

Metoda wyliczania równoważnej liczby przejazdów osi standardowej (ESAL)

Opis metody wyliczania ESAL

- Wersja: 2.1.0
- Data: 2025-10-05
- Autorzy:
 - Bartłomiej Łągwa bartlomiej.lagwa@neurosoft.pl

Spis treści

- 1. Współczynnik LEF
 - 1.1. Nawierzchnia asfaltowa (flexible)
 - 1.2. Nawierzchnia betonowa (rigid)
- 2. Wyliczanie ESAL
- 3. Parametry
- 4. Źródła

1. Współczynnik LEF

Do wyliczenia współczynnika ESAL niezbędne jest wyliczenie współczynników LEF. LEF jest wartością numeryczną obliczaną dla każdej grupy osi i informuje o liczbie aplikacji "standardowej" osi (18 000 funtów = 8.165 ton), która spowoduje zniszczenie nawierzchni równoważne zniszczeniu nawierzchni spowodowanemu przez daną grupę osi. Współczynnik LEF zależy w sposób oczywisty od obciążenia grupy osi oraz liczności grupy, ale także od rodzaju nawierzchni oraz "końcowego" stanu nawierzchni, który uznajemy za uszkodzenie całkowite drogi.

Na potrzeby kolejnych akapitów wprowadźmy następujące oznaczenia:

- L_i - waga danej grupy osi (w tysiącach funtów),
- n_i - liczność grupy osi,
- p_t - końcowy stan nawierzchni, który uznajemy za jej całkowite uszkodzenie.

Stan drogi określamy wartością z zakresu $[1, 5]$ - im wyższa wartość tym lepszy stan drogi. Standardowymi wartościami p_t są:

- 2.5 dla dróg szybkiego ruchu i autostrad,
- 2.0 dla mało uczęszczanych, lokalnych dróg,
- 2.25 dla wszystkich pozostałych dróg.^[2]

1.1. Nawierzchnia asfaltowa (flexible)

Dla nawierzchni asfaltowej współczynnik LEF_i dla i -tej grupy osi obliczamy wg następującego wzoru:

$$LEF_i = \left[\frac{(L_i + n_i)^{4.79}}{(18 + 1)^{4.79}} \right] \left[\frac{10^{G/\beta}}{(10^{G/\beta_i})(n_i^{4.331})} \right]$$

Gdzie:

$$\beta = 0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}$$

$$\beta_i = 0.4 + \frac{0.081(L_i + n_i)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}(n_i^{3.23})}$$

$$G = \log \left[\frac{4.2 - p_t}{2.7} \right]$$

A ponadto SN oznacza liczbę strukturalną, która wyraża wytrzymałość konstrukcyjną nawierzchni.^[3]

1.2. Nawierzchnia betonowa (rigid)

Dla nawierzchni betonowej współczynnik LEF_i dla i -tej grupy osi obliczamy wg następującego wzoru:

$$LEF_i = \left[\frac{(L_i + n_i)^{4.62}}{(18 + 1)^{4.62}} \right] \left[\frac{10^{G/\beta}}{(10^{G/\beta_i})(n_i^{3.28})} \right]$$

Gdzie:

$$\beta = 1.0 + \frac{1.62 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}$$

$$\beta_i = 1.0 + \frac{3.63(L_i + n_i)^{5.2}}{(D + 1)^{8.46}(n_i^{3.52})}$$

$$G = \log \left[\frac{4.5 - p_t}{3} \right]$$

A ponadto D oznacza grubość betonu wyrażoną w calach.

2. Wyliczanie ESAL

Współczynnik ESAL dla pojazdu jest obliczany jako suma współczynników LEF dla każdej grupy osi tego pojazdu.

$$ESAL = \sum_{i=1}^j LEF_i$$

Gdzie j jest liczbą grup osi pojazdu.

3. Parametry

Wszystkie parametry związane z rodzajem i stanem nawierzchni niezbędne do wyliczenia ESAL są przechowywane w module `locations`. Dla każdego pasa ruchu można w odpowiadającym mu obiekcie zdefiniować obiekt `"pavement"` o formacie:

```
{
  "type": "rigid" | "flexible",
  "terminalServiceability": float,
  "structuralNumber": float,
  "thickness": float
}
```

Parametr `"thickness"` wyrażony jest w metrach. W przypadku braku obiektu `"pavement"` przyjmowane jest domyślnie:

```
{  
  "type": "flexible",  
  "terminalServiceability": 2.5,  
  "structuralNumber": 3,  
  "thickness": 0.2286 // (9 cali)  
}
```

Wartości domyślne dla liczby strukturalnej i grubości betonu zostały przyjęte na podstawie przykładów zawartych w [4].

4. Źródła

[1] *Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods*, ASTM E1318-09(2017), https://git.neurosoft.pl/ncar/dev/sys/wim/04/-/blob/main/docs/us/astm/ASTM_E1318-09R17_en-US.pdf?ref_type=heads

[2] *AASHTO Pavement Thickness Design Guide*, [https://www.cecalc.com/References/AASHTO Pavement Design.pdf](https://www.cecalc.com/References/AASHTO%20Pavement%20Design.pdf)

[3] <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/structural-design/structural-number/>

[4] <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/design-parameters/equivalent-single-axle-load/>