Με όμοιο τρόπο υπολογίζεται η ταχύτητα κίνησης φορτωμένου και άδειου αυτοκινήτου.

Ταχύτητα φορτωμένου αυτοκινήτου 'v_{φα}':

$$v_{φα} = n_{\tau} * \frac{270 * N_e * \eta_{κiv}}{(B_o + B_{\alpha}) * (w_r + w_s)} \left(\frac{km}{hr} \right)$$

Ο συντελεστής ταχύτητας 'n_τ' εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος, από τις συνθήκες κυκλοφορίας και από την ικανότητα επιτάχυνσης του οχήματος, από την σχέση ισχύος κινητήρα προς μικό βάρος αυτοκινήτου, από την απόσταση του δρομολογίου αλλά και από την διαθεσιμότητα του χειριστή (Εφραιμίδης, 2002).

Ταχύτητα άδειου αυτοκινήτου 'v_{αα}':

$$v_{αα} = n_{\tau} * \frac{270 * N_e * \eta_{κiv}}{(B_o) * (w_r + w_s)} \left(\frac{km}{hr} \right)$$

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ταχύτητας 'n_τ' βλέπε Πίν. 10.

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται έλεγχος της ταχύτητας, με την συνθήκη:

$$v_{αα} < v_R$$

Ως 'v_R' συμβολίζεται το όριο ταχύτητας του οδοστρώματος κυκλοφορίας. Σε περίπτωση που η συνθήκη δεν ικανοποιείται, τότε θέτω το όριο ταχύτητας ίσο με την ταχύτητα του χωματουργικού αυτοκινήτου όταν αυτό είναι άδειο.

Στο τελευταίο στάδιο για τον υπολογισμό του πλήθους των χωματουργικών αυτοκινήτων προσδιορίζεται ο χρόνος μετακίνησής των.

Βήμα 1: Προσδιορισμός χρόνου μετακίνησης χωματουργικού αυτοκινήτου φορτωμένου ' $t_{\varphi\alpha}$ ':

$$t_{\varphi\alpha} = \frac{L (km)}{v_{\varphi\alpha} (km/hr)} (hr)$$

Ως ' L ', συμβολίζεται το μήκος δρομολογίου που θα ακολουθήσει το χωματουργικό όχημα.

Βήμα 2: Προσδιορισμός χρόνου άδειου χωματουργικού αυτοκινήτου ' $t_{\alpha\alpha}$ ':

$$t_{\alpha\alpha} = \frac{L (km)}{v_{\alpha\alpha} (km/hr)} (hr)$$

Βήμα 3: Προσδιορισμός χρόνου φόρτωσης του χωματουργικού αυτοκινήτου ' $t_{\varphi\varphi}$ ':

$$t_{\varphi\varphi} = \xi * t_{\varphi} (hr)$$

Ως ' t_{φ} ' σε hr , δίνεται ο χρόνος κύκλου φόρτωσης του εκσκαφέα.

Βήμα 4: Προσδιορισμός χρόνου αναμονής ' $t_{\alpha\nu}$ ':

Πολλές φορές λόγω κακής φόρτωσης από τον εκσκαφέα, ή ακόμη όταν ο χώρος εκσκαφής είναι αρκετά περιορισμένος, τα χωματουργικά οχήματα μένουν στάσιμα, έως ότου ολοκληρωθεί η φόρτωση του προηγούμενου οχήματος. Σχηματίζεται με τον τρόπο αυτό κάποιος χρόνος αναμονής ' $t_{\alpha\nu}$ ', μετρούμενος σε ' hr '. Ο χρόνος αυτός συμπεριλαμβάνεται στον συνολικό ' $t_{o\lambda}$ '.

Βήμα 5: Προσδιορισμός χρόνου σταθερών ελιγμών ' $t_{\sigma\tau\alpha\theta.}$ ':

$$t_{\sigma\tau\alpha\theta.} = \frac{\text{χρόνος σε min}}{60 (\frac{min}{hr})} (hr)$$

Οπότε ο συνολικός χρόνος δρομολογίου ' $t_{o\lambda}$ ', προσδιορίζεται ακολούθως:

$$t_{o\lambda} = t_{\alpha\alpha} + t_{\varphi\alpha} + t_{\sigma\tau\alpha\theta.} + t_{\varphi\varphi} + t_{\alpha\nu} (hr)$$

Τέλος προσδιορίζεται η ωριαία παραγωγή του αυτοκινήτου ' Q_{α} ' και προσδιορίζεται ο συνολικός αριθμός χωματουργικών αυτοκινήτων ' Z_{α} ' αντίστοιχα:

$$Q_{\alpha} = \frac{V_{\chi\alpha} (m^3)}{t_{o\lambda} (hr)} (\frac{m^3}{hr})$$

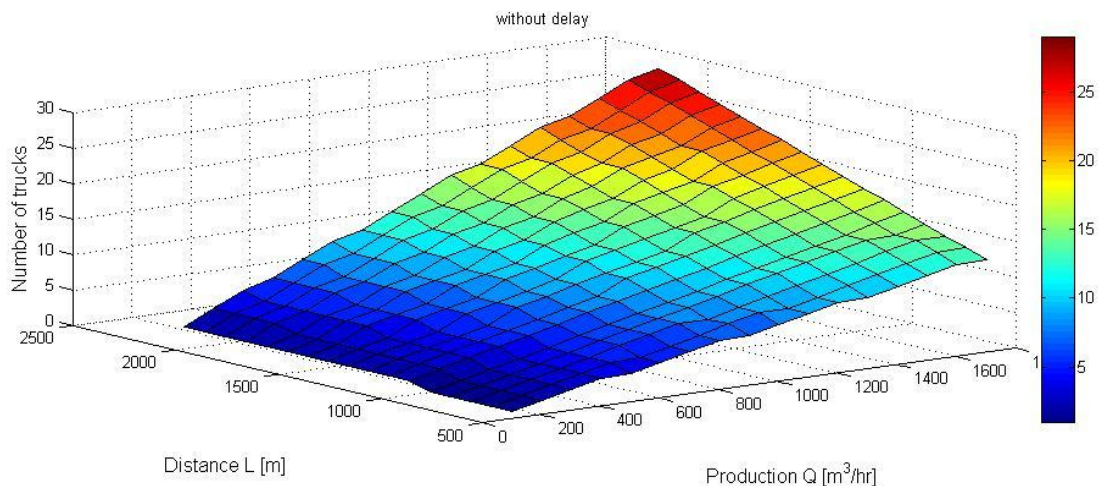
$$Z_a = \frac{Q_x \left(\frac{m^3}{hr}\right)}{Q_a \left(\frac{m^3}{hr}\right)}$$

Ως ' Q_x ' ,προσδιορίζεται η ωριαία παραγωγή χαλαρού υλικού, η οποία δίνεται από την εξίσωση $\left[Q_x = Q * \varepsilon, \left(\frac{m^3}{hr}\right)\right]$, ενώ με τον συμβολισμό ' Q ', προσδιορίζεται η απαιτούμενη ωριαία παραγωγή (συμπαγές υλικό) από την εξίσωση:

$$Q = \frac{M \left(\frac{m^3}{hr}\right)}{n_{\varepsilon\rho\gamma}} \left(m^3/hr\right)$$

Ως ' ε ', ορίζεται ο συντελεστής επιπλήσματος, και εκφράζει τον λόγο όγκου χαλαρού υλικού, προς τον όγκο που καταλαμβάνει η ίδια ποσότητα συμπαγούς υλικού. Η τιμή του είναι πάντα μεγαλύτερη της μονάδας.

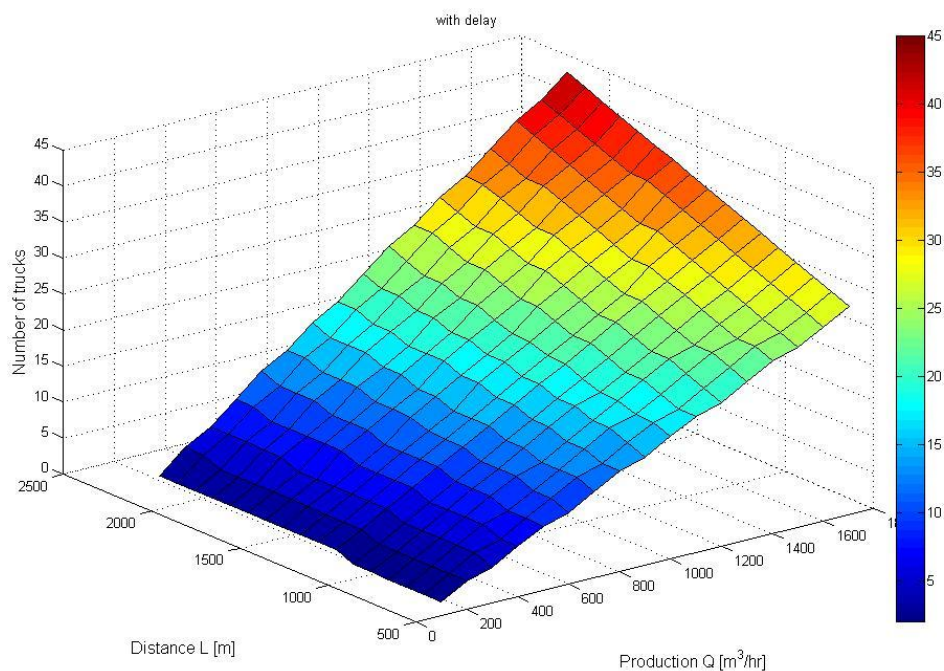
Κάνοντας χρήση όλων των πιο πάνω βημάτων, για διάφορες τιμές ωριαίας παραγωγής ' Q ' σε m^3/hr , καθώς επίσης και για διάφορες τιμές απόστασης δρομολογίου ' L ' σε m , κατασκευάζονται τρισδιάστατα διαγράμματα υπολογισμού του αριθμού των χωματουργικών αυτοκινήτων, ανάλογα με την εμφάνιση ή όχι χρόνου αναμονής (βλέπε Διαγρ. 3 και Διαγρ. 4).



Διαγρ. 3: Τρισδιάστατο διάγραμμα προσδιορισμού του αριθμού των χωματουργικών οχημάτων, σε σχέση με την απόσταση του δρομολογίου και της ωριαίας παραγωγής, χωρίς την εμφάνιση χρόνου αναμονής.

Για την κατασκευή του διαγράμματος τοποθετήθηκαν ρεαλιστικά, πιθανές τιμές της ωριαίας παραγωγής ' Q ' σε m^3/hr , ενώ το ίδιο προτιμήθηκε και στην επιλογή του μήκος ' L ' σε m του δρομολογίου. Στόχος του Διαγρ. 3, είναι να αποτυπώσει τον ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται ο αριθμός των χωματουργικών αυτοκινήτων. Με την βοήθεια της χρωματικής κλίμακας, αλλά και της τρισδιάστατης επιφάνειας, συμπεραίνεται, πως όσο αυξάνεται η απόσταση που πρέπει να διανύσει το όχημα, με την συνεχόμενη αύξηση της παραγωγής, αυξάνεται και ο αριθμός των

χωματουργικών αυτοκινήτων. Το αποτέλεσμα είναι ορθό διότι σε μια υπαίθρια εκσκαφή, η ωριαία παραγωγή δεν παραμένει σταθερή, αυξάνεται όσο περισσότερο υλικό εξορύσσεται. Με την συνεχόμενη εξόρυξη υλικού, η υπαίθρια εκσκαφή συνεχώς αυξάνεται, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται αύξηση και στην απόσταση την οποία πρέπει να διανύσει το όχημα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι στο Διαγρ. 3 δεν εμφανίζεται χρόνος αναμονής. Στο επόμενο διάγραμμα (βλέπε Διαγρ. 4), είναι κατασκευασμένη όμοια επιφάνεια με τα ίδια μεγέθη στους άξονες. Η βασική διαφορά των δύο διαγραμμάτων, παρουσιάζεται στην εμφάνιση χρόνου αναμονής.



Διαγρ. 4: Τρισδιάστατο διάγραμμα προσδιορισμού του αριθμού των χωματουργικών οχημάτων, σε σχέση με την απόσταση του δρομολογίου και της ωριαίας παραγωγής, με εμφάνιση χρόνου αναμονής.

Από το Διαγρ. 4, παρατηρείται αύξηση των τιμών στον άξονα που περιγράφει το πλήθος των χωματουργικών αυτοκινήτων, οι τιμές αυξάνονται, χωρίς να μεταβάλλονται οι τιμές των δύο άλλων μεγεθών. Άρα λοιπόν ο χρόνος αναμονής ή νεκρός χρόνος επηρεάζει κατά πολύ την παραγωγική λειτουργία της υπαίθριας εκσκαφής. Στην πραγματικότητα τίποτα δεν θεωρείται ιδανικό, αυτό σημαίνει πως είναι δύσκολο να αποφευχθεί ο χρόνος αναμονής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συμπεράσματα:

Στην παρούσα εργασία έγινε λειτουργική ανάλυση συνδυασμού υδραυλικού εκσκαφέα και χωματουργικού αυτοκινήτου σε μία υπαίθρια εκμετάλλευση. Ως λειτουργική ανάλυση εννοείται η μελέτη της συμπεριφοράς του υδραυλικού εκσκαφέα κατά το μοντέλο κίνησής του, των προδιαγραφών των κοπτικών άκρων του, των χρόνων εκσκαφής, της απόδοσής του ανά υλικό εξόρυξης (χαλαρό υλικό), καθώς επίσης και της θέσης που μπορεί να λάβει μπροστά από το μέτωπο εξόρυξης. Η λειτουργική ανάλυση του χωματουργικού αυτοκινήτου, περιγράφει τον χρόνο που δαπανεί το όχημα σε κάθε εργασία (φόρτωση, μεταφορά, απόθεση κ.λ.π.) σε σχέση με το υλικό που μεταφέρει και την ωριαία απόδοσή του.

Έγινε τρισδιάστατη σχεδίαση του υδραυλικού εκσκαφέα και του χωματουργικού αυτοκινήτου και των διάφορων διατάξεων (εκσκαφών) της υπαίθριας εκμετάλλευσης με σχεδιαστικό πακέτο *Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® 2016 ©*. Ο σκοπός ήταν να μελετηθεί το πώς σχετίζεται η γεωμετρία των πρηνών με την διάταξη και τις διαστάσεις των μηχανημάτων αυτών.

Στην συνέχεια προτάθηκε ένας κινηματικός μηχανισμός με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του βραχίονα του εκσκαφέα από όπου προσδιορίστηκε το προφίλ του μετώπου στο οποίο εκτιμήθηκαν οι δυνάμεις κοπής χρησιμοποιώντας τη θεωρία παθητικών ωθήσεων γαιών. Με βάση τα έργα που παράγονται από αυτές τις δυνάμεις και την ονομαστική ισχύ του μηχανήματος έγινε εκτίμηση της αντίστασης εκσκαφής και του χρόνου εκσκαφής. Οι υπόλοιποι χρόνοι που αναλύονται προσδιορίστηκαν με βάση την λειτουργία παρόμοιου εκσκαφέα σε σχετικό βίντεο στο διαδίκτυο.

Τέλος πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας, για την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων του μοντέλου στη απόδοση του υδραυλικού εκσκαφέα και χωματουργικού αυτοκινήτου. Για τον σκοπό αυτό έγιναν κατάλληλα διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας.

Προτάσεις:

Κάποιος ο οποίος θα ήθελε να ασχοληθεί με την περαιτέρω εξέλιξη της παρούσης εργασίας θα μπορούσε να ασχοληθεί με τα κατωτέρω θέματα:

- την μελέτη του μοντέλου κίνησης του εκσκαφέα πάνω σε συμπαγές υλικό (σκληρότερο υλικό) και να μελετήσει τον χρόνο εκσκαφής ανά υλικό.
- το σχεδιαστικό κομμάτι της εργασίας, στο οποίο θα αποδώσει ένα μοντέλο της παραγωγής που θα δίνει εικονική τρισδιάστατη αναπαράσταση, της συμπεριφοράς των μηχανημάτων στον χώρο εκσκαφής (προσομοίωση με εικονική πραγματικότητα).

- το συνολικό χρόνο κύκλου εργασιών με βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των υπαιθρίων μετώπων ή την επιλογή άλλων μηχανημάτων.
- την κατασκευή νομογραμμάτων για τον υπολογισμό του πλήθους των χωματουργικών αυτοκινήτων συναρτήσει του δρομολογίου και της ωριαίας παραγωγής.
- στοχαστική προσέγγιση για τον υπολογισμό του χρόνου κύκλου εργασίας των μηχανημάτων.

Βιβλιογραφία:

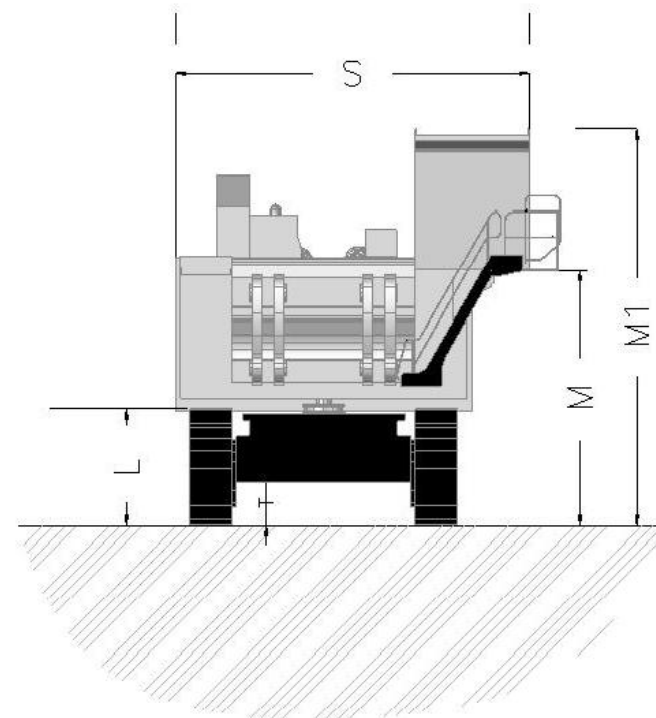
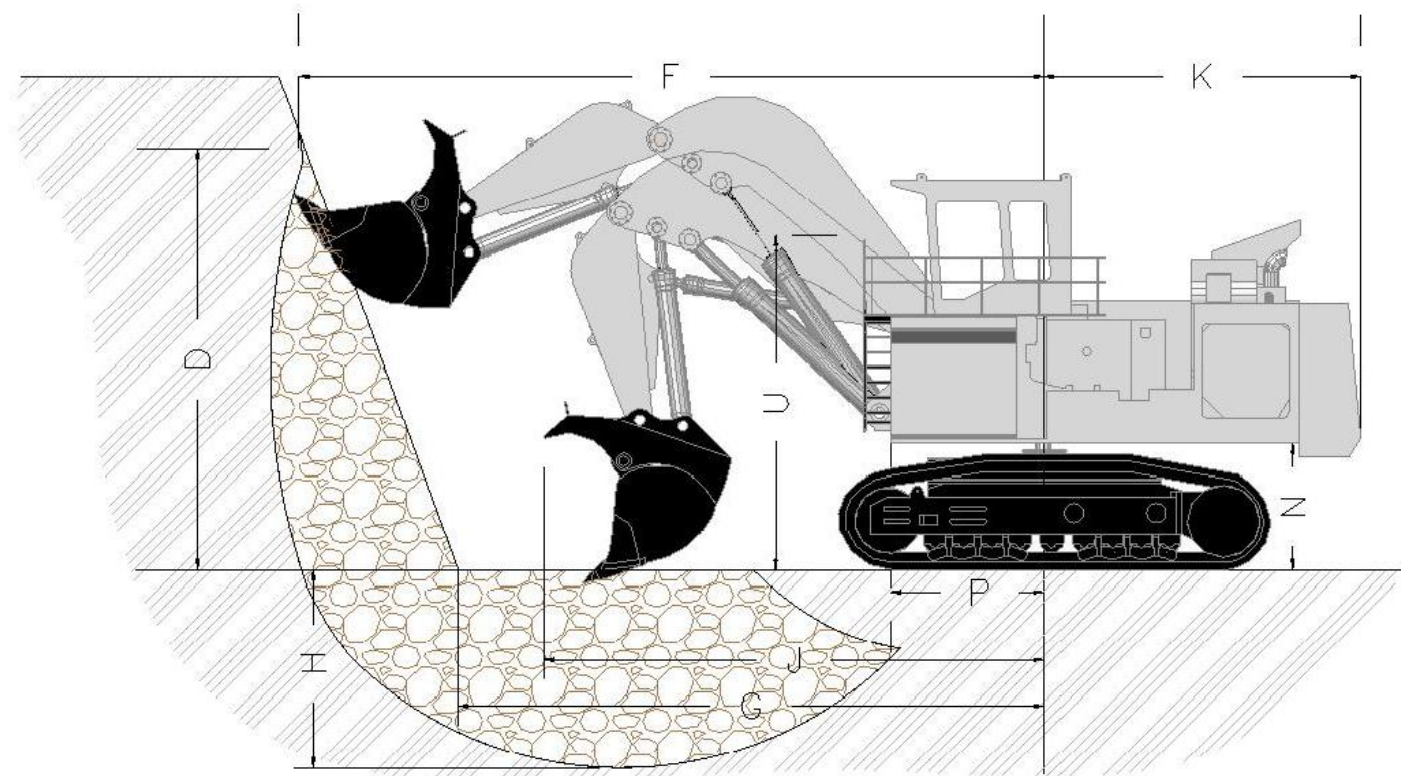
Ελληνική Βιβλιογραφία

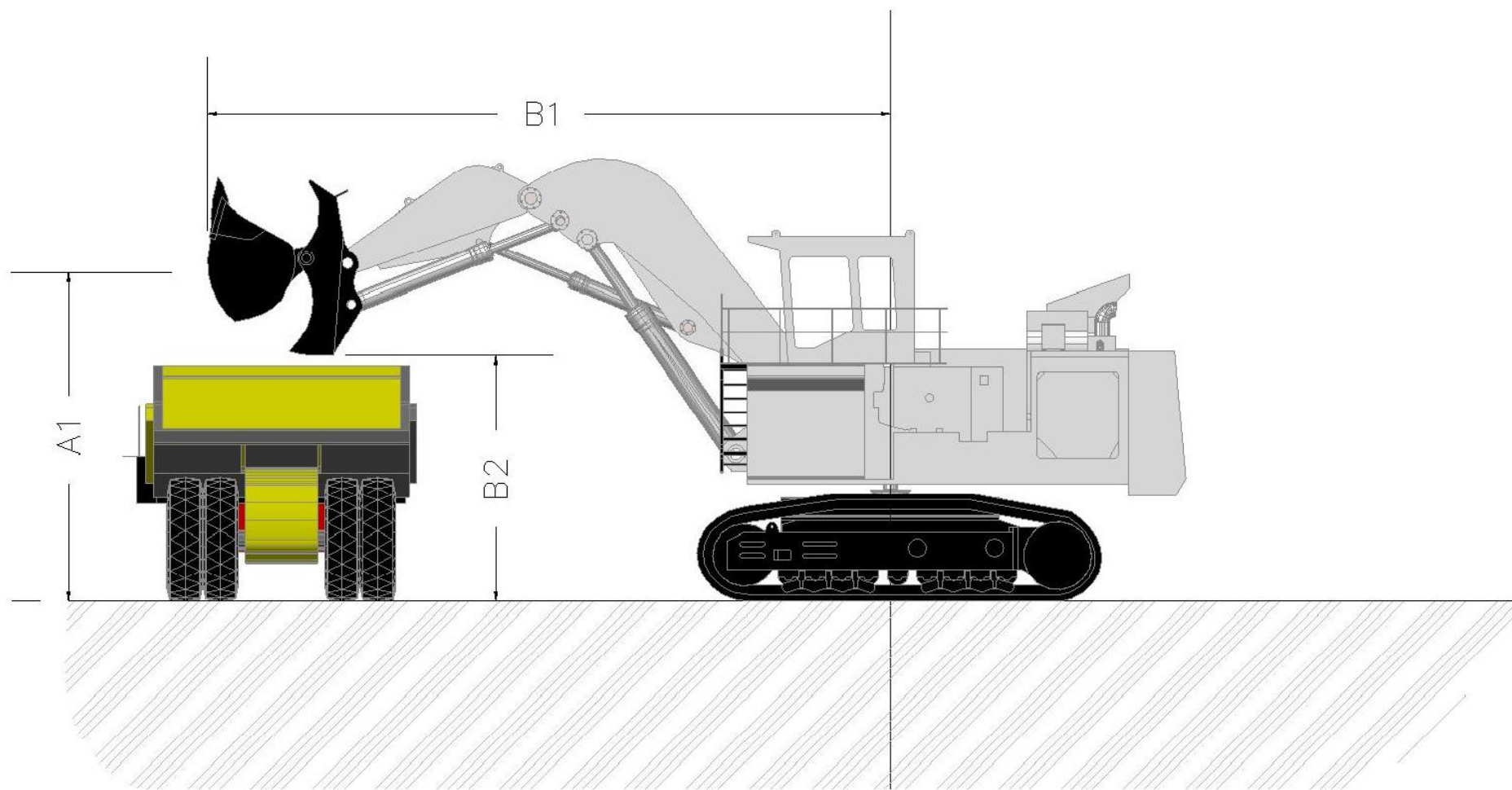
- Εξαδάκτυλος, Γ. (2007). Σχεδιασμός Γεωτεχνικών & Λατομικών Έργων. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Εφραιμίδης, Χ. Ι. (2002). Δομικές Μηχανές. Αθήνα: 2η Έκδοση.
- Καλλιάνης, Δ. (n.d.). Τομές Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τ.Ε. Ανάκτηση από Λειτουργική Ανάλυση (Παρουσίαση): http://old.civil.ntua.gr/cem/Leitourgikh_Analysh-1.pdf
- Λαμπρόπουλος, Σ. (n.d.). Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Δομικές Μηχανές & Κατασκευαστικές Μέθοδοι. Ανάκτηση από Λειτουργική ανάλυση χωματουργικών εργασιών - 4η Ενότητα (Παρουσίαση): https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL102/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/construction_equipment_u nit4.1.pdf

Ξένη Βιβλιογραφία

- Gransberg, D. D. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. CRC Press.
- Hustrulid, W. A. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack*. CRC Press.
- Komatsu HD 785-7. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.komatsu.com/ce/products/pdfs/HD785-7_CEN00136-08.pdf
- Liebherr R 9350, Mining Excavator. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.process-equipment.us/pdf/New_Folder/R9350%20Manual.pdf
- Liebherr R 9350, Mining Excavator. (n.d.). Ανάκτηση από <http://wynmalenhausmann.nl/Upload/Documenten/a75b2179-d001-4d6a-906c-ad4164d060d1.pdf>
- Stavropoulou, M. X. (2013). Analytical model for estimation of digging forces and specific energy of cable shovel. *Coupled systems mechanics*, 2(1), 23-51. Ανάκτηση από [coupled systems mech shovel paper 2013.pdf](http://www.coupled-systems-mech-shovel-paper-2013.pdf)

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (1): ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ
ΕΚΣΚΑΦΕΑ (SHOVEL).**





**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (2): ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΟΥ
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ (DUMPER).**

