

PUBLIC LIGHTING DESIGN: ECONOMIC OPTIMIZATION AN EXAMPLE*

Luciano Di FRAIA

University of Naples "Federico II" - Naples, Italy

Abstract

The complex problem of optimizing the design of a road lighting system from an economic stand point was already considered from a theoretical point of view in a previous paper published in this review [1]. Here, a thoroughly worked out example of optimization process is provided in order to better understand and quantify some aspects of the problem, such as the savings obtainable, the level of influence of the various parameters involved and the difficulties.

The data obtained indicates that the luminaire optic is a key factor and that the luminaire overhang and tilt angle have much more influence than commonly believed. It results also apparent that no practical criterion is good for a real optimization, since the optimal solution is strongly dependent from case to case.

1 Introduction

A road lighting system is defined by the following elements and parameters: lamp, luminaire, pole spacing (s), mounting height (h) overhang (b), tilt angle (t), pole arrangement (single sided, opposite etc.), maintenance factor, maintenance programme.

A common process of designing a lighting system consists of finding a combination of the above parameters meeting the desired photometric requirements (national code or CIE standard or CEN standard). This is a rather easy task. Instead, more difficult is to find the combination providing the *minimum* overall annual cost (*optimal* solution), because this requires all the possible combinations of the

above parameters to be explored. Even considering only one luminaire/lamp unit, these combinations can be many and many, even millions.

In this paper, a worked out example of optimization process aimed at better understanding the terms of the problem is given, indicating a practical procedure to follow and quantifying the considerable economic benefits yielded by optimization.

This optimization example helps also to quantify the impact on the optimal solution of the luminaire optic and of the luminaire tilt angle and overhang.

In this example, the maintenance factor is fixed. Thus, for a certain luminaire/lamp unit, the optimization process is focused on minimizing the sum of the installation and energy costs, being constant the maintenance cost. Since this sum is inversely proportional to the spacing, it will be sufficient to search for the maximum spacing compatible with the given lighting requirements.

2 Optimization process

The procedure followed in this paper to perform the optimization of the design of a road lighting system consists of considering the parameters h , b and t as independent variables and the spacing s as the dependent one. In other words, given the luminaire/lamp unit, the type of arrangement and the maintenance factor, a triplet of values is given to the parameters h , b

* This paper is an expanded version of the paper presented at the 12th International Conference "Light 2001", Slovak [2].

and t and the maximum value for the spacing s among all those compatible with the lighting requirements is searched for. This lighting configuration represents a *sub optimal* solution. Then, this procedure is repeated as many times as the combinations of h , b and t to be explored are. The number of these combinations depends on the ranges within which such parameters are wanted to be varied. For example, if the range is of 7 values for h , 5 for b and 4 for t , the resulting combinations to be explored are 140. It is noted that, whatever s , there will be combinations not meeting the requirements. This will obviously depend on the severity of the lighting requirements assumed.

In the optimization process example, the input data were:

- road: width: 2 x 3.5 m; type of surface: C2; $Q_o=0.07 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$;
- photometric requirements: according to the lighting class ME 3c of the CEN European Standard [3]: average maintained luminance: $L \geq 1 \text{ cd/m}^2$; overall uniformity: $U_o \geq 0.4$; longitudinal uniformity: $U_l \geq 0.5$; threshold increment: $TI \leq 15\%$;
- maintenance factor: 0.8;
- pole arrangement: single sided.

Regarding the luminaire and the lamp, the following 7 luminaire/lamp units, chosen from the catalogues of two important manufacturers (conventionally named Ph and Fa), were considered: Ph A 150W, Ph B 150W, Ph A 100W, Fa K 150W, Fa J 150W, Ph A 70W, Fa J 70W; type of lamp: high pressure sodium.

For each of the above luminaire/lamp unit, the following ranges were explored for the parameters h , b and t :

$$h \text{ (m)} = [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]$$

$$b \text{ (m)} = [0, 0.5, 1, 1.5]$$

$$t \text{ (}^\circ\text{)} = [0, 5, 10, 15]$$

for resulting 112 combinations. Since the luminaire/lamp units are 7, the overall number of combinations is 784. For each of such combinations, the values, if any, for the spacing s complying with the given photometric requirements are to be determined. It results that a same combination can provide many useful values for s , among which only the maximum one compatible with the photometric requirements (sub optimal solution) is of interest in an optimization process. Such sub

optimal solutions are reported in Table 1a. In the case of this example, 230 sub optimal solutions were obtained. They are listed in order of decreasing spacing and the relevant photometric performances are indicated too.

Table 1b summarizes, for an easy comparison, the best solutions found for each of the seven considered luminaire/lamp units.

This investigation was then repeated for other three lighting classes, more stringent than the ME 3c one: ME 3b ($U_l \geq 0.6$), ME 3a ($U_l \geq 0.7$) and the CIE ME 3 class ($TI \leq 10\%$) [4]. The results obtained are shown in Tables 2a-4a, from which it is seen that, when passing from the requirements of the ME 3c lighting class to those of the ME 3b class, the solutions indicated in Table 1a still complying with the latter requirements reduce to 184. When imposing the requirements of the ME 3a and CIE M3 lighting classes, the useful solutions reduce furtherly to respectively 148 and 139.

Tables 2b-4b compare the best solutions found for the seven luminaire/lamp units for each of the above lighting classes.

From data obtained it results also that the spacing is very sensitive to the tilt angle and overhang. A variation of one of them can cause a large variation of s , as shown in Table 5, where, for each luminaire/lamp unit considered, are reported the reductions ($\Delta s\%$) of s_{max} occurring when t and b are singularly varied from their optimal values. It is seen that b or t can even condition the validity of a solution.

Since these parameters have little influence on the cost, particularly the tilt angle, it is therefore of great importance to accurately choose them.

3 Conclusions

The results obtained in this work show that:

- the optimization of the design of a road lighting system from an economic stand point can yield considerable cost savings over solutions not optimized.
- for a same optic, the maximum spacing is yielded by the lamp of higher wattage, but this does not exclude that a lower energy consumption can be accomplished with the lamp of lower wattage.

-
- the geometrical parameters b and t have a much more than commonly believed influence on the performances of a lighting systems and hence on the spacing between the poles. Even they can prevent a solution from complying with the design requirements.
- each specific case requires its own optimal solution to be found; this strongly varies from luminaire to luminaire and, as will be shown in a next paper, from road to road. Practical criteria suggested in the specialized literature, such as that of the mounting height equal to the road width and alike, have little, if any, validity.

A paper dealing with the impact of maintenance and of the energy consumption on the optimal solution and taking into account typical unit costs of equipments and labor is under preparation.

References

- [1] Di Fraia, Luciano, "A rational procedure for designing optimum road lighting systems", *Ingenieria Illuminatului* nr. 1 - 1999
- [2] Di Fraia, Luciano, "Public lighting benefits: economy and energy aspects, design optimization, standards", Proceedings of the 12th International Conference "Light 2001", Slovak
- [3] CEN Road Lighting – Part2: *Performance requirements*, draft pr EN 13201-2, 2002
- [4] Commission Internationale de l'Eclairage: *Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrians traffic*. Publication CIE **115**-1995



Prof. ing. Luciano Di FRAIA
 Professor of Lighting
 Electrical Engineering Department
 University of Naples "Federico II"
 Via Claudio 21
 80125 Naples, Italy
 Tel./Fax: + 39. 081. 7611957
 e-mail: difraia@unina.it

Received at 21.01.2003

Table 1a List of the combinations providing the maximum spacings (sub optimal solutions) found for each of the combinations resulting from: 7 luminaire/lamp units (as indicated in the text), 7 mounting heights (h), 4 tilt angles (t), 4 overhangs (b) (total number of combinations: 784; number of combinations complying with the requirements: 230) Solutions listed in order of decreasing spacing.

Ranges explored: h : from 5 to 11 m, step 1 m;

t : from 0 to 15°, step 5°;

b : from 0 to 1.5 m, step 0.5 m.

Requirements: according to the lighting class ME 3c of the CEN European Standard, draft Pren 13201-2:2002 [3] ($L \geq 1 \text{ cd/m}^2$, $U_o \geq 0.4$, $U_L \geq 0.5$, $TI (\%) \leq 15$)

- Road: width: $w=2 \times 3.5 \text{ m}$ asphalt C2 $Q_o = 0.07 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$
- Arrangement: single sided (right) • Lamp: HPS • $MF (\%) = 80$

Order	Luminaire/lamp unit	h (m)	t (°)	b (m)	s (m)	Performances			
						L (cd/m ²)	U_o	U_L	TI (%)
1	Ph A 150W	11	10	1.5	49.5	1.0	0.42	0.57	11.3
2	Ph A 150W	11	15	1.5	48.5	1.0	0.52	0.55	11.0
3	Ph A 150W	10	15	1.5	48	1.1	0.42	0.51	12.8
4	Ph B 150W	9	0	1	47.5	1.1	0.41	0.50	14.1
5	Ph B 150W	9	5	1	47.5	1.0	0.47	0.53	13.5
6	Ph B 150W	9	5	1.5	47.5	1.0	0.49	0.51	12.7
7	Ph B 150W	10	0	1.5	47.5	1.0	0.53	0.61	10.9
8	Ph A 150W	11	10	1	47.5	1.0	0.42	0.61	11.4
9	Ph A 150W	11	15	1	47.5	1.0	0.48	0.59	11.2
10	Ph B 150W	9	5	0.5	47	1.0	0.45	0.54	14.2
11	Ph B 150W	9	0	1.5	47	1.1	0.45	0.51	13.1
12	Ph B 150W	10	0	1	47	1.0	0.50	0.62	11.4
13	Ph A 150W	10	15	1	47	1.1	0.40	0.53	12.8

14	Ph B 150W	10	0	0.5	46.5	1.0	0.47	0.61	12.0
15	Ph B 150W	9	5	0	46	1.0	0.44	0.56	14.7
16	Ph A 150W	11	15	0.5	46	1.0	0.46	0.63	11.4
17	Ph B 150W	9	0	0.5	45.5	1.1	0.40	0.55	14.6
18	Ph B 150W	10	0	0	45	1.0	0.45	0.66	12.3
19	Ph A 150W	11	10	0.5	45	1.0	0.40	0.64	11.4
20	Ph A 150W	11	5	1.5	45	1.1	0.40	0.63	10.9
21	Ph A 150W	10	15	0.5	44.5	1.1	0.40	0.60	13.1
22	Ph A 150W	11	15	0	44.5	1.0	0.43	0.65	11.4
23	Ph B 150W	8	15	0.5	44	1.0	0.52	0.50	15.8
24	Ph B 150W	9	10	0.5	44	1.0	0.52	0.61	13.0
25	Ph B 150W	9	10	1	44	1.0	0.54	0.61	12.5
26	Ph A 150W	10	10	1.5	44	1.2	0.41	0.59	12.3
27	Ph B 150W	8	10	0	43.5	1.1	0.45	0.51	17.1
28	Ph B 150W	8	15	0	43.5	1.0	0.51	0.52	16.5
29	Ph B 150W	8	10	0.5	43.5	1.1	0.47	0.50	16.3
30	Ph B 150W	8	10	1.5	43.5	1.1	0.48	0.50	14.0
31	Ph B 150W	8	15	1.5	43.5	1.0	0.48	0.50	13.5
32	Ph B 150W	9	10	0	43.5	1.0	0.50	0.62	13.5
33	Ph B 150W	9	10	1.5	43.5	1.0	0.58	0.63	11.5
34	Ph B 150W	10	5	0.5	43.5	1.0	0.56	0.73	11.0
35	Ph B 150W	10	5	1	43.5	1.0	0.59	0.73	10.7
36	Ph B 150W	11	0	1	43.5	1.0	0.61	0.77	9.2
37	Ph B 150W	11	0	1.5	43.5	1.0	0.64	0.77	8.9
38	Ph B 150W	8	5	0.5	43	1.2	0.41	0.51	16.8
39	Ph B 150W	8	5	1	43	1.2	0.43	0.51	15.8
40	Ph B 150W	8	10	1	43	1.1	0.49	0.51	15.1
41	Ph B 150W	8	15	1	43	1.0	0.54	0.50	14.7
42	Ph B 150W	8	5	1.5	43	1.2	0.46	0.50	14.6
43	Ph B 150W	10	5	1.5	43	1.0	0.62	0.74	10.0
44	Ph B 150W	11	0	0.5	43	1.0	0.57	0.78	9.5
45	Ph B 150W	10	5	0	42.5	1.0	0.54	0.73	11.3
46	Ph B 150W	8	0	1.5	42	1.3	0.42	0.51	15.1
47	Ph A 150W	9	15	1.5	42	1.3	0.41	0.52	14.0
48	Ph B 150W	11	0	0	41.5	1.0	0.54	0.77	9.8
49	Ph B 150W	8	5	0	40	1.2	0.40	0.58	16.8
50	Ph A 150W	10	10	1	40	1.3	0.41	0.64	12.0
51	Ph B 150W	11	5	0.5	40	1.0	0.60	0.73	9.0
52	Ph B 150W	11	5	1	40	1.0	0.63	0.76	8.6
53	Ph B 150W	8	0	1	39.5	1.4	0.40	0.57	15.5
54	Ph B 150W	9	15	0	39.5	1.0	0.57	0.65	12.5
55	Ph B 150W	9	15	0.5	39.5	1.0	0.59	0.70	11.9
56	Ph B 150W	9	15	1	39.5	1.0	0.62	0.75	11.1
57	Ph B 150W	10	10	0	39.5	1.0	0.56	0.66	10.6
58	Ph B 150W	10	10	0.5	39.5	1.0	0.59	0.70	10.2
59	Ph B 150W	10	10	1	39.5	1.0	0.62	0.74	9.6
60	Ph B 150W	11	5	0	39.5	1.0	0.58	0.70	9.2
61	Ph B 150W	11	5	1.5	39.5	1.0	0.68	0.79	8.1
62	Ph B 150W	9	0	0	39	1.2	0.40	0.69	13.7
63	Ph A 150W	9	15	1	39	1.4	0.40	0.60	13.9
64	Ph B 150W	10	10	1.5	39	1.0	0.66	0.76	9.0
65	Ph A 150W	11	5	1	39	1.2	0.40	0.75	10.5
66	Ph B 150W	7	15	0	38.5	1.3	0.48	0.54	19.8
67	Ph B 150W	7	10	0.5	38.5	1.4	0.43	0.50	19.6

68	Ph B 150W	7	15	0.5	38.5	1.3	0.51	0.51	18.8
69	Ph B 150W	9	15	1.5	38.5	1.0	0.67	0.76	10.3
70	Ph B 150W	7	10	1	38	1.4	0.47	0.51	18.1
71	Ph B 150W	7	15	1	38	1.3	0.53	0.50	17.1
72	Ph B 150W	7	10	1.5	38	1.4	0.48	0.50	16.4
73	Ph B 150W	7	15	1.5	38	1.3	0.47	0.50	15.7
74	Ph B 150W	7	5	1	37.5	1.5	0.40	0.52	18.8
75	Ph B 150W	7	5	1.5	37.5	1.5	0.44	0.52	17.2
76	Ph A 150W	10	15	0	37.5	1.3	0.40	0.72	12.0
77	Ph B 150W	7	10	0	37	1.4	0.42	0.56	20.0
78	Ph A 100W	9	15	1.5	37	1.0	0.46	0.51	12.3
79	Ph B 150W	11	10	0.5	37	1.0	0.68	0.77	8.2
80	Ph A 100W	9	15	1	36.5	1.0	0.40	0.55	12.7
81	Fa K 150W	10	15	0.5	36.5	1.0	0.42	0.51	5.8
82	Fa K 150W	10	10	1.5	36.5	1.0	0.43	0.50	5.7
83	Ph B 150W	11	10	0	36.5	1.0	0.64	0.75	8.5
84	Ph B 150W	11	10	1	36.5	1.0	0.72	0.78	7.8
85	Ph B 150W	10	15	0	36	1.0	0.65	0.72	9.7
86	Ph B 150W	10	15	0.5	36	1.0	0.67	0.72	9.2
87	Ph A 100W	10	10	1.5	36	1.0	0.45	0.65	10.1
88	Fa K 150W	11	10	1	36	1.0	0.40	0.52	4.9
89	Ph B 150W	11	10	1.5	36	1.0	0.73	0.80	7.5
90	Fa K 150W	11	10	1.5	36	1.0	0.44	0.50	4.8
91	Ph A 150W	9	10	1.5	35.5	1.6	0.41	0.66	12.7
92	Ph B 150W	10	15	1	35.5	1.0	0.71	0.76	8.8
93	Ph B 150W	10	15	1.5	35	1.0	0.75	0.77	8.1
94	Ph A 100W	10	15	1.5	35	1.0	0.54	0.62	10.0
95	Ph A 100W	10	15	1	34.5	1.0	0.49	0.65	10.3
96	Fa K 150W	11	15	0.5	34.5	1.0	0.44	0.50	4.9
97	Ph A 150W	8	15	1.5	34	1.8	0.40	0.59	15.0
98	Fa K 150W	10	15	1	34	1.0	0.46	0.50	5.6
99	Ph A 150W	10	5	1.5	34	1.5	0.40	0.77	10.8
100	Ph A 150W	11	10	0	34	1.3	0.40	0.83	9.9
101	Ph A 100W	11	10	1.5	34	1.0	0.52	0.71	8.4
102	Ph A 100W	10	15	0.5	33.5	1.0	0.44	0.71	10.4
103	Fa K 150W	11	15	0	33.5	1.0	0.42	0.54	5.0
104	Fa K 150W	11	15	1	33.5	1.0	0.51	0.51	4.8
105	Ph A 100W	11	5	1.5	33.5	1.0	0.42	0.75	8.5
106	Fa K 150W	11	15	1.5	33.5	1.0	0.57	0.50	4.2
107	Ph B 150W	11	15	0	33	1.0	0.75	0.80	8.0
108	Ph A 100W	11	10	1	33	1.0	0.46	0.77	8.6
109	Ph B 150W	7	0	1.5	32.5	1.8	0.40	0.66	16.2
110	Ph B 150W	11	15	0.5	32.5	1.0	0.77	0.78	7.6
111	Ph B 150W	11	15	1	32.5	1.0	0.80	0.78	7.2
112	Ph A 100W	11	15	1	32.5	1.0	0.57	0.74	8.4
113	Ph A 100W	11	15	1.5	32.5	1.0	0.63	0.71	8.3
114	Ph B 150W	11	15	1.5	32	1.0	0.77	0.78	6.8
115	Ph A 100W	8	15	1.5	31.5	1.3	0.40	0.56	13.7
116	Ph A 100W	11	10	0.5	31.5	1.0	0.41	0.83	8.6
117	Ph A 100W	11	15	0.5	31.5	1.0	0.51	0.81	8.5
118	Fa K 150W	9	15	1	31	1.2	0.41	0.50	6.2
119	Ph A 100W	10	15	0	30.5	1.1	0.40	0.81	10.1
120	Ph A 100W	10	10	1	30.5	1.2	0.40	0.75	9.6
121	Ph A 100W	11	15	0	30.5	1.0	0.47	0.86	8.5

122	Fa K 150W	11	5	1.5	30	1.1	0.40	0.61	4.7
123	Fa K 150W	11	10	0.5	29.5	1.1	0.40	0.65	4.7
124	Ph A 150W	9	15	0.5	29	1.8	0.40	0.80	12.1
125	Ph B 150W	7	5	0.5	28.5	1.9	0.41	0.75	16.3
126	Fa K 150W	10	15	1.5	28.5	1.3	0.52	0.53	4.7
127	Ph B 150W	8	0	0.5	28	1.9	0.40	0.80	12.9
128	Fa K 150W	9	15	1.5	27	1.4	0.45	0.50	5.4
129	Fa K 150W	10	15	0	27	1.2	0.40	0.65	5.2
130	Fa K 150W	10	10	1	27	1.3	0.40	0.50	5.1
131	Fa K 150W	11	10	0	27	1.2	0.40	0.72	4.7
132	Ph A 150W	10	10	0.5	25	1.9	0.40	0.83	9.5
133	Fa K 150W	11	5	1	25	1.3	0.40	0.76	4.4
134	Fa K 150W	8	15	1.5	24	1.7	0.42	0.50	6.1
135	Ph A 100W	9	10	1.5	23.5	1.6	0.40	0.85	9.5
136	Ph A 70W	9	15	1.5	23.5	1.0	0.40	0.86	9.7
137	Fa K 150W	10	10	0.5	23.5	1.5	0.40	0.72	4.9
138	Fa K 150W	10	5	1.5	23.5	1.6	0.40	0.70	4.7
139	Fa K 150W	9	15	0.5	23	1.6	0.40	0.61	5.7
140	Fa K 150W	9	10	1.5	23	1.7	0.40	0.57	5.4
141	Ph A 100W	9	15	0.5	22.5	1.6	0.40	0.85	9.8
142	Ph B 150W	7	0	1	22	2.6	0.40	0.80	13.3
143	Ph A 70W	10	15	1.5	22	1.0	0.48	0.78	7.7
144	Ph A 70W	10	15	1	21.5	1.0	0.42	0.84	7.8
145	Fa J 70W	6	15	1	21	1.0	0.42	0.64	12.6
146	Fa J 70W	6	15	1.5	21	1.0	0.42	0.73	6.8
147	Fa J 70W	7	10	1	21	1.0	0.41	0.70	9.6
148	Fa J 70W	7	10	1.5	21	1.0	0.49	0.70	8.5
149	Fa J 70W	8	5	1	21	1.0	0.42	0.79	7.6
150	Fa J 70W	8	5	1.5	21	1.0	0.48	0.78	7.1
151	Fa J 70W	9	0	1.5	21	1.0	0.46	0.81	5.9
152	Ph A 70W	11	10	1.5	21	1.0	0.43	0.88	6.4
153	Ph A 70W	11	15	1.5	21	1.0	0.53	0.82	6.6
154	Fa J 70W	7	10	0.5	20.5	1.0	0.40	0.74	10.1
155	Ph A 150W	8	15	1	20.5	2.8	0.40	0.82	11.7
156	Fa K 150W	8	15	1	20.5	2.0	0.40	0.60	6.3
157	Fa J 70W	8	0	1.5	20.5	1.0	0.40	0.76	7.3
158	Fa J 70W	9	0	1	20.5	1.0	0.40	0.78	6.1
159	Ph A 70W	11	15	1	20.5	1.0	0.47	0.83	6.5
160	Fa J 70W	8	5	0.5	20	1.0	0.40	0.79	7.5
161	Fa J 150W	11	15	1.5	20	1.5	0.40	0.87	4.4
162	Fa J 70W	6	15	0.5	19.5	1.1	0.41	0.70	14.8
163	Fa J 70W	7	15	0.5	19.5	1.0	0.52	0.83	9.3
164	Fa J 70W	7	15	1	19.5	1.0	0.59	0.79	8.4
165	Fa J 70W	8	10	0.5	19.5	1.0	0.51	0.87	7.4
166	Fa J 70W	8	10	1	19.5	1.0	0.55	0.88	6.9
167	Fa J 70W	8	10	1.5	19.5	1.0	0.52	0.79	6.3
168	Fa J 70W	9	5	0.5	19.5	1.0	0.46	0.90	6.0
169	Fa J 70W	9	5	1	19.5	1.0	0.55	0.92	5.8
170	Fa J 70W	9	5	1.5	19.5	1.0	0.40	0.90	5.4
171	Fa J 70W	10	0	1	19.5	1.0	0.49	0.79	4.9
172	Fa J 70W	10	0	1.5	19.5	1.0	0.56	0.82	4.7
173	Ph A 70W	11	15	0.5	19.5	1.0	0.43	0.87	6.5
174	Fa J 70W	7	15	0	19	1.0	0.47	0.84	10.9
175	Fa J 70W	7	5	1.5	19	1.1	0.42	0.77	8.5

176	Fa J 70W	7	15	1.5	19	1.0	0.47	0.78	7.4
177	Fa J 70W	8	10	0	19	1.0	0.42	0.80	8.4
178	Fa J 70W	6	10	1.5	18.5	1.2	0.40	0.69	10.6
179	Fa J 70W	9	5	0	18.5	1.0	0.40	0.76	6.1
180	Ph A 150W	9	15	0	18.5	2.7	0.40	0.86	9.8
181	Fa J 70W	10	0	0.5	18.5	1.0	0.41	0.77	4.9
182	Fa J 70W	10	5	1	18.5	1.0	0.62	0.80	4.8
183	Ph A 150W	11	0	1.5	18.5	2.5	0.40	0.87	7.0
184	Fa J 70W	11	0	1.5	18.5	1.0	0.61	0.85	3.9
185	Fa J 70W	8	15	0	18	1.0	0.56	0.89	7.9
186	Fa J 70W	8	15	0.5	18	1.0	0.62	0.88	6.8
187	Fa J 70W	8	15	1	18	1.0	0.61	0.81	6.3
188	Fa J 70W	9	10	0	18	1.0	0.53	0.80	5.9
189	Fa J 70W	9	10	0.5	18	1.0	0.60	0.83	5.7
190	Ph A 150W	9	10	1	18	3.0	0.40	0.86	9.2
191	Fa J 70W	9	10	1	18	1.0	0.65	0.90	5.4
192	Fa J 70W	9	10	1.5	18	1.0	0.56	0.86	5.0
193	Fa J 70W	10	5	0	18	1.0	0.50	0.79	5.0
194	Fa J 70W	10	5	0.5	18	1.0	0.55	0.83	4.8
195	Fa J 70W	10	5	1.5	18	1.0	0.62	0.82	4.4
196	Fa J 70W	11	0	0.5	18	1.0	0.48	0.81	4.1
197	Fa J 70W	11	0	1	18	1.0	0.54	0.81	4.0
198	Fa J 70W	8	15	1.5	17.5	1.0	0.52	0.79	5.2
199	Fa J 70W	10	10	0	17	1.0	0.62	0.85	4.7
200	Fa J 70W	10	10	0.5	17	1.0	0.67	0.84	4.6
201	Fa J 70W	11	0	0	17	1.0	0.43	0.83	4.1
202	Fa J 70W	11	5	0	17	1.0	0.54	0.85	4.0
203	Ph A 100W	11	10	0	17	1.8	0.40	0.89	6.5
204	Ph A 150W	11	5	0.5	17	2.6	0.40	0.88	6.9
205	Fa J 70W	11	5	0.5	17	1.0	0.60	0.86	4.0
206	Fa J 70W	11	5	1	17	1.0	0.67	0.86	3.8
207	Fa J 70W	11	5	1.5	17	1.0	0.66	0.86	3.7
208	Fa J 70W	9	15	0	16.5	1.0	0.66	0.82	5.6
209	Fa J 70W	9	15	0.5	16.5	1.0	0.68	0.83	5.3
210	Fa J 70W	10	10	1	16.5	1.0	0.65	0.85	4.3
211	Fa J 70W	10	10	1.5	16.5	1.0	0.56	0.84	4.2
212	Fa J 70W	9	15	1	16	1.0	0.59	0.83	4.8
213	Fa J 70W	9	15	1.5	15.5	1.0	0.52	0.82	4.3
214	Fa J 70W	10	15	0	15.5	1.0	0.72	0.90	4.5
215	Fa J 70W	11	10	0	15.5	1.0	0.64	0.90	3.8
216	Fa J 70W	11	10	0.5	15.5	1.0	0.71	0.89	3.7
217	Fa J 70W	11	10	1	15.5	1.0	0.69	0.89	3.6
218	Fa J 70W	5	15	1.5	15	1.5	0.42	0.68	12.9
219	Fa J 70W	10	15	0.5	15	1.0	0.71	0.90	4.2
220	Fa J 70W	11	10	1.5	15	1.0	0.61	0.84	3.5
221	Fa J 70W	10	15	1	14.5	1.0	0.63	0.81	4.0
222	Fa J 70W	10	15	1.5	14.5	1.0	0.58	0.83	3.6
223	Fa J 70W	11	15	0	14	1.0	0.77	0.88	3.6
224	Fa J 70W	11	15	0.5	14	1.0	0.69	0.85	3.6
225	Fa K 150W	9	10	1	13.5	2.9	0.40	0.90	4.6
226	Fa J 70W	11	15	1	13.5	1.0	0.65	0.85	3.4
227	Fa J 70W	11	15	1.5	13	1.0	0.60	0.85	3.0
228	Ph A 150W	7	15	1.5	12.5	5.1	0.40	0.87	11.1
229	Ph B 150W	7	5	0	12	4.3	0.40	0.91	10.5

230	Ph B 150W	8	0	0	12	4.1	0.40	0.91	8.4
-----	-----------	---	---	---	----	-----	------	------	-----

Table 1b Comparison of the best solutions for the considered seven luminaire/lamp units among those listed in Table 1a

Order number	Luminaire/lamp unit	Best solutions			
		h (m)	t (°)	b (m)	s (m)
1	Ph A 150W	11	10	1.5	49.5
4	Ph B 150W	9	0	1	47.5
78	Ph A 100W	9	15	1.5	37
81	Fa K 150W	10	15	0.5	36.5
136	Ph A 70W	9	15	1.5	23.5
145	Fa J 70W	6	15	1	21
161	Fa J 150W	11	15	1.5	20

Table 2a List of solutions complying with the requirements of the CEN ME 3b lighting class ($L \geq 1 \text{ cd/m}^2$, $U_0 \geq 0.4$, $U_l \geq 0.6$, TI (%) ≤ 15)

Serial numbers (as in Table 1a): 1, 4, 7-9, 12, 14-16, 18-22, 24-26, 32-37, 43-45, 48-65, 69, 76, 77, 79, 83-87, 89, 91-95, 97, 99-102, 105, 107-117, 119-125, 127, 129, 131-133, 135-230 (total number of the complying solutions: 184)

Table 2b Comparison of the best solutions for the considered seven luminaire/lamp units among those listed in Table 2a

Order number	Luminaire/lamp unit	Best solutions			
		h (m)	t (°)	b (m)	s (m)
1	Ph A 150W	11	10	1.5	49.5
7	Ph B 150W	10	0	1.5	47.5
87	Ph A 100W	10	10	1.5	36
122	Fa K 150W	11	5	1.5	30
136	Ph A 70W	9	15	1.5	23.5
145	Fa J 70W	6	15	1.0	21
161	Fa J 150W	11	15	1.5	20

Table 3a List of solutions meeting the requirements of the ME 3a lighting class ($L \geq 1 \text{ cd/m}^2$, $U_0 \geq 0.4$, $U_l \geq 0.7$, TI (%) ≤ 15)

Serial numbers (as in the Table 1a): 18, 34-37, 43-45, 48, 51, 52, 55-62, 64, 65, 69, 76, 79, 83-86, 89, 91-93, 99-102, 105, 107-114, 116, 117, 119-121, 124, 125, 127, 131-133, 135-138, 141-144, 146-155, 157-230 (total number of the complying solutions: 148)

Table 3b Comparison of the best solutions for the considered seven luminaire/lamp units among those listed in Table 3a

Order number	Luminaire/lamp Unit	Best solutions			
		h (m)	t (°)	b (m)	s (m)
18	Ph B 150W	10	0	0	45
65	Ph A 150W	11	5	1.0	39
101	Ph A 100W	11	10	1.5	34
131	Fa K 150W	11	10	0	27
136	Ph A 70W	9	15	1.5	23.5
146	Fa J 70W	6	15	1.5	21

161	Fa J 150W	11	15	1.5	20
-----	-----------	----	----	-----	----

Table 4a List of solutions complying with the requirements of the CIE M 3 lighting class [4] ($L \geq 1 \text{cd/m}^2$,

$U_0 \geq 0,4$, $U_l \geq 0,5$, $TI (\%) \leq 10$)

Serial numbers (as in Table 1a): 36, 37, 43, 44, 48, 51, 52, 58-61, 64, 65, 69, 79, 81-90, 92-96, 98, 100-108, 110-114, 116-123, 126, 128-141, 143, 144, 146-154, 156-161, 163-173, 175-177, 179-217, 219-227, 229, 230 (total number of the complying solutions:139)

Table 4b Comparison of the best solutions for the considered seven luminaire/lamp units among those listed in Table 4a

Order number	Luminaire/lamp unit	Best solutions			
		h (m)	t (°)	b (m)	s (m)
36	Ph B 150W	11	0	1.0	43.5
65	Ph A 150W	11	5	1.0	39
81	Fa K 150W	10	15	0.5	36.5
87	Ph A 100W	10	10	1.5	36
136	Ph A 70W	9	15	1.5	23.5
146	Fa J 70W	6	15	1.5	21
161	Fa J 150W	11	15	1.5	20

Table 5 Reductions (Δs %) of the spacing s caused by varying singularly b and t from their optimal values for each of the luminaire/lamp units considered. s.n.c.: solution not complying

Luminaire/lamp unit	Best solutions			Effect of b		Effect of t	
	t_{opt} (°)	b_{opt} (m)	s_{max} (m)	b (m)	Δs (%)	t (°)	Δs (%)
Fa J 150W	15	1.5	30	0.5	s.n.c.	0.5	s.n.c.
				0	s.n.c.	0	-80
Fa J 70W	10	1.5	21	0	s.n.c.	0	s.n.c.
Ph A 150W	10	1.5	49.5	0	-32	0	-37
Ph A 100W	15	1.5	37	0.5	-60	10	-63
				0	s.n.c.	5	s.n.c.
						0	s.n.c.
Ph A 70W	15	1.5	23.5	1	s.n.c.	10	s.n.c.
				0.5	s.n.c.	5	s.n.c.
				0	s.n.c.	0	s.n.c.
Ph B 150W	0	1	47.5	0	-18	15	-17
Fa K A 150W	15	0.5	36.5	0	-26	10	-35
						5	s.n.c.
						0	s.n.c.

PROIECTAREA ILUMINATULUI PUBLIC: OPTIMIZARE ECONOMICĂ UN EXEMPLU

Rezumat

Problema complexă a optimizării proiectării sistemului de iluminat rutier din punct de vedere economic a fost deja dezbătută sub aspect teoretic într-un număr anterior al revistei [1]. În acest articol este oferit un exemplu detaliat al procesului de optimizare pentru o mai bună înțelegere și cuantificare a unor aspecte, precum economia posibil de realizat, nivelul de influență al diversilor parametri implicați și dificultățile procesului de optimizare.

Datele obținute indică faptul că optica corpului de luminat este un factor cheie și că înălțimea de suspendare și unghiul de înclinare ale corpurilor de iluminat au mult mai multă influență decât s-a crezut în mod obișnuit. Rezultă în mod clar că nu există un criteriu practic pentru o optimizare reală, atât timp cât soluția optimă este specifică de la caz la caz.

1 Introducere

Un sistem de iluminat rutier este definit de următoarele elemente și parametri: lampă, corp de iluminat, distanța între stâlpi (s), înălțimea de montaj (h), înălțimea de suspendare (b), unghiul de înclinare (t), aranjamentul stâlpilor (pe o singură parte, în opoziție, etc.), factorul de întreținere, programul de întreținere.

Procedura uzuală de proiectare a unui sistem de iluminat constă în găsirea unei combinații a acestor parametri care să corespundă cerințelor fotometrice (codul național sau standardul CIE sau CEN). Aceasta este o sarcină destul de ușoară. În schimb, mult mai dificil este să se găsească combinația prin care se obține costul global anual *minim* (soluția *optimă*), pentru că aceasta necesită să fie explorate toate combinațiile posibile dintre parametrii de mai sus. Chiar considerând o singură unitate lampă/corp de iluminat, aceste combinații pot fi multe, multe, chiar milioane.

În acest articol este oferit un exemplu al procesului de optimizare pentru o mai bună

înțelegere a termenilor problemei, indicându-se o procedură practică de urmat și cuantificându-se beneficiile economice considerabile ce rezultă prin optimizare.

Acest exemplu de optimizare ajută, de asemenea, să se determine impactul caracteristicilor optice și unghiului de înclinare și înălțimii de suspendare ale corpurilor de iluminat asupra soluției optime. În acest exemplu, factorul de întreținere este fixat. Astfel, pentru o anumită unitate corp de iluminat/lampă, procesul de optimizare este focalizat pe minimalizarea costurilor însumate de instalare și energie, cu menținerea constantă a costului de întreținere. Întrucât această sumă este invers proporțională cu distanța între stâlpi, va fi suficient să se caute distanța maximă compatibilă cu cerințele de iluminat date.

2 Procesul de optimizarea

Procedura urmată în această lucrare pentru optimizarea proiectării sistemului de iluminat stradal constă în considerarea parametrilor h , b și t ca variabile independente și distanța s ca parametru variabil. Cu alte cuvinte, fiind date unitatea corp de iluminat/lampă, tipul aranjamentului și factorul de întreținere, se conferă o tripletă de valori parametrilor h , b și t și se caută valoarea maximă a distanței s , în funcție de toți acești parametri care este compatibilă cu cerințele lumino tehnice. Această configurație a sistemului de iluminat reprezintă o soluție suboptimală. Apoi, această procedură se repetă de atâtea ori câte combinații sunt de analizat între h , b și t .

Numărul acestor combinații depinde de intervalul de valori în care pot să varieze acești parametri. aranjamentele interioare în care unii parametri sunt de preferință variabili. De exemplu, dacă există 7 valori pentru h , 5 pentru b și patru pentru t , combinațiile rezultate de analizat sunt în număr de 140. Trebuie menționat că, oricare ar fi s , vor exista combinații care nu îndeplinesc cerințele. Aceasta va depinde în mod evident de severitatea cerințelor de iluminat adoptate.

În exemplul procesului de optimizare, datele introduse au fost:

- drumul: lățimea: $2 \times 3,5\text{m}$; tipul de suprafață: C2; $Q_o = 0,07 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$
- cerințe fotometrice: în conformitate cu clasa iluminatului ME 3c a standardului european CEN [3]: luminanța medie menținută: $L \geq 1 \text{ cd/m}^2$; uniformitatea globală: $U_o \geq 0,4$; uniformitatea longitudinală: $U_l \geq 0,5$; indicele de prag: $TI \leq 15\%$;
- factorul de întreținere: 0,8;
- aranjamentul stâlpilor: pe o singură parte

Cu privire la corpul de iluminat și lampă, următoarele 7 unități corp de iluminat/lampă au fost alese din cataloagele a doi fabricanți importanți (denumirea convențională Ph and Fa), care sunt: Ph A 150W, Ph B 150W, Ph A 100W, Fa K 150W, Fa J 150W, Ph A 70W, Fa J 70W; tipul lămpii: sodiu presiune înaltă.

Pentru fiecare unitate corp de iluminat/lampă de mai sus, au fost analizate următoarele valori ale parametrilor h , b și t :

$$h \text{ (m)} = [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]$$

$$b \text{ (m)} = [0, 0,5, 1, 1,5]$$

$$t \text{ (}^\circ\text{)} = [0, 5, 10, 15]$$

ce conduc la 112 combinații. Întrucât unitățile corp de iluminat/lampă sunt în număr de 7, numărul total de combinații este 784. Pentru fiecare din aceste combinații, se vor determina valorile distanței s , care satisfac cerințele fotometrice date. Rezultă că o aceeași combinație poate oferi mai multe valori utilizabile pentru s , dintre care doar una singură este compatibilă cu cerințele fotometrice (soluția suboptimă) și interesează în procesul de optimizare. Câteva dintre soluțiile suboptimale sunt prezentate în tabelul 1a. În cazul acestui exemplu, au fost obținute 230 de soluții suboptimale. Ele sunt ordonate în funcție de descreșterea distanței s și sunt menționate și performanțele fotometrice relevante.

Tabelul 1 prezintă, pentru o comparație mai ușoară, cele mai bune soluții găsite pentru fiecare din cele 7 unități corp de iluminat/lampă considerate. Această analiză a fost repetată pentru alte trei clase de iluminat mult mai stricte decât ME 3c: ME 3b ($U_l \geq 0,6$), ME 3a ($U_l \geq 0,7$) și clasa CIE ME 3 ($TI \leq 10\%$) [4]. Rezultatele obținute sunt expuse în tabelele 2a-4a, din care se poate vedea că, la trecerea de la

cerințele clasei ME 3c la cele ale clasei ME 3b, soluțiile menționate în Tabelul 1a care încă satisfac cerințele menționate sunt reduse la 184. Când se impun cerințele claselor ME 3a și CIE M3, soluțiile utile se reduc în continuare, la 148, respectiv 139.

Tabelele 2b-4b compară cele mai bune soluții găsite pentru cele șapte unități corp de iluminat/lampă pentru fiecare clasă mai sus.

Pentru datele obținute rezultă de asemenea că distanța s este foarte sensibil la modificări ale unghiului de înclinare și înălțimii de suspendare. O modificare a uneia din ele poate cauza o variație mare a distanței s așa cum se arată în Tabelul 5, unde, pentru fiecare unitate corp de iluminat/lampă considerată sunt prezentate reducerile ($\Delta s\%$) din s_{maxim} care apar când t și b variază în mod singular față de valorile optime. Se observă că b sau t pot chiar să condiționeze validitatea soluției.

Deși acești parametri au o influență redusă asupra costului, în special unghiul de înclinarea, alegerea lor cu acuratețe este, totuși, de o mare importanță.

3 Concluzii

Rezultatele obținute în această lucrare arată următoarele:

- optimizarea proiectării sistemelor de iluminat rutier din punct de vedere economic poate conduce la economii importante față de soluțiile neoptimizate
- pentru o aceeași optică a corpului de iluminat, distanța maximă s este obținută cu o lampă de putere mai mare, dar acesta nu exclude faptul că se poate realiza un consum de energie mai redus cu o lampă de putere mai mică.
- parametrii geometrici b și t au mai mare influență decât se crede în mod obișnuit asupra performanțelor sistemelor de iluminat și, ca urmare, asupra distanței dintre stâlpi. Chiar dacă ei pot să blocheze o soluție care să fie compatibilă cu cerințele de proiectare.
- fiecare caz în parte pretinde găsirea soluției optime proprii; aceasta diferă puternic de la un corp de iluminat la altul și, așa cum va fi arătat într-un articol următor, de la un drum

la altul. Criteriile practice indicate în literatura de specialitate, cum ar fi înălțimea de montaj egală cu lățimea drumului sau altele asemenea, au o validitate redusă sau chiar nulă.

Este în pregătire o lucrare care se referă la impactul întreținerii și a consumului de energie asupra soluției optime și care ia în considerare costurile specifice ale echipamentelor și a muncii.