



Politechnika Wroclawska

**DOŚWIADCZENIA Z BUDOWY I
UTRZYMANIA NAWIERZCHNI
BETONOWYCH W POLSCE**

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

Politechnika Wroclawska

Piekary Śląskie, kwiecień, 2017



Plan wystąpienia

- 1. Historia budowy nawierzchni betonowych w Polsce**
- 2. Rozwój konstrukcji nawierzchni betonowych na drogach**
- 3. Rozwój technologii nawierzchni betonowych**
- 4. Badania i utrzymanie nawierzchni**



Historia budowy nawierzchni betonowych

- **Pierwsza nawierzchnia betonowa w Europie - 1888 r. - plac Bluechera (Breslau - Wrocław) dzisiejszy Plac Solny**
- **Pierwsza nawierzchnia asfaltowa, 1837 r. Paryż - Place de la Concorde**

Historia budowy nawierzchni betonowych - 1896 r.





Historia budowy nawierzchni betonowych - 1909 r.





Historia budowy nawierzchni betonowych - 1940 r





Historia budowy nawierzchni betonowych - 1944 r





Historia budowy nawierzchni betonowych

- **Lata 30 ubiegłego wieku - budowa autostrady A4 łączącej zagłębie Ruhry z zagłębiem górnośląskim**



Historia budowy nawierzchni betonowych





Recykling starej nawierzchni betonowej A4 - 1995 r.





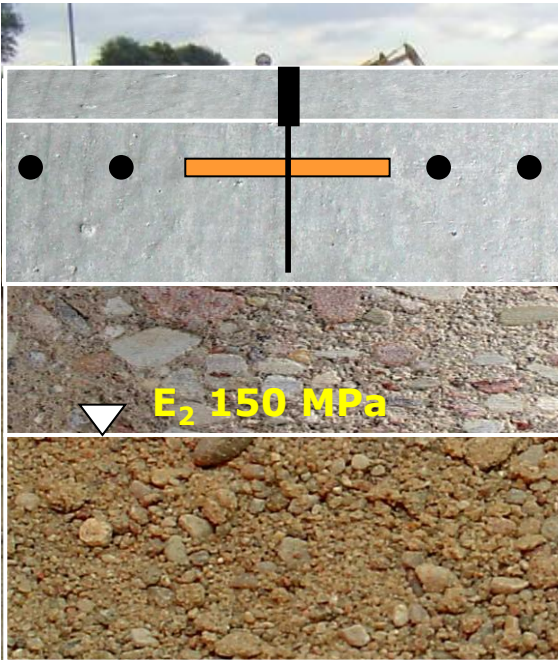
Nawierzchnie betonowe - przebudowa 1995 r.



Kruszenie starej nawierzchni betonowej A4 – materiał użyty do warstwy dolnej betonowej i mrozoochronnej



Nawierzchnie betonowe- przebudowa 1995 r. Krzyżowa - Krzywa



Beton B40, Płyty dyblowane i kotwione , 26cm
Górna 7 cm warstwa nowy materiał

Dolna warstwa 19 cm, materiał z płyt kruszonych

Grunt stabilizowany cementem,
f_c = 3,5 – 5,0 MPa, 20cm

Warstwa mrozoochronna
Materiał z kruszonych płyt – 30 cm





Nawierzchnie betonowe - 1995 - Krzyżowa - Krzywa





Nawierzchnie betonowe - Krzyżowa - Krzywa



Kotwy \varnothing 20 mm, 80 cm długość,
rozstaw co 1 m \rightarrow w podłużnej
szczelinie

Dyble \varnothing 25, 60 cm
długość, rozstaw 25 cm -
 \rightarrow co 5 m

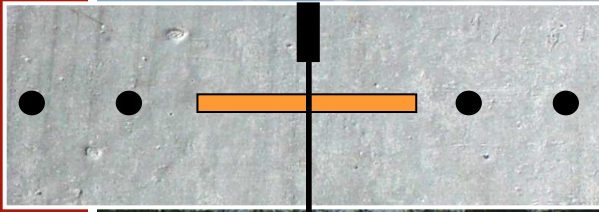


Nawierzchnie betonowe





Nawierzchnie betonowe - Wrocław- Krzyżowa- 2002; Krzyżowa - Zgorzelec - 2010; Krzyżowa- Olszyna - 2009



Płyty betonowa, B40, płyty dyblowane i kotwione, 27cm

Geo-włóknina 450-550 g/m²



E_c 150 MPa

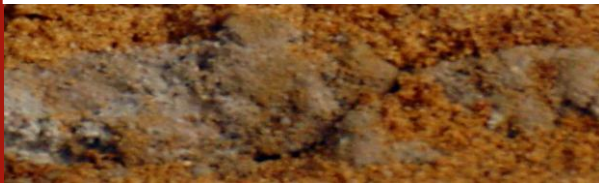
Chudy beton, f_c = 6 – 9 MPa, 20cm



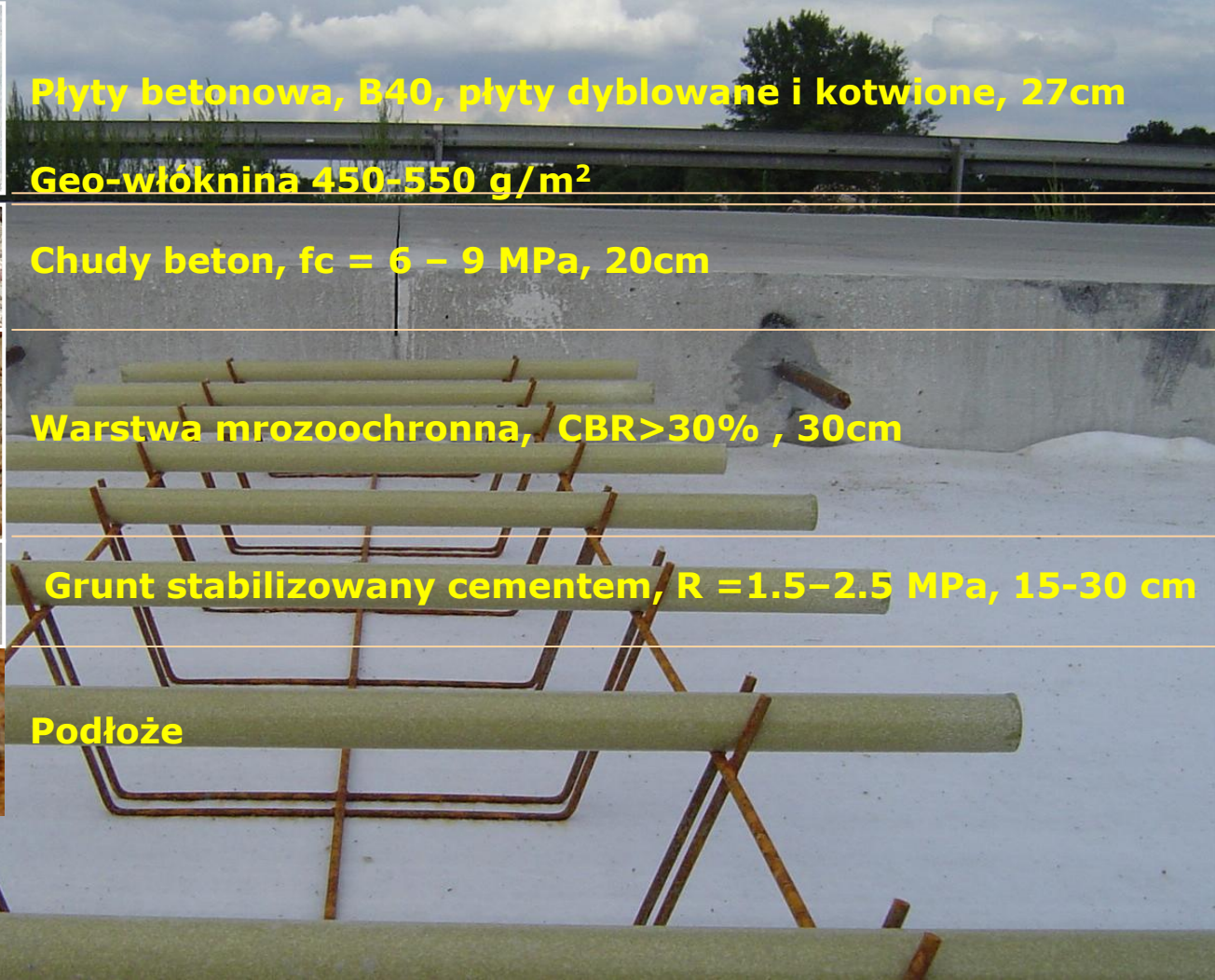
Warstwa mrozoochronna, CBR>30% , 30cm



Grunt stabilizowany cementem, R = 1.5–2.5 MPa, 15-30 cm



Podłoże





WYKONYWANIE SZCZELIN SKURCZOWYCH - przykład



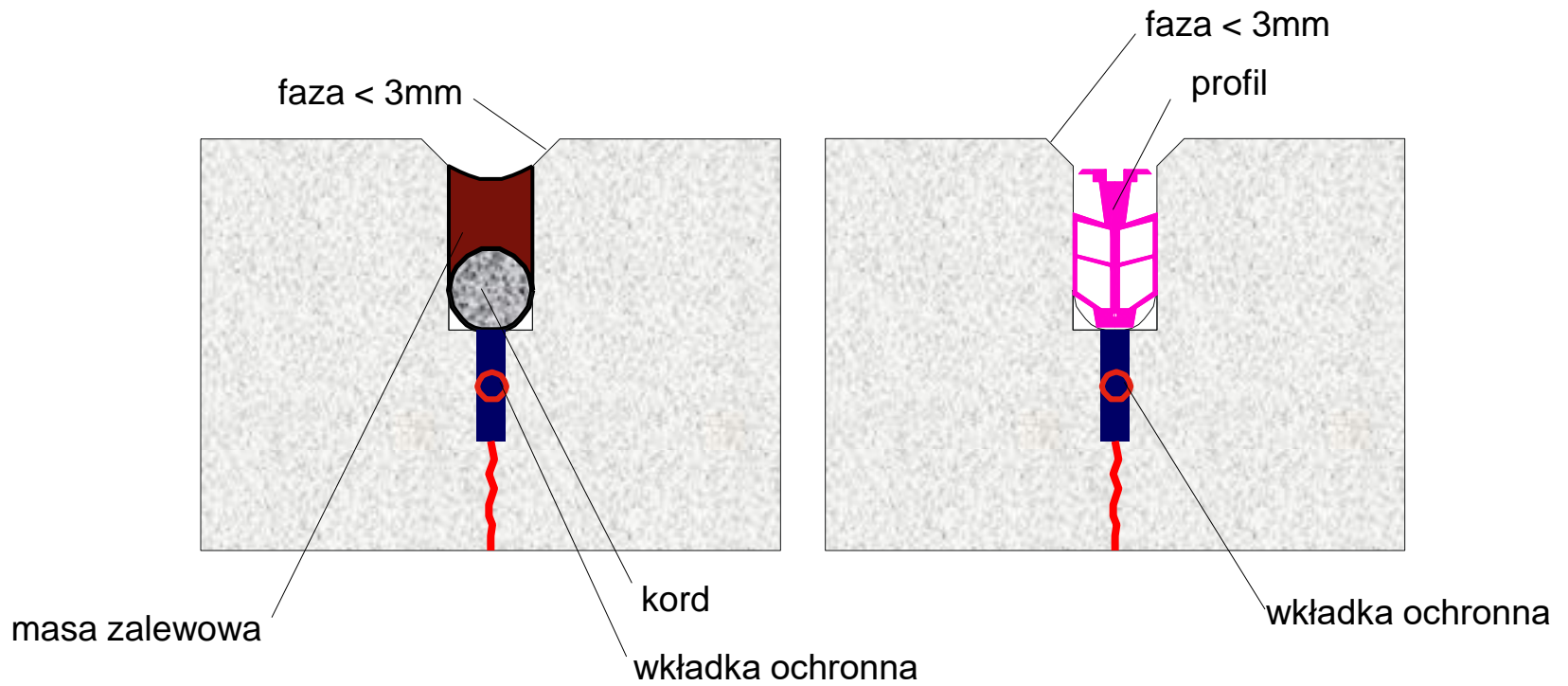


WYKONYWANIE SZCZELIN DYLATACYJNYCH - przykład



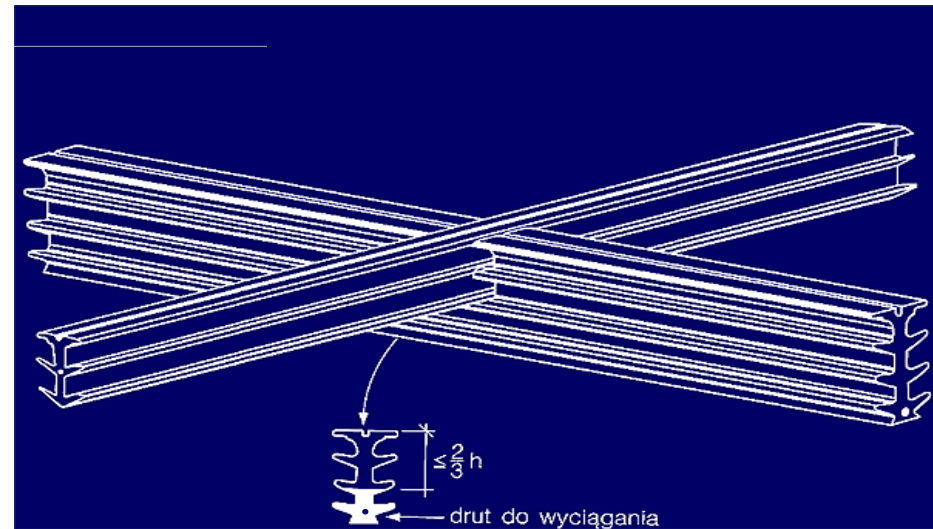
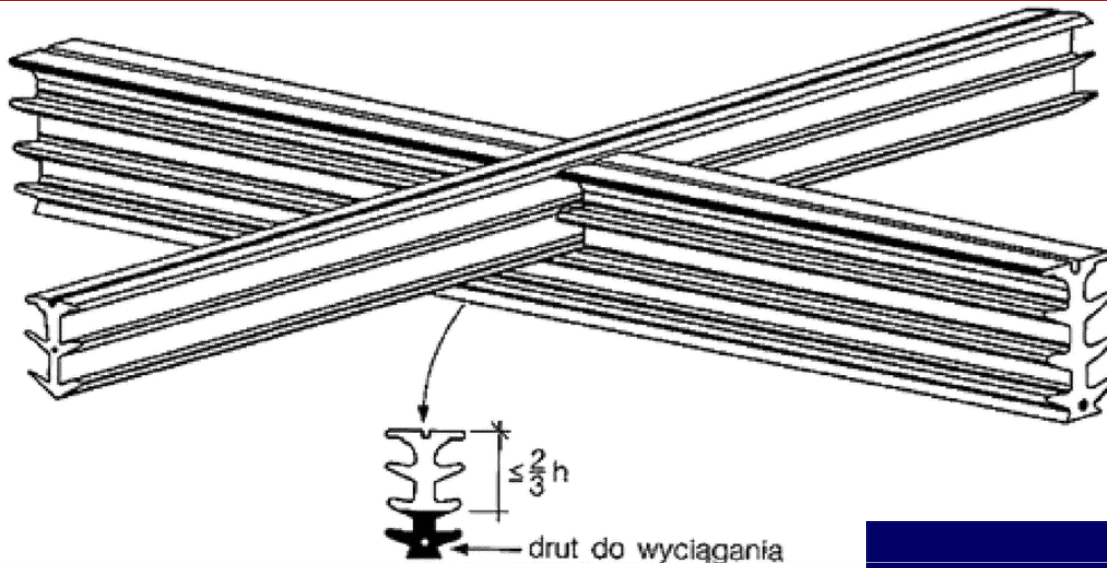


KONSTRUKCJA SZCELIN DYLATACYJNYCH



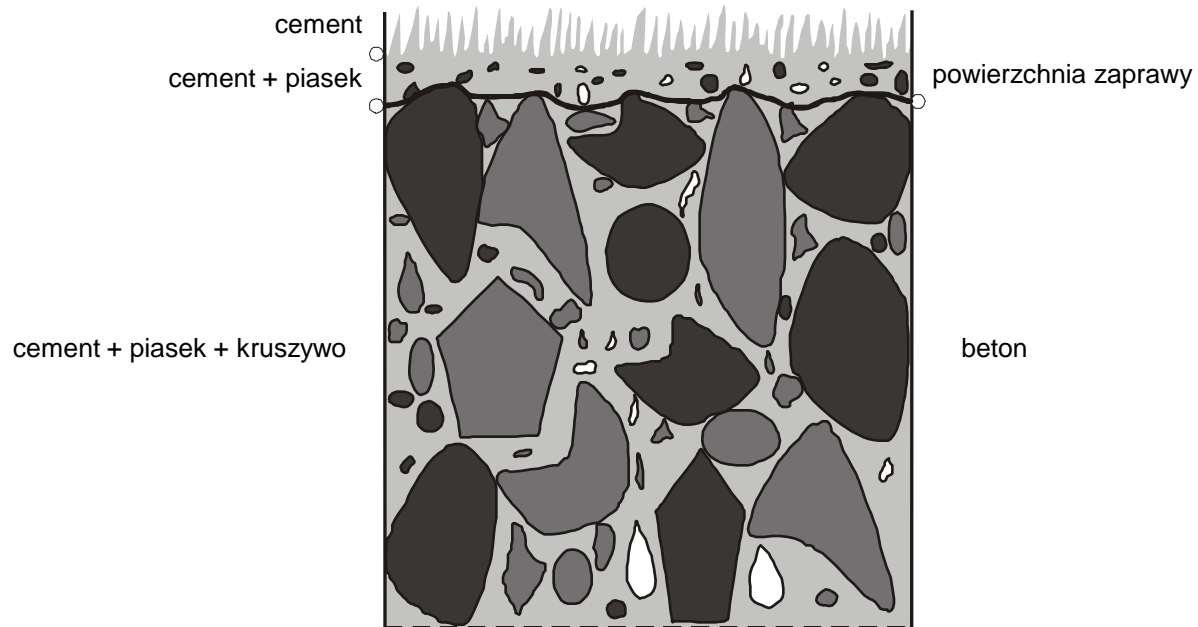


KONSTRUKCJA SZCZELIN DYLATACYJNYCH





NAWIERZCHNIA W STREFIE PRZYPOWIERZCHNIOWEJ



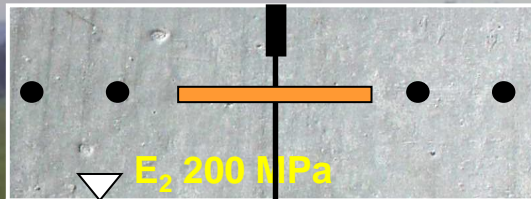


TECHNOLOGIE WYKAŃCZANIA NAWIERZCHNI





Nawierzchnie betonowe A4 - podbudowa z kruszywa -1300 m



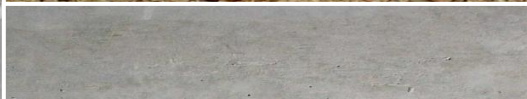
Beton cementowy, B40, płyty dyblowane i kotwione, 30cm



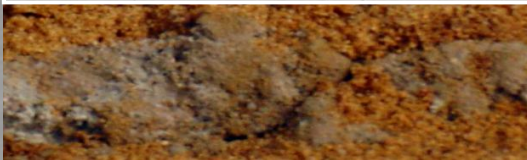
Kruszywo lamane stabilizowane mechanicznie 0/31.5, 30cm



Warstwa mrozochronna CBR>30% grubosci, 25cm



Grunt stabilizowany cementem $f_c = 1.5 - 2.5$ MPa, 15cm



Podłoże gruntowe



NAWIERZCHNIE O CIĄGLYM ZBROJENIU A4 - odcinek doświadczalny

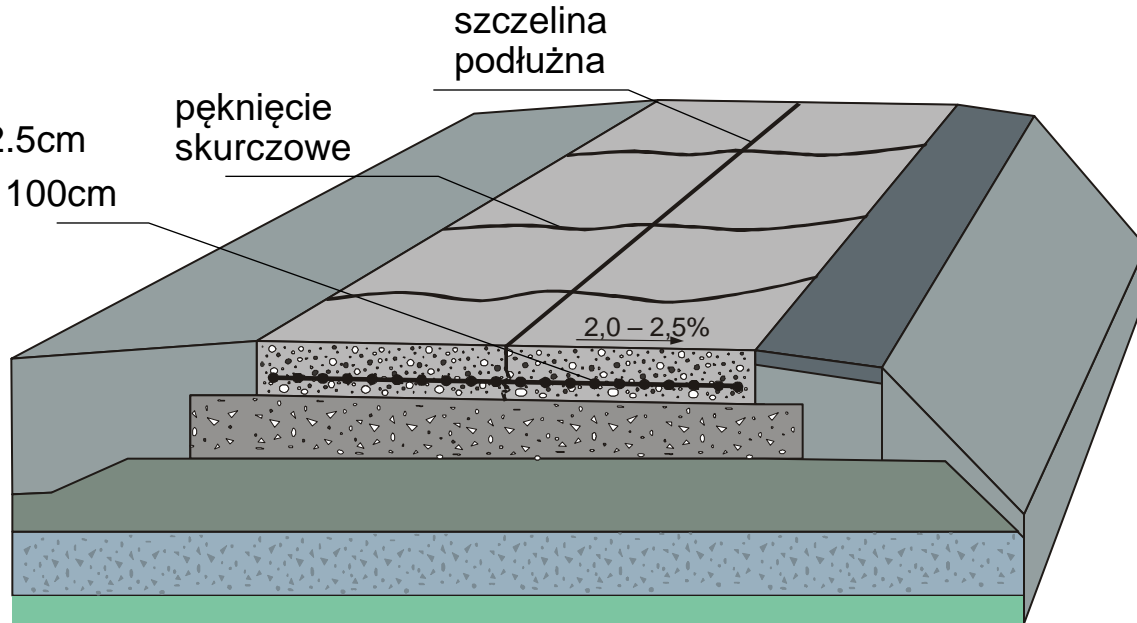
zbrojenie

podłużne: $\phi 16$ co 12.5cm

poprzeczne: $\phi 12$ co 100cm

pęknięcia
skurczowe

szczelina
podłużna



Beton cementowy klasy B40, 0,23 m

Chudy beton $R_m=6-9$ MPa, 0,20 m

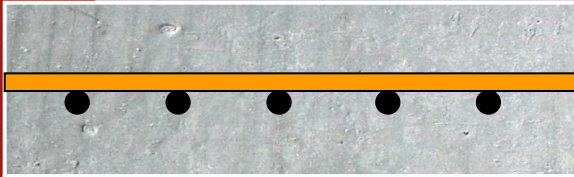
Warstwa mrozochronna, 0,35 m

Grunt stab. cementem $R_m = 2,5$ MPa

Podłoże gruntowe



Nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu - A4 -1013 m



Beton o ciągłym zbrojeniu, B40, 23cm



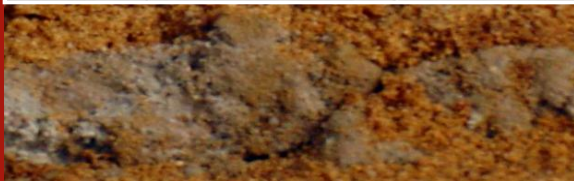
Chudy beton, $f_c = 6 - 9$ MPa, 20cm



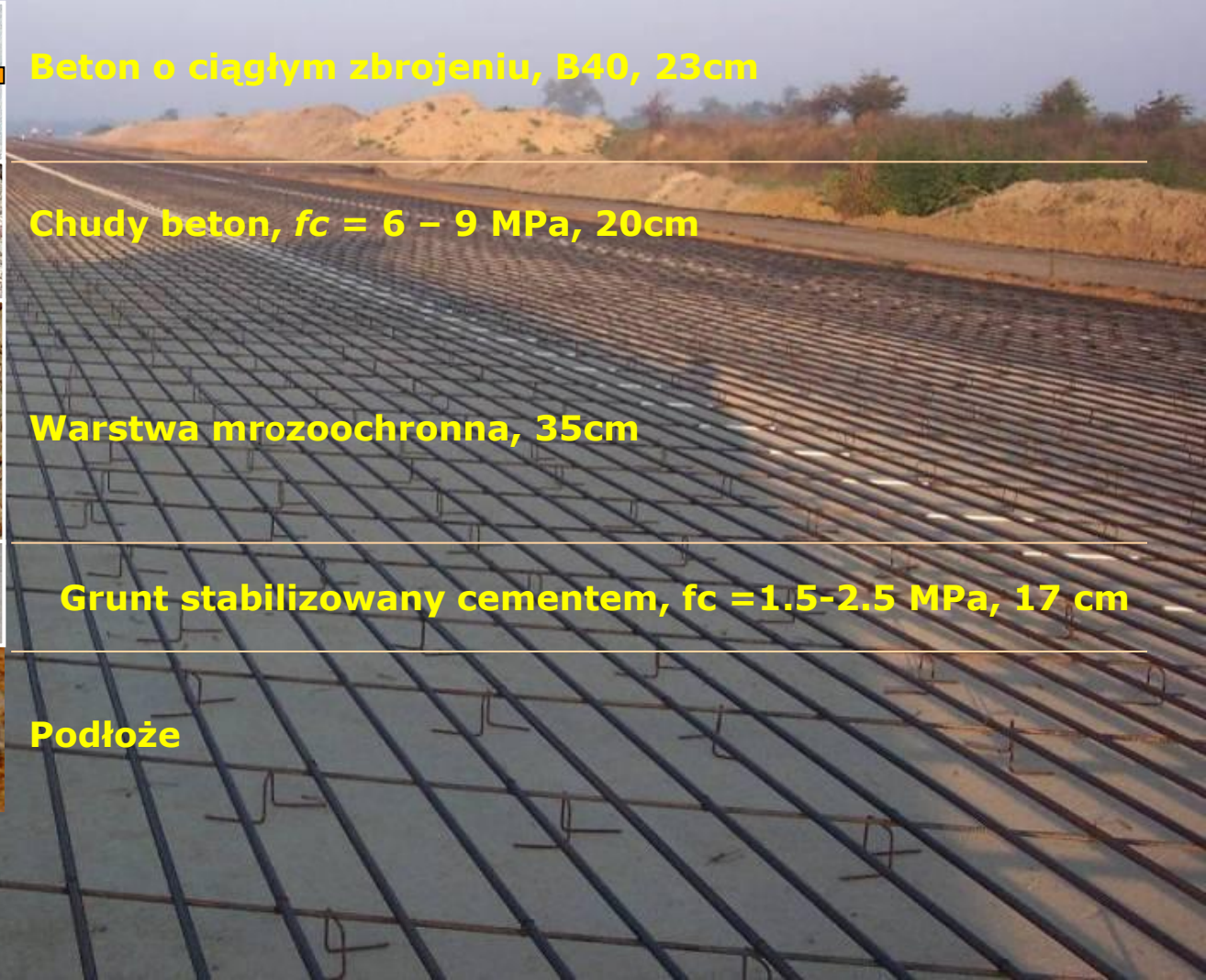
Warstwa mrozoochronna, 35cm



Grunt stabilizowany cementem, $f_c = 1.5-2.5$ MPa, 17 cm

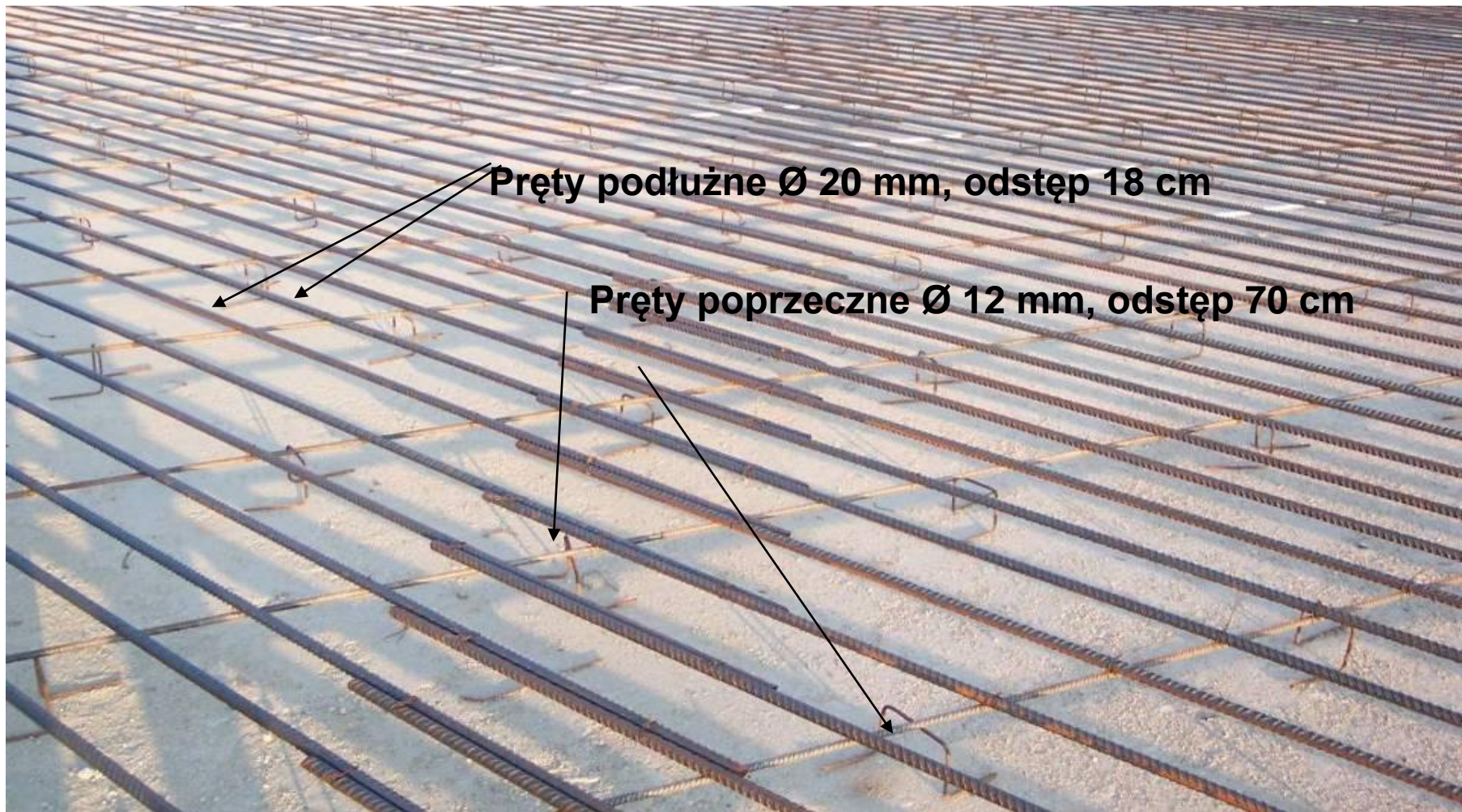


Podłoże





Nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu



Pręty podłużne $\text{Ø } 20 \text{ mm}$, odstęp 18 cm

Pręty poprzeczne $\text{Ø } 12 \text{ mm}$, odstęp 70 cm

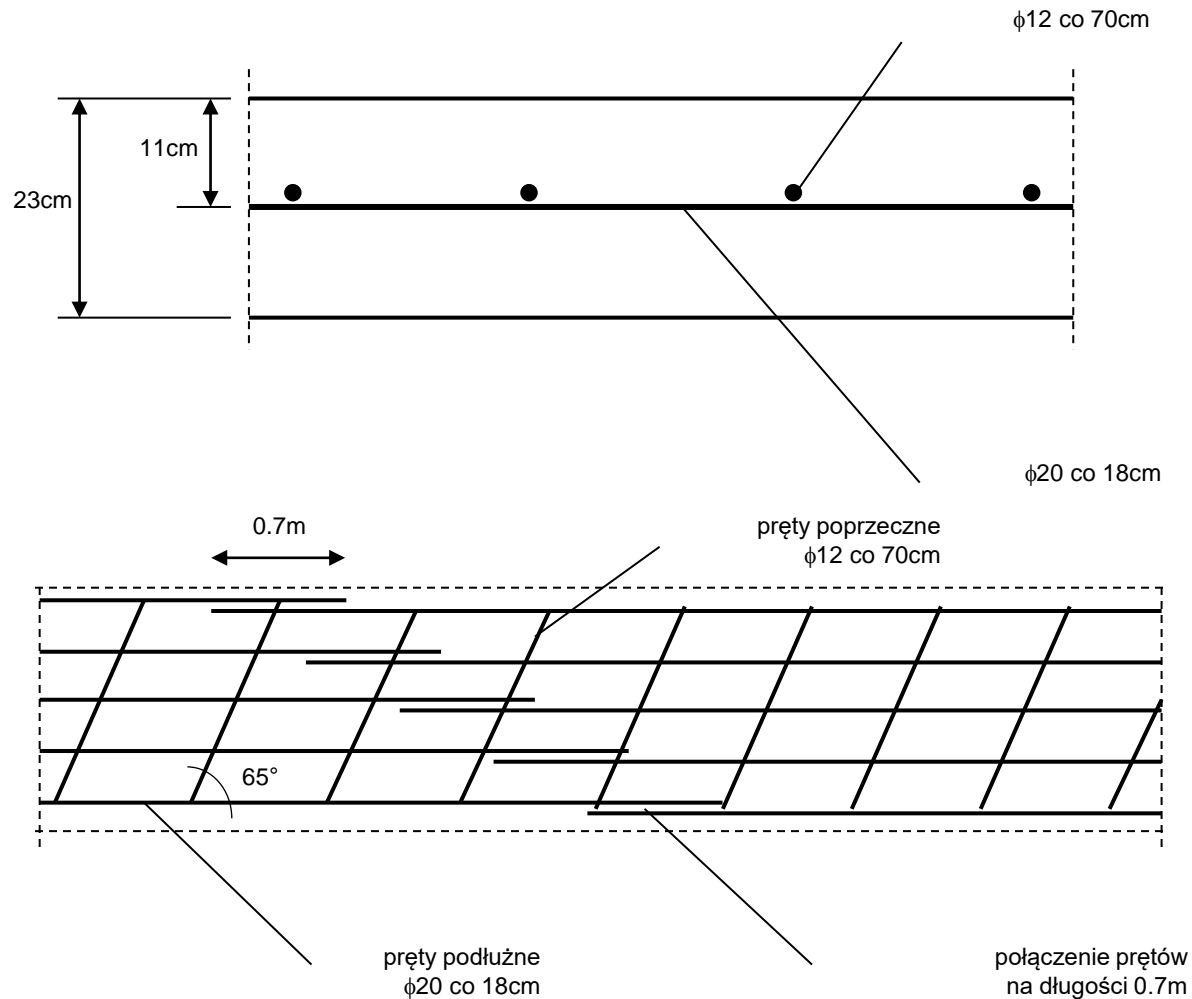


Nawierzchnia betonowa o ciągłym zbrojeniu-A4



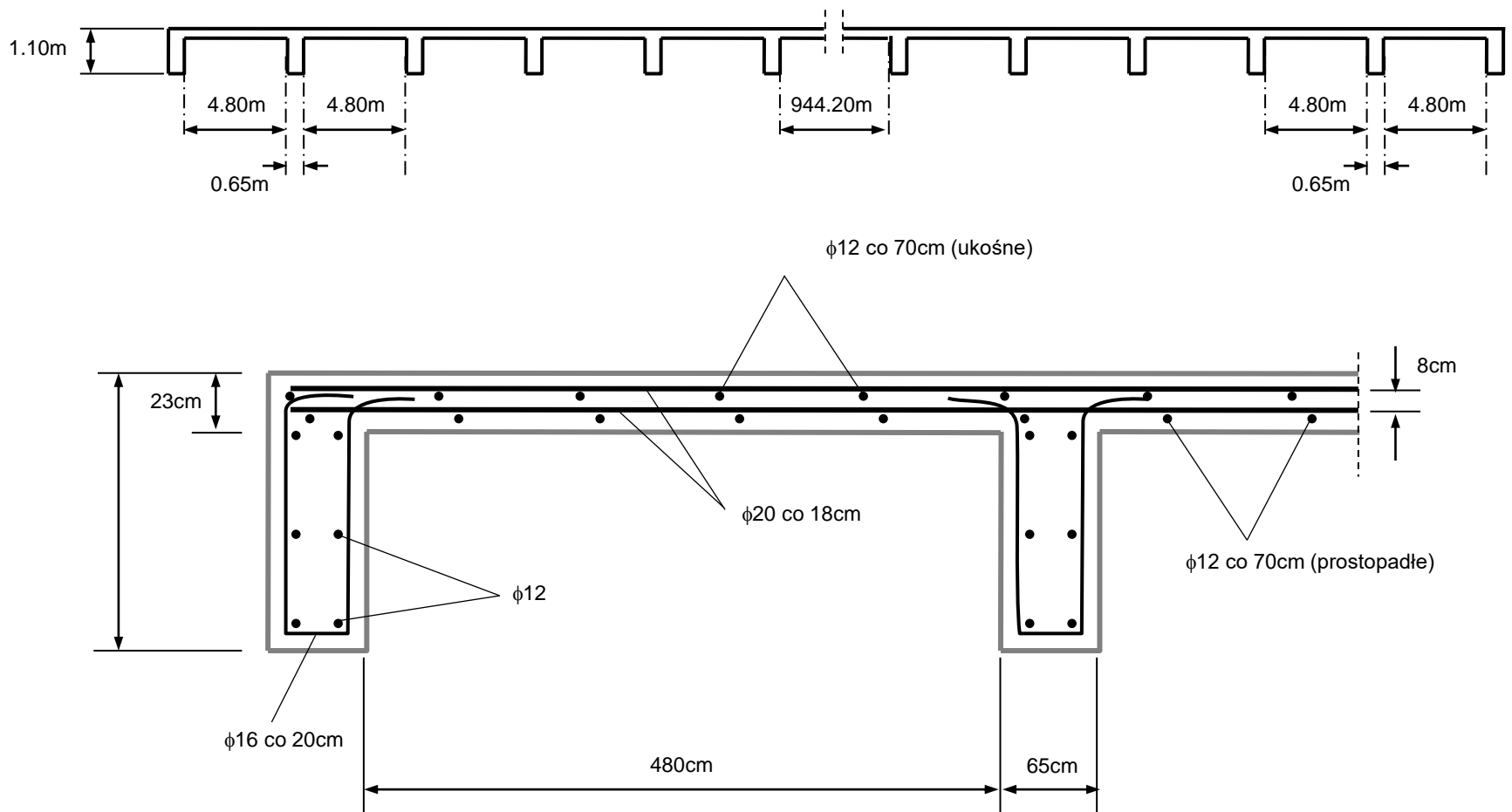


Lokalizacja zbrojenia w płycie





Lokalizacja zbrojenia





Nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu





Nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu





Autostrada A2 - projekt PPP nawiększy w Europie - 106 km

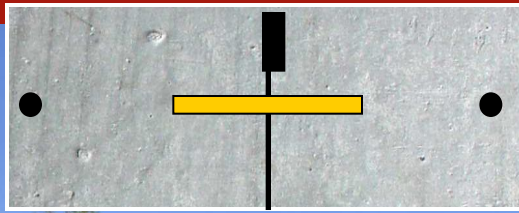
BERLIN



WARSZAWA



Nawierzchnie betonowe - A2



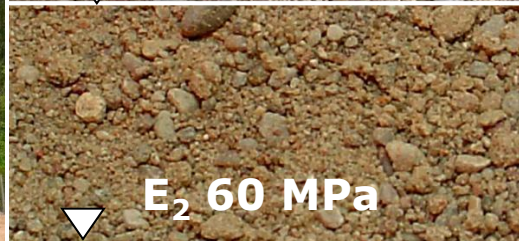
Dwuwarstwowa płyta dybl. 27 / 28 / 29 cm
C30/37, $f_c \geq 40$ MPa ; $f_{c,f} \geq 5,5$ MPa ; górna w.
5 cm

Geowłóknina 450-550 g/m²



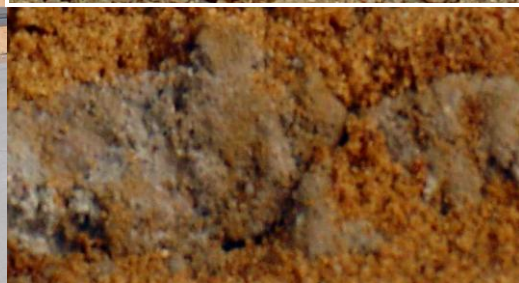
▼ E_2 120 MPa

Chudy beton $f_c = 6 - 12$ (15) MPa, 20cm



▼ E_2 60 MPa

Warstwa mrozochronna, 33 / 32 / 31 cm



Podłoże





Nawierzchnie betonowe



Powierzchnia
po odkryciu

Powierzchnia przed
odkryciem





Nawierzchnie betonowe z odkrytym kruszywem -A2



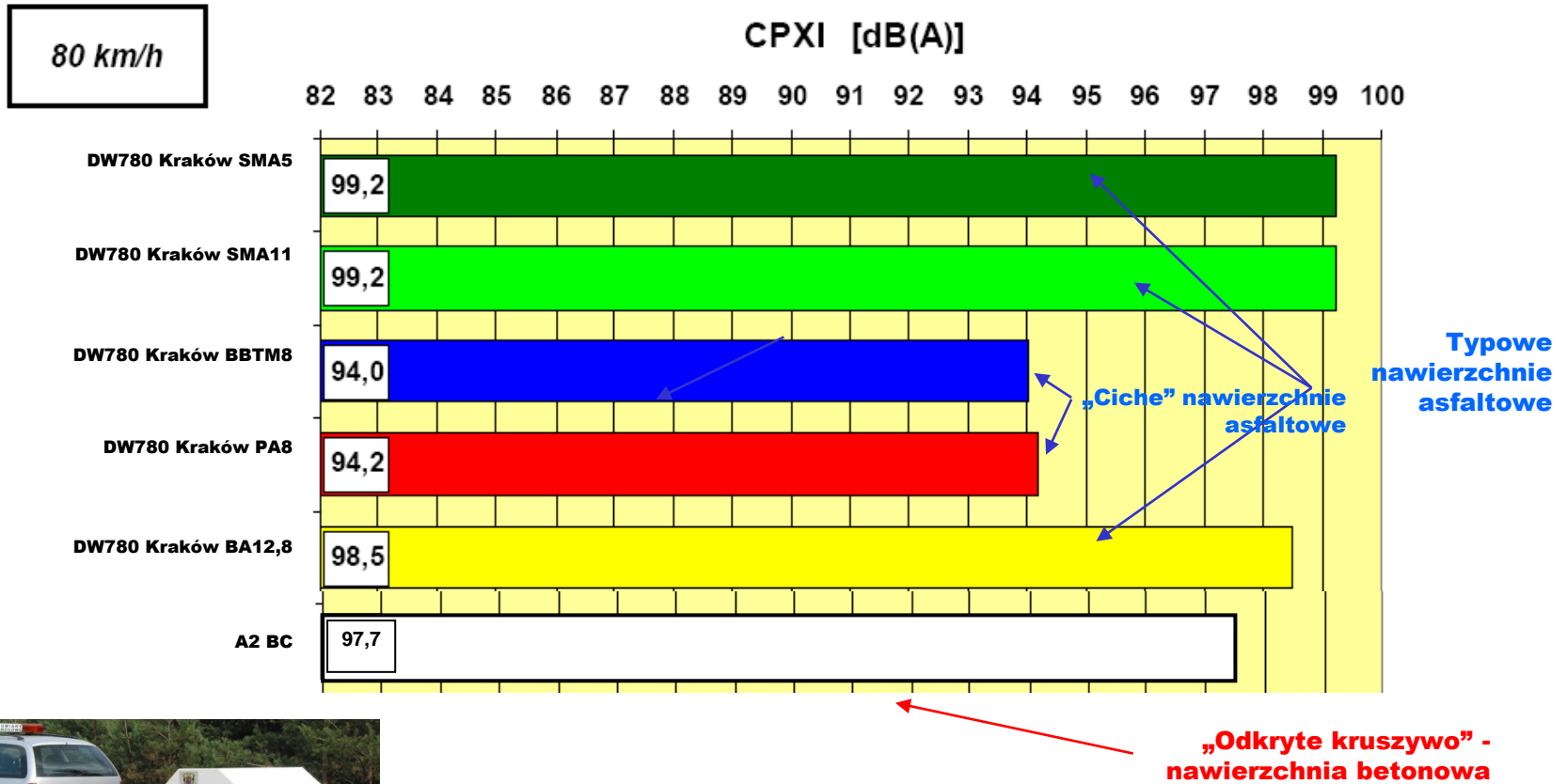
Nawierzchnie betonowe



- *Kruszywo:*
- - Max.ziarno:8 mm
- - PSV 53
- Mieszanka beton.:
- cement 420 kg/m^3
- grubość: min. 5 cm



Nawierzchnie betonowe





Nawierzchnie betonowe A2 ciągłe zbrojenie

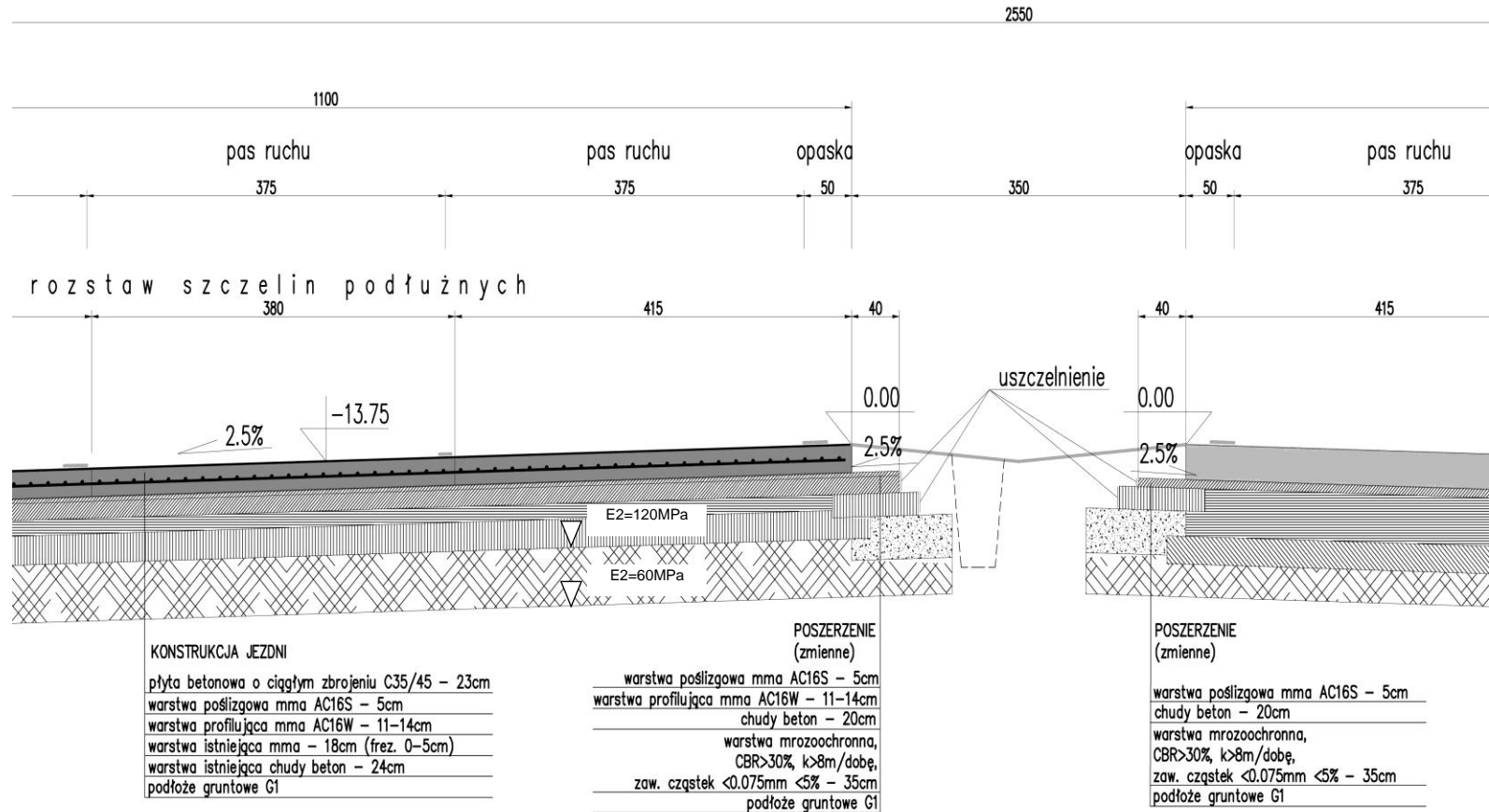


Nawierzchnie betonowe A2 ciągle zbrojenie – kozły oporowe





Nawierzchnie betonowe A2





Nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu A2





Nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu A2

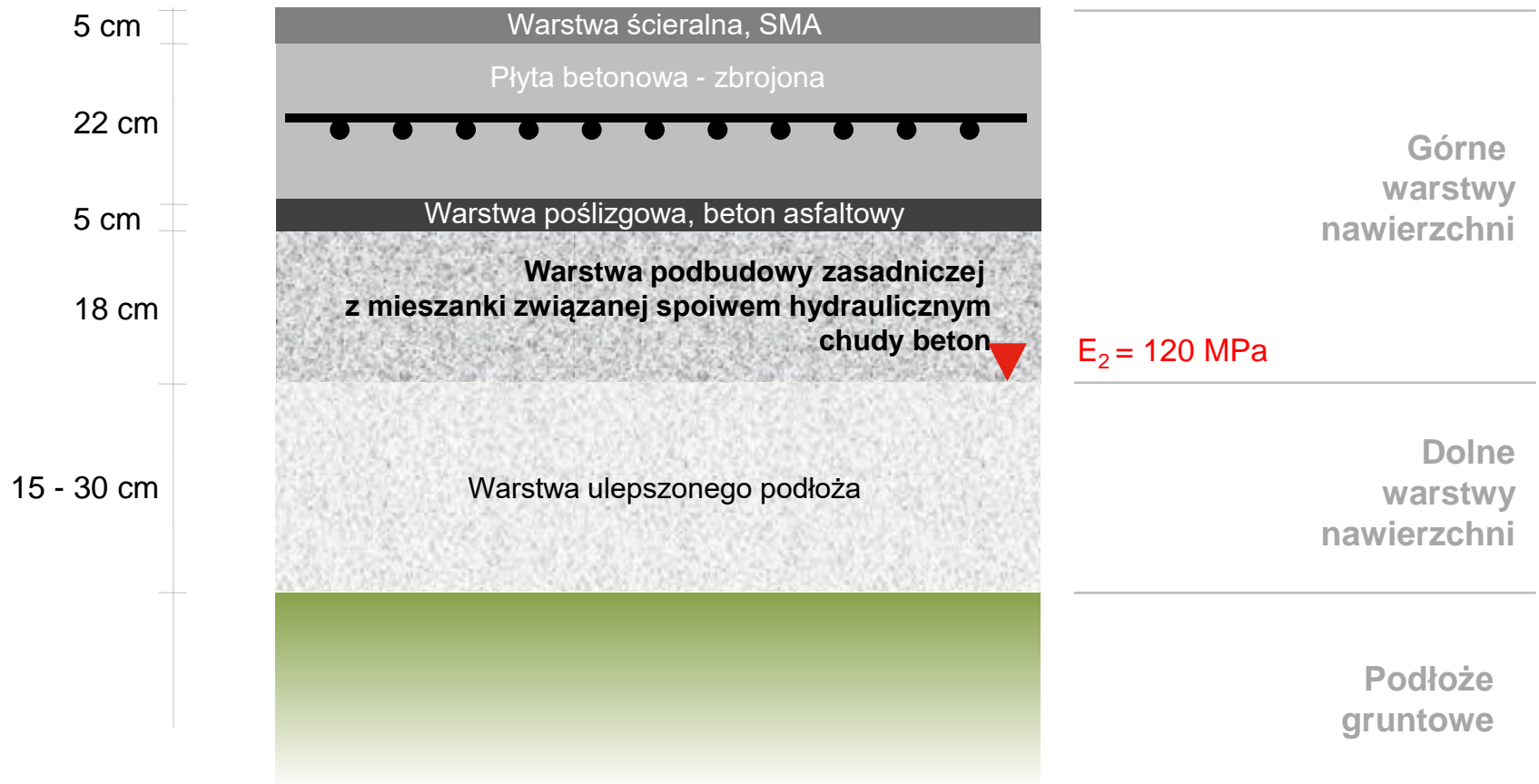




Cechy nawierzchni o ciągłym zbrojeniu

- 1. Brak szczelin poprzecznych**
- 2. Występują mikropęknięcia**
- 3. Pełna współpraca na mikropęknięciach**
- 4. Może być nawierzchnią długowieczną**
- 5. Trwałość zmęczeniowa tych nawierzchni to ok.
150 000 000 osi 115 kN.**
- 6. Aktualnie w Polsce ok. 2,5 do 3 mln osi na rok na
nawierzchniach betonowych**
- 7. Żywotność ok. 50 lat**

UKŁAD WARSTW NAWIERZCHNI DŁUGOWIECZNEJ O CIĄGŁYM ZBROJENIU





Podsumowanie nawierzchni o ciągłym zbrojeniu

1. Aktualnie mamy w Polsce dwa odcinki nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu
2. Wyniki badań wykazują, że trwałość zmęczeniowa tych nawierzchni jest znacznie większa do tradycyjnych
3. Nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu wg doświadczeń zagranicznych nie wymagają dużych nakładów na utrzymanie
4. Sanacja górnej warstwy nawierzchni za pomocą mma powinna dać dobre rozwiązania
5. Trwałość zmęczeniowa to ok. 150 000 000 osi 115 kN.

Żywotność ok. 50 lat

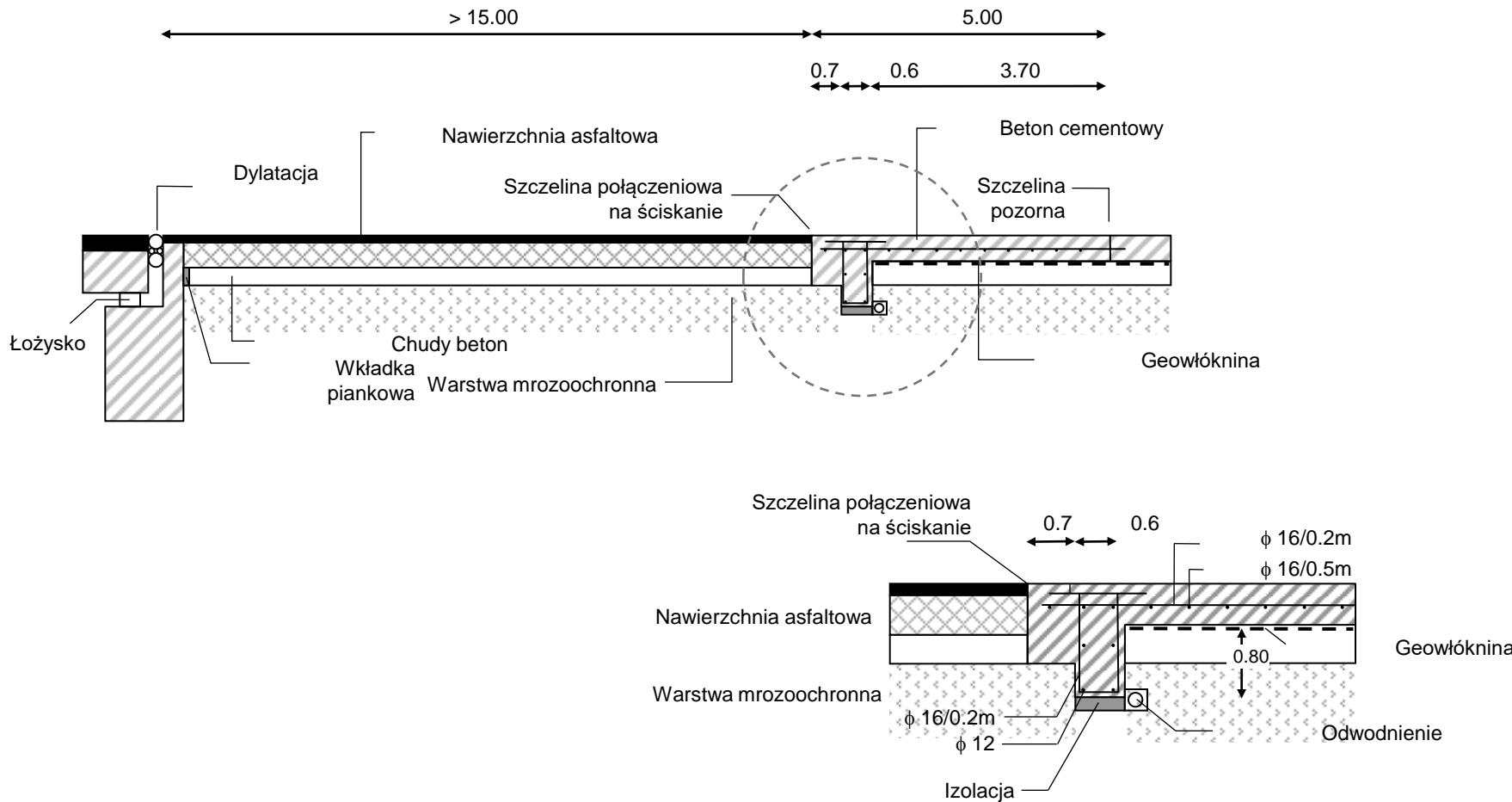


Rodzaje nawierzchni na autostradach i drogach ekspresowych



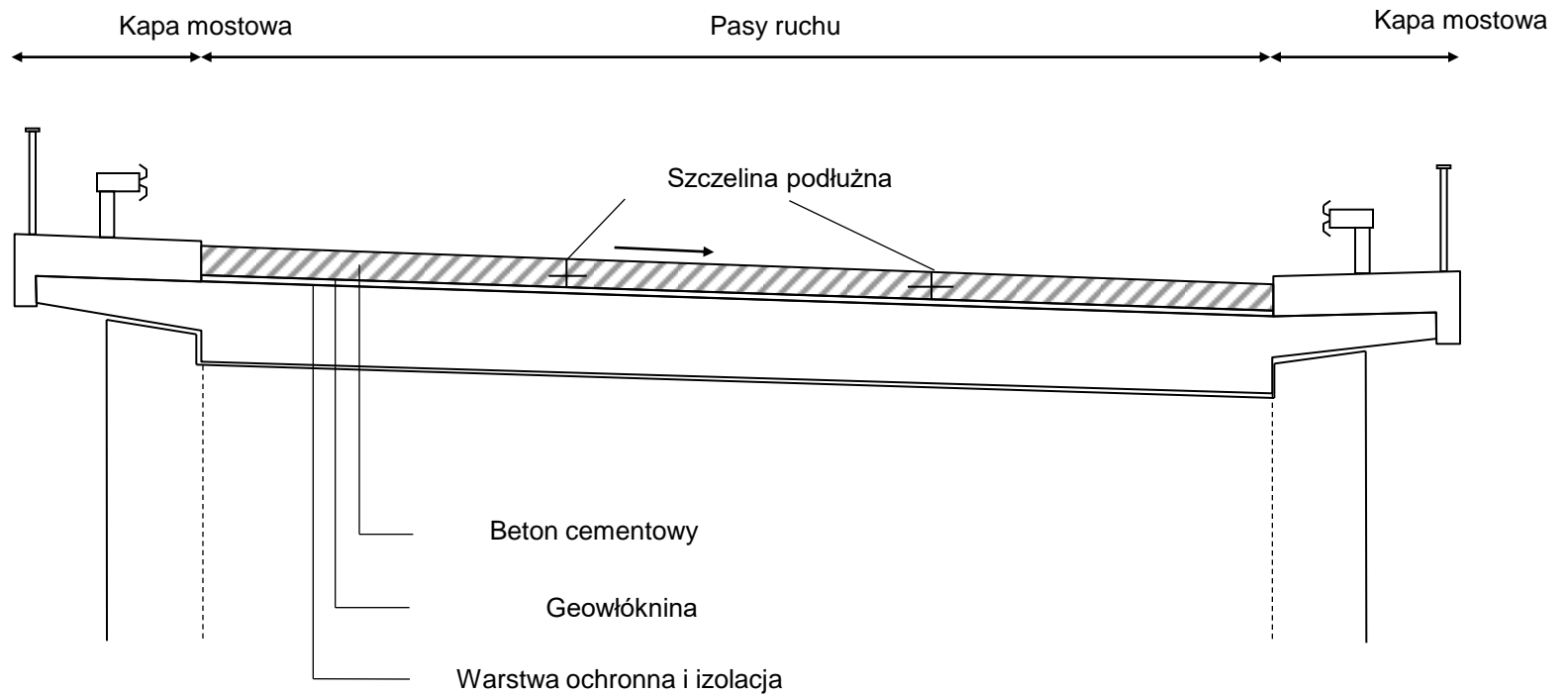


Połączenia nawierzchni betonowej z asfaltową na mostach



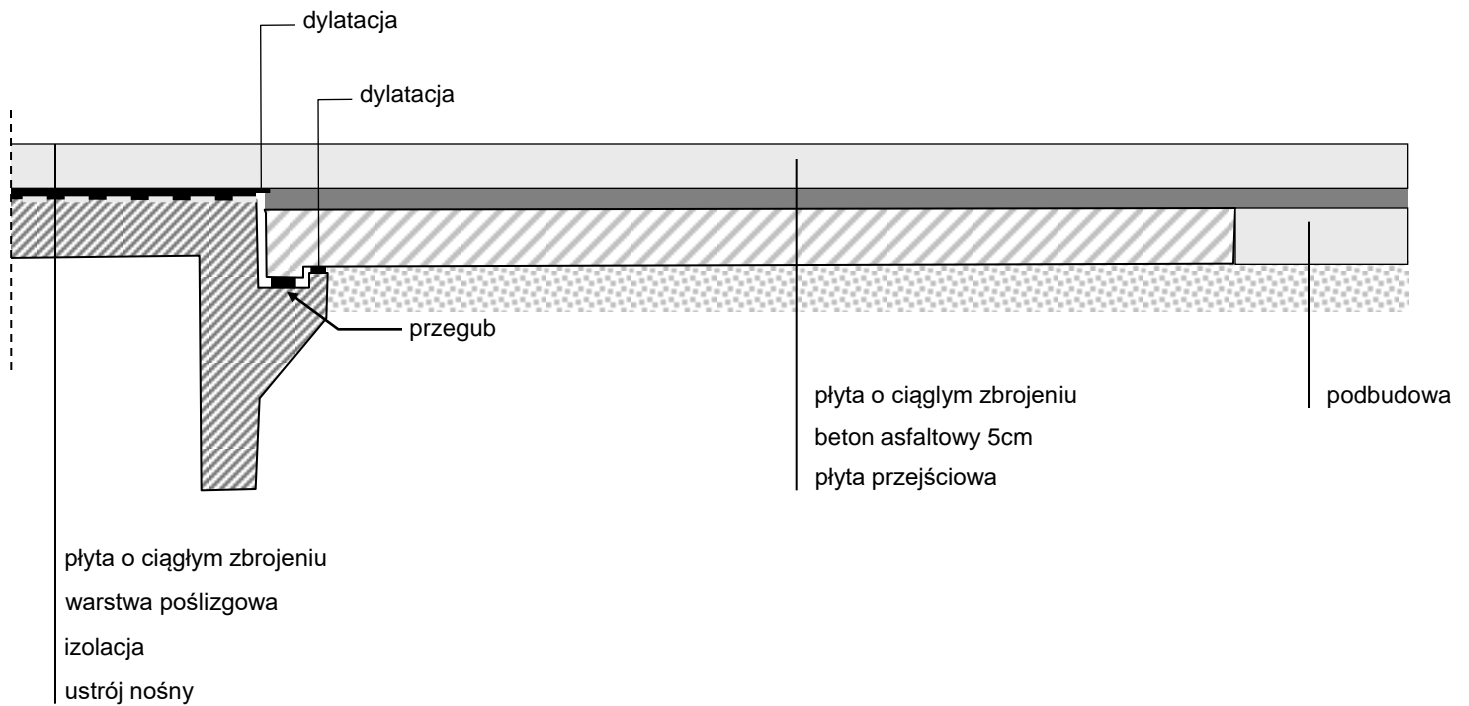


Nawierzchnia betonowa na mostach L = 20 m





Przykład nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu na moście $L > 20$ m



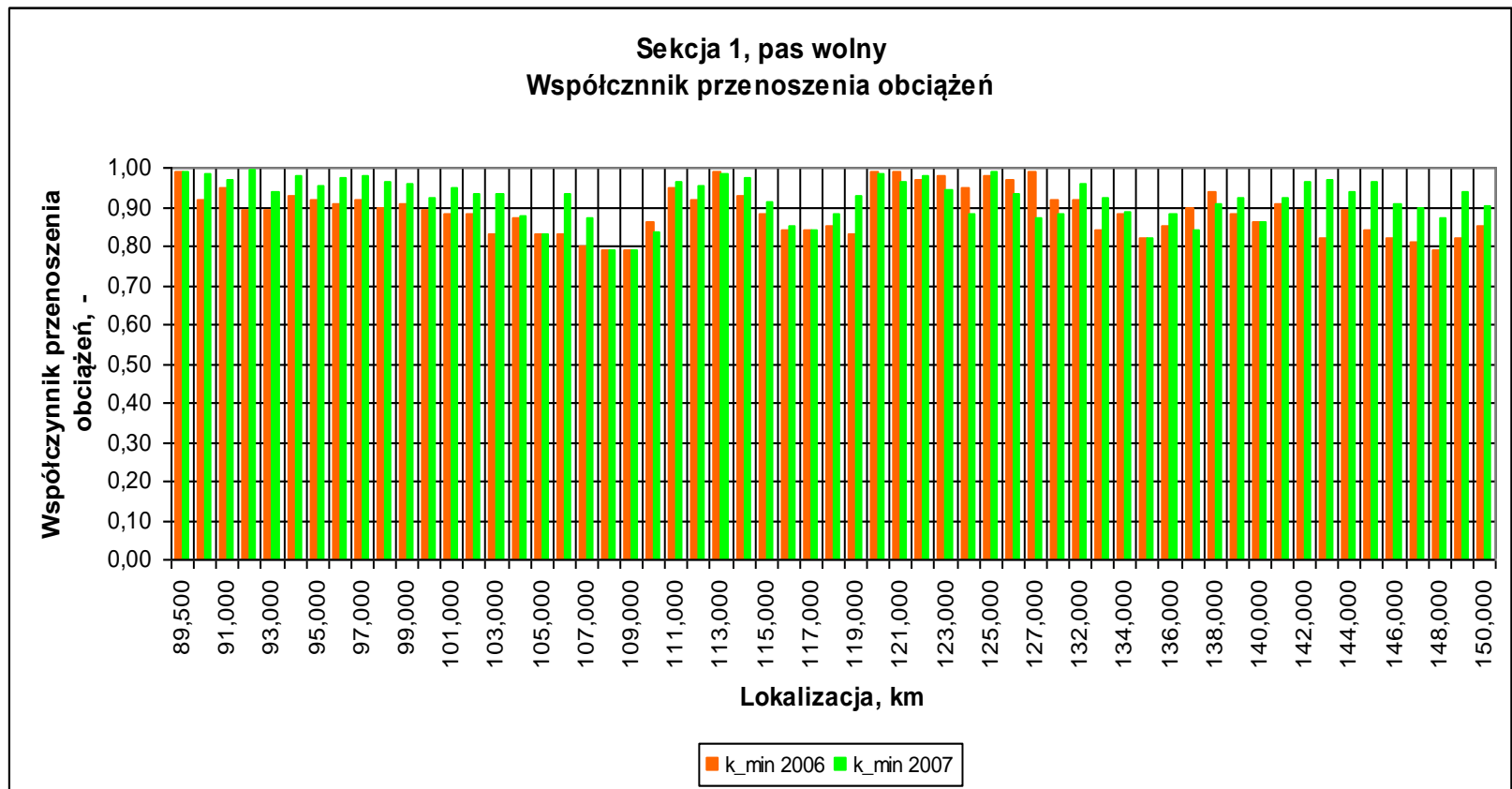


Badania nośności - utrzymanie





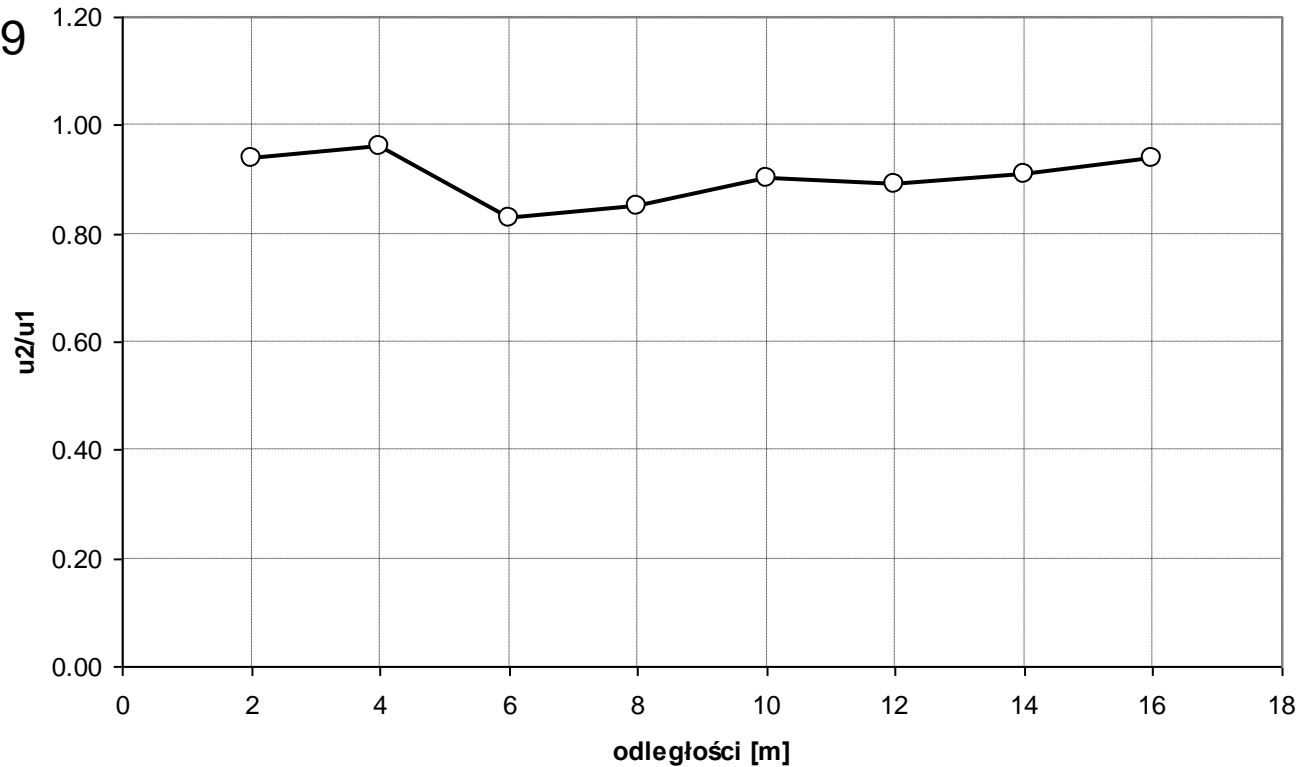
Wykres współczynników przenoszenia obciążeń Sekcja 1, rok 2006 oraz 2007





Stosunek ugięć krawędzi płyt naw. tradycyjna

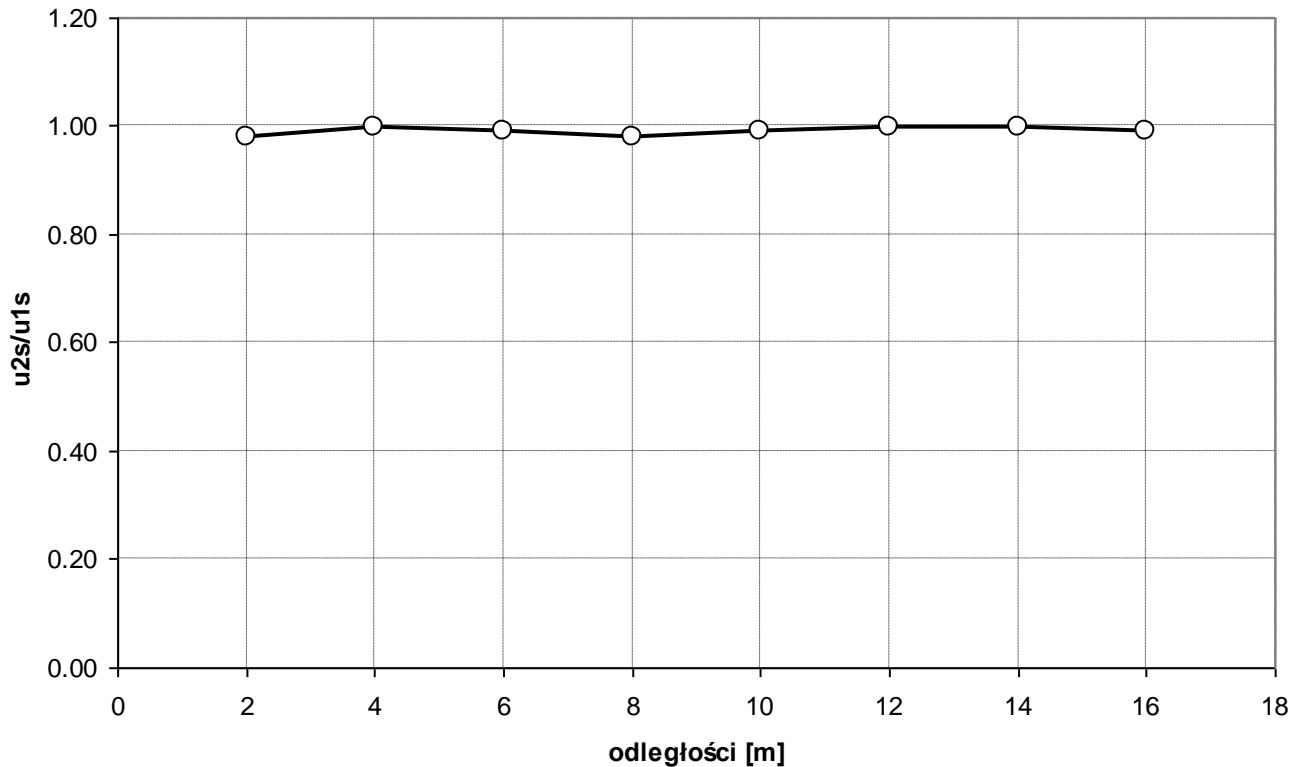
Sr. = 0,89





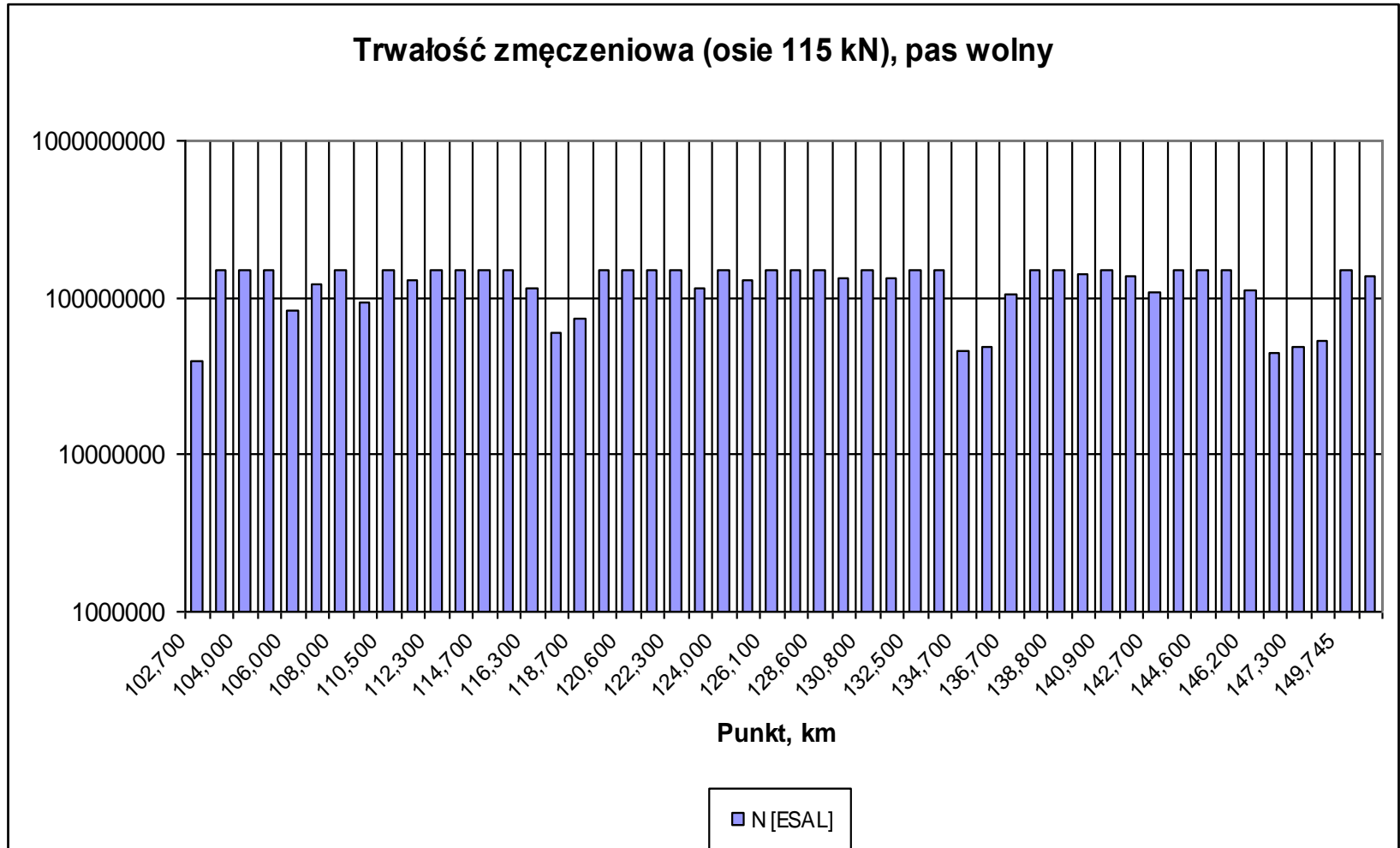
Stosunek ugięć krawędzi przy spękanii naw. zbrojona

Sr. = 0,99





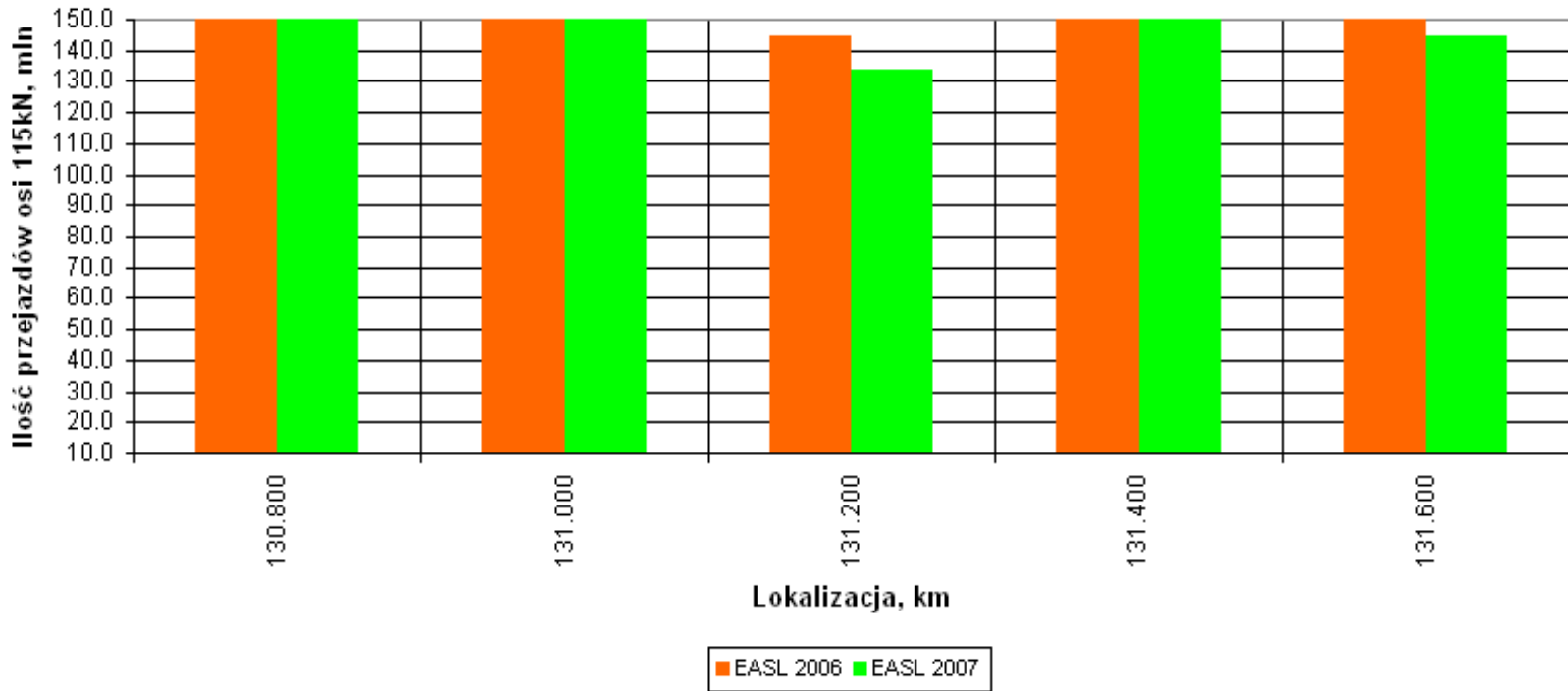
Przykładowy wykres trwałości zmęczeniowej Sekcja 5, 2006r.





Nawierzchnie betonowe

Sekcja 2, pas szybki
Trwałość zmęczeniowa nawierzchni





Badania trwałości A2

- **km 23+500 do 30+000**

Trwałość - 51 000 000 osi 115 kN

Prognoza - 40 600 000 osi 115 kN

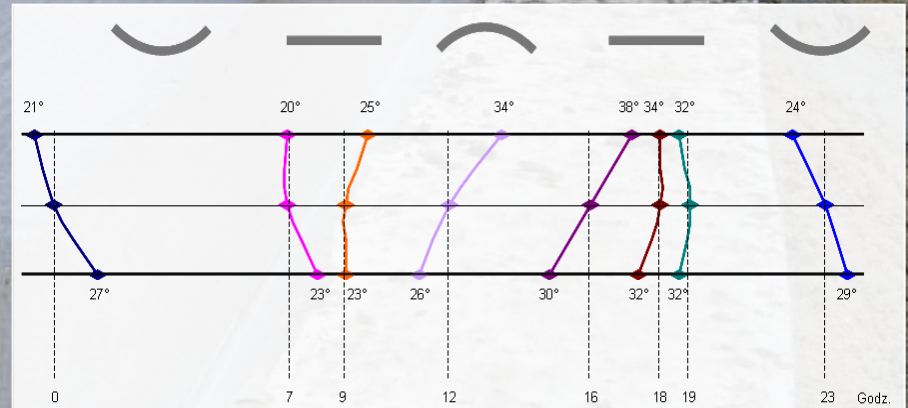
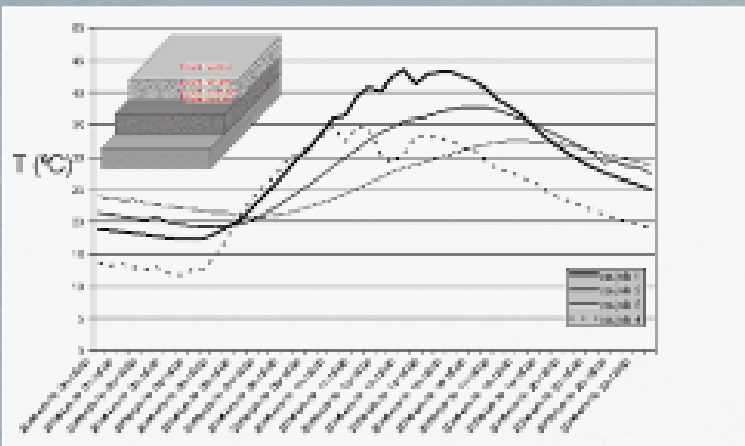
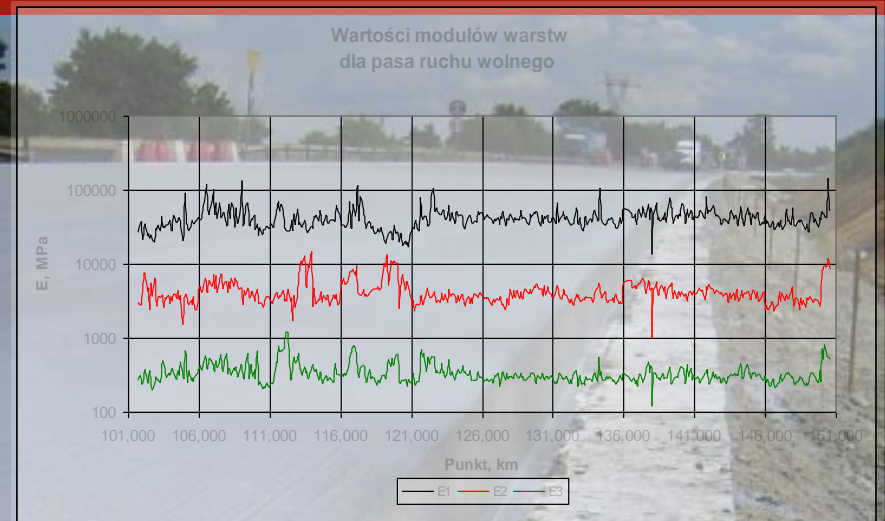
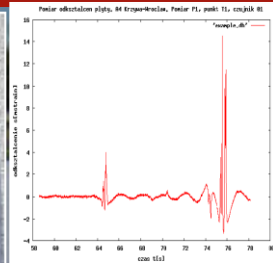
- **km 58+000 do 65+00**

Trwałość - 49 500 000 osi 115 kN

Prognoza - 40 600 000 osi 115 kN



Nawierzchnie betonowe - badania





Historia budowy nawierzchni betonowych w Polsce

- **1995 r. - Recykling starej nawierzchni betonowej - Krzywa - Krzyżowa - 17 km**
- **2002 r - przebudowa A4 Wrocław - Krzyżowa - 92 km**
- **2010 - Budowa A4 - Krzyżowa - Zgorzelec - 50 km**



Historia budowy nawierzchni betonowych w Polsce

- **2009 - Budowa A18 Krzywa - Olszyna - 60 km**
- **2012 - Budowa A2 - Nowy Tomyśl - Świecko 105 km**
- **2012 - przebudowa i budowa S8 - 160 km**
- **2014 - Droga wojewódzka Świdnica - A4**



Analiza kosztów budowy i utrzymania

W administracjach drogowych na świecie prowadzi się analizy:

-LCA - Life Cycle Assessment - Ocena Cyklu Życia - proces oceny wpływu produktu lub usługi na środowisko w całym okresie życia produktu,

-LCC - Life Cycle Costing - Koszt Cyklu Życia - suma wszystkich kosztów ponoszonych podczas cyklu życia wyrobu - budowa-użytkowanie-likwidacja,

-LCI - Life Cycle Inventory - Analiza zbioru w cyklu życia - etap gromadzenia danych potrzebnych do realizacji LCA



Analizy kosztów budowy i utrzymania

W administracji drogowej amerykańskiej w 33 stanach od 2008 roku stosuje się analizy LCC.

Z analiz Texas Department of Transportation wynika, że w ciągu 50 lat koszt budowy nawierzchni betonowych obniżył się o około 20%, natomiast ceny asfaltu wzrosły o 95%.

W 2013 roku w USA koszty budowy nawierzchni betonowych były 10 do 20% niższe od nawierzchni podatnych.

Prezentacja dotyczy kosztów budowy i utrzymania nawierzchni sztywnych i podatnych w Polsce



Scenariusz utrzymaniowy nawierzchnie asfaltowe

Nawierzchnie podatne - wymiana warstw!

Po 9 latach wymiana warstwy ścieralnej

Po 18 latach 40% wymiana warstwy ścieralnej i wiążącej

Po 18 latach wymiana 60% warstwy ścieralnej

Po 27 latach wymiana 60% warstwy wiążącej i ścieralnej

Po 27 latach wymiana 40% warstwy ścieralnej



Scenariusz utrzymaniowy – nawierzchnie betonowe

Nawierzchnie sztywne - wymiana materiałów szczelin, wymiana pękniętych płyt (13% spękanych płyt)!

Po 9 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych

- Po 18 latach wymiana 5% płyt

- Po 15 latach sanacja powierzchni,

Po 18 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych

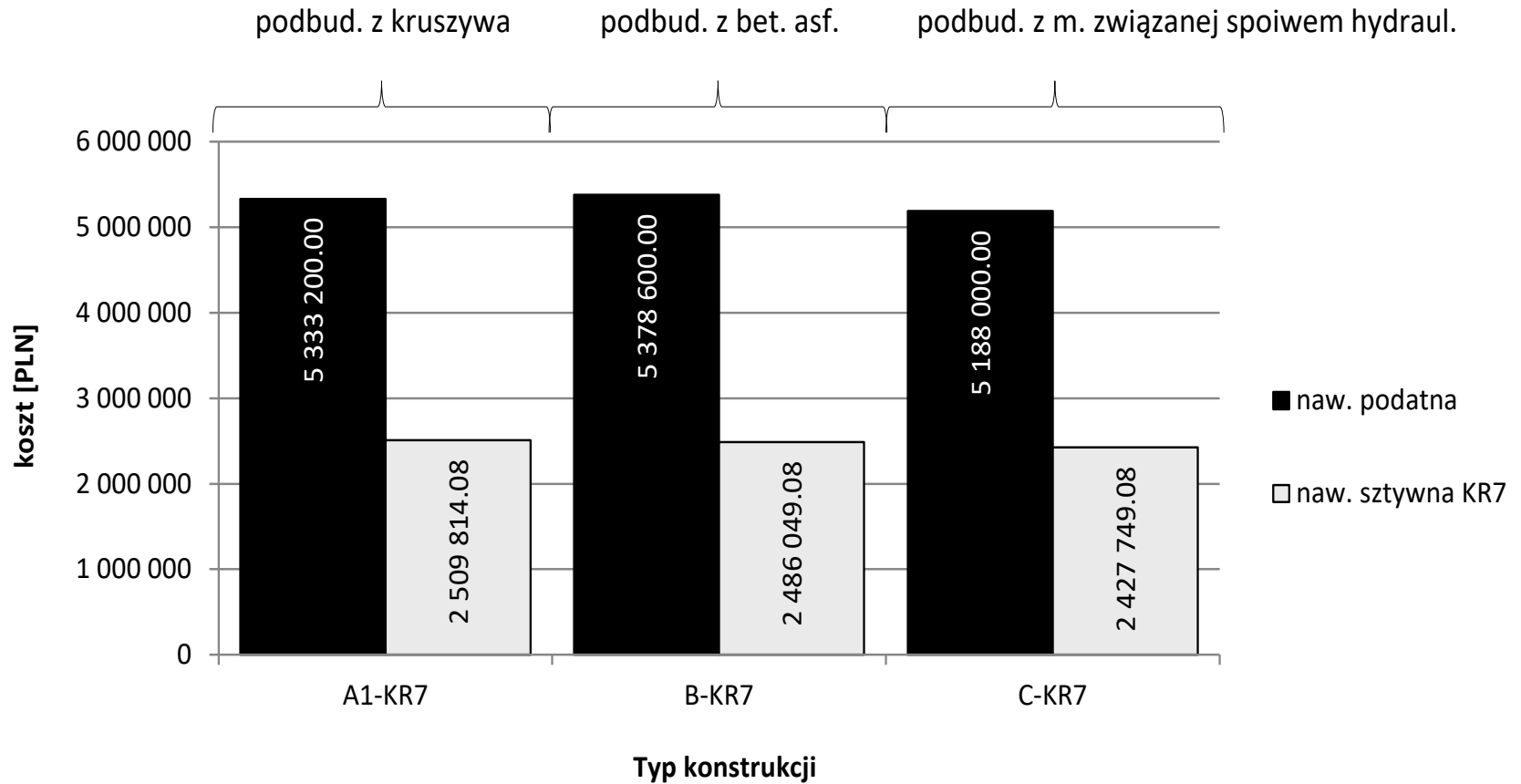
- Po 24 latach wymiana 3% płyt

- Po 27 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych

- Po 27 latach wymiana 5% płyt

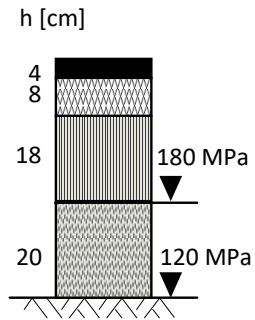
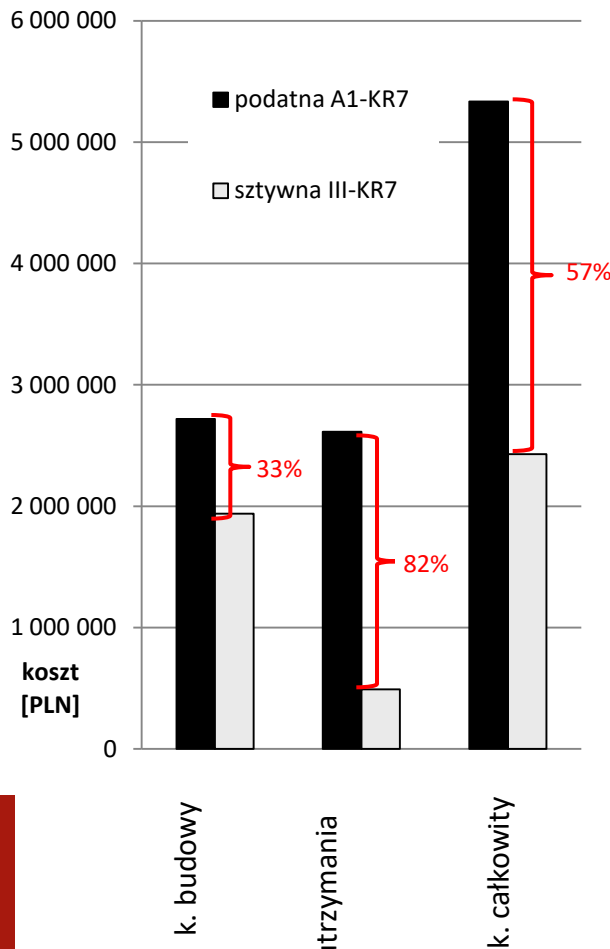


Porównanie kosztów całkowitych – budowa + utrzymanie





Koszty całkowite budowy i utrzymania po 30 latach typowych budowanych w Polsce

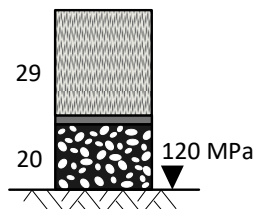


Warstwa ścieralna - SMA wg WT2

Warstwa wiążąca - AC16W wg WT2

Warstwa podbudowy - AC22P wg WT2

Warstwa podbudowy - kruszywo łamane stab. mech. C_{90/3}



Płyta betonowa C35/45, dyblowana i kotwiona

Warstwa poślizgowa – powierzchniowe utwalenie

Warstwa podbudowy – mieszanka związana spoiwem hydraulicznym C_{8/10}

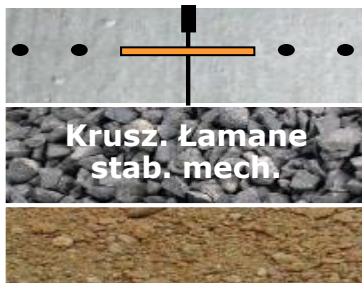


Analiza hałaśliwości nawierzchni betonowych

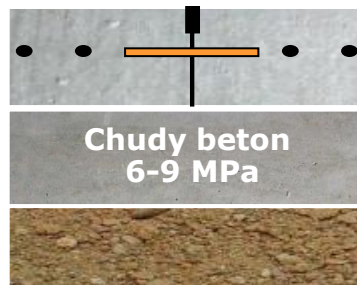
Zakład Dróg i Lotnisk - Politechnika Wroclawska

Rodzaje badanych konstrukcji nawierzchni

Płyta za szczelinami
dyblowanymi na podbudowie
z kruszywa (A4)



Płyta za szczelinami
dyblowanymi na podbudowie
z chudego betonu (A4, A2, S8)



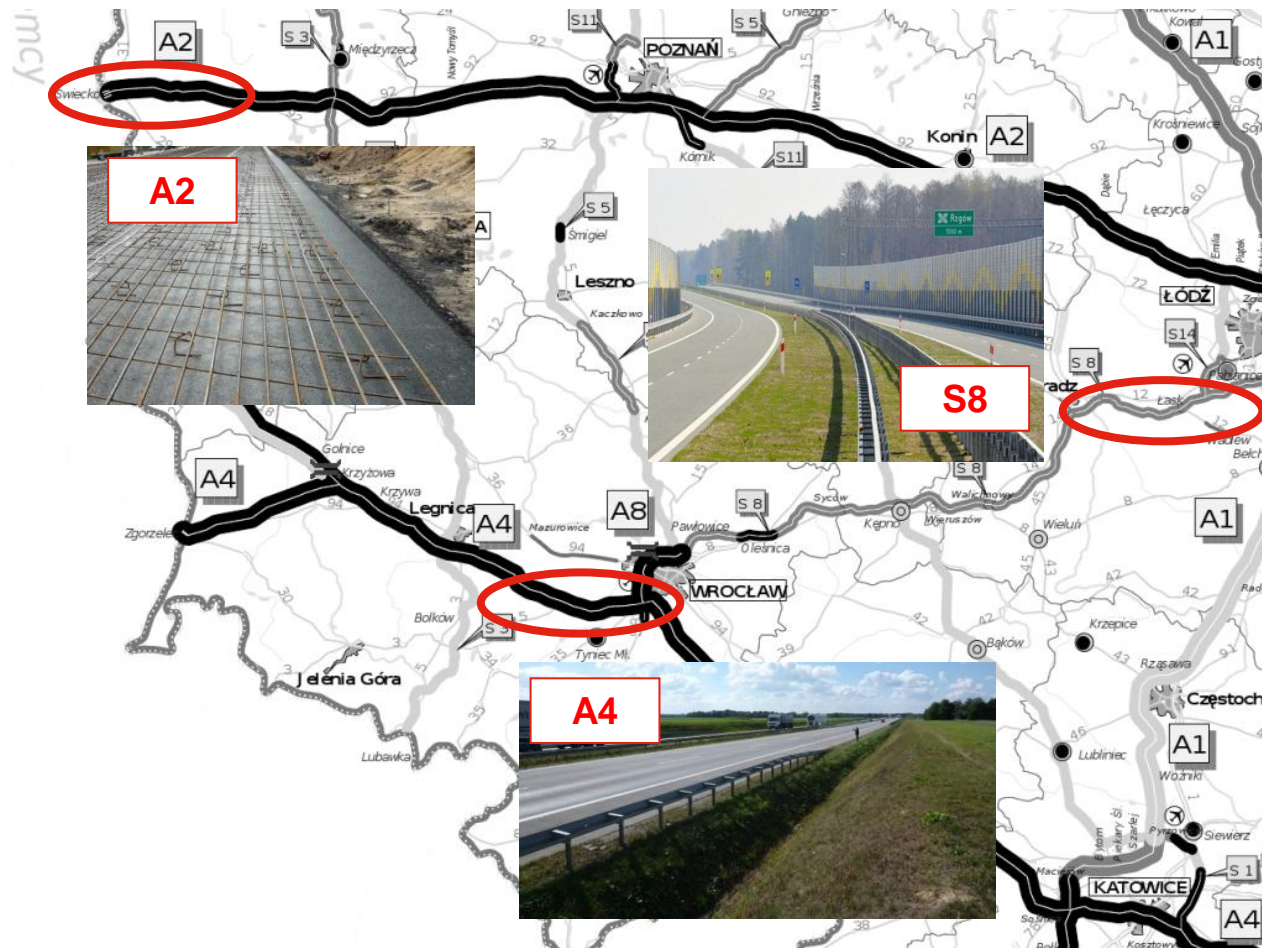
Płyta zbrojona bez szczelin
dylatacyjnych na podbudowie
z chudego betonu (A4, A2)





Analiza hałaśliwości nawierzchni betonowych Zakład Dróg i Lotnisk - Politechnika Wroclawska

Identyfikacja odcinków badawczych





Analiza hałaśliwości nawierzchni betonowych

Zakład Dróg i Lotnisk - Politechnika Wroclawska

Rodzaje badanych tekstur nawierzchni



Szczotkowanie poprzeczne

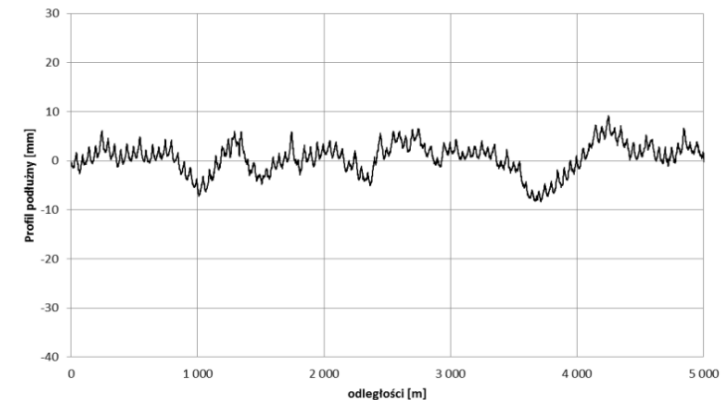
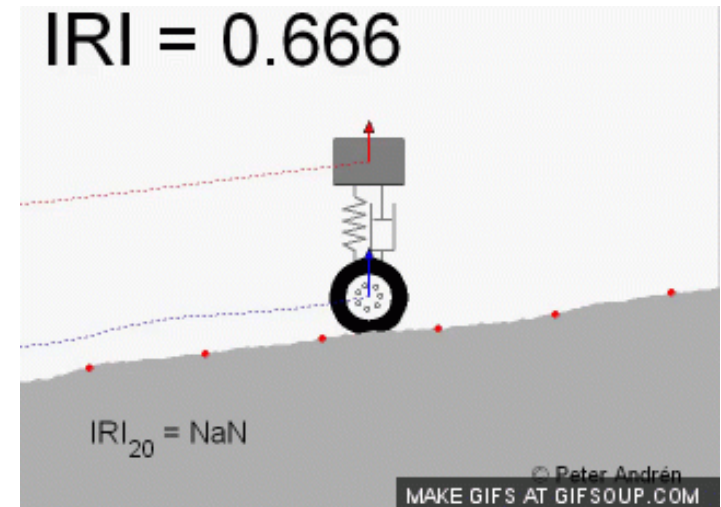
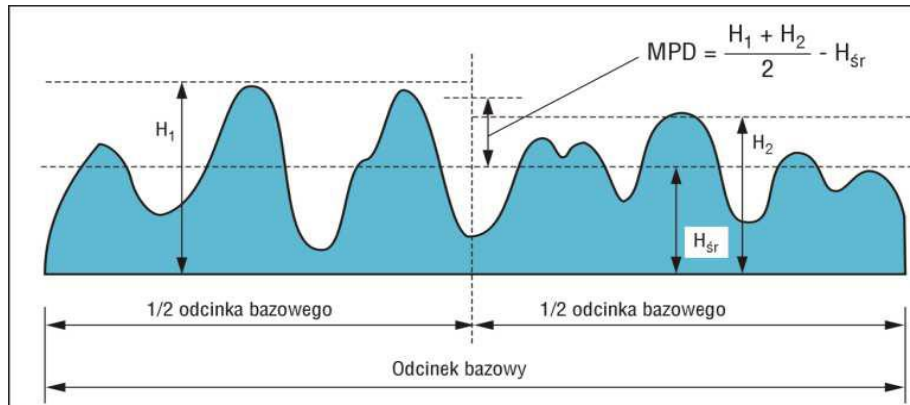


Odkryte kruszywo

Analiza hałaśliwości nawierzchni betonowych Zakład Dróg i Lotnisk - Politechnika Wroclawska

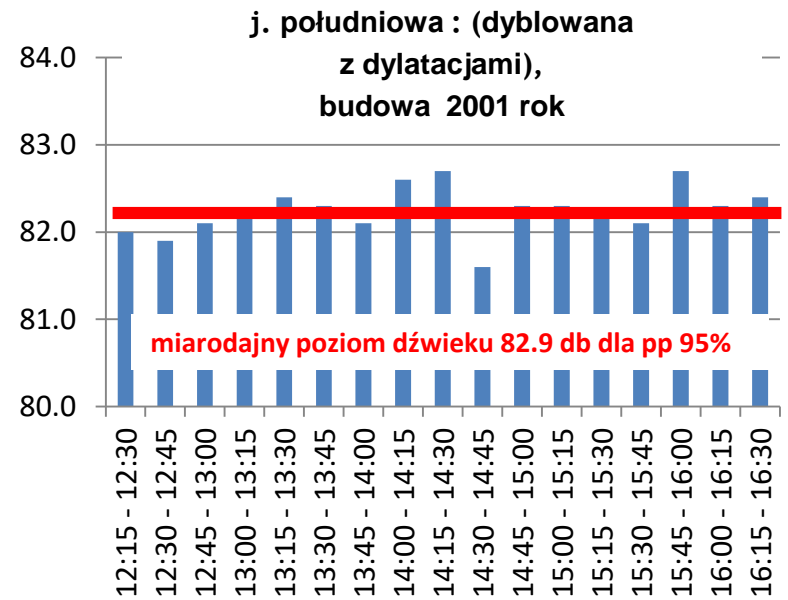
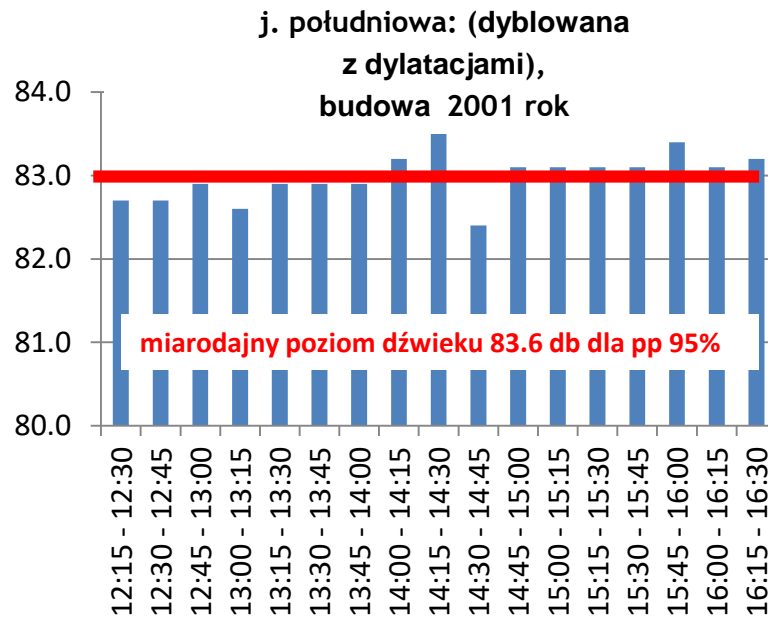
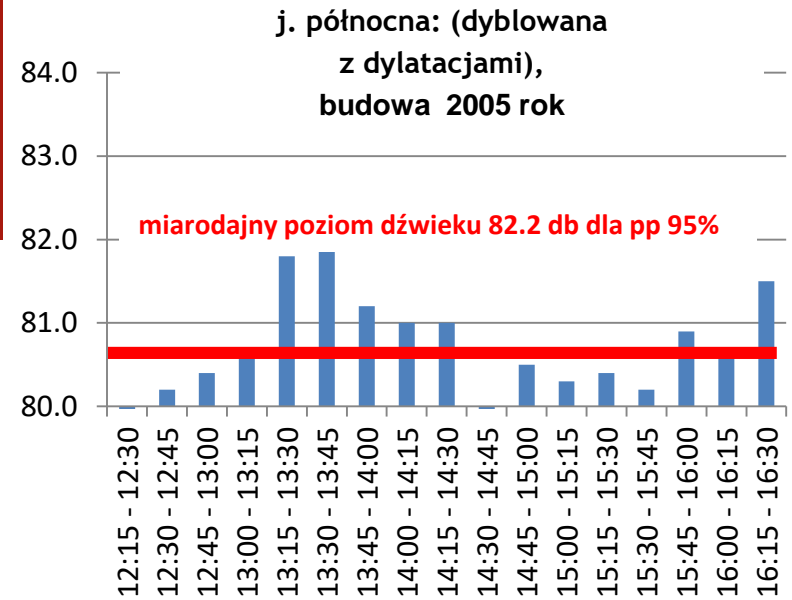
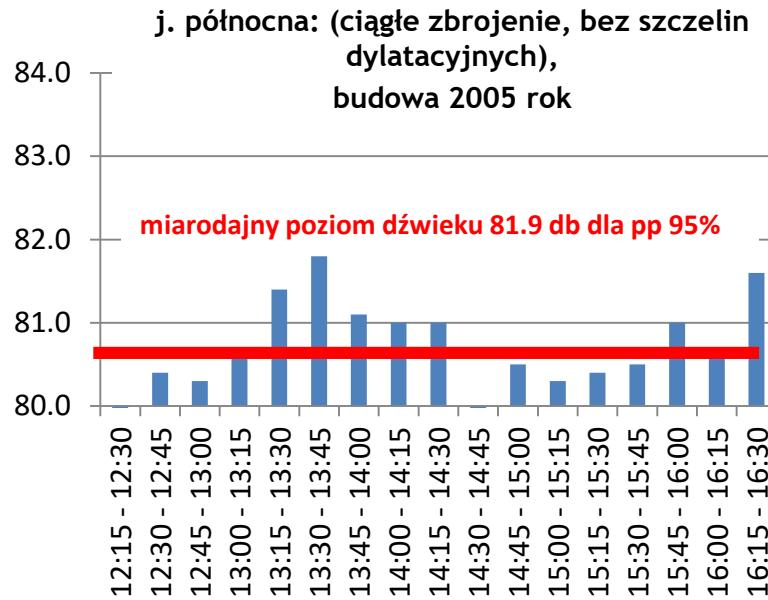
Wpływ tekstury i równości na hałaśliwość

- International Roughness Index (IRI)
- Tekstura: wskaźniki RMS i MPD





Wstępne analizy wpływu rodzaju nawierzchni na A4 na poziom dźwięku





Podsumowanie

- **Aktualnie funkcjonują normy europejskie które określają wymagania materiałowe i technologiczne**

Podsumowanie

- **Wymagania obejmują mieszanki betonowe jak i również betony oraz wykonane nawierzchnie (konsystencja, zawartość powietrza, mrozoodporność, odporność na działanie soli, wytrzymałości, wymagania odnośnie dybli kotew, cementu, kruszyw itp.)**



Podsumowanie

- Aktualnie opracowywano ogólne specyfikacje techniczne,
- Zaktualizowany został Katalog nawierzchni betonowych
- Budowa nawierzchni betonowych wyzwała pozytywną konkurencję nawierzchniami asfaltowymi



Podsumowanie - perspektywy

- **Doskonalenie nawierzchni betonowych w zakresie redukcji hałasu,**
- **Rozwój technologii whitetoppingu**
- **Prace nad koncepcją nawierzchni długowiecznych mieszanych betonowo-asfaltowych**





Dziękuję za uwagę





Ugięciomierz dynamiczny FWD



Badania nośności - utrzymanie