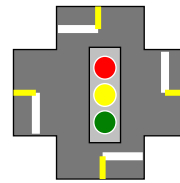
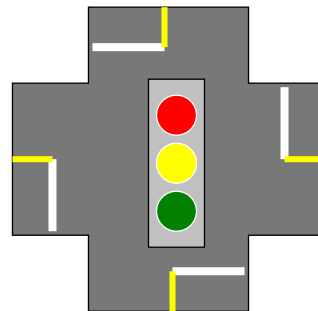


Κυκλοφοριακή Ικανότητα Σηματοδοτούμενων κόμβων



Intersection Control

- Traffic Control Signals
 - high volume streets
 - Pedestrian Signals
 - Full Signals
- Warrants include volume, peds, accidents, lanes, operating speeds, and proximity to other signals



Κυκλοφοριακή Ικανότητα Σηματοδοτούμενων κόμβων

- Η κυκλοφοριακή ικανότητα των σηματοδοτούμενων κόμβων επηρεάζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου, την σύνθεση της κυκλοφορίας και τον **χρόνο που κατανέμεται σε κάθε κατεύθυνση**, κατά την διάρκεια του οποίου επιτρέπεται η κυκλοφορία στην συγκεκριμένη κατεύθυνση
- Αυτός ο χρόνος στηρίζεται στην λειτουργία της σηματοδότησης που αποτελεί μια ρύθμιση που κατανέμει χρόνους πράσινου και κόκκινου στις διάφορες κατευθύνσεις.
- Κατά την μελέτη σηματοδότησης επιλέγονται ομάδες λωρίδων (μη συγκρουόμενων κινήσεων) οι οποίες εξυπηρετούνται από κοινού.
- Επομένως η κυκλοφοριακή ικανότητα προσδιορίζεται ανά ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούνται ταυτόχρονα

Κυκλοφοριακή Ικανότητα Σηματοδοτούμενων κόμβων

- Η κυκλοφοριακή ικανότητα μιας πρόσβασης ή ομάδας λωρίδων του κόμβου είναι:

$$C_i = S_i \cdot \frac{g_i}{C}$$

Όπου

S_i η ροή κορεσμού (όπως θα ορισθεί στην συνέχεια)

g_i ο χρόνος της πράσινης ένδειξης

C ο χρόνος του κύκλου της σηματοδότησης

Ροή Κόρεσμού Σηματοδοτούμενων κόμβων

- ❑ **Ροή κορεσμού** είναι ο μέγιστος φόρτος που μπορεί να διέλθει από κάθε ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μια κατεύθυνση
- ❑ Η ιδανική τιμή που προτείνεται από κανονισμούς των ΗΠΑ για σηματοδοτούμενους κόμβους είναι 1900 οχ/ώρα πράσινου και λωρίδα
- ❑ Στην Ελλάδα μετρήσεις αναφέρουν τιμές κορεσμού της τάξης των 2100 οχ/ώρα πράσινου και λωρίδα, όμως η τιμή αυτή δεν έχει επικρατήσεις στον προσδιορισμό της ικανότητας
- ❑ Η ιδανική τιμή υπόκειται σε προσαρμογές, ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες που σχετίζονται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας
- ❑ Η ροή κορεσμού δίνεται από την σχέση

$$s = s_0 \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{RT} \cdot f_{LT}$$

Ροή Κόρεσμού Σηματοδοτούμενων κόμβων

- ❑ Η ροή κορεσμού δίνεται από την σχέση

$$s = s_0 \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{RT} \cdot f_{LT}$$

s_0 Ιδανική ροή κορεσμού

N Αριθμός λωρίδων που εξυπηρετούν τον φόρτο συγκεκριμένης ομάδας

Συντελεστές προσαρμογής για

f_w πλάτος της λωρίδας

f_{HV} παρουσία βαρέων οχημάτων

f_g κατά μήκος κλίση

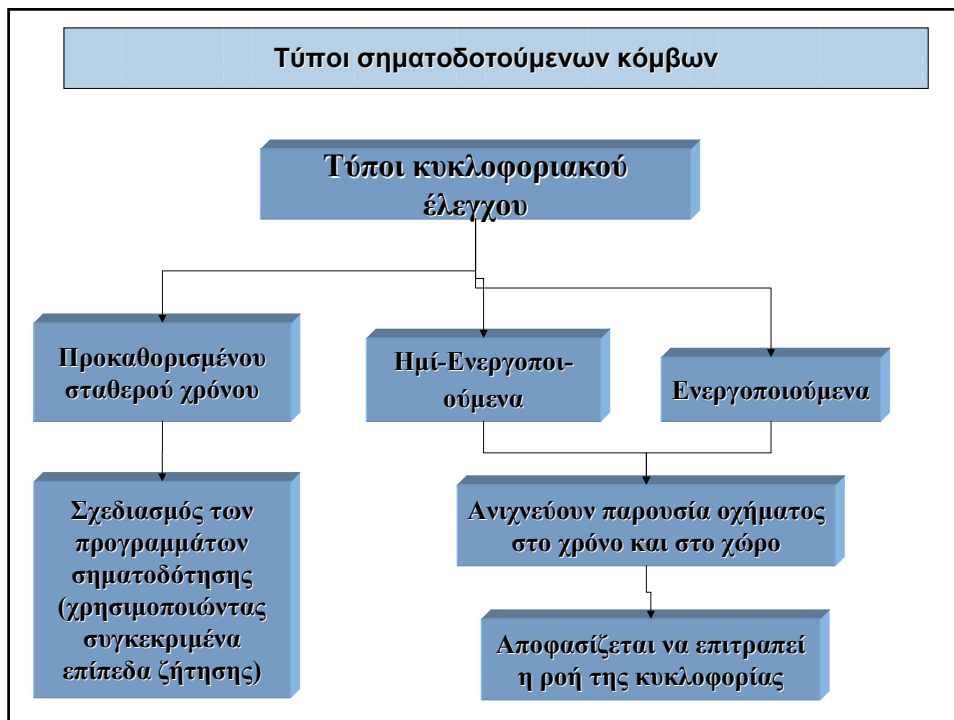
f_p παρουσία σταθμευμένων οχημάτων

f_{bb} στάση λεωφορείων

f_a το τύπο της περιοχής

f_{RT} στρέφουσες κινήσεις δεξιά

f_{LT} στρέφουσες κινήσεις αριστερά



Τύποι σηματοδοτούμενων κόμβων

- Σηματοδότηση σταθερού χρόνου
 - Βασίζεται σε ιστορικά στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων (από μετρήσεις)
 - Το πρόγραμμα της σηματοδότησης δηλ. χρόνοι των διαφορετικών ενδείξεων και η διαδοχή τους επαναλαμβάνεται ανεξαρτήτως των μεταβολών στους κυκλοφοριακούς φόρτους και στρέφουσες κινήσεις.
 - Συνήθως χρησιμοποιείται διαφορετικό πρόγραμμα για την πρωινή αιχμή, διαφορετικό για την απογευματινή αιχμή και διαφορετικό για τη περίοδο εκτός αιχμής.
- Επενεργούμενη σηματοδότηση
 - Χρησιμοποιούνται όπου οι φόρτοι δεν είναι σταθεροί
 - Δίνουν πράσινη ένδειξη μόνο στις προσεγγίσεις του κόμβου με χαμηλό φόρτο που υπάρχουν οχήματα σε αναμονή.
 - Αλλάζουν την ένδειξη μόλις τα οχήματα αυτά εξυπηρετήθηκαν.
 - Υπολογίζονται οι ελάχιστοι και μέγιστοι χρόνοι πράσινης ένδειξης.

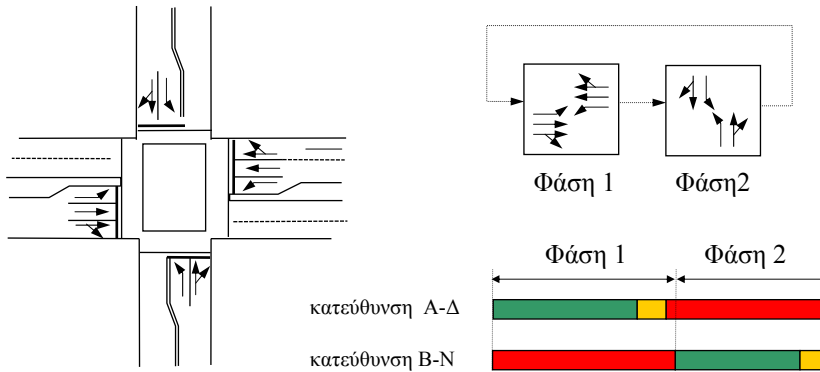
Κύκλος ή περίοδος Σηματοδότησης

- Κύκλος ή περίοδος Σηματοδότησης : ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη διαδοχή των ενδείξεων του σηματοδότη, δηλ. ο χρόνος από την αρχή του πράσινου, κίτρινου, κόκκινου, μέχρι την έναρξη της επόμενης πράσινης ένδειξης.



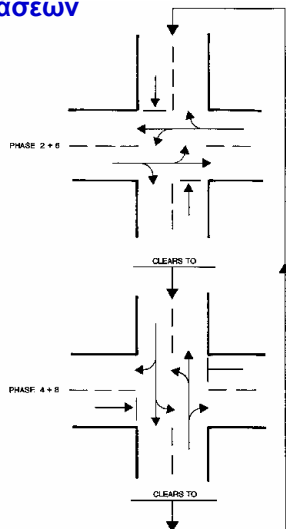
Φάσεις Σηματοδότησης

- Φάση: ένα τμήμα του κύκλου σηματοδότησης που κατανέμεται σε μια κίνηση κυκλοφορίας ή σε ένα συνδυασμό κινήσεων που έχουν το δικαίωμα (την αποκλειστική προτεραιότητα) να διέλθουν από τον κόμβο ταυτόχρονα

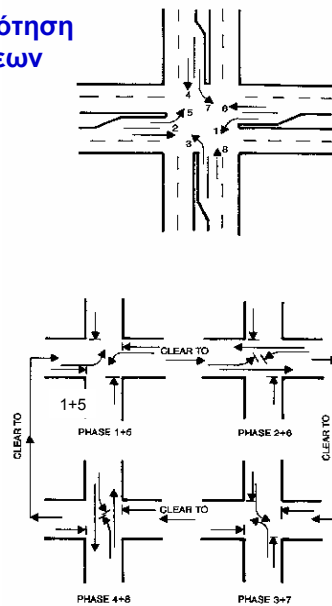


Φάσεις Σηματοδότησης

Σηματοδότηση 2 φάσεων



Σηματοδότηση 4 φάσεων



Σηματοδότηση Μεμονωμένων Κόμβων

- Περίοδος ή κύκλος
 - Ο μικρότερος κύκλος που μπορεί να εξυπηρετήσει την ζήτηση και να έχει σαν αποτέλεσμα την χαμηλότερη μέση καθυστέρηση
 - Τυπικό εύρος τιμών = 60 seconds to 120 seconds
- Ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης
 - Καθυστέρηση = πραγματικός χρόνος – αναμενόμενος χρόνος
 - Συνάρτηση χαρακτηριστικών οδηγικής συμπεριφοράς και χαρακτηριστικών οχήματος

Σηματοδότηση Μεμονωμένων Κόμβων

Υπολογισμός της Καθυστέρησης κατά τον Webster

- Μέση καθυστέρηση ανά όχημα (d)

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - \underbrace{0.65 \left(\frac{C}{q^2}\right)^{1/3} * x^{(2+5x)}}_{\substack{\uparrow \\ \text{περίπου 10\% της} \\ \text{καθυστέρησης}}}$$

Where:

- c = ο κύκλος της σηματοδότησης
- x = ο βαθμός κορεσμού = $q/(\lambda s)$
- q = φόρτος
- λ = ο λόγος g/c
- s = φόρτος κορεσμού
- g = χρόνος πράσινης ένδειξης

Σηματοδότηση Μεμονωμένων Κόμβων

Υπολογισμός της Καθυστέρησης με το απλοποιημένο μοντέλο του Webster

Επομένως η καθυστέρηση μπορεί να υπολογισθεί από την ακόλουθη απλοποιημένη σχέση

$$d = \frac{9}{10} \left[\frac{C (1 - \lambda)^2}{2 (1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q (1 - x)} \right]$$

Σηματοδότηση Μεμονωμένων Κόμβων

Παράδειγμα υπολογισμού της μέσης καθυστέρησης κατά Webster

- Δίδονται:
 - $Q = 600$ οχ/ώρα
 - $q = 600\text{οχ}/3600$ δλ
= 1/6 οχήματα ανά δλ.
 - $G =$ χρόνος πράσινης ένδειξης = 28 δλ
 - $Y =$ χρόνος κίτρινης ένδειξης = 4 δλ
 - $C =$ περίοδος = 60 δλ
 - 15 οχήματα εκκενώνουν τον κόμβο κατά την διάρκεια της πράσινης ένδειξης
 - Θεωρείστε ροή κορεσμού = 1,800 οχ/ώρα

Σηματοδότηση Μεμονωμένων Κόμβων

Παράδειγμα υπολογισμού της μέσης καθυστέρησης κατά Webster

$$\text{Ενεργό πράσινο} = 28 \text{ δλ} + 4 \text{ δλ} - 2 \text{ δλ} = 30 \text{ δλ}$$

χρόνος χρόνος Καθυστέρηση
πράσινου κίτρινου έναρξης

$$\lambda = g/c = 30/60 = \frac{1}{2}$$

$$x = q/(\lambda s) = \frac{600}{0.5 * 1800} = \frac{2}{3}$$

$$d = \frac{9}{10} \left[\frac{60 \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{1}{2} * \frac{2}{3}\right)} + \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^2}{2 \frac{1}{6} \left(1 - \frac{2}{3}\right)} \right]$$

$$d = 13.725 \text{ δλ/οχημα}$$

Η Κίτρινη ένδειξη

Η κίτρινη ένδειξη χρησιμοποιείται πριν την κόκκινη ένδειξη με σκοπό

- να ειδοποιήσει τους οδηγούς που πλησιάζουν το κόμβο ότι η πράσινη ένδειξη τελειώνει, έτσι ώστε να σταματήσουν ομαλά, και εν μέρει για
- να επιτρέψει στα οχήματα ή τους πεζούς που βρίσκονται μέσα στο σηματοδοτούμενο κόμβο να απομακρυνθούν από την περιοχή των πιθανών συγκρούσεων πριν κινηθούν τα ρεύματα οχημάτων ή πεζών της επόμενης φάσης.

Με βάση τις μέσες τιμές χρόνων αντίληψης και αντίδρασης οδηγών και επιβραδύνσεως οχημάτων, προκύπτει ότι η χρονική διάρκεια της κίτρινης ένδειξης θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 secs.

Συνήθως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τιμές

Για ταχύτητα μέχρι 50 χλμ./ώρα, 3 δλ

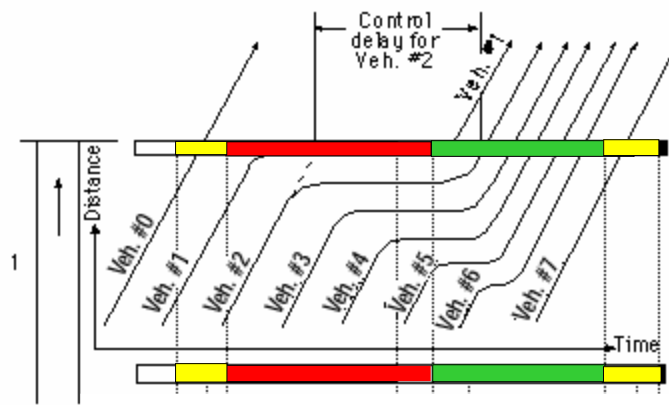
Για ταχύτητα μέχρι 60 χλμ./ώρα 4 δλ

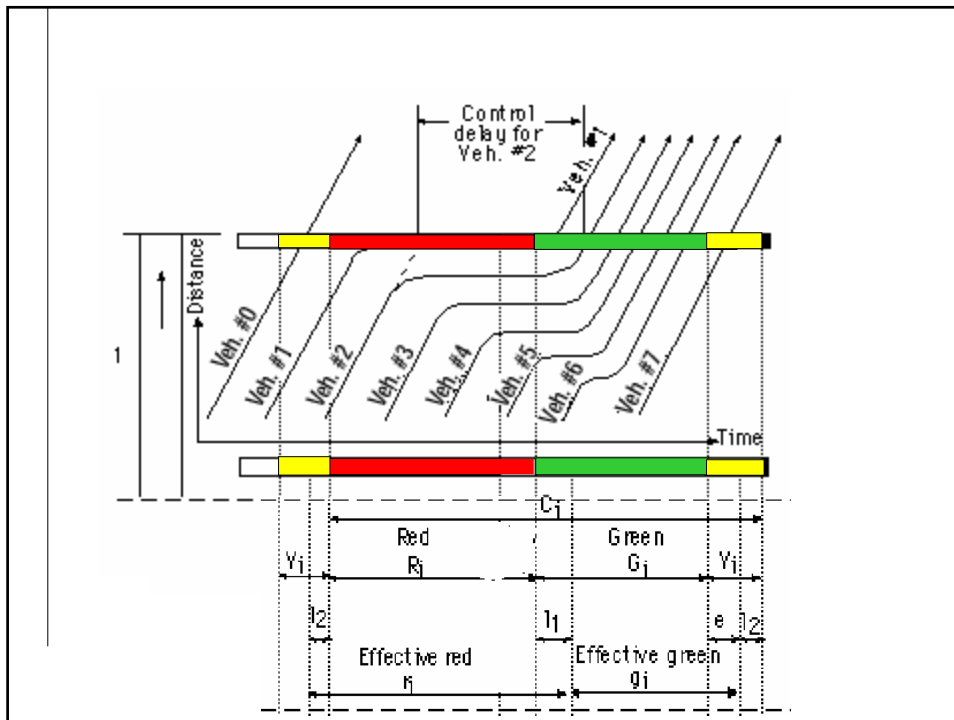
Για ταχύτητα μέχρι 70 χλμ./ώρα 5 δλ.

Απολυμένος χρόνος και 'Ενεργός' χρόνος πρασίνου

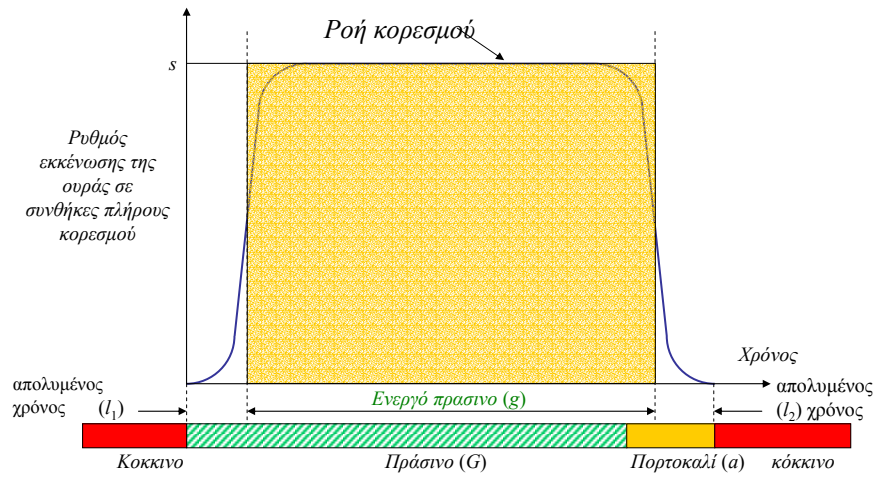
- ❑ Ένας οδηγός που διέρχεται με κίτρινη ένδειξη συνήθως δεν προλαβαίνει να εκκενώσει τον κόμβο στην διάρκεια του κίτρινου
- ❑ Για την ασφαλή διέλευση του απαιτείται η ταυτόχρονη απαγορευτική ένδειξη της δικής του φάσης και της επόμενης, που ισοδυναμεί με κοινό κόκκινο όλων των φάσεων
- ❑ Ο υπολογισμός του κοινού κόκκινου στηρίζεται στην αρχή ότι το τελευταίο όχημα που εκκενώνει τον κόμβο να μην συγκρουστεί με το πρώτο όχημα της επόμενης φάσης που εισέρχεται στον κόμβο

Κυκλοφοριακή Ροή σε σηματοδοτούμενο κόμβο





Ροή κορεσμού, Ενεργό πράσινο και απολυμένος χρόνος



- Συνολικός απολυμένος χρόνος $l = l_1 + l_2$
- Πράσινο + Κίτρινο = Ενεργό πράσινο (g) + Συνολικός απολυμένος χρόνος (l)
- Ενεργός πράσινος χρόνος (g) × Ροή Κορεσμού (s) = Συνολικός αριθμός οχημάτων που εκκενώνονται κατά την διάρκεια του πράσινου

Χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης

- ❑ Ένας οδηγός που διέρχεται με κίτρινη ένδειξη συνήθως δεν προλαβαίνει να εκκενώσει τον κόμβο στην διάρκεια του κίτρινου
- ❑ Για την ασφαλή διέλευση του απαιτείται η ταυτόχρονη απαγορευτική ένδειξη της δικής του φάσης και της επόμενης, που ισοδυναμεί με κοινό κόκκινο όλων των φάσεων
- ❑ Ο υπολογισμός του κοινού κόκκινου στηρίζεται στην αρχή ότι το τελευταίο όχημα που εκκενώνει τον κόμβο να μην συγκρουστεί με το πρώτο όχημα της επόμενης φάσης που εισέρχεται στον κόμβο

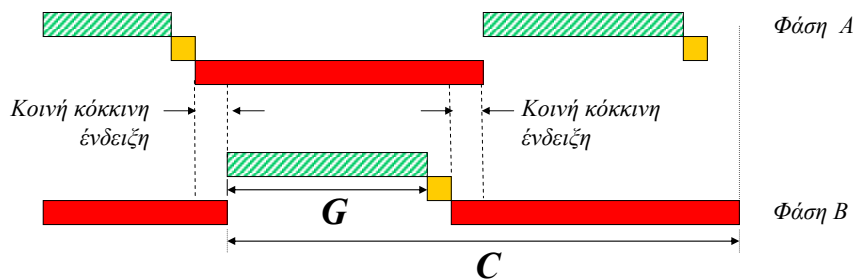
Χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης

- ❑ Υπολογισμός ακολουθεί τα ακόλουθα στάδια

- 1) Προσδιορίζονται ποιες είναι οι δυσμενέστερες διαδρομές στις γειτονικές φάσεις, δηλ. αυτές που τα μήκη διαδρομής ως το σημείο σύγκρουσης είναι τα μεγαλύτερα. Τα μήκη υπολογίζονται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου.

Σχημα

Χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης



Χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης

2) Υπολογίζονται οι χρόνοι διαδρομής του τελευταίου οχήματος της πρώτης φάσης και του πρώτου οχήματος της δεύτερης φάσης.

Οι ταχύτητες των οχημάτων σε αστικούς κόμβους στην Ελλάδα είναι:

ταχύτητα εκκένωσης οχημάτων :	11 m/sec (40km/h)
ταχύτητα εκκίνησης οχημάτων:	7 m/sec (25km/h)
ταχύτητα εκκίνησης ποδηλάτων:	5 m/sec (18km/h)
ταχύτητα εκκίνησης πεζών:	1,2 m/sec

ο χρόνος για να διέλθει το σημείο σύγκρουσης το τελευταίο όχημα της Α' φάσης είναι

$$t_{\text{τελ}} = \frac{S_{\text{τελ}}}{11} + K$$

K είναι ο χρόνος για την ασφαλή διέλευση διαμέσου της πιθανής περιοχής σύγκρουσης – συνήθως 1 sec

ο χρόνος του πρώτου οχήματος της επόμενης φάσης για να προσεγγίσει την περιοχή πιθανής σύγκρουσης

$$t_{\text{πρωτ}} = \frac{S_{\text{πρωτ}}}{7}$$

Χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης

2) Ο χρόνος κοινού κόκκινου υπολογίζεται από την σχέση:

αν θεωρηθεί ότι όλος ο χρόνος
κίτρινου χρησιμοποιείται σαν πράσινο

$$R_i = t_{\text{τελ}} - t_{\text{πρωτ}}$$

αν θεωρηθεί ότι κατά μέρος του
κίτρινου δεν επιτρέπεται η διέλευση
των οχημάτων

$$R_i = t_{\text{τελ}} - t_{\text{πρωτ}} + (Y_i - Y_{a,i})$$

Συνολικός απολυμένος χρόνος

Ο συνολικός απολυμένος χρόνος σε κάθε κύκλο (για όλες τις φάσεις) όταν το σύνολο του χρόνου της κίτρινης ένδειξης χρησιμοποιείται για διέλευση, δίνεται από την σχέση:

$$L = \sum_i t_{A,i} + \sum_i R_i = \sum_i t_{A,i} + \sum_i (t_{\text{τελ},i} - t_{\text{πρωτ},i})$$

Διάρκεια της περιόδου

- Η βέλτιστη διάρκεια της περιόδου ή κύκλου, που δίνει τις ελάχιστες δυνατές καθυστερήσεις, άρα και τις υψηλότερες στάθμες εξυπηρέτησης υπολογίσθηκε από τον Webster και δίνεται από την σχέση:

$$\text{βέλτιστος κύκλος : } C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_i \frac{v_i}{s_i}}$$

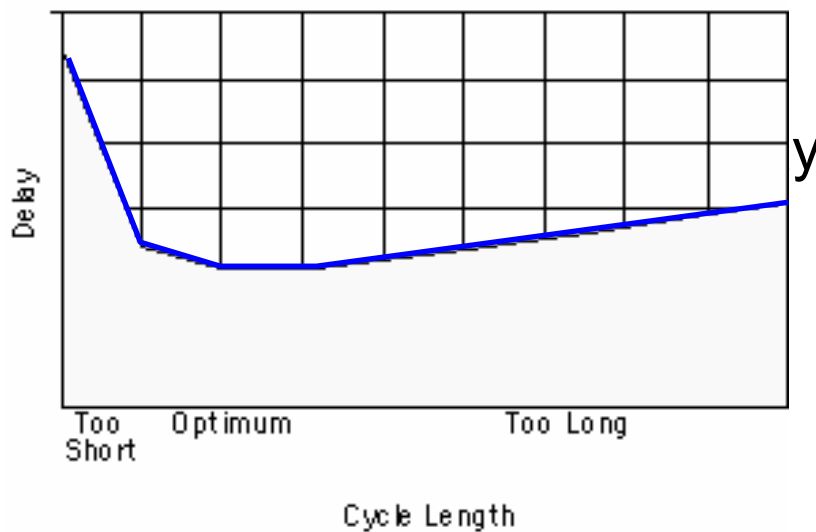
- Οι καθυστερήσεις δεν υπερβαίνουν το 20% αυτών που παράγει η βέλτιστη περίοδος, όταν η περίοδος που επιλέγεται κυμαίνεται:

$$0,75.C_o \leq C \leq 1,5.C_o$$

το συμπέρασμα είναι χρήσιμο για την περίπτωση συντονισμού του κόμβου με άλλους γειτονικούς, και επειδή στο συντονισμό επιλέγεται για όλους τους κόμβους κοινή περίοδος

Η μέση καθυστέρηση σαν συνάρτηση της περιόδου σηματοδότησης

EXHIBIT 16-16. SENSITIVITY OF DELAY TO CYCLE LENGTH



Κατανομή χρόνων πρασίνου στις φάσεις

- Ο συνολικός χρόνος του «ενεργού» διαθέσιμου κατανέμεται στις φάσεις ανάλογα με τον λόγο του φόρτου προς την ικανότητα του δυσμενέστερου ρεύματος σε κάθε φάση προς το άθροισμα των αντιστοίχων λόγων των φάσεων του κόμβου:

$$\frac{g_i}{g} = \frac{\frac{v_i}{s_i}}{\sum_i \frac{v_i}{s_i}} \Rightarrow g_i = \frac{\frac{v_i}{s_i}}{\sum_i \frac{v_i}{s_i}} \cdot (C - L)$$

- Ο χρόνος πρασίνου, G_i , σε κάθε φάση, που θα δίνεται από του σηματοδοτικό πρόγραμμα υπολογίζεται από την σχέση :

$$G_i = g_i + Y_{a,i} + t_{A,i}$$

Όπου g_i ο χρόνος ενεργού πρασίνου, $Y_{a,i}$ ο χρόνος του κίτρινου που λειτουργεί ως πράσινο και $t_{A,i}$ ο απολυμένος χρόνος πρασίνου

Μήκος Ουράς Αναμονής

- Το μέσο μήκος της ουράς αναμονής δίνεται από την σχέσκ

$$N = \max \left\langle \frac{v_i \cdot (C - g_i)}{2} + v_i \cdot d, \quad v_i \cdot (C - g_i) \right\rangle$$

Όπου d η μέση καθυστέρηση ανά όχημα

- Το μέσο μήκος αναμονής (ή ένα δυσμενέστερο π.χ. αυτό που προκύπτει στις 95% των περιπτώσεων) χρησιμεύει για να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λωρίδων αναμονής των αριστερών ή δεξιών στροφών στους κόμβους.
- Ο προσδιορισμός του δυσμενέστερου μήκους πρέπει να πραγματοποιηθεί με χρήση μεθόδων στοχαστικού λογισμικού

Πιθανότητα Αναμονής

- Το ποσοστό των οχημάτων τα οποία υποχρεώνονται να σταματήσουν ως προς τον συνολικό αριθμό οχημάτων που διέρχονται από μια πρόσβαση υπολογίζεται με εφαρμογή της σχέσης

$$W = \max \left\langle \frac{(C - g_i) + d}{2 \cdot C \cdot (1 - X_{s,t})}, \frac{C - g_i}{C \cdot (1 - X_{s,t})} \right\rangle$$

Παράδειγμα Σηματοδότησης

Σε ισόπεδο κόμβο οι ροές κορεσμού σε κλάδο είναι

$S = 1600$ οχ/ώρα για κάθε κατεύθυνση ($B \rightarrow N$, $B \rightarrow N$, $B \rightarrow N$, $B \rightarrow N$,

Ζητείται το πρόγραμμα σηματοδότησης 2 φάσεων, όταν δίνονται:

- ο συνολικός χρόνος κοινής κόκκινης ένδειξης = 6 δλ/περίοδο
- απολυμένος χρόνος = 2 δλ/φάση
- Φόρτοι προς κάθε κατεύθυνση

$$v_B = v_N = 600 \text{ οχ/ώρα}, \quad v_{A'} = 400 \text{ οχ/ώρα} \quad v_A = 300 \text{ οχ/ώρα}$$

Παράδειγμα Σηματοδότησης

$$v_B = v_N = 600 \text{ οχ/ώρα}, \quad v_\Delta = 400 \text{ οχ/ώρα}, \quad v_A = 300 \text{ οχ/ώρα}$$

$$\frac{v_B}{s_N} = \frac{v_N}{s_N} = \frac{600}{1600} = \frac{3}{8}, \quad \frac{v_\Delta}{s_\Delta} = \frac{400}{1600} = \frac{2}{8}, \quad y_E = \frac{300}{1600} = \frac{3}{16}$$

ΦΑΣΗ 1 : η ροή $B \rightarrow N$ και $N \rightarrow B$

ΦΑΣΗ 2 : η ροή $A \rightarrow \Delta$ και $\Delta \rightarrow A$

$$\frac{v_1}{s_1} = \frac{3}{8}, \quad \frac{v_2}{s_2} = \max\left\{\frac{2}{8}, \frac{3}{16}\right\} \Rightarrow \sum_i \frac{v_i}{s_i} = \frac{3}{8} + \frac{2}{8} = \frac{5}{8}$$

$$L = 2 + 2 + 10 \quad \Rightarrow \quad c_o = \frac{1.5 \times 10 + 5}{1 - 5/8} = 53 \text{ δλ.}$$

$$\Rightarrow g_{B-N} \cong \frac{3}{5}(53 - 10) \approx 26 \text{ δλ.}; \quad g_{A-\Delta} \cong \frac{2}{5}(53 - 10) = 17 \text{ δλ.}$$

$$\bullet \quad x_N = x_S = 0.764; \quad x_W = 0.779; \quad x_E = 0.585$$