



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Technologia Materiałów Drogowych

prowadzący: dr inż. Marcin Bilski

**Zakład Budownictwa Drogowego
Instytut Inżynierii Lądowej
pok. 324B (bud. A2)**

marcin.bilski@put.poznan.pl

marcin.bilski.pracownik.put.poznan.pl





WYKŁAD 2

Tematyka wykładu:

- projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych,
- materiały podbudów nawierzchni drogowych - wprowadzenie.



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWYCH



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Katedra Inżynierii Drogowej

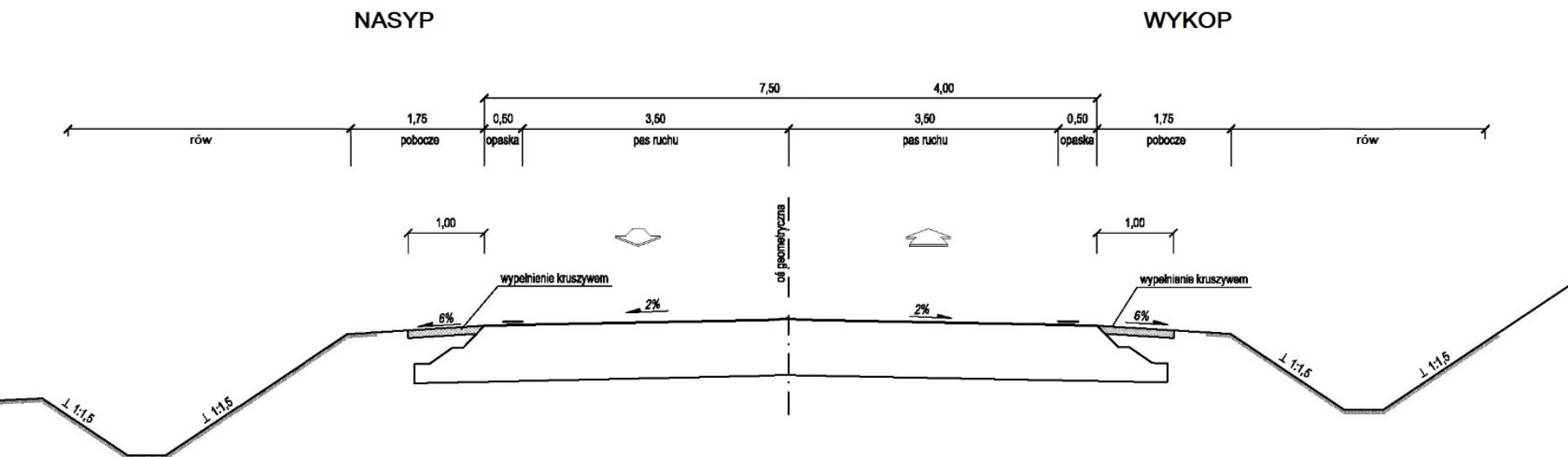
KATALOG

**TYPOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI
PODATNYCH I PÓLSZTYWNYCH**



wersja 11.03.2013

Gdańsk, 2012



Przykładowy przekrój drogi



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Procedura wymiarowania konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszanego podłoża gruntowego z użyciem katalogu





Ad. 1) Przyjęcie długości okresu projektowego konstrukcji nawierzchni w zależności od klasy drogi.



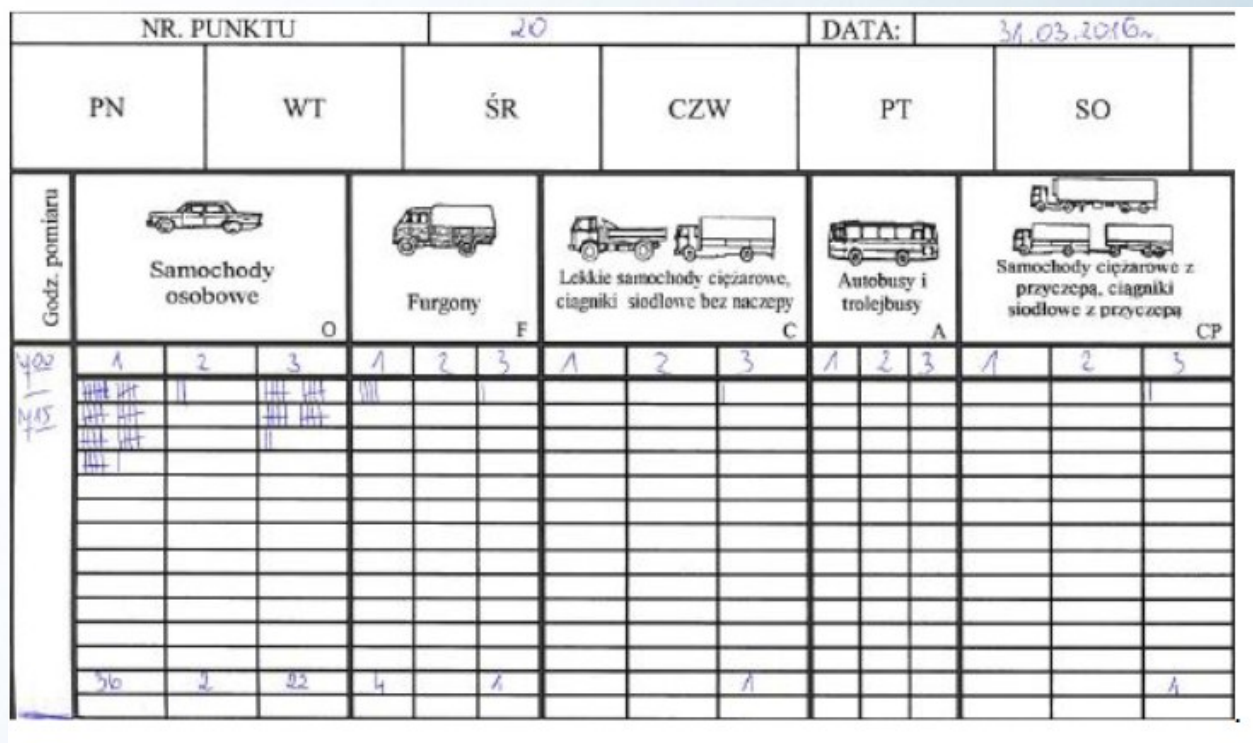
Okres projektowy wynosi w przypadku **nawierzchni podatnej/półsztywnej**:

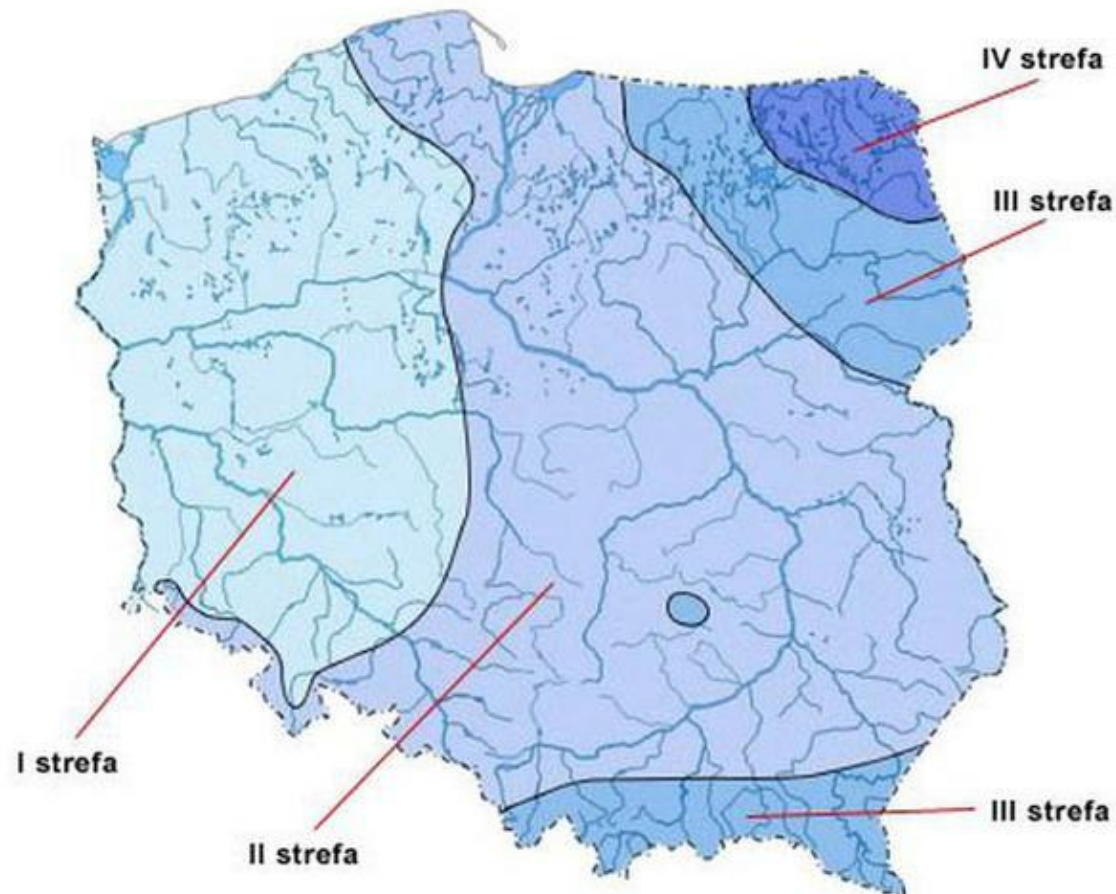
- **30 lat** w przypadku autostrad i dróg ekspresowych,
- **20 lat** w przypadku pozostałych dróg.

W przypadku **nawierzchni sztywnej** okres projektowy wynosi **30 lat**.



Ad. 2) Zebranie danych wejściowych do projektowania, dotyczących warunków geotechnicznych, obciążenia drogi ruchem i warunków klimatycznych.





Rys. 2. Strefy przemarzania gruntu w Polsce



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Ad. 3) Obliczenie ruchu projektowego i wyznaczenie kategorii ruchu.



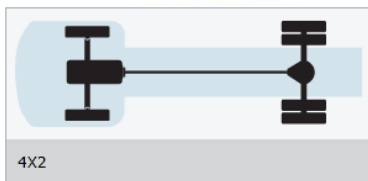


Ruch rzeczywisty przeliczany jest na **ruch projektowy** wyrażony sumaryczną liczbą **równoważnych osi standardowych 100 kN** (wszystkie konstrukcje nawierzchni) **lub 115 kN** (opcja możliwa w przypadku nawierzchni sztywnej) w całym okresie projektowym.

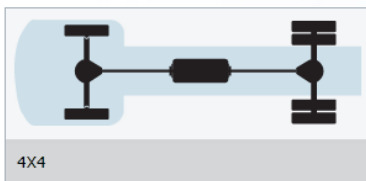
Oś standardowa – zastępcza oś pojedyncza o kołach pojedynczych i ustalonym obciążeniu (100 kN lub 115 kN).



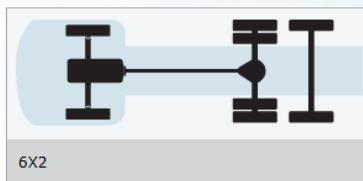
POLITECHNIKA POZNAŃSKA



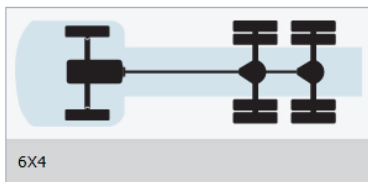
4X2



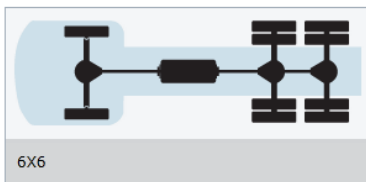
4X4



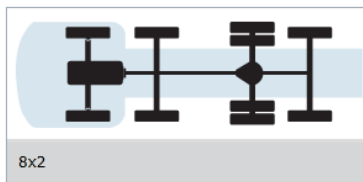
6X2



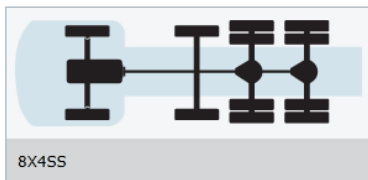
6X4



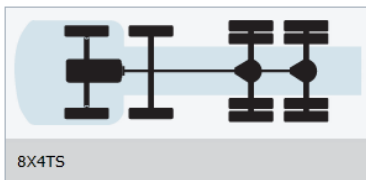
6X6



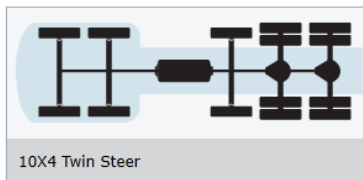
8X2



8X4SS



8X4TS

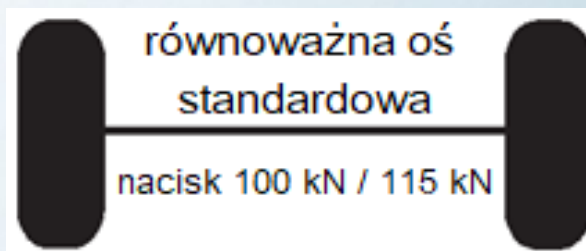


10X4 Twin Steer



Źródło: <https://truckscience.com>

Źródło: <http://www.dgslogistic.com>





Ruch projektowy, czyli sumaryczną liczbę równoważnych osi standardowych 100 kN lub 115 kN przypadającą na pas obliczeniowy w całym okresie projektowym oblicza się według wzorów:

- dla nawierzchni podatnej/półsztywnej

$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C + N_{C+P} \cdot r_{C+P} + N_A \cdot r_A)$$

- dla nawierzchni sztywnej

$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C^{100} + N_{C+P} \cdot r_{C+P}^{100} + N_A \cdot r_A^{100})$$

$$N_{115} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C^{115} + N_{C+P} \cdot r_{C+P}^{115} + N_A \cdot r_A^{115})$$



Tabela 1. Wartości współczynnika obliczeniowego pasa ruchu f_1

Lp.	Liczba pasów ruchu w dwóch kierunkach ruchu lub w jednym kierunku ruchu	Współczynnik f_1	
		N_C, N_{C+P} i N_A określone w dwóch kierunkach ruchu	N_C, N_{C+P} i N_A określone w jednym kierunku ruchu
1	2	3	4
1.	1	1,00	1,00
2.	2	0,50	0,90
3.	3	0,50	0,70
4.	4	0,45	0,70
5.	5	0,45	0,70
6.	6 i więcej	0,35	0,70



Tabela 2. Wartości współczynnika szerokości pasa ruchu f_2

Lp.	Szerokość pasa ruchu (s)	Współczynnik f_2
1	2	3
1.	$s \geq 3,50 \text{ m}$	1,00
2.	$3,00 \leq s < 3,50 \text{ m}$	1,06
3.	$2,75 \leq s < 3,00 \text{ m}$	1,13
4.	$s < 2,75 \text{ m}$	1,25



Tabela 3. Wartości współczynnika pochylenia niwelety f_3

Lp.	Pochylenie niwelety drogi (i)	Współczynnik f_3
1	2	3
1.	$i < 6\%$	1,00
2.	$6\% \leq i < 7\%$	1,10
3.	$7\% \leq i < 9\%$	1,25
4.	$9\% \leq i < 10\%$	1,35
5.	$i \geq 10\%$	1,45



Ruch rzeczywisty N_C ; N_{C+P} ; N_A oblicza się jako iloczyn:

- średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich danej kategorii (SDR),
- długości okresu projektowego (1 rok = 365 dni).



Tabela 4. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów na równoważne osie standardowe 100 kN przy podziale pojazdów na kategorie C, C+P i A w przypadku nawierzchni podatnej/półsztywnej

Lp.	Kategoria pojazdów	Przykładowe typy pojazdów	Rodzaj drogi			
			Autostrady i drogi ekspresowe	Drogi krajowe	Pozostałe drogi	
Dopuszczalne obciążenie osi pojedynczej przyjęte do projektowania nawierzchni						
115 kN	115 kN	115 kN	100 kN			
1	2	3	4	5	6	7
1.	Samochody ciężarowe bez przyczep C		0,50	0,50	0,45	0,45



Tabela 4. cd. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów na równoważne osie standardowe 100 kN przy podziale pojazdów na kategorie C, C+P i A w przypadku nawierzchni podatnej/półsztywnej

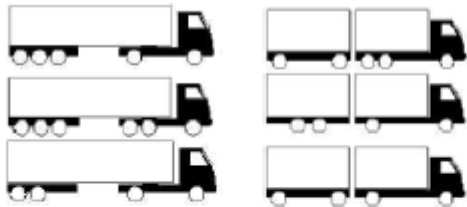
2.	Samochody ciężarowe z przyczepami C+P		1,95	1,80	1,70	1,60
3.	Autobusy A		1,25	1,20	1,15	1,05



Tabela 6. Klasyfikacja ruchu projektowego w przypadku nawierzchni podatnej/półsztywnej

Kategoria ruchu	N_{100} - sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych 100 kN w całym okresie projektowym [w milionach osi 100 kN na pas obliczeniowy]
1	2
KR1	$0,03 < N_{100} \leq 0,09$
KR2	$0,09 < N_{100} \leq 0,50$
KR3	$0,50 < N_{100} \leq 2,50$
KR4	$2,50 < N_{100} \leq 7,30$
KR5	$7,30 < N_{100} \leq 22,00$
KR6	$22,00 < N_{100} \leq 52,00$
KR7	$N_{100} > 52,00$



**Ad. 4) Ustalenie warunków gruntowo-wodnych
i grupy nośności podłoża gruntowego
nawierzchni.**



Tabela 8. Klasyfikacja warunków wodnych podłoża gruntowego nawierzchni

Lp.	Charakterystyka korpusu drogowego		Warunki wodne, gdy najwyższy poziom swobodnego zwierciadła wody gruntowej występuje na głębokości poniżej spodu konstrukcji nawierzchni		
			< 1 m	1 ÷ 2 m	> 2 m
1	2	3	4	5	6
1.	Wykopy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	złe	przeciętne	dobre
2.	Nasypy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	przeciętne	przeciętne	dobre
3.	Wykopy > 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	złe	przeciętne	dobre
4.	Nasypy > 1 m	a	złe	przeciętne	dobre
		b	przeciętne	dobre	dobre

a – pobocza nieutwardzone,

b – pobocza utwardzone i szczelne oraz dobre odprowadzenie wód powierzchniowych

UWAGA: W przypadku sączenia wody w wykopach przyjąć warunki wodne o jeden stopień gorsze niż odczytane z tablicy.



Tabela 9. Podział gruntów pod względem wysadzinowości

Lp.	Wyszczególnienie właściwości	Grupy gruntów		
		Niewysadzinowe	Wątpliwe	Wysadzinowe
1	2	3	4	5
1.	Rodzaj gruntu wg PN-B-02480 ¹⁾	• Rumosz niegliniasty (KR) • Żwir (Ż) • Pospółka (Po) • Piasek gruby (Pr) • Piasek średni (Ps) • Piasek drobny (Pd) • Żużel nierozpadowy	• Piasek pylasty (Pπ) • Zwiertzelina gliniasta (KWg) • Rumosz gliniasty (KRg) • Żwir gliniasty (Żg) • Pospółka gliniasta (Pog)	<u>Grunty mało wysadzinowe:</u> • Gлина piaszczysta zwięzła (Gpz) • Gлина zwięzła (Gz) • Іł (І) • Іł piaszczysty (Іp) • Іł pylasty (Іπ)



Tabela 9. cd. Podział gruntów pod względem wysadzinowości

1.				<u>Grunty bardzo wysadzinowe</u> • Piasek gliniasty (Pg) • Pył piaszczysty (πp) • Pył (π) • Gлина piaszczysta (Gp) • Gлина (G) • Gлина pylasta (Gπ) • Ił warwowy
2.	Zawartość cząstek, wg PKN-CEN ISO/TS 17892-4, [%] $\leq 0,063$ mm $\leq 0,02$ mm	< 15 < 3	od 15 do 30 od 3 do 10	> 30 > 10
3.	Wskaźnik piaskowy wg BN-64/8931-01 ¹⁾ [%]	> 35	od 25 do 35	< 25



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Występują cztery grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni: G1, G2, G3 i G4.





Źródło: <https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimg-816f41aa677f94554164d842b20f9998-c>



Tabela 10. Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego nawierzchni G_i

Lp.	Grupa nośności podłoża gruntowego G_i	Wskaźnik nośności CBR po 4 dniach nasączania wodą ¹⁾ [%]	Wtórny moduł odkształcenia E_2 ¹⁾ [MPa]
1	2	3	4
1.	G1	$CBR \geq 10$	$E_2 \geq 80$
2.	G2	$5 \leq CBR < 10$	$50 \leq E_2 < 80$
3.	G3	$3 \leq CBR < 5$	$35 \leq E_2 < 50$
4.	G4	$2 \leq CBR < 3$	$25 \leq E_2 < 35$

1) warunki badania przyjęć wg normy PN-S-02205:1998



Tabela 11. Grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych

Lp.	Rodzaj gruntu podłoża nawierzchni wg tablicy 8.2	Grupa nośności podłoża gruntowego nawierzchni, gdy warunki wodne są:		
		dobre	przeciętne	złe
1	2	3	4	5
1.	Grunty niewysadzinowe	G1	G1	G1
2.	Grunty wątpliwe	G2	G2	G3
3.	Grunty mało wysadzinowe ¹⁾	G3	G4	G4
4.	Grunty bardzo wysadzinowe ¹⁾	G4	G4	G4

Uwaga 1) W stanie zwartym lub twardeplastycznym ($I_L \leq 0,25$ lub $I_c \geq 0,75$ wg PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2:2012 tablica 6); grunty wysadzinowe w stanie plastycznym, miękkoplastycznym lub bardzo miękkoplastycznym wykazują wartość wskaźnika CBR < 2% i wymagają indywidualnego projektowania.



Ad. 5) Wybór typowego rozwiązania warstwy ulepszanego podłoża oraz dolnych warstw konstrukcji nawierzchni w zależności od kategorii ruchu oraz rodzaju materiałów przyjętych do poszczególnych warstw.



Tabela 12. Wymagania w zakresie nośności na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni w zależności od kategorii ruchu

Lp.	Kategoria ruchu	Wymagana nośność na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni
1	2	3
1.	KR1-KR2	$E_2 \geq 80 \text{ MPa}$
2.	KR3-KR4	$E_2 \geq 100 \text{ MPa}$
3.	KR5-KR7	$E_2 \geq 120 \text{ MPa}$



Źródło: https://1.bp.blogspot.com/-vrYk_BTAc6k/VFY0xxqUhnI/AAAAAAAAACM/ZlInpoTBYeI/s1600/vss-1.jpg

Tabela 13. Typowe rozwiązania dolnych warstw konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża w przypadku kategorii ruchu KR5, KR6 i KR7 ($E_2 \geq 120 \text{ MPa}$)

		TYP 1	TYP 2	TYP 3	TYP 4
GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA	G4				
	G3				
	G2				
	G1				

LEGENDA:

PP - podbudowa pomocnicza
 WM - warstwa mrozochronna
 WUP - warstwa ulepszonego podłoża
 ▴ - wymagany wtórny moduł odkształcenia E_2

WUP* W przypadku typów 2 i 4 dla grupy nośności G2 WUP celowo przyjęta nad warstwą o nośności 50 MPa ze względu na ujednolicenie technologii z konstrukcjami podanymi w przypadku G3 i G4

UWAGA:

- 1) Wymagania materiałowe według rozdziału 7
- 2) Zasady wykonania warstw według rozdziału 9
- 3) Grubości warstw "h" podano w [cm]



podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym;



podbudowa pomocnicza z mieszanki niezwiązanej o CBR $\geq 60\%$;



warstwa mrozochronna z mieszanki niezwiązanej lub gruntu niewysadzinowego (naturalnego lub antropogenicznego) o CBR $\geq 35\%$;
 o ile to konieczne warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$;

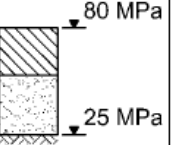
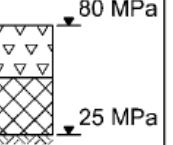
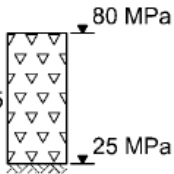
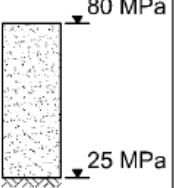
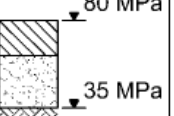
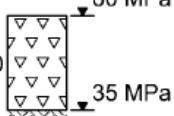
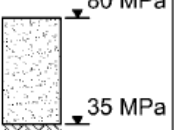
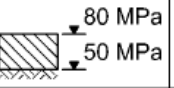
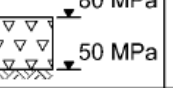
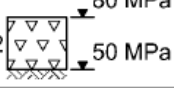
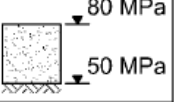


warstwa ulepszonego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym lub wapnem;



warstwa ulepszonego podłoża z mieszanki niezwiązanej lub z gruntu niewysadzinowego (naturalnego lub antropogenicznego) o CBR $\geq 20\%$;
 o ile to konieczne warstwa ulepszonego podłoża pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$;

Tabela 15. Typowe rozwiązania dolnych warstw konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża w przypadku kategorii ruchu KR1 i KR2 ($E_2 \geq 80 \text{ MPa}$)

		TYP 10 (nie stosuje się, gdy wymagana jest warstwa odsączająca)	TYP 11	TYP 12	TYP 13	TYP 14	LEGENDA:
GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA	G4						LEGENDA: PP - podbudowa pomocnicza WM - warstwa mrozochronna WUP - warstwa ulepszonego podłoża  - wymagany wtórny moduł odkształcenia E_2 UWAGA: 1) Wymagania materiałowe według rozdziału 7 2) Zasady wykonania warstw według rozdziału 9 3) Grubości warstw "h" podano w [cm]
	G3						
	G2						
	G1	Nie stosuje się	Nie stosuje się	Nie stosuje się	Nie stosuje się	Nie stosuje się	

	warstwa mrozochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym lub gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym lub wapnem;
	warstwa mrozochronna z mieszanki niezwiązanej lub gruntu niewysadzinowego (naturalnego lub antropogenicznego) o CBR $\geq 25\%$; o ile to konieczne warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$;
	warstwa ulepszonego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym lub wapnem;
	warstwa ulepszonego podłoża z mieszanki niezwiązanej lub z gruntu niewysadzinowego (naturalnego lub antropogenicznego) o CBR $\geq 20\%$; o ile to konieczne warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$;



Ad. 6) Sprawdzenie potrzeby zastosowania warstwy odsączającej i w razie takiej potrzeby nadanie tej funkcji warstwie mrozoochronnej lub warstwie ulepszanego podłoża.



Ad. 7) Sprawdzenie potrzeby zastosowania warstwy odcinającej i w razie takiej potrzeby zaprojektowanie tej warstwy.



Ad. 8) Wybór typowego rozwiązania górnych warstw konstrukcji nawierzchni w zależności od projektowanego materiału podbudowy zasadniczej.

Tabela 16. TYP A1 - Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni podatnych. Podbudowa zasadnicza: beton asfaltowy AC, mieszanka niezwiązana z kruszywem C_{90/3}

Kategoria ruchu	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy (mln osi 100 kN)	0,03 - 0,09	0,09 - 0,5	0,5 - 2,5	2,5 - 7,4	7,4 - 22,0	22,0 - 52,0	> 52,0
TYP A1							

LEGENDA:

- warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej;
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego;
- warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego;
- warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C_{90/3};
- wymagany wtórny moduł odkształcenia E₂

Tabela 27. Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni sztywnych. Podbudowa zasadnicza: grunt stabilizowany spoiwem hydraulicznym $C_{3/4}$, $C_{5/6}$

[illegible]



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

**Ad. 9) Sprawdzenie warunku wymaganej odporności
nawierzchni na wysadziny.**





Rys. 3. Głębokość przemarzania gruntu h_z wg PN-81/B-03020



Tabela 28. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadzinę

Lp.	Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych		
		G2	G3	G4
1	2	3	4	5
1.	KR1	0,40 h _z	0,50 h _z	0,60 h _z
2.	KR2	0,45 h _z	0,55 h _z	0,65 h _z
3.	KR3	0,50 h _z	0,60 h _z	0,70 h _z
4.	KR4	0,55 h _z	0,65 h _z	0,75 h _z
5.	KR5	0,60 h _z	0,70 h _z	0,80 h _z
6.	KR6 i KR7	0,65 h _z	0,75 h _z	0,85 h _z



Ad. 10) W przypadku niespełnienia warunku wymaganej odporności nawierzchni na wysadziny odpowiednie zwiększenie grubości warstwy mrozochronnej lub warstwy ulepszanego podłoża. Ponowne sprawdzenie warunku wymaganej odporności nawierzchni na wysadziny.



**Ad. 11) Przyjęcie rozwiązania przeciwdziałającego
spękanom odbitym w przypadku
zastosowania nawierzchni półsztywnej.**



Ad. 12) Określenie podstawowych wymagań materiałowych dotyczących wykonania poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni.



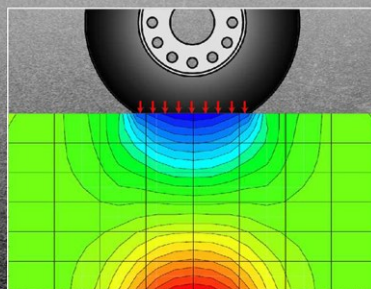
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych

Józef Judycki

Redaktor pracy zbiorowej



WKŁ

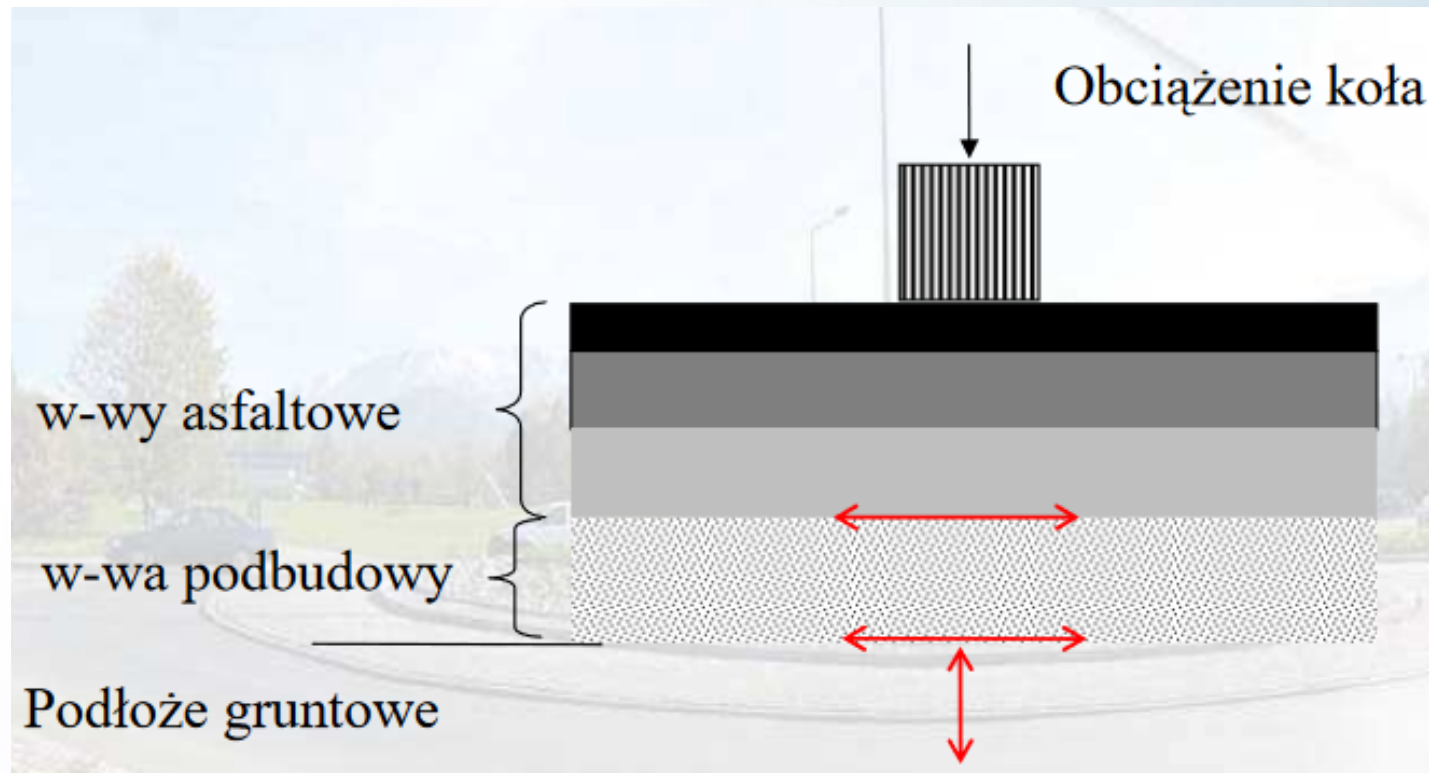
Józef Judycki, Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, WKiŁ, Warszawa 2015



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWYCH METODAMI MECHANISTYCZNO- EMPIRYCZNYMI





Źródło: http://edroga.pl/images/stories/dim_projektowanie/projektowanie_mechanistyczno_empiryczne/referat_dawid_siemienski.pdf



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWYCH METODĄ UGIĘĆ





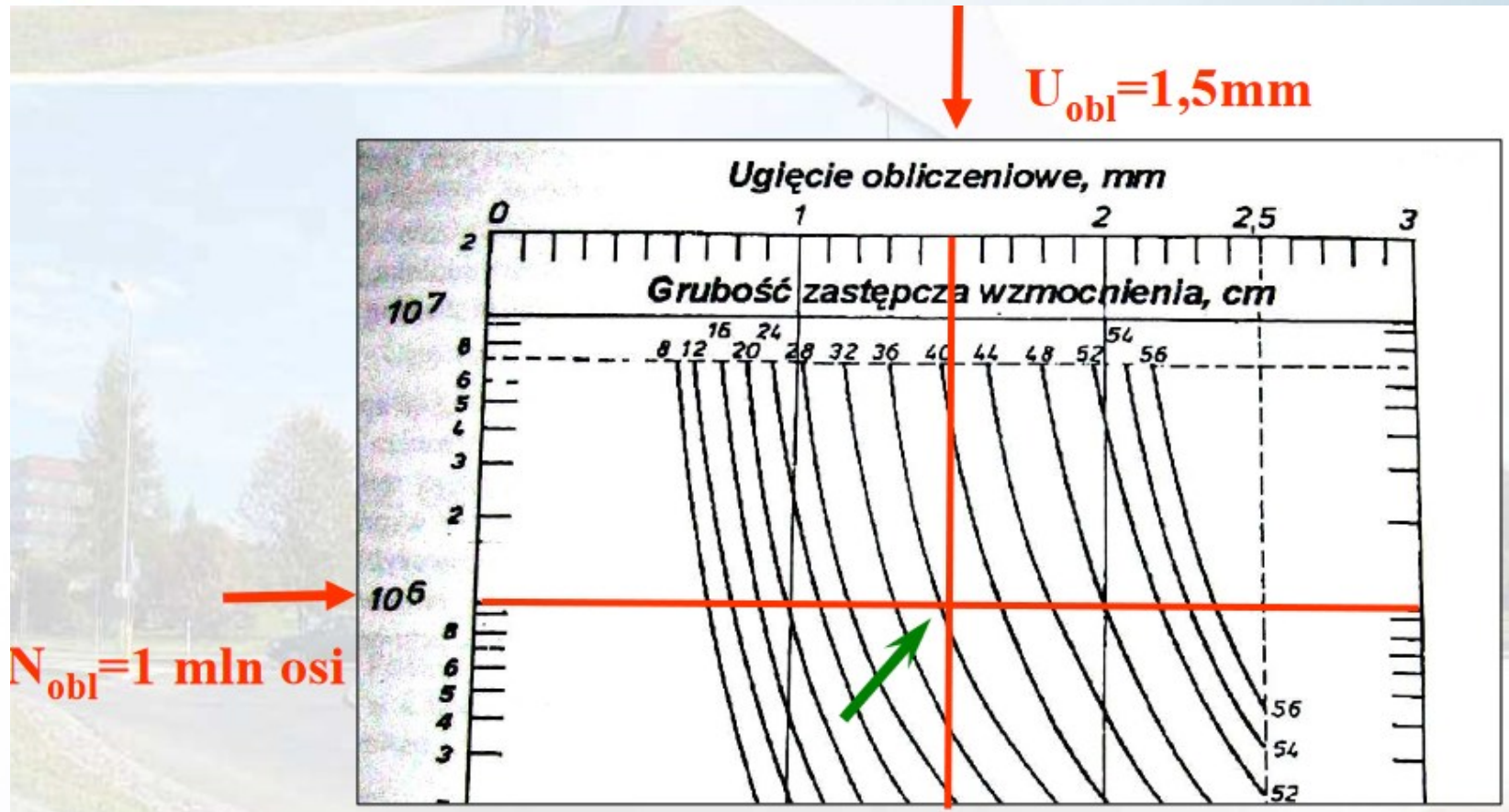
Pomiar ugięć przy użyciu belki benkelmana (metoda statyczna)

Źródło: <https://www.pgaqua.pl/>



Metodą ugięć:

- **wyznacza się zastępczą grubość wzmocnienia na podstawie nomogramu,**
- **oblicza grubości poszczególnych warstw dzięki współczynnikom materiałowym.**

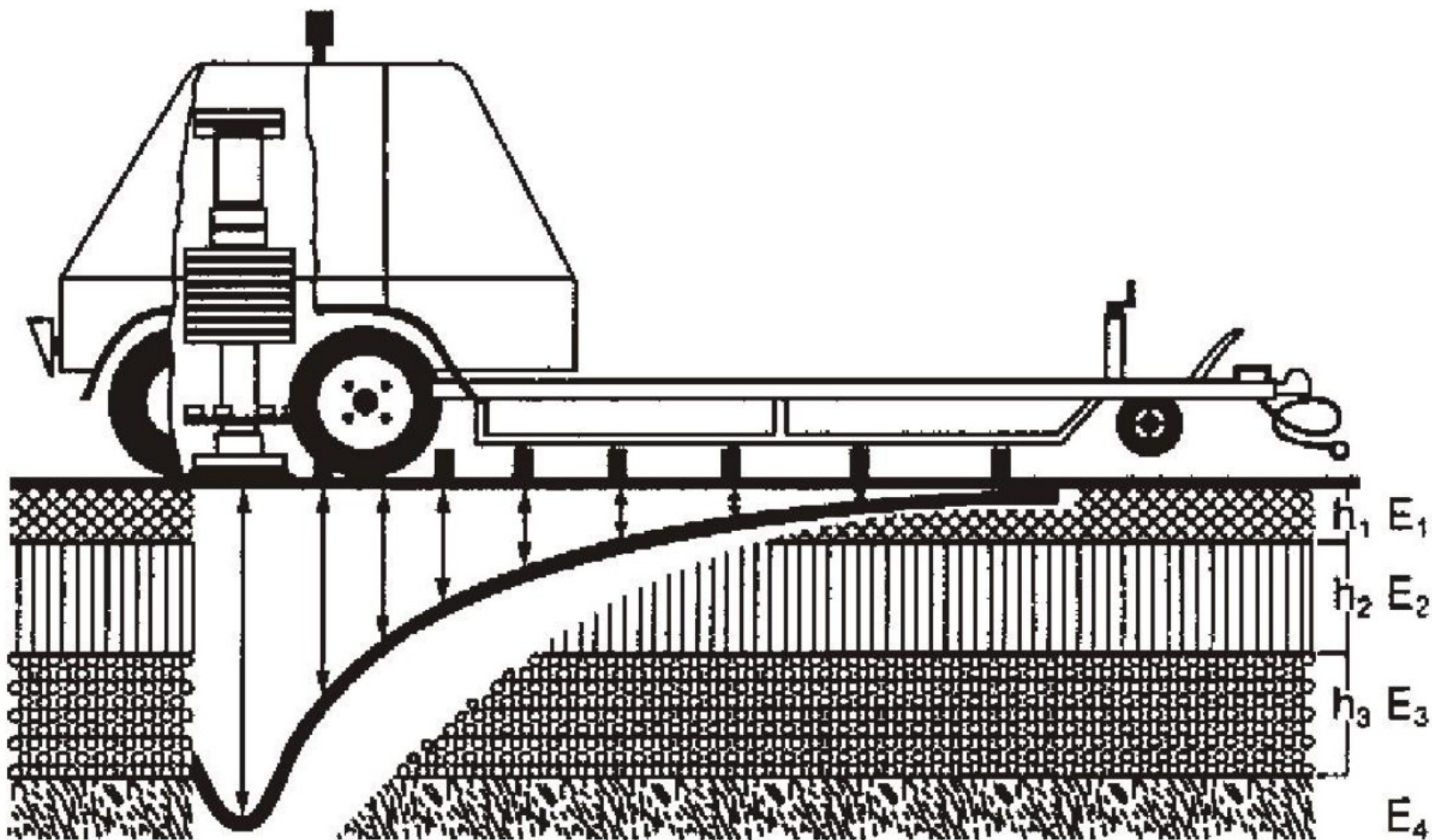


Źródło: http://edroga.pl/images/stories/dim_projektowanie/projektowanie_mechanistyczno_empiryczne/referat_dawid_siemienski.pdf



Rys.5. Pomiar ugięć przy użyciu ugięciomierza dynamicznego FWD

Źródło: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435//documents/sprawozdanie-td-80.pdf



Rys.6. Schemat badania ugięciomierzem FWD (wraz z czasem ugięć)

Źródło: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435//documents/sprawozdanie-td-80.pdf



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MATERIAŁY PODBUDÓW NAWIERZCHNI DROGOWYCH



Materiały wykorzystywane w warstwie podbudowy w nawierzchni drogowej:

- mieszanka mineralno-asfaltowa typu beton asfaltowy AC,**
- mieszanka niezwiązana z kruszywa lub gruntu,**
- mieszanka związana spoiwem hydraulicznym z kruszywa lub gruntu,**
- pianobeton, keramzyt.**



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

