

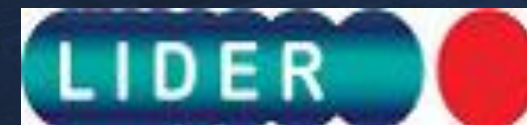
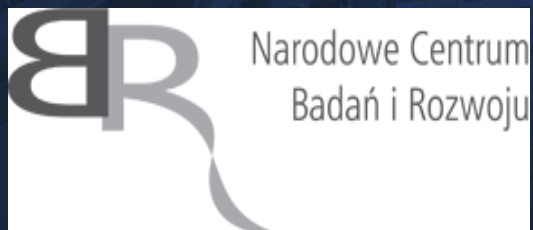


# Wytyczne tworzenia modelu obliczeniowego układu nawierzchnia drogowa-podłoże gruntowe

dr hab. inż. Marta Kadela



# WPROWADZENIE



**Kryterium spękań  
warstw asfaltowych**

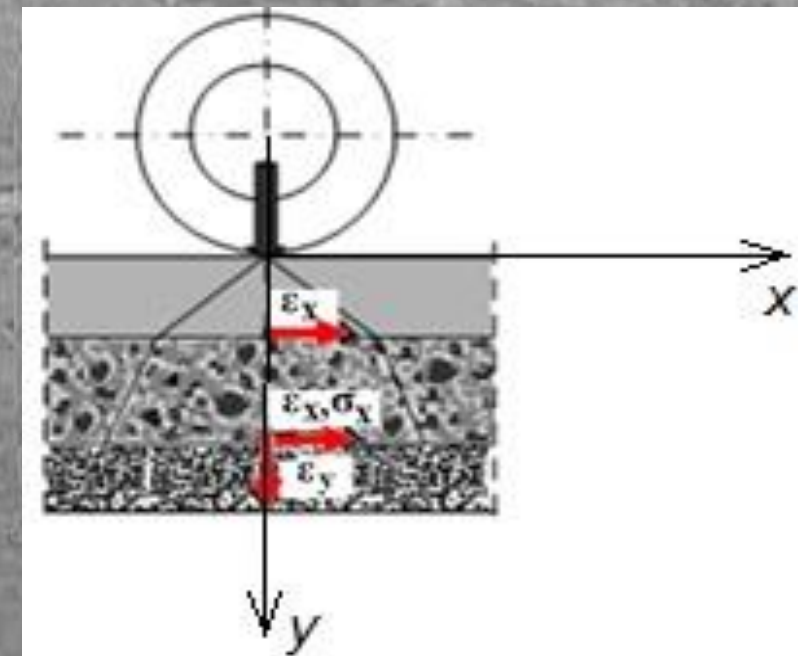
$$N_f = a \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_x} \right)^m$$

**Kryterium spękań podbudowy  
stabilizowanej**

$$\lg N_k = 11,784 - 12,121 \cdot \left( \frac{\sigma_x}{R_{zg}} \right)$$

**Kryterium deformacji  
strukturalnej podłoża**

$$\varepsilon_y = l \cdot \left( \frac{1}{N_k} \right)^m$$



# Model obliczeniowy

- budowa geometryczna modelu obliczeniowego oraz sposób wprowadzania warunków brzegowych,
- przyjęcie modeli konstytutywnych materiałów warstw konstrukcji oraz modelu podłoża gruntowego, wraz z dobozem adekwatnych parametrów modeli,
- sposób realizacji obciążenia w modelach obliczeniowych (2D) lub (3D).

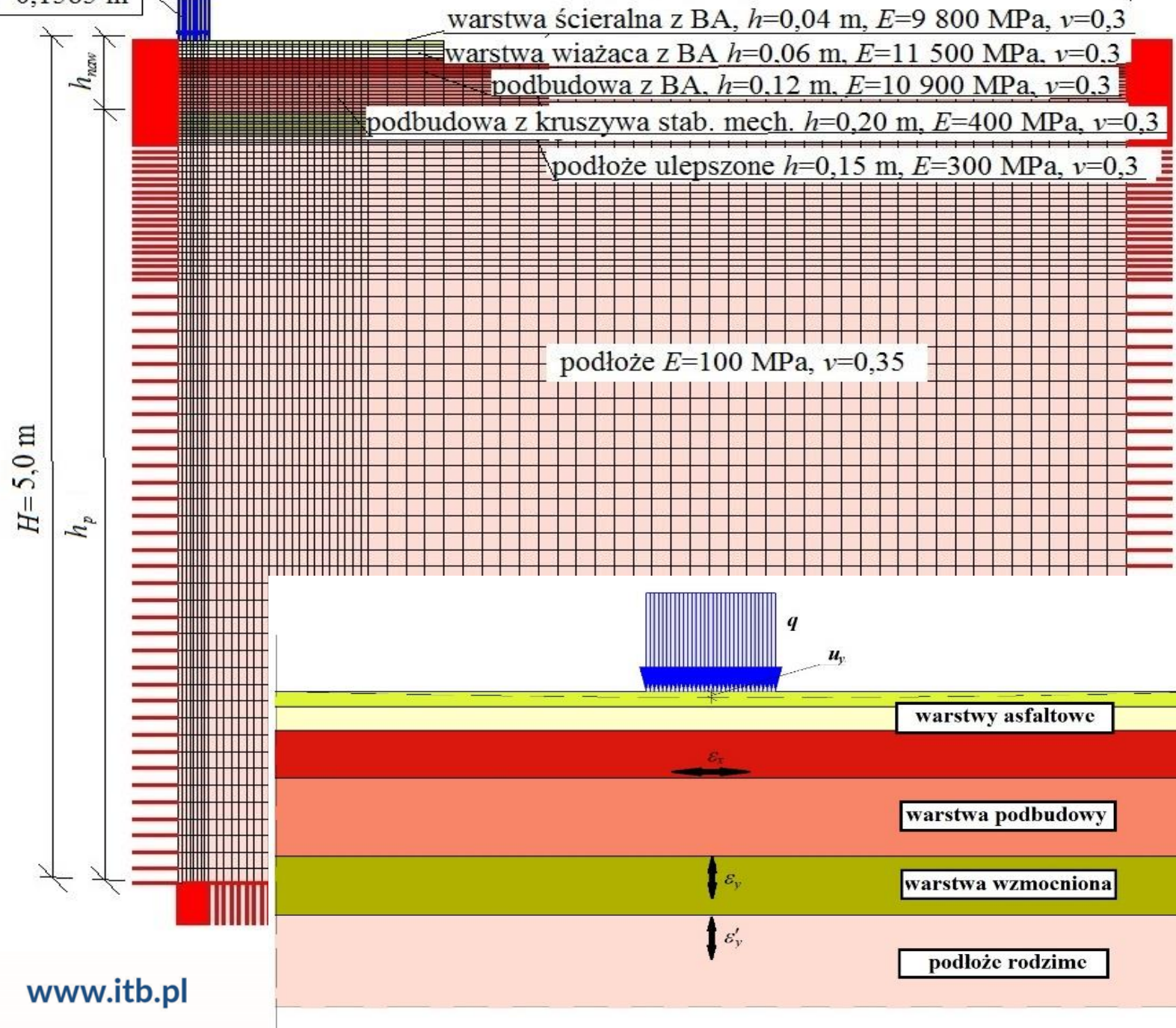


# PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

*Kadela M.: Model of multiple-layer pavement structure-subsoil system.  
Bulletin of The Polish Academy of Science, Technical Sciences, Vol. 64,  
No. 4, 2016 pp. 751-762, DOI: 10.1515/bpasts-2016-0084*

$q=650 \text{ kPa}$   
 $d=0,1565 \text{ m}$

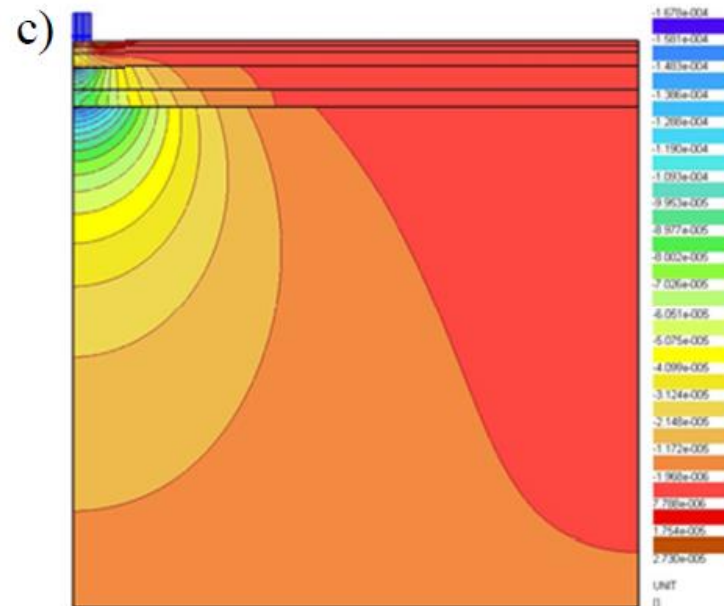
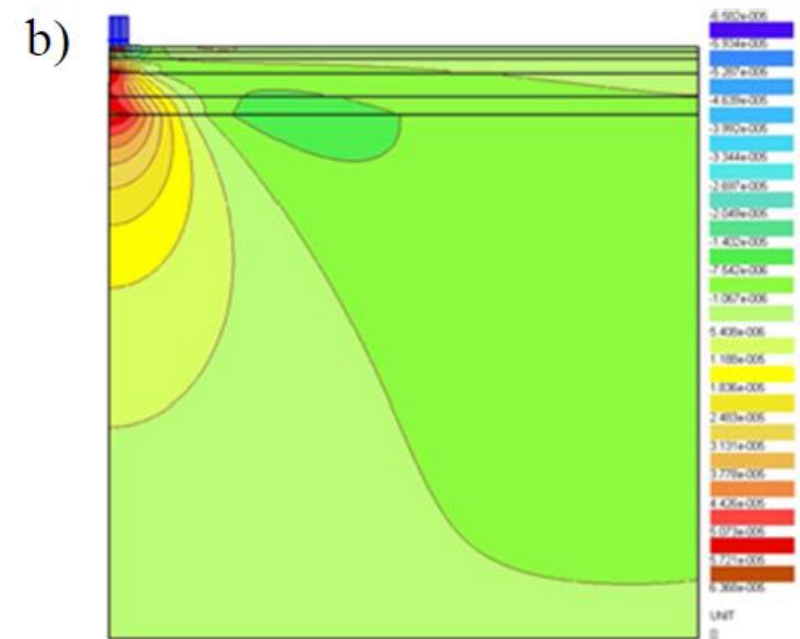
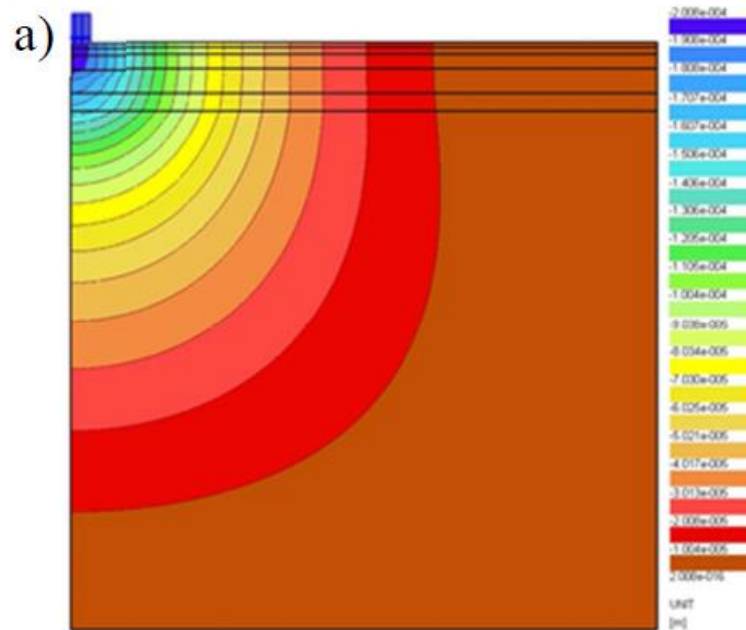
$B=5,0 \text{ m}$



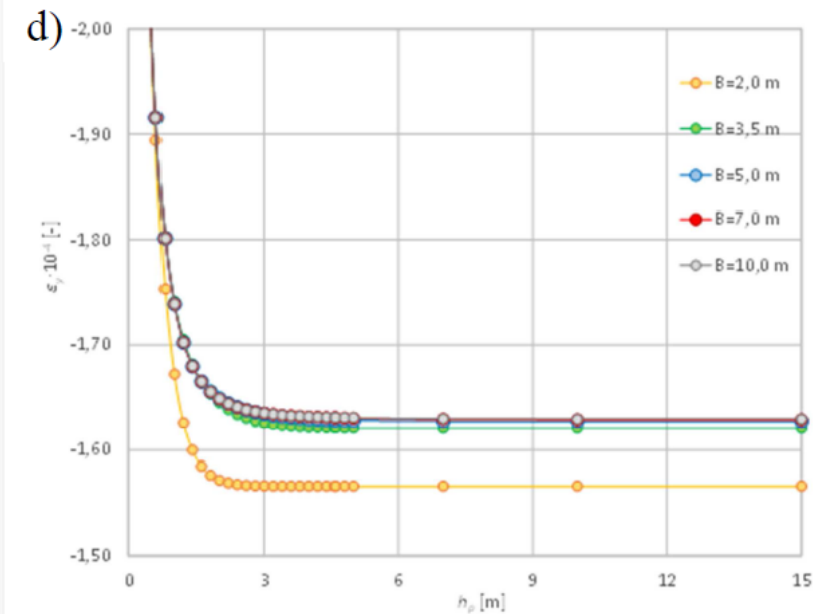
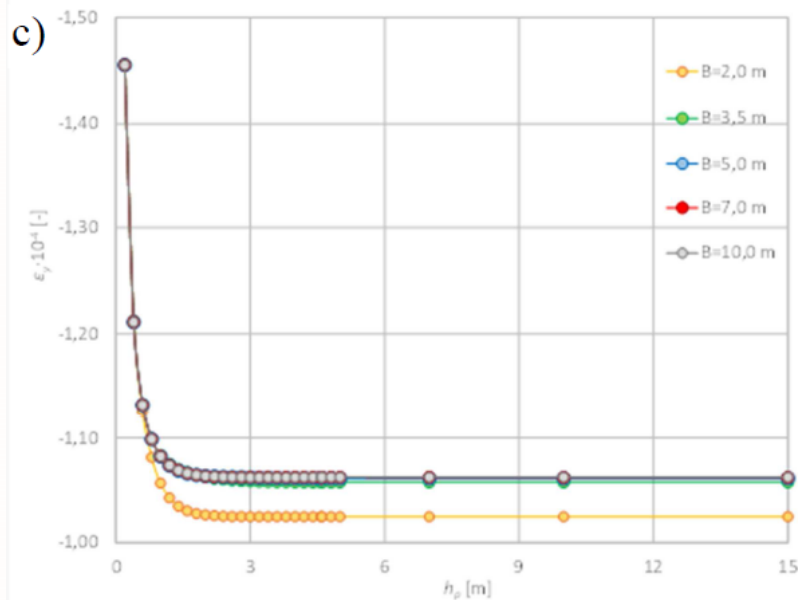
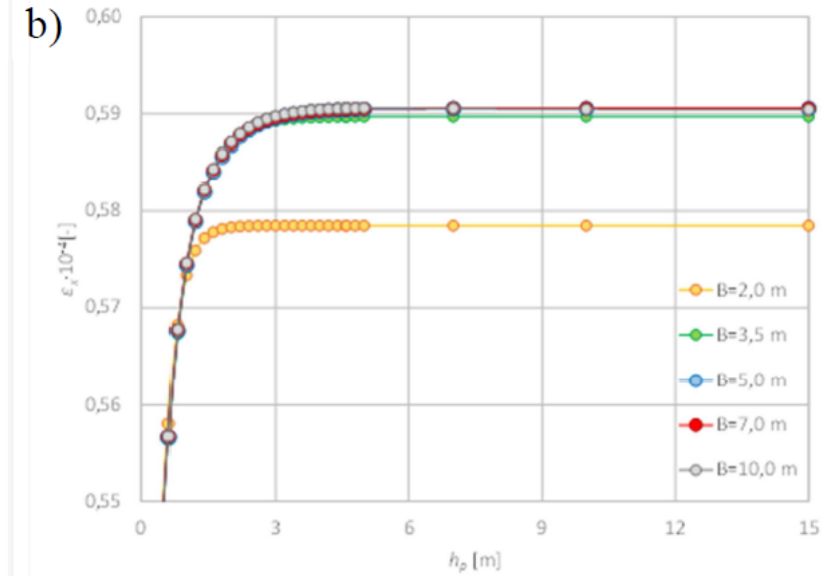
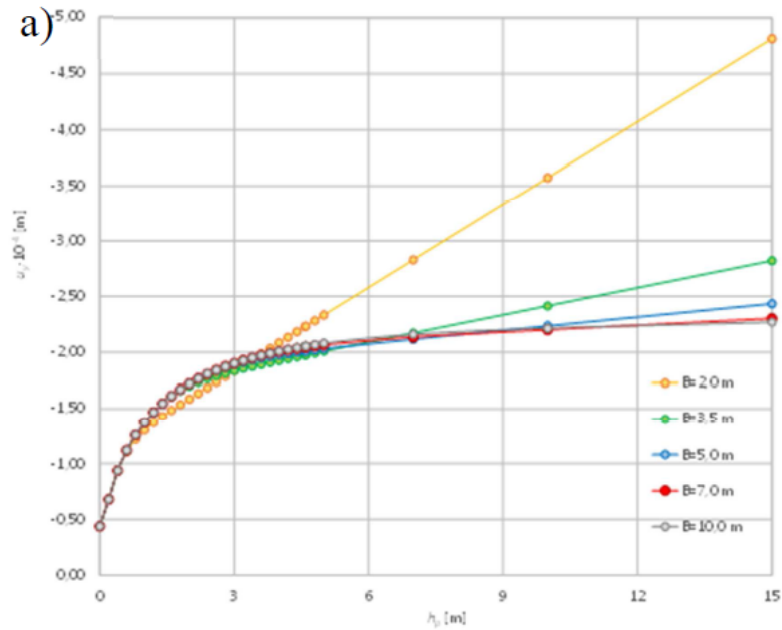
# Stan przemieszczenia i odkształcenia



Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju

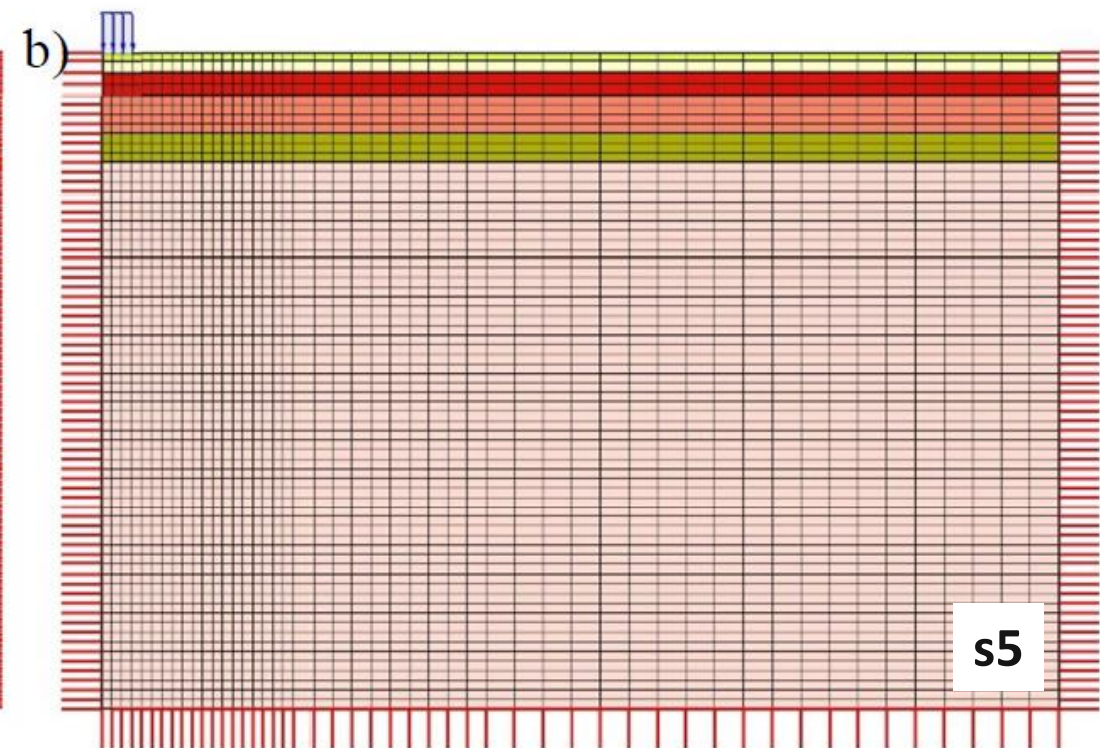
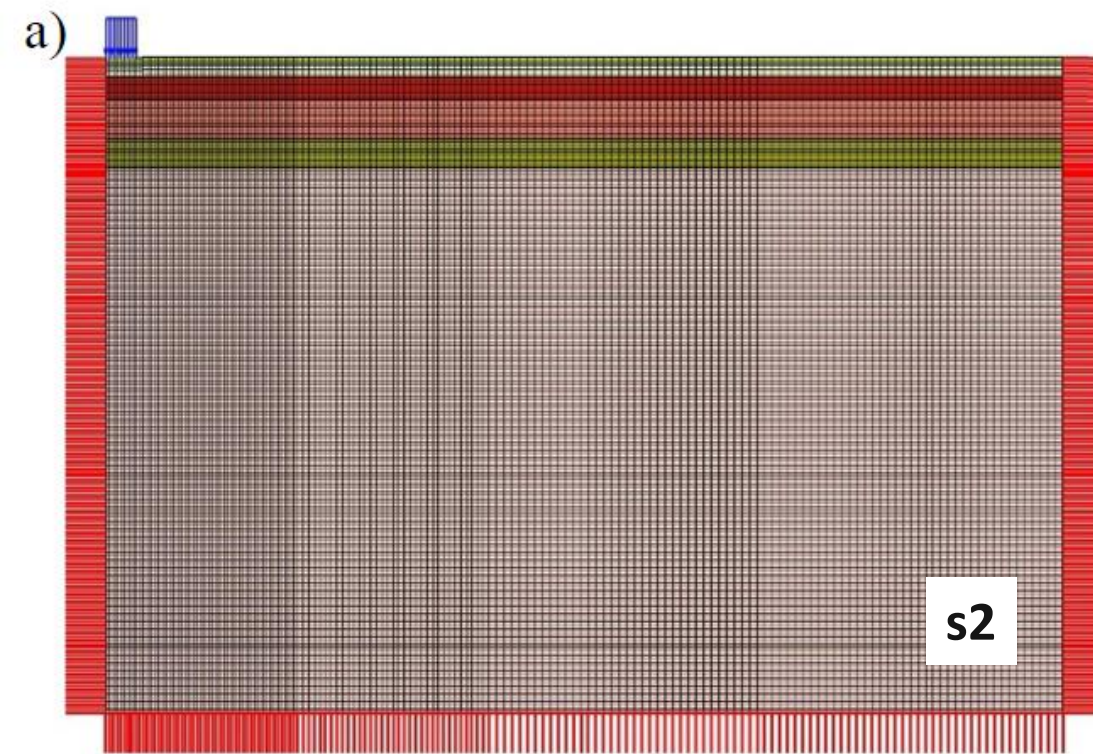


# Wielkość obszaru obliczeniowego





# Gęstość siatki dyskretyzującej obszar obliczeniowy

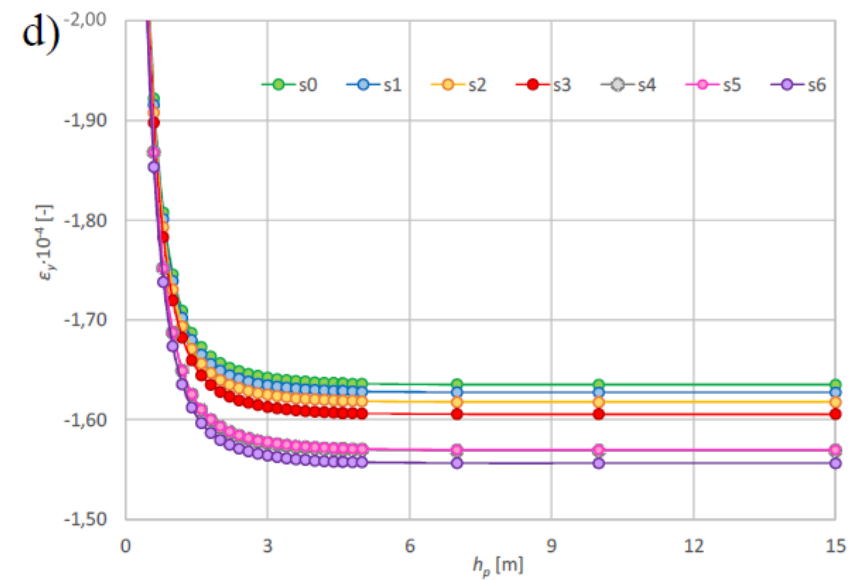
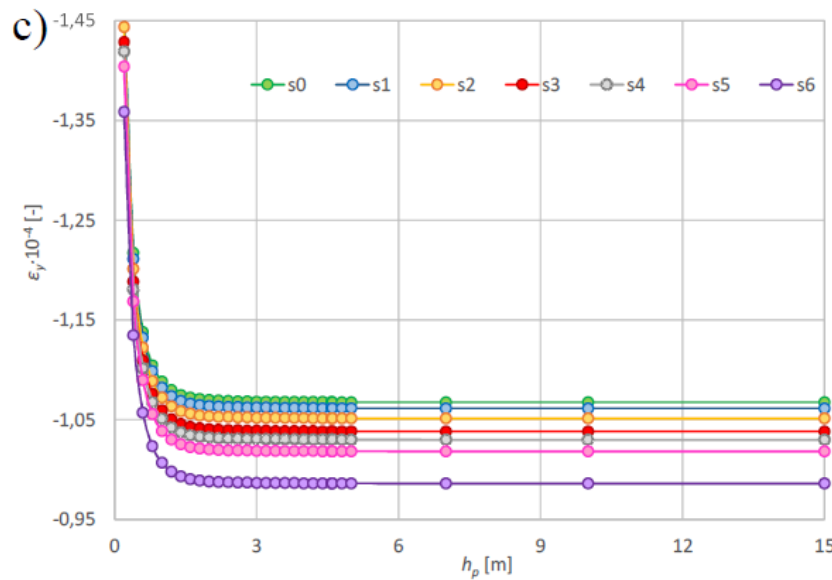
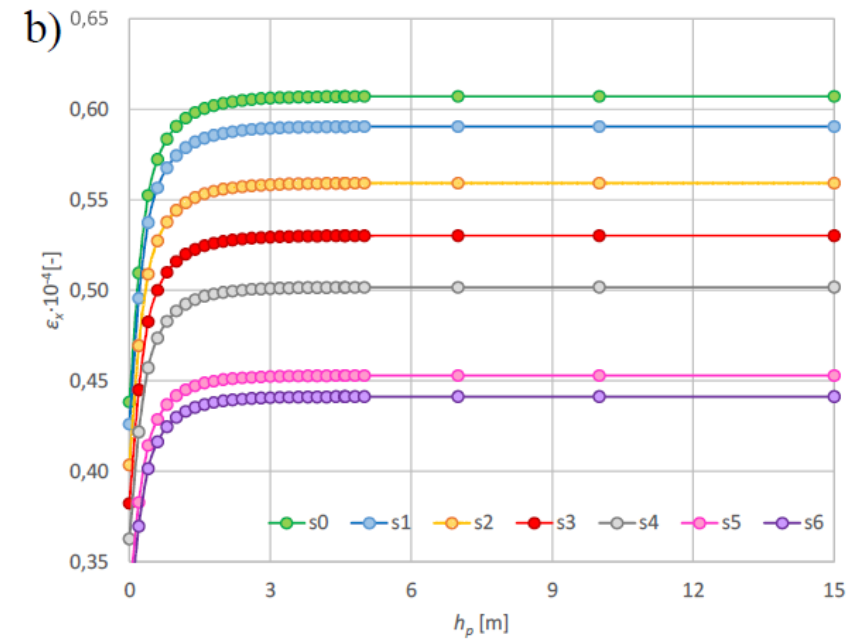
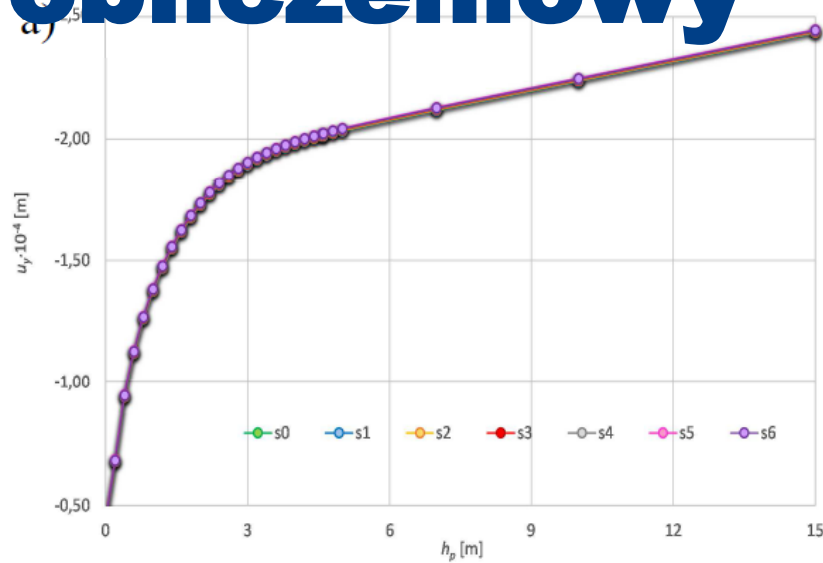


0,005 m (s0), 0,01 m (s1), 0,02 m (s2), 0,03 m (s3), 0,04 m (s4), 0,05 m (s5), 0,08 m (s6).

# Gęstość siatki dyskretyzującej obszar obliczeniowy



Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju





# ZALECENIA

*Kadela M.: Układy nawierzchnia drogowa-podłoże gruntowe w modelach numerycznych i badaniach in situ. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016*

# Zalecenia – geometria modelu

Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że:

- Niezależnie od sztywności warstw nawierzchni oraz sztywności podłoża budując model obliczeniowy układu nawierzchnia-podłoże gruntowe można przyjąć następujące wymiary:  $B \times h_p$  wynoszące  $5,0 \times 3,00$  m dla podłoża jednorodnego.
- Niezależnie od sztywności warstw nawierzchni oraz sztywności podłoża budując model obliczeniowy układu nawierzchnia-podłoże gruntowe można przyjąć następujące wymiary:  $B \times h_p$  wynoszące  $5,0 \times 5,00$  m dla podłoża uwarstwionego.

# Zalecenia – siatka dyskretyzująca

Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że:

- Najlepszą zgodność wyników numerycznych z rozwiązaniami analitycznymi otrzymano dla siatek o boku równym 0,5 cm w strefie zagęszczenia pod obciążeniem (otrzymano zgodność ok. 3% dla  $\varepsilon_x$  w spodzie warstw asfaltowych i 0,5% dla  $\varepsilon_y$  pod powierzchnią podłoża).
- Wraz ze wzrostem wielkości boków oczek siatki dyskretyzującej MES maleją wielkości odkształcenia poziomego i pionowego, co wpływa na przeszacowanie trwałości zmęczeniowej.
- Wymiary boków elementów siatki w pozostałym dyskretyzowanym obszarze powinny zachować proporcję 1:3.

# Zalecenia – sposób modelowania

Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że:

- Rozwiązania w stanie pełnej przestrzeni (3D) są rozwiązaniami powszechnie uważanymi za dokładniejsze od rozwiązań w stanie osiowej symetrii (OS). Na podstawie przeprowadzonych analiz z zastosowaniem metody elementów skończonych można stwierdzić, że numerycznie wyznaczone wielkości kryterialne w stanie (3D) są wartościami mniejszymi od otrzymanych dla stanu (OS). Dla analizowanego tu, specyficznego, układu nawierzchnia-podłoże nie jest to rozwiązanie korzystne z uwagi na możliwość przeszacowania trwałości zmęczeniowej. Nie zdając sobie z tego sprawy można na podstawie analiz (3D) przyjąć optymalizację doboru warstw nawierzchni z uwagi na koszt ich wykonania, co może prowadzić do błędnego oszacowania trwałości zmęczeniowej, a tym samym szybszego uszkodzenia nawierzchni.

# Zalecenia – sposób modelowania

Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że:

- Chcąc utworzyć adekwatny do stanu rzeczywistego model (2D) układu nawierzchnia-podłoże należy każdorazowo wyrazić zastępcze wartości obciążenia w płaskim stanie odkształcenia  $q^{(2D)}$ . W tym celu można wykorzystać wartości wielkości kryterialnych otrzymane w modelu osiowej symetrii (OS) dla modelu o tej samej geometrii (tym samym  $h_p$ ).
- Zaleca się przyjmować wartości  $q^{(2D)}$ , dla których wartości wielkości kryterialnych są po stronie bezpiecznej. Uzyskane numerycznie wartości wielkości kryterialnych w modelach (2D) wykazują podobną stabilizację wartości, jak w modelach (OS).
- Różnice zachodzą dla wartości przemieszczeń pionowych, dla których w modelach (2D) otrzymujemy wartości wyższe.



**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!**

Projekt badawczy LIDER/022/537/L-4/12/NCBR/2013  
*„Wzmacnianie słabego podłoża poprzez zastosowanie warstwy  
z pianobetonu w kontakcie z podłożem gruntowym”*  
finansowany przez NCBR w ramach programu LIDER IV

