

Κρουστικά κύματα Υδροδυναμικά και κινηματικά μοντέλα της κυκλοφοριακής ροής

Επειδή η οδική κυκλοφορία εκφράζεται με ροές οχημάτων,
πυκνότητες και ταχύτητες ροής,

βασικές έννοιες της θεωρίας ρευστών μπορούν να
χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουμε την κυκλοφορία
των οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα.

Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

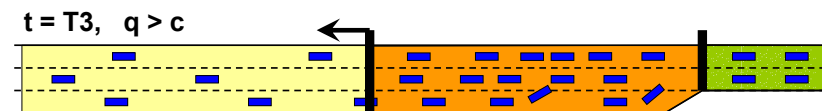
$t = T_1, q < c$



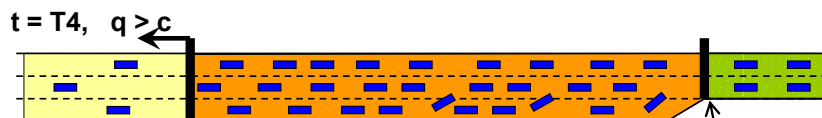
$t = T_2, q > c$



$t = T_3, q > c$



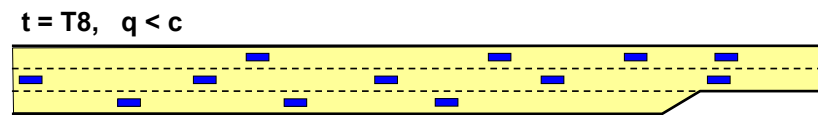
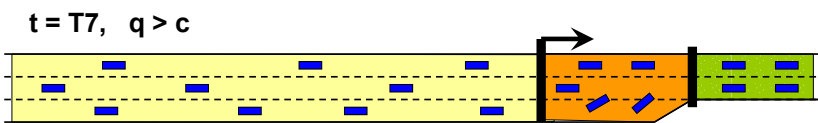
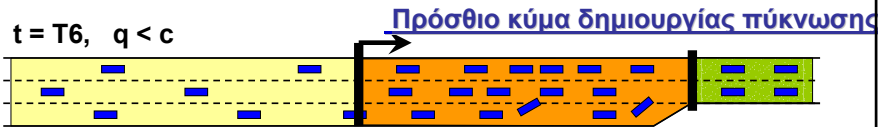
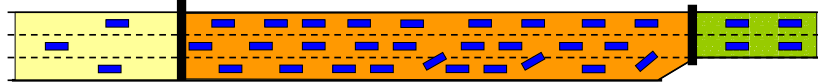
$t = T_4, q > c$



Πρόσθιο στατικό κύμα

Διάδοση μείωση της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

$t = T5, q = c$ Οπίσθιο στατικό κύμα



Κρουστικά κύματα

Κρουστικό κύμα:

- Μια ταχεία μεταβολή των κυκλοφοριακών συνθηκών (ταχύτητα, πυκνότητα και φόρτος)
- Το κινούμενο όριο μεταξύ των δύο διαφορετικών κυκλοφοριακών συνθηκών

Είδη Κρουστικών κυμάτων:

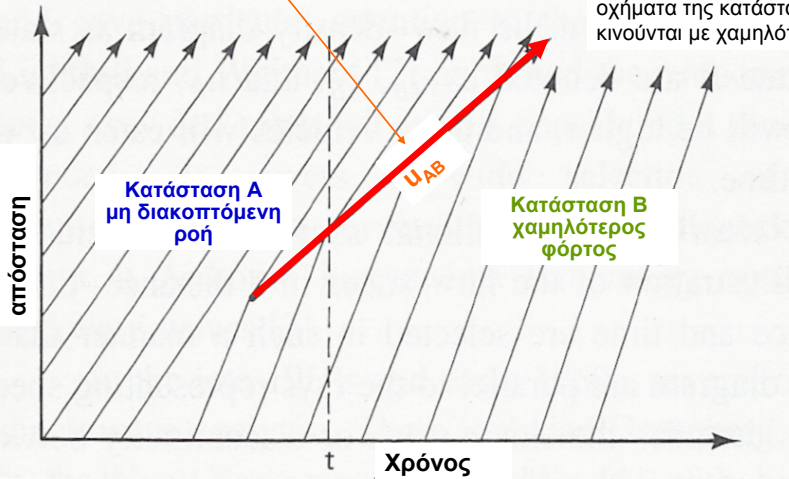
- Πρόσθιο στατικό
- Πρόσθιο δημιουργίας πύκνωσης
- Πρόσθιο δημιουργίας αραιώσης
- Οπίσθιο στατικό
- Οπίσθιο δημιουργίας πύκνωσης
- Οπίσθιο δημιουργίας αραιώσης

Διάγραμμα χρόνου απόστασης κρουστικού κύματος

ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑ

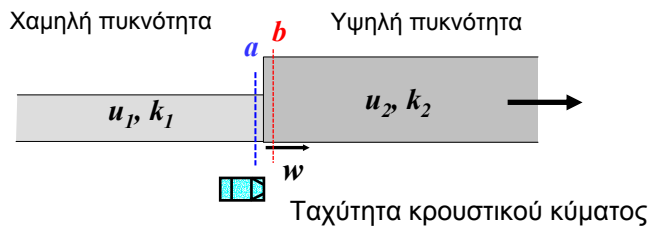
- Ασυνέχεια κυκλοφοριακών συνθηκών ή
- όριο μεταξύ των δύο διαφορετικών κυκλοφοριακών καταστάσεων A και B

Το κρουστικό κύμα ορίζεται από την γραμμή στο διάγραμμα χρόνου απόστασης όπου τα οχήματα της κατάστασης B που κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα, συναντούν τα οχήματα της κατάστασης A που κινούνται με χαμηλότερη ταχύτητα



Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Η εξίσωση του κρουστικού κύματος



$$q_a = (u_1 - w)k_1 \quad q_b = (u_2 - w)k_2$$

$$\text{Επειδή } q_a = q_b \Rightarrow (u_1 - w)k_1 = (u_2 - w)k_2 \Rightarrow$$

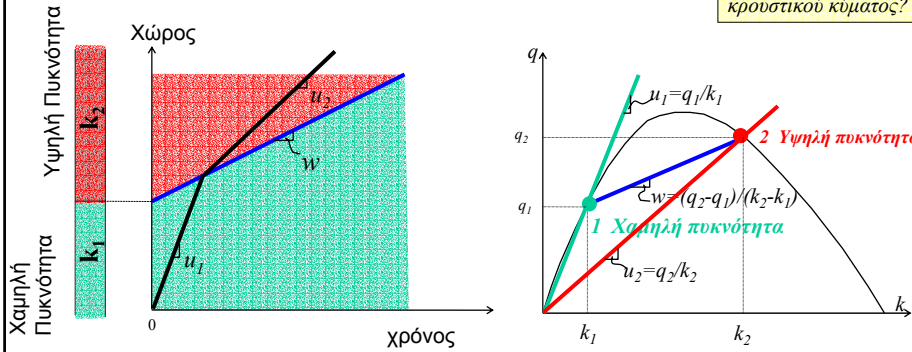
$$w = \frac{u_2 k_2 - u_1 k_1}{k_2 - k_1}$$

$$w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = \frac{\Delta q}{\Delta k}$$

Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Τροχιά του κρουστικού κύματος

Πως μπορούμε να απεικονίσουμε την ταχύτητα του κρουστικού κύματος?



Πως μπορούμε να απεικονίσουμε την ταχύτητα ροής στην κατάσταση 1 ?

Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Υπολογισμός ταχύτητας Κρουστικού Κύματος με το μοντέλο κυκλοφοριακής ροής του Greenshields

$$w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} \quad \text{και} \quad q = uk$$

$$w = \frac{u_2 k_2 - u_1 k_1}{k_2 - k_1} \quad \text{και} \quad u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$$

$$w = \frac{u_f \left(1 - \frac{k_2}{k_j}\right) k_2 - u_f \left(1 - \frac{k_1}{k_j}\right) k_1}{k_2 - k_1}$$

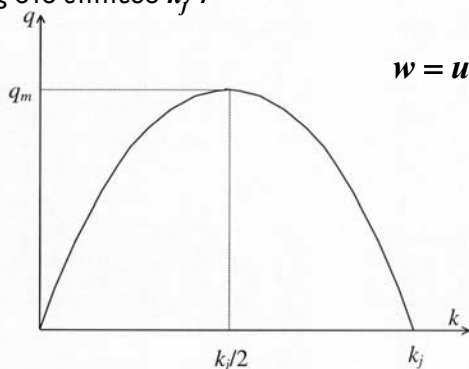
$$w = u_f \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k_j}\right)$$

Κάτω από ποιες συνθήκες έχουμε πρόσθιο κύμα και κάτω από ποιες οπίσθιο?

Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας, υπολογίστε την ταχύτητα των κρουστικών κυμάτων:

- 1) Από την λειτουργία σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης με μέγιστη πυκνότητα στην λειτουργία σε κατάσταση χωρητικότητας (μέγιστης ροής)
- 2) από την κατάσταση πυκνότητας $(3/4)k_j$ σε ταχεία μείωση της πυκνότητας στο επίπεδο $k_j/4$



$$w = u_f \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k_j}\right)$$

Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Κρουστικό κύμα λόγω διακοπής ροής

Συνθήκες άφιξης

$$k_1 = k_A$$



Συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης με μέγιστη πυκνότητα – Διακοπή ροής

$$k_2 = k_J$$



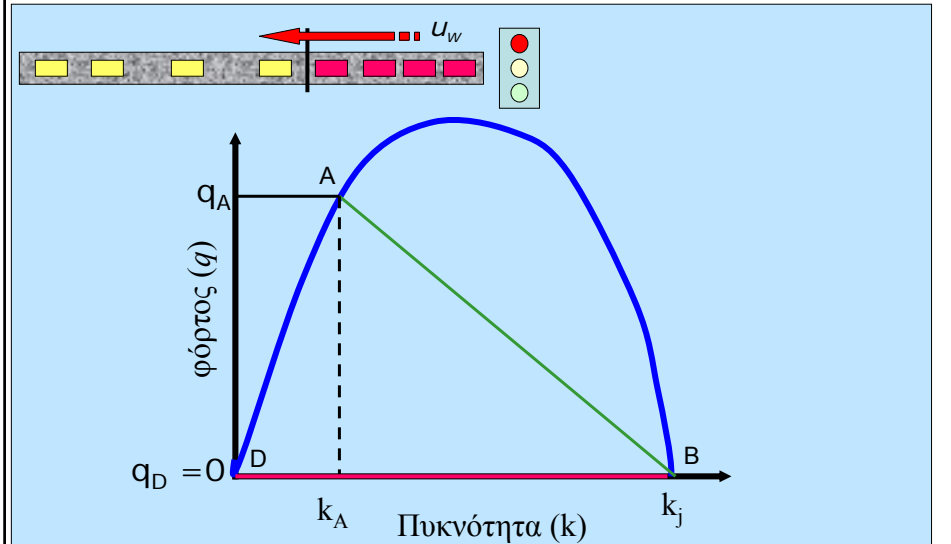
Παραδοχή: η σχέση Ταχύτητας – Πυκνότητας από Μοντέλο Greenshields

$$w_{12} = u_f \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k_j}\right)$$

$$w_{AJ} = u_f \left(1 - \frac{k_A + k_J}{k_J}\right)$$

$$w_{AJ} = -\frac{u_f k_A}{k_J}$$

Οπίσθιο Κρουστικό κύμα πύκνωσης σε κόκκινο σηματοδότη



Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

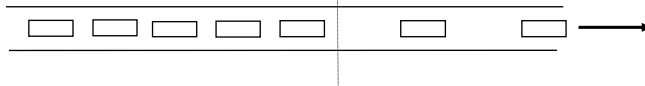
Κρουστικό κύμα λόγω επαναφοράς της κυκλοφοριακής ροής

Συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης με μέγιστη πυκνότητα

Λειτουργία σε συνθήκες χωρητικότητας

$$k_1 = k_j$$

$$k_2 = k_C = k_j/2$$



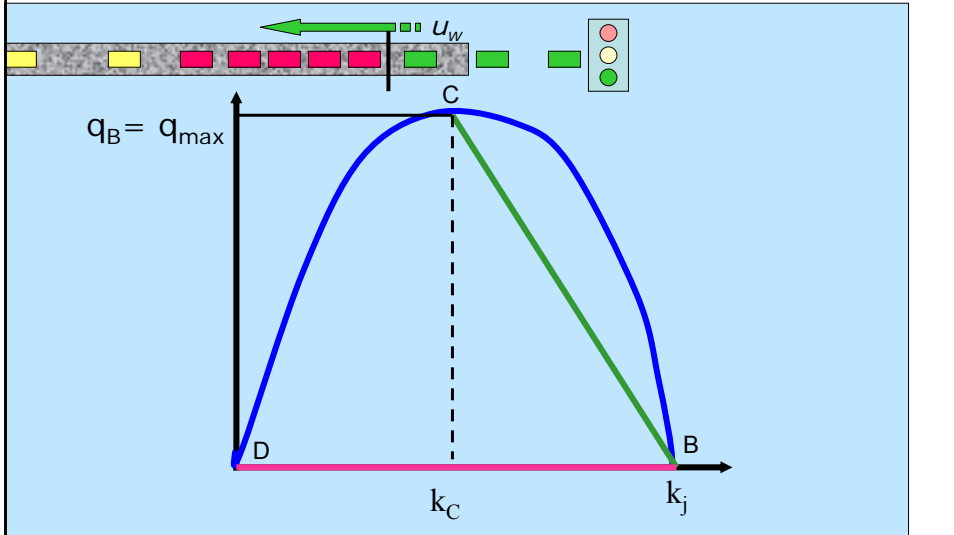
Παραδοχή: η σχέση Ταχύτητας - Πυκνότητας από Μοντέλο Greenshields

$$w_{12} = u_f \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k_J}\right)$$

$$w_{CJ} = u_f \left(1 - \frac{k_J + k_J/2}{k_J}\right)$$

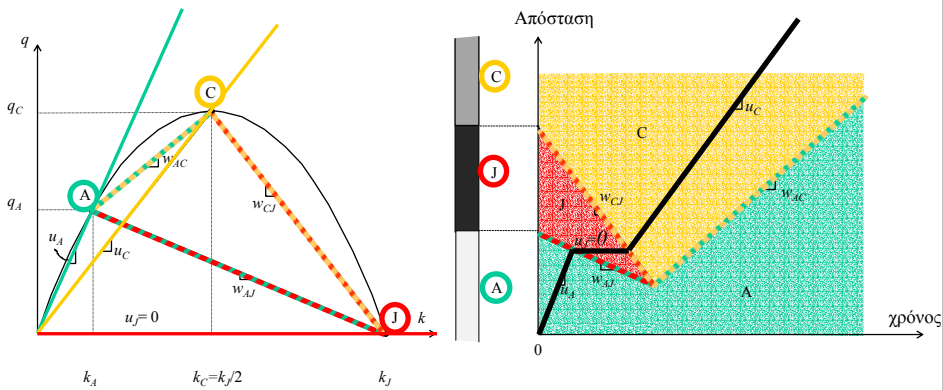
$$w_{CJ} = -\frac{u_f}{2}$$

Οπίσθιο Κρουστικό κύμα αραιώσης σε πράσινο σηματοδότη

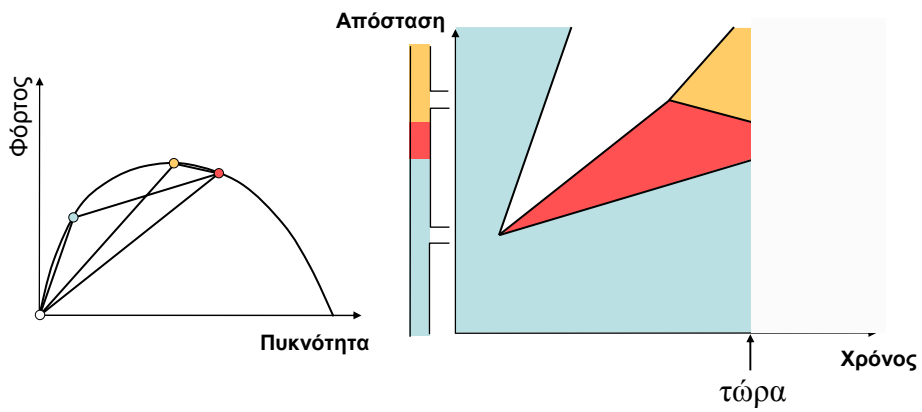
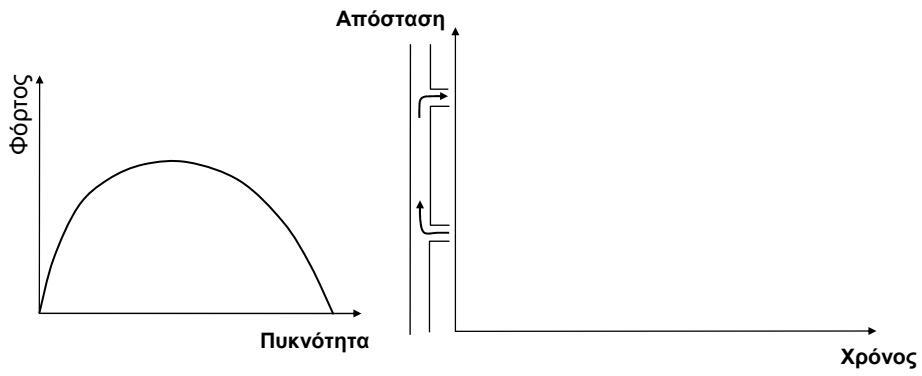


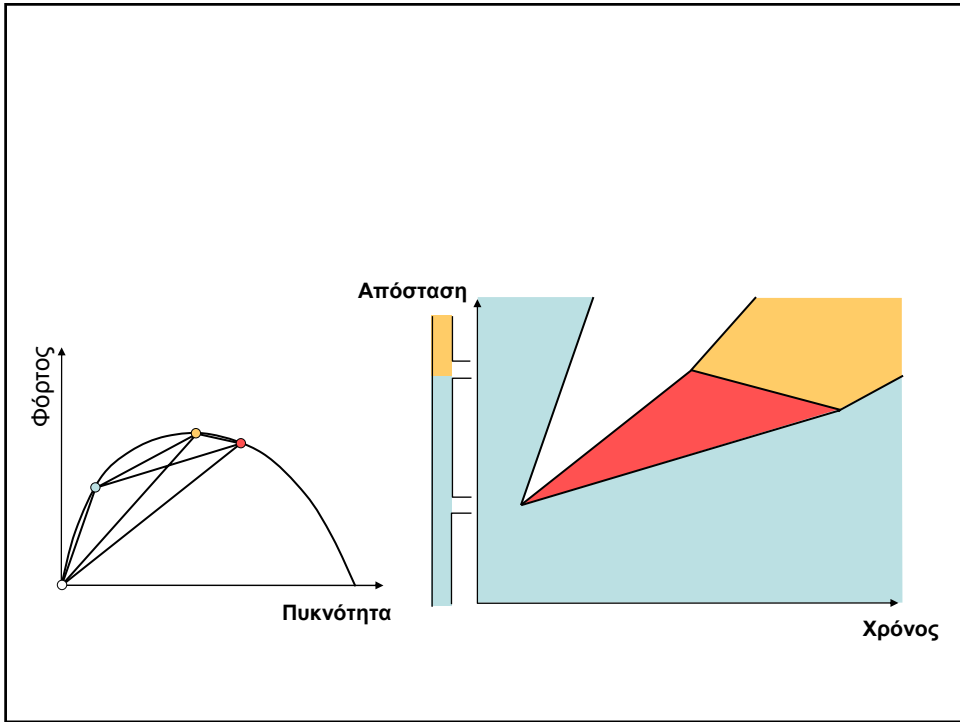
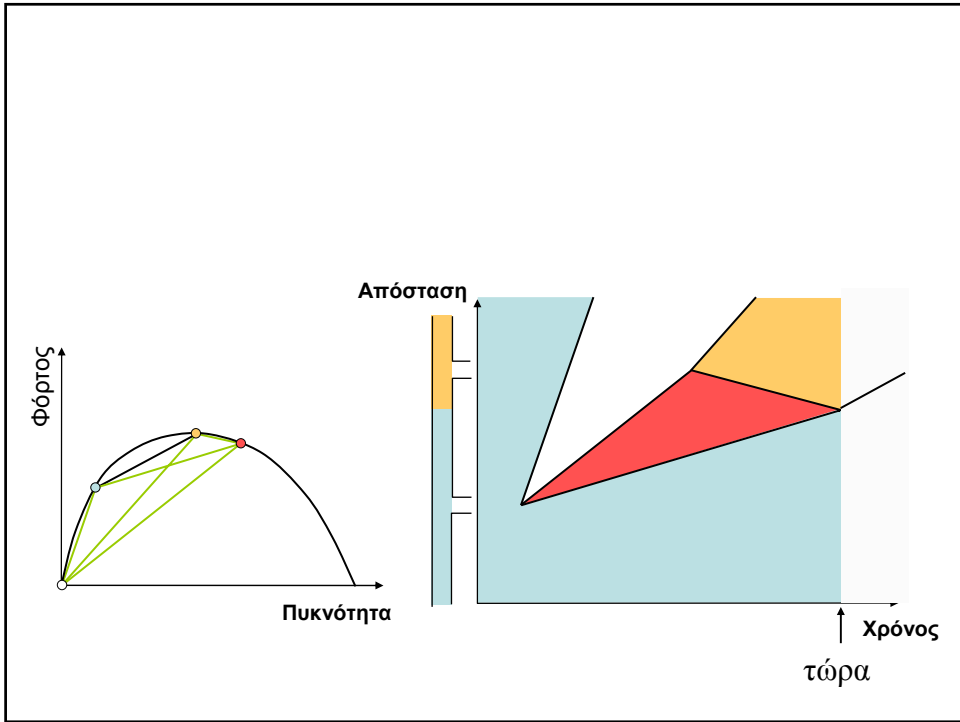
Διάδοση αύξησης της πυκνότητας ανάντη κυκλοφοριακής στένωσης

Διακοπή της κυκλοφοριακής ροής

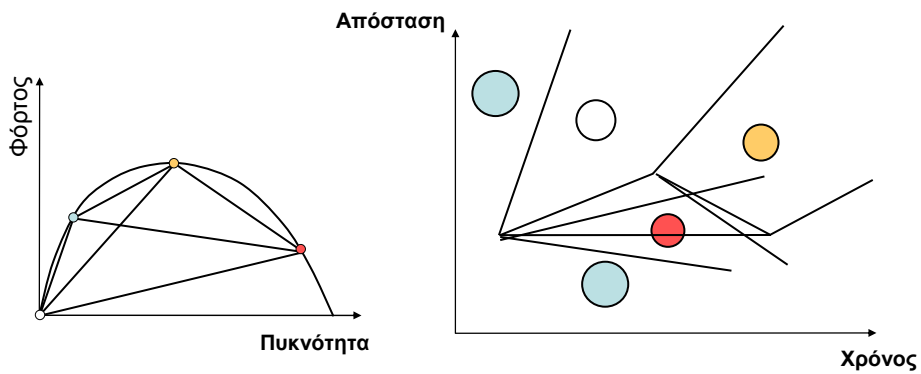
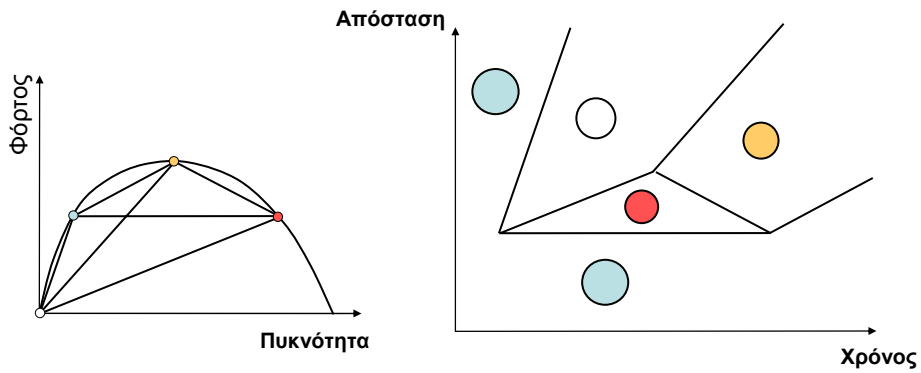


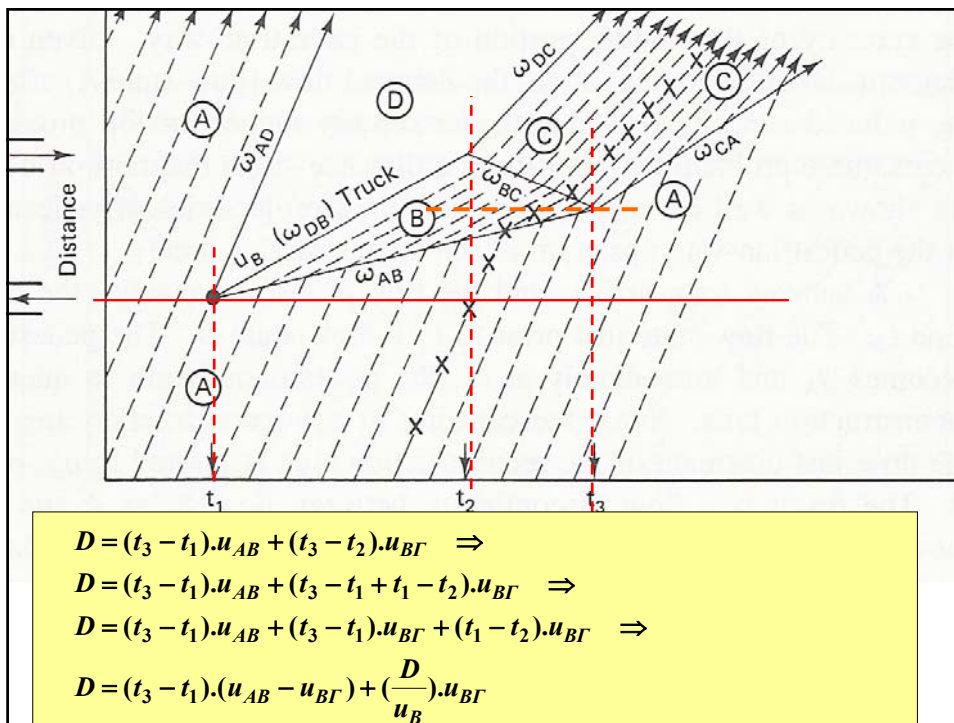
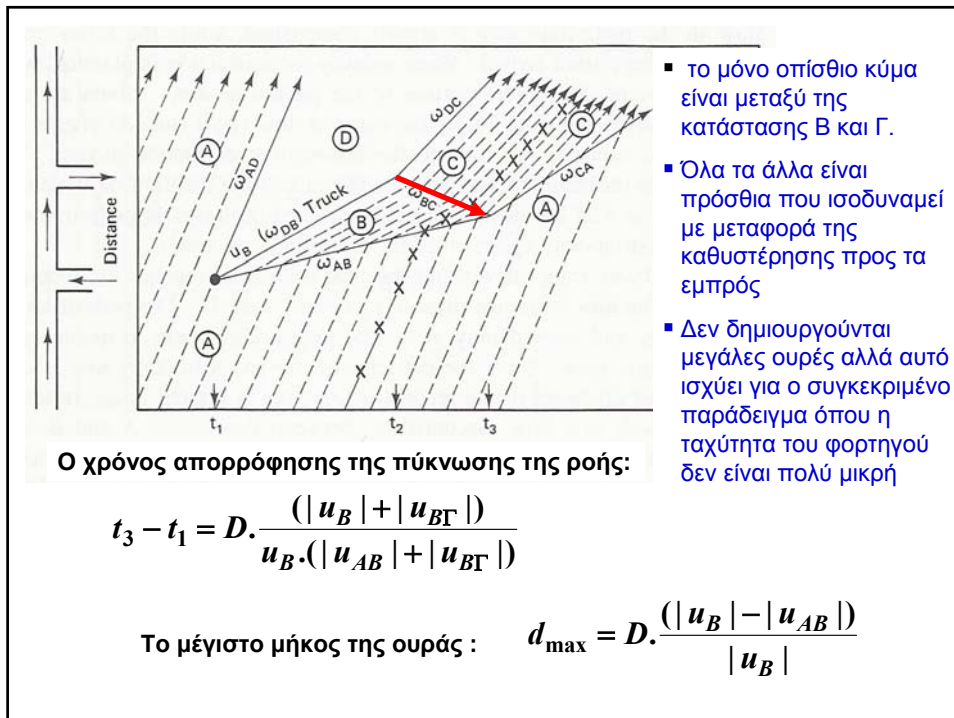
Κρουστικό Κύμα λόγω βραδυπορούντος οχήματος

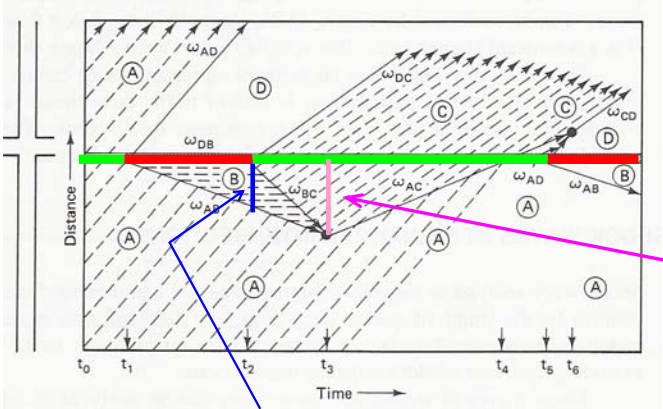
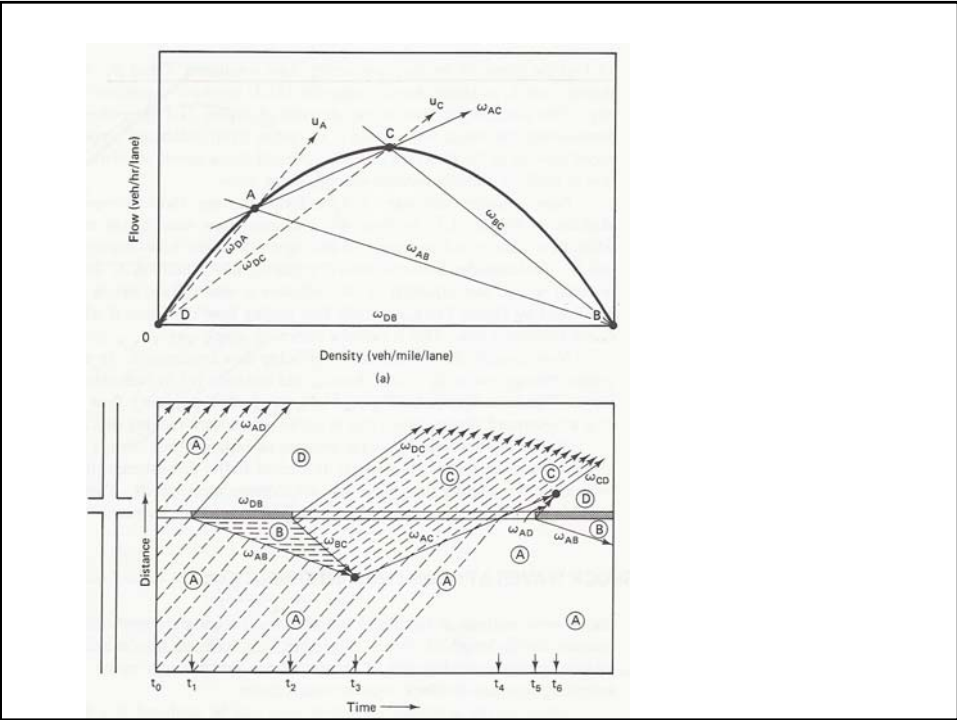




Ποια θα πρέπει να είναι η ταχύτητα του βραδυπορούντος οχήματος έτσι ώστε να δημιουργήσει οπίσθιο κύμα πύκνωσης?







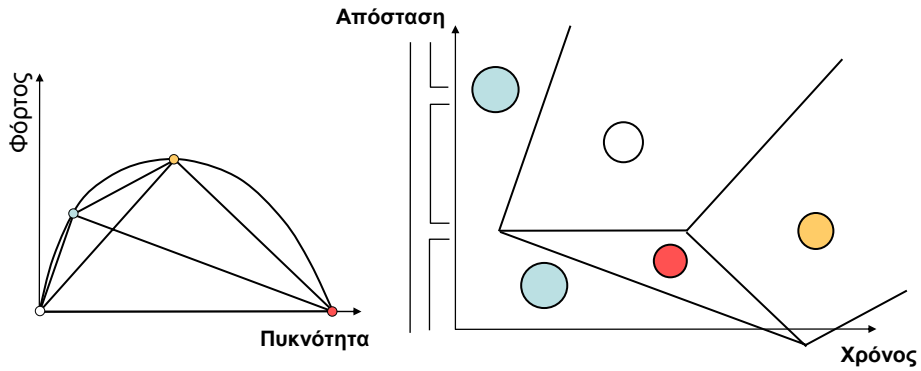
Η μέγιστη ουρά R_{max} υπολογίζεται από την σχέση

$$w_{AB} = \frac{R_{max}}{t_2 - t_1} \Rightarrow R_{max} = w_{AB} \cdot (t_2 - t_1)$$

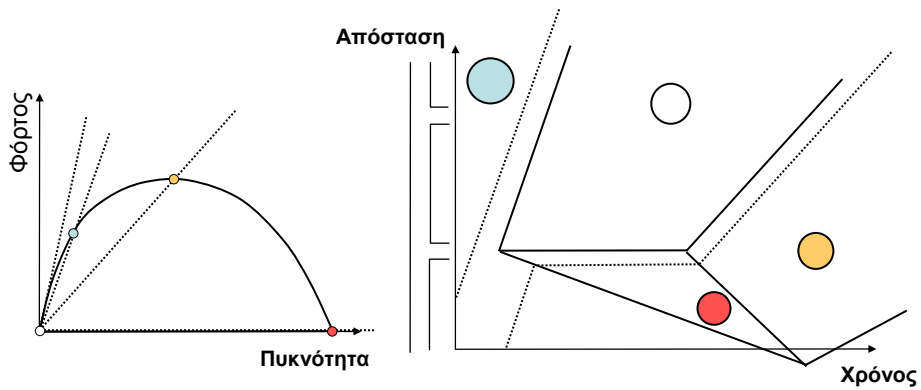
Το μήκος στο οποίο αναπτύσσεται η ουρά

$$w_{AB} = \frac{d_{max}}{t_3 - t_1} \Rightarrow d_{max} = w_{AB} \cdot (t_3 - t_1) = w_{BF} \cdot (t_3 - t_2)$$

Προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας
ταχύτητες των κρουστικών κυμάτων



Προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας
ταχύτητα και πορεία οχήματος

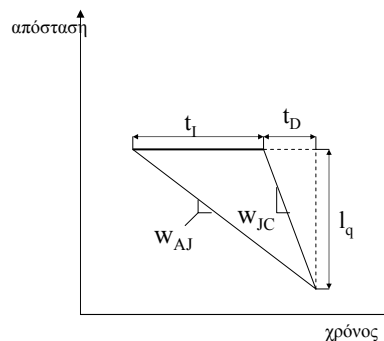


Υπολογισμός στάσεων και καθυστερήσεων από προσωρινή διακοπή της κυκλοφοριακής ροής (π.χ. σηματοδοτούμενοι κόμβοι)

Ταχύτητες κρουστικών κυμάτων

$$w_{AJ} = \frac{q_A - q_J}{k_A - k_J} = \frac{-q_A}{k_J - k_A}$$

$$w_{JC} = \frac{q_C - q_J}{k_C - k_J} = \frac{-q_C}{k_J - k_C}$$



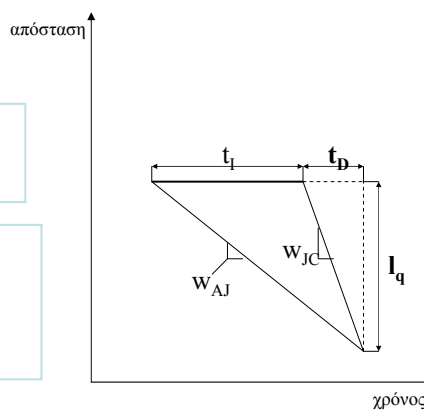
Χρόνος αποφόρτισης της ουράς t_D

t_I είναι ο χρόνος διακοπής της κυκλοφοριακής ροής

Πάντα χρησιμοποιούμε την απόλυτη τιμή της ταχύτητας του κρουστικού κύματος

$$w_{AJ} (t_I + t_D) = w_{JC} \cdot t_D$$

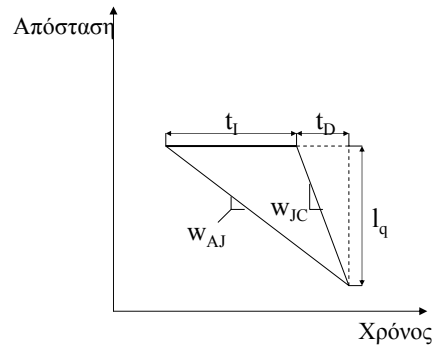
$$t_D = \frac{w_{AJ} \cdot t_I}{w_{JC} - w_{AJ}}$$



**Θέση του τελευταίου οχήματος
στην ουρά l_q**

$$l_q = t_D \cdot w_{JC}$$

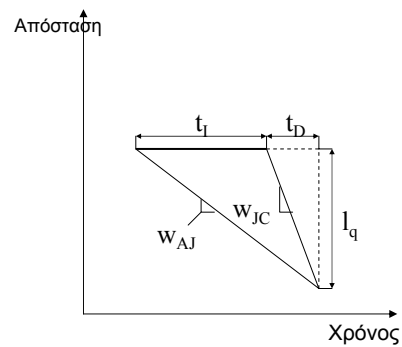
$$l_q = \frac{w_{AJ} \cdot w_{JC} \cdot t_I}{w_{JC} - w_{AJ}}$$



**Ο αριθμός των οχημάτων που διακόπτουν την πορεία
τους (ο αριθμός στάσεων) N_s (veh/lane)**

$$N_s = l_q \cdot k_J$$

$$N_s = \frac{w_{AJ} \cdot w_{JC} \cdot t_I \cdot k_J}{w_{JC} - w_{AJ}}$$



Συνολική καθυστέρηση λόγω στάσεων D

$$\bar{d} = \frac{1}{2}t_I \quad (\text{μέση καθυστέρηση})$$

$$D = \bar{d} \cdot N_s$$

$$D = \frac{w_{AJ} \cdot w_{JC} \cdot t_I^2 \cdot k_J}{2(w_{JC} - w_{AJ})}$$

