

SVETLOBNI PROMETNI ZNAKI – SEMAFORJI

1. Krmiljenje semaforjev

Časovno odvisno krmiljenje semaforjev deluje na podlagi vnaprej pripravljenih signalnih programov, pri katerih je dolžina ciklusa in zelenih luči odvisna od dnevnega in tedenskega nihanja prometnih obremenitev.

Signalni programi za časovno odvisno krmiljenje semaforjev morajo biti izračunani za jutranjo in popoldansko konico ter dnevni in nočni zunajkonični promet.

Prometno odvisno krmiljenje semaforjev mora biti vzpostavljeno, kadar nihanja prometnih obremenitev niso vnaprej predvidljiva.

Signalni program treh ali več semaforjev za urejanje prometa na območju zapore se določa na podlagi metode HCM.

2. Časovni razmik med vozili

Časovni razmik med vozili Δt (sek), ki ga je treba upoštevati pri prometno odvisnem krmiljenju, je praviloma 3 sekunde. Časovni razmik med vozili Δt se poveča na:

- 4 sekunde, če je podolžni sklon ceste $> 3 \%$ ali
- 5 sekund, če je na cesti 10% ali več tovornih vozil.

3. Štetje prometa

Štetje prometa za izračun signalnega programa za časovno odvisno krmiljenje semaforjev praviloma traja 16 ur (npr. od 5. do 21. ure). Če je s predhodnimi opazovanji ugotovljeno, da zadoščajo kratkotrajnejša štetja, je treba izbrati štiriurna (npr. od 5. do 9. ure in od 14. do 18. ure), izjemoma tudi dveurna štetja, vendar pod pogojem, da je v tem času zajeta tudi konična obremenitev.

Za izdelavo signalnega programa za prometno odvisno krmiljenje semaforjev zadostuje enourno štetje prometa med jutranjo ali popoldansko prometno konico. Štetje prometa mora biti prikazano v 15-minutnih intervalih, razvidni pa morata biti smer gibanja vozil in njihova sestava.

4. Pretvorba vozil v eov

Faktor f_{ei} za pretvorbo vozil (voz) v enoto osebnih vozil (eov) je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1: Faktor f_{ei} za pretvorbo vozil (voz) v enoto osebnih vozil (eov)

i	vozila	f_{ei}
1	kolo	0,3
2	motorno kolo	0,5
3	osebni avtomobil	1,0
4	tovornjak, avtobus, traktor	2,0
5	zglobni avtobus, tovornjak nad 7t	3,0
6	tovornjak s prikolico, traktor s prikolico	4,0

5. Prometna obremenitev

Prometna obremenitev q_1 (eov/h) in q_2 (eov/h) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A – smer, na kateri je ohranjen prometni pas, po katerem poteka izmenično enosmerni promet:

$$q_1 = \sum (V_{1i} * f_{ei}) \text{ (eov/h)}$$

ter za smer B – smer, ki je nasprotna smeri A:

$$q_2 = \sum (V_{2i} * f_{ei}) \text{ (eov/h)}$$

pri čemer je:

V_{1i} – število vozil (po štetju prometa), ki so v eni uri prevozila v smeri A,

V_{2i} – število vozil (po štetju prometa), ki so v eni uri prevozila v smeri B,

f_{ei} – faktor za pretvorbo vozil v eov.

6. Konični faktor PHF

Konični faktor PHF_1 in PHF_2 je podan z razmerjem med urno prometno obremenitvijo q_1 (eov/h) oz. q_2 (eov/h) in največjo 15-minutno prometno obremenitvijo $q_{1max(15)}$ (eov/h) oz. $q_{2max(15)}$ (eov/h) v tej uri ter se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$PHF_1 = \frac{q_1}{4 * q_{1max(15)}}$$

in za smer B:

$$PHF_2 = \frac{q_2}{4 * q_{2max(15)}}$$

7. Izračun semaforizacije

Izračun semaforizacije mora vsebovati izračune o prepustnosti prometnega pasu v obeh smereh na območju zožitve. Pri tem morajo biti poleg osnovnih parametrov, ciklusa, zelenih časov in vmesnih časov, izračunani še povprečna dolžina kolone na začetku zelene luči, število vozil na zeleno uro, ki prevozijo območje semaforizacije, in stopnja nasičenosti. Signalni program mora biti prikazan v grafični obliki.

8. Ciklus

Ciklus C (sek) je enkraten časovni potek vseh faz signalnega programa in se izračuna po enačbi:

$$C = \frac{t_{v1} + t_{v2}}{1 - \frac{Q_1 + Q_2}{s}} \text{ (sek)}$$

pri čemer je:

t_{v1}, t_{v2} – vmesni čas (sek),

s – nasičen prometni tok = 1800 (eov/h).

Trajanje ciklusa C (sek) mora biti: $50 \text{ (sek)} \leq C \leq 300 \text{ (sek)}$. Če je izračunani ciklus krajši od 50 sek, je treba privzeti 50 sek oz. 300 sek, če je daljši od 300 sek.

Minimalni ciklus (sek) se izračuna po enačbi:

$$C_{min} = t_{z1min} + t_{v1} + t_{z2min} + t_{v2} \text{ (sek)}$$

pri čemer je:

t_{z1min}, t_{z2min} – minimalni zeleni čas = 10 (sek).

9. Vmesni čas

Vmesni čas t_{v1} , t_{v2} (sek) za območje semaforizacije se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$t_{v1} = t_{p1} + \frac{S}{v_{p1}} * 3,6 \quad (\text{sek})$$

in za smer B:

$$t_{v2} = t_{p2} + \frac{S}{v_{p2}} * 3,6 \quad (\text{sek})$$

pri čemer je:

t_{p1} , t_{p2} – prevozni čas (sek),

v_{p1} , v_{p2} – prevozna hitrost (km/h).

Prevozna hitrost v_{p1} , v_{p2} (km/h), prevozni čas t_{p1} , t_{p2} (sek) in širina prometnega pasu b (m) so za dovoljene hitrosti (km/h) na območju semaforizacije razvidni iz tabele 2.

Tabela 2: Prevozna hitrost v_{p1} , v_{p2} (km/h), prevozni čas t_{p1} , t_{p2} (sek) in širina prometnega pasu b (m) glede na dovoljeno hitrost (km/h) na območju semaforizacije

dovoljena hitrost (km/h)	prevozna hitrost v_{p1} , v_{p2} (km/h)	prevozni čas t_{p1} , t_{p2} (km/h)	širina prometnega pasu b (m)
70	60	4	$3,5 \leq b^*$
60	50	4	$3 \leq b < 3,5^*$
50	40	3	$2,8 \leq b < 3$
40	30	3	$2,5 < b < 2,8$
30	20	3	$b = 2,5$

* Če je tovornih vozil več kot 10 %, je treba privzeti prevozno hitrost, manjšo za 10 km/h.

Na podlagi terenskega ogleda ceste je treba upoštevati posebne lokalne razmere, ki lahko vplivajo na zmanjšanje prevozne hitrosti, še posebej če so v neposredni bližini vozišča na območju semaforizacije pešci ali kolesarji.

10. Vpliv širine prometnega pasu na merodajno prometno obremenitev

Vpliv širine prometnega pasu b (m) na merodajno prometno obremenitev je podan s faktorjem širine prometnega pasu (f_b) na območju semaforizacije in je za posamezne širine razviden iz tabele 3.

Tabela 3: Faktor širine prometnega pasu (f_b) na območju semaforizacije glede na širino prometnega pasu

širina b (m)	f_b
$3,5 \leq b$	0,85
$3 \leq b < 3,5$	1,0
$2,5 \leq b < 3$	1,15

11. Vpliv podolžnega sklona na merodajno prometno obremenitev

Vpliv podolžnega sklona p_s (%) na merodajno prometno obremenitev je podan s faktorjem podolžnega sklona f_{s1} (za smer A) in f_{s2} (za smer B) ter je za posamezne sklone razviden iz tabele 4.

Tabela 4: Faktor podolžnega sklona f_{s1} (za smer A) in f_{s2} (za smer B) v odvisnosti od podolžnega sklona

širina b (m)	p_s (%)	f_{s1}, f_{s2}
vzpon + (%)	+ 3%	1,1
	+ 5%	1,15
	+ 7%	1,2
padec - (%)	- 3%	0,9
	- 5%	0,85
	- 7%	0,8

12. Merodajna prometna obremenitev

Merodajna prometna obremenitev Q_1, Q_2 (eov/h) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$Q_1 = q_1 * f_{s1} * f_b * \frac{1}{PHF_1} \quad (\text{eov/h})$$

in za smer B:

$$Q_2 = q_2 * f_{s2} * f_b * \frac{1}{PHF_2} \quad (\text{eov/h})$$

pri čemer je:

- q_1, q_2 – prometna obremenitev (eov/h),
- f_{s1}, f_{s2} – faktor podolžnega sklona,
- f_b – faktor širine prometnega pasu na območju semaforizacije,
- PHF_1, PHF_2 – konični faktor.

13. Situacija prometne signalizacije in prometne opreme

V situaciji prometne signalizacije in prometne opreme morata biti prikazani vsa obstoječa prometna signalizacija in prometna oprema, ki ostaneta oziroma se prekrijeta za čas semaforizacije območja zožitve. Prikazani morata biti tudi vsa na novo postavljena prometna signalizacija in prometna oprema, ki ju zahteva semaforizacija. Signalni glavi morata biti označeni s črkama A oziroma B, prikazan pa mora biti tudi položaj krmilne naprave.

14. Dolžina območja semaforizacije v odvisnosti od merodajne prometne obremenitve

Dolžina območja semaforizacije S (m) lahko znaša do 900 m in je odvisna od vsote merodajnih prometnih obremenitev $Q = Q_1 + Q_2$ (eov/h) ter se izračuna po enačbi:

$$S \leq 900 - \frac{Q}{2} \quad (\text{m})$$

Vsota merodajnih prometnih obremenitev Q (eov/h) lahko znaša do 1600 (eov/h) in je odvisna od dolžine območja semaforizacije S (m) ter se izračuna po enačbi:

$$Q \leq 1800 - 2S \quad (\text{eov/h})$$

Ne glede na prvi odstavek te točke je lahko dolžina območja semaforizacije S (m) večja od 900 m zaradi prečnih elementov ceste (premajhna širina vozišča za srečanje dveh vozil na dolžini, večji od 900 m) ali zaradi enormnih stroškov vzpostavitve začasnih površin – izogibališč za srečanje vozil pred

semaforjem. V tem primeru je treba zagotoviti obveščanje udeležencev cestnega prometa, da lahko na tovrstnih zaporah pričakujejo daljše čakalne čase kot sicer.

15. Zeleni čas

Zeleni čas (sek) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$t_{z1} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} * (C - (t_{v1} + t_{v2})) \quad (sek)$$

in za smer B:

$$t_{z2} = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} * (C - (t_{v1} + t_{v2})) \quad (sek)$$

Trajanje zelenega časa mora biti:

$$10 \text{ (sek)} \leq t_{z1}, t_{z2} \leq 90 \text{ (sek)}$$

16. Maksimalni zeleni čas

Maksimalni zeleni čas t_{zmax} (sek) je enak za obe smeri vožnje na območju semaforizacije. Treba ga je podati pri prometno odvisnem krmiljenju za čas trajanja jutranje ali popoldanske prometne konice, zanj pa je treba privzeti večjo vrednost izračunanega zelenega časa: t_{z1} ali t_{z2} .

17. Povprečni zastoj vozil

Povprečni zastoj vozil pred območjem zožitve d_1, d_2 (sek/eov) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$d_1 = \frac{C * (1 - \lambda_1)^2}{2 * (1 - y_1)} + \frac{x_1^2}{2 * Q_1 * (1 - x_1)} - 0,65 * \left(\frac{C}{Q_1}\right)^{1/3} * x_1^{(2+5\lambda_1)} \quad (sek/eov)$$

ter za smer B:

$$d_2 = \frac{C * (1 - \lambda_2)^2}{2 * (1 - y_2)} + \frac{x_2^2}{2 * Q_2 * (1 - x_2)} - 0,65 * \left(\frac{C}{Q_2}\right)^{1/3} * x_2^{(2+5\lambda_2)} \quad (sek/eov)$$

pri čemer je:

$$\lambda_1 = \frac{t_{z1}}{C}, \quad \lambda_2 = \frac{t_{z2}}{C}$$

$$y_1 = \frac{Q_1}{S}, \quad y_2 = \frac{Q_2}{S}$$

$$x_1 = \frac{Q_1 * C}{S * t_{z1}}, \quad x_2 = \frac{Q_2 * C}{S * t_{z2}}$$

Če je: x_1 ali x_2 oz. y_1 ali $y_2 > 1$, je treba skrajšati dolžino območja semaforizacije.

18. Povprečno število vozil na začetku zelene luči

Povprečno število vozil na začetku zelene luči N_1, N_2 (eov) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$N_1 = \frac{Q_1 * (C - t_{z1})}{2 * 3600} + \frac{Q_1 * d_1}{3600} \quad (eov)$$

in

$$N_1 = \frac{Q_1 * (C - t_{z1})}{3600} \quad (eov)$$

ter za smer B:

$$N_2 = \frac{Q_2 * (C - t_{z2})}{2 * 3600} + \frac{Q_2 * d_2}{3600} \quad (eov)$$

in

$$N_2 = \frac{Q_2 * (C - t_{z2})}{3600} \quad (eov)$$

Merodajna je večja izračunana vrednost za N_1 oziroma N_2 .

19. Povprečna dolžina kolone na začetku zelene luči

Povprečna dolžina kolone N_{k1} , N_{k2} (m) na začetku zelene luči se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$N_{k1} = 6 * N_1 \quad (m)$$

in za smer B:

$$N_{k2} = 6 * N_2 \quad (m)$$

20. Število vozil na zeleno uro

Število vozil na zeleno uro N_{z1} , N_{z2} (eov/zel.h) se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$N_{z1} = \frac{t_{z1}}{C} * s \quad (eov/zel. h)$$

in za smer B:

$$N_{z2} = \frac{t_{z2}}{C} * s \quad (eov/zel. h)$$

21. Stopnja nasičenosti

Stopnja nasičenosti x_1 , x_2 se izračuna po enačbi, in sicer za smer A:

$$x_1 = \frac{Q_1 * C}{s * t_{z1}}$$

in za smer B:

$$x_2 = \frac{Q_2 * C}{s * t_{z2}}$$

22. Spremljanje delovanja semaforja

Za spremljanje delovanja semaforja mora izvajalec rednega vzdrževanja cest odpreti dnevnik, v katerega vpiše, po katerem projektu je bil semafor postavljen, ter datum in uro njegove vključitve.

Delovanje semaforja mora izvajalec rednega vzdrževanja cest takoj po vključitvi opazovati večkrat dnevno, še posebej med prometnimi konicami, vse do takrat, ko je mogoče zaznati, da so se prometne razmere na cesti ustalile oziroma da signalni programi delujejo na podlagi dejanskih vhodnih parametrov.

Na terenu je treba izmeriti in primerjati s projektiranimi naslednje parametre pri časovno odvisnem signalnem programu: vmesni čas, čas trajanja zelenih luči in ciklusov. Pri prometno odvisnem signalnem programu je treba izmeriti vmesni čas, dolžino maksimalne zelene luči in kritičen časovni razmik med vozili, ki določa spremembo faze. Če kateri od parametrov ne ustreza dejanskim prometnim razmeram, ga je treba takoj spremeniti.

Vsa opazovanja, spremembe posameznih parametrov signalnega programa, vzdrževanje semaforja in prometne signalizacije ter čas sprememb in dopolnitev je treba evidentirati v dnevniku.