

Przykład obliczania konstrukcji nawierzchni metodą katalogową

1. Założenia

W projekcie będzie obliczana konstrukcja nawierzchni metoda katalogową według Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (link do pobrania: [KTKNPP](#)). Projekt będzie opierał się na projekcie odcinka drogi długości około 500-700 m z wcześniejszego semestru plus dodatkowe założenia dotyczące warunków gruntowych i obciążenia ruchem.

UWAGA: wszystkie odwołania do punktów lub tabel odnoszą się do KTKNPP jeżeli nie zaznaczono inaczej.

Założenia do projektu:

- droga o przekroju 2/2 klasy GP bez poboczy utwardzonych
- lokalizacja drogi: Łódź
- obciążenie ruchem określone w dwóch kierunkach ruchu (sumaryczna liczba pojazdów w ciągu 20 lat)
 - N_C – liczba samochodów ciężarowych: 8 024 525 sztuk
 - N_{C+P} – liczba samochodów ciężarowych z przyczepami: 8 885 560 sztuk
 - N_A – liczba autobusów: 4 761 790 sztuk

2. Określenie kategorii ruchu

Obciążenie ruchem obliczane jest na podstawie liczby pojazdów ciężkich (definicja: pkt. 3.1): samochodów ciężarowych, ciężarowych z przyczepami i autobusów w okresie projektowym zależnym od klasy technicznej drogi (pkt 6.15) – 20 lub 30 lat. Dla drogi klasy GP okres projektowy wynosi 20 lat. Ruch projektowy na który obliczana jest konstrukcja nawierzchni wyrażana jest za pomocą sumarycznej liczby równoważnych osi standardowych 100 kN (pkt. 3.5). Przeliczenie ruchu rzeczywistego na na ruch projektowy dokonuje się za pomocą wzoru 6.1 z katalogu:

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

f_1 - jest współczynnikiem obliczeniowego pasa ruchu przyjmowanym na podstawie tablicy 6.4. W przykładzie mamy drogę dwujezdniową po dwa pasy ruchu w każdym kierunku (łącznie 4 pasy ruchu). Ruch określony jest na dwóch kierunkach, stąd z tabeli z kolumny 3 odczytujemy wartość współczynnika $f_1 = 0,45$

f_2 - jest współczynnikiem szerokości pas ruchu przyjmowanym na podstawie tablicy 6.5. W przykładzie szerokość pasa ruchu dla drogi klasy GP wynosi 3,5 m, stąd wartość współczynnika $f_2 = 1,0$

f_3 - jest współczynnikiem zależnym od pochylenia podłużnego odcinka drogi. Przyjmuje się tu wartość bezwzględną pochylenia podłużnego, bez względu czy jest wzniesienie czy

Tablica 6.4. Współczynniki 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
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
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

Tablica 6.5. Współczynniki szerokości pasa ruchu f_2

Lp.	Szerokość pasa ruchu (s)	Współczynnik
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1.	$s \geq 3,50$ m	1,00
2.	$3,00 \leq s < 3,50$ m	1,06
3.	$2,75 \leq s < 3,00$ m	1,13
4.	$s < 2,75$ m	1,25

spadek. Uwzględnia się go dla wartości pochylenia podłużnego drogi większego niż 6% zgodnie z tablicą 6.6. W przykładzie projektowym pochylenie podłużne odcinka drogi jest równe 0,46%, stąd wartość współczynnika $f_3 = 1,0$. Do obliczeń można przyjąć maksymalną wartość pochylenia podłużnego lub policzyć średnią ważoną pochylenia podłużnego dla całego odcinka i dla tej wartości przyjąć współczynnik f_3 . Proszę zaznaczyć w projekcie który sposób został wybrany.




Tablica 6.6. Współczynniki pochylenia niwelety f_3

Lp.	Pochylenie niwelety drogi (i)	Współczynnik f_3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
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

Wartości współczynników r_C, r_{C+P}, r_A odczytujemy z tablicy 6.3 w zależności od rodzaju drogi. Wyróżnione tu mamy:

- autostrady i drogi ekspresowe
- drogi krajowe (UWAGA: zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa Dz. U. 2016 poz 124 do dróg krajowych zaliczamy drogi klasy A, S i GP. Ponieważ drogi klasy A i S zostały wymienione wcześniej zostają tu tylko drogi klasy GP)
- pozostałe drogi

Tablica 6.3. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów na równoważne osie standardowe 100 kN przy podziale pojazdów na kategorie C, C+P i A

Lp.	Kategoria pojazdów	Przykładowe typy pojazdów	Rodzaj drogi			
			Autostrady i drogi ekspresowe	Drogi krajowe	Pozostałe drogi	
			Dopuszczalny nacisk 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
2.	Samochody ciężarowe z przyczepami i C+P		1,95	1,80	1,70	1,60
3.	Autobusy A		1,25	1,20	1,15	1,05

Projektowana droga jest klasy GP, zaliczać się będzie do dróg krajowych. Dopuszczalne obciążenie osi napędowej wynosi 115 kN. Dla niższych klas dróg mamy możliwość wyboru 100 lub 115 kN, w projekcie proszę przyjąć obciążenie osi równe 115 kN. Na tej podstawie wartości współczynników przeliczeniowych na standardowe osie równoważne wynoszą:

- $r_C = 0,50$
- $r_{C+P} = 1,80$
- $r_A = 1,20$

Podstawiając dane z przykładu do wzoru otrzymamy:

$$N_{100} = 0,45 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot (8024525 \cdot 0,50 + 8885560 \cdot 1,80 + 4761790 \cdot 1,20) = 11574188$$

$N_{100} = 11,6 \text{ mln}$ standardowych osi równoważnych

Na tej podstawie odczytujemy kategorię ruchu z tablicy 6.1. Dla obliczonego N_{100} odczytujemy kategorię ruchu **KR5**

Tablica 6.1. Klasyfikacja ruchu projektowego

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	$N_{100} > 52,00$

3. Określenie warunków gruntowo-wodnych

Warunki gruntowo-wodne określamy na podstawie przebiegu niwelety oraz profili geotechnicznych. Do projektu należy wykonać niweletę przebiegu drogi z zaznaczeniem potrzebnych danych jak w przykładzie. Należy zmienić dolną tabelkę i podać następujące dane:

- Wykop/nasyp – podajemy czy droga biegnie w wykopie czy w nasypie oraz czy wysokość/głębokość jest większa czy mniejsza niż 1 m. W punkcie 7.7 katalogu podana jest definicja wysokości nasypu i głębokości wykopu. Proszę również zaznaczyć w tym miejscu jaka jest średnia wysokość czy głębokość z dokładnością do 5 cm.
- Grupa nośności podłoża – określona na podstawie obliczeń.
- ZWG – odległość zwierciadła wody gruntowej od spodu konstrukcji nawierzchni.
- Warunki wodne – jak wyszło z obliczeń.
- Podłoże gruntowe – grunt w podłożu na jaki będziemy projektować konstrukcję nawierzchni – jaki wyszedł z obliczeń.
- Konstrukcja nawierzchni – przyjęta konstrukcja nawierzchni – nie musi to być ta co wyszła z obliczeń. Na koniec będzie robiona optymalizacja konstrukcji, tak aby jak najrzadziej zmieniać konstrukcję nawierzchni na odcinku.

Na początku należy podzielić drogę na odcinki jednorodne - takie gdzie mamy nasyp lub wykop o zbliżonej wysokości i taki sam grunt w podłożu. Zaczynamy od podzielenia drogi na odcinki w nasypie i w wykopie, a następnie dzielimy je pod względem wysokości lub głębokości – do 1 m i powyżej 1 m. Ustalamy też średnią wysokość/głębokość z dokładnością do 5 cm. Zwracamy uwagę, żeby nie było dużych różnic wysokości na długości odcinka. Jeżeli są to lepiej podzielić go na mniejsze.

Karta nr 1

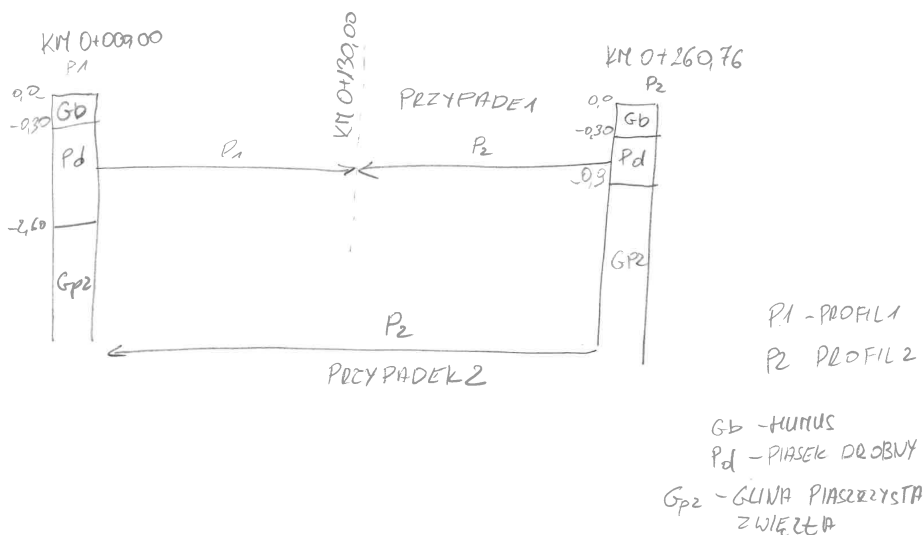


POZIOM ODNIESIENIA 254.00

Rzędne niwelety	269.26 269.31 269.35 269.40 269.44 269.49 269.54 269.58 269.63 269.67 269.72 269.77 269.81 269.86 269.91 269.95 270.00 270.04 270.09 270.14 270.18 270.23 270.27 270.32 270.37 270.41 270.46 270.50 270.55 270.60 270.64 270.69 270.74
Rzędne istniejące	267.76 267.76 267.78 267.78 267.79 267.80 267.81 267.83 267.85 267.88 267.89 267.91 267.94 267.99 268.11 268.08 268.04 267.99 267.95 267.84 267.66 267.49 267.32 267.16 266.99 266.81 266.63 266.45 266.26 266.12 265.98 265.86 265.74
Wykop / Nasyp	Nasyp > 1 m (średnio 2,55m)
Grupa nośności podłoża	G1
ZWG	1,75 m
Warunki wodne	Dobre
Grunt w podłożu	Po CBR=29%
Konstrukcja nawierzchni	P1
Kilometraż	0+000 0+100 0+200 0+270,00 0+300

3.1. Warunki wodne

Po podzieleniu drogi na odcinki o zbliżonej wysokości należy określić jakie grunty mamy w podłożu. Robimy to na podstawie profili geotechnicznych otrzymanych w założeniach do projektu. Profile te wykonane są w jednym miejscu, dlatego należy interpolować to co dzieje się pomiędzy nimi. Poniższy rysunek pokazuje jak można to zrobić.

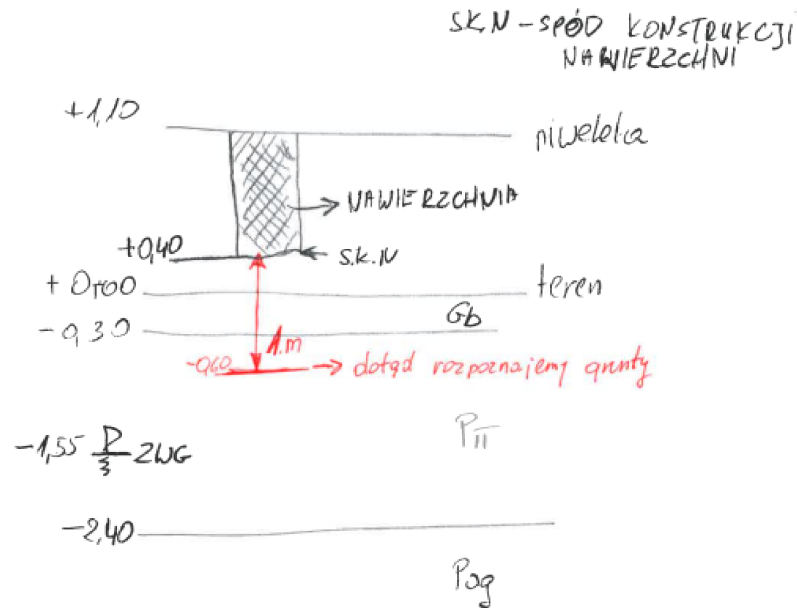


W pierwszym przypadku możemy założyć, że każdy profil obowiązuje do połowy odległości między sąsiednimi profilami. W drugim przypadku możemy założyć, że bardziej niekorzystny profil rozciąga się na całej długości pomiędzy sąsiednimi profilami. Robiąc projekt proszę się zdecydować na jeden z tych sposobów. Po ustaleniu zakresu obowiązywania przekrojów należy zaznaczyć je na niwelicie drogi w wierszu podłoża gruntowe. Mamy teraz wydzielone odcinki jednorodne, ograniczone jednocześnie przez wykop/nasyp i grunty w podłożu. W przykładzie grunty będą określone na podstawie poniższej karty dokumentacyjnej.

Karta dokumentacyjna otworu badawczego nr 4
KM 1+270,00

skala pionowa [m]	ZMG [m] ppt	profil litologiczny	głębokość [m]	grubość warstwy [m]	Opis makroskopowy			
					Rodzaj gruntu	CBR [%]	stan gruntu	wskaznik plastyczny
		Gb	0,30	0,30	humus			
1,0	1,55	Pπ		2,10	piasek pylasty ciemnobrązowy	9,7	szg	26
2,0			2,40					
3,0		Pog			pospółka gliniasta ciemnozółta	7,2	pzw	32
4,0								

Dla każdego odcinka jednorodnego musimy narysować teraz schemat, który pokaże przebieg drogi względem warstw podłoża tak jak na poniższym rysunku.



Musimy tutaj wstępnie założyć grubość konstrukcji nawierzchni, ponieważ grunty oraz położenie zwierciadła wody gruntowej ustalamy względem spodu konstrukcji nawierzchni. Dla kategorii ruchu KR5 możemy założyć, że konstrukcja będzie mieć grubość 70 cm. Grunty w podłożu należy rozpoznać do głębokości 1 m od spodu warstw konstrukcji nawierzchni (pkt 7.4 Katalogu). Licząc od góry mamy:

- 40 cm gruntu nasypowego
- 30 cm humusu – będzie zastąpiony gruntem nasypowym
- 30 cm gruntu rodzimego - piasku pylastego o $CBR = 9,7\%$

Ponieważ do głębokości 1 metra mamy różne grunty, do dalszych obliczeń wybieramy najbardziej niekorzystny grunt z tych trzech powyższych. Dokonujemy tego na podstawie tablicy 7.2. Najlepsze są grunty niewysadzinowe, najgorsze bardzo wysadzinowe.

Tablica 7.2. 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⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Rumosz niegliński (KR) • Żwir (Ż) • Pospółka (Po) • Piasek gruby (Pr) • Piasek średni (Ps) • Piasek drobny (Pd) • Żużel nierozpadowy 	<ul style="list-style-type: none"> • Piasek pylasty (Pn) • Zwierzelina gliniasta (KWg) • Rumosz gliniasty (KRg) • Żwir gliniasty (Żg) • Pospółka gliniasta (Pog) 	<p><u>Grunty mało wysadzinowe:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Głina piaszczysta zwięzła (Gpz) • Głina zwięzła (Gz) • Ił (I) • Ił piaszczysty (Ip) • Ił pylasty (In) <p><u>Grunty bardzo wysadzinowe</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Piasek gliniasty (Pg) • Pył piaszczysty (np) • Pył (n) • Głina piaszczysta (Gp) • Głina (G) • Głina pylasta (Gn) • Ił warwowy
2.	Zawartość cząstek, wg PKN-CEN ISO/TS 17892-4, [%] ≤ 0,063 mm ≤ 0,02 mm	< 15 < 3	od 15 do 30 od 3 do 10	> 30 > 10
3.	Wskaźnik piaszkowy wg BN-64/8931-01 ¹⁾ [%]	> 35	od 25 do 35	< 25

Uwaga: 1) Do chwili ustalenia kryteriów zgodnych z normami PN-EN należy stosować dotychczasowe normy i kryteria.

Z gruntów w przykładzie najgorszym jest piasek pylasty zaliczany do gruntów wątpliwych. 70 cm nasypu leżącego powyżej będzie wykonane z gruntów niewysadzinowych.

UWAGA: W powyższym przykładzie mamy 70 cm gruntu nasypowego (30 cm po usunięciu humusu i 40 cm powyżej pierwotnego poziomu terenu) oraz 30 gruntu rodzimego. Aby poprawić warunki gruntowe na lepsze można założyć, że te 30 cm gruntu zostanie również usunięte i zostanie wykonany nasyp o wysokości 1,0 m. Można tak zrobić gdy dodatkowy wykop nie będzie przekraczał 20 ~ 30 cm.

W kolejnym etapie należy określić odległość zwierciadła wody gruntowej od spodu konstrukcji nawierzchni. Obliczenia dla nasypu wykonujemy zgodnie ze wzorem:

$$H_{ZWG} = ZWG + H_{nasypu} - H_{nawierzchni}$$

W przypadku wykopu wzór przyjmuje postać:

$$H_{ZWG} = ZWG - H_{wykopu} - H_{nawierzchni}$$

gdzie:

H_{ZWG} – odległość zwierciadła wody gruntowej od spodu konstrukcji nawierzchni,

ZWG – odległość zwierciadła wody gruntowej od powierzchni terenu,

H_{nasypu} , H_{wykopu} – średnia wysokość nasypu, głębokość wykopu,

$H_{nawierzchni}$ – założona grubość konstrukcji nawierzchni.

Ponieważ w przykładzie mamy nasyp korzystamy z pierwszego ze wzorów. Po podstawieniu otrzymamy:

$$H_{ZWG} = 1,55 + 1,10 - 0,70 = 1,95 \text{ m}$$

Na tej podstawie określamy warunki wodne korzystając z tablicy 7.1.

Tablica 7.1. 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 sączeń wody w wykopach przyjąć warunki wodne o jeden stopień gorsze niż odczytane z tablicy.

Droga biegnie w nasypie powyżej 1 m, pobocza nieutwardzone, zwierciadło wody gruntowej w przedziale 1 ÷ 2 m od spodu konstrukcji nawierzchni stąd odczytano warunki wodne: **przeciętne**.

3.2. Warunki gruntowe

Warunki gruntowe określamy korzystając z tablic 7.3 oraz 7.4.

Z tablicy 7.3 grupę nośności podłoża określamy na podstawie wskaźnika nośności CBR. Dla piasku pylastego z przykładu $CBR = 9,7\%$. Na tej podstawie określono grupę nośności podłoża **G2**

Tablica 7.3 Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego nawierzchni G_i

Lp.	Grupa nośności podłoża gruntowego G _i	Wskaźnik nośności CBR po 4 dniach nasączenia wodą ¹⁾ [%]	Wtórny moduł odkształcenia E ₂ ¹⁾ [MPa]
1	2	3	4
1.	G1	CBR ≥ 10	E ₂ ≥ 80
2.	G2	5 ≤ CBR < 10	50 ≤ E ₂ < 80
3.	G3	3 ≤ CBR < 5	35 ≤ E ₂ < 50
4.	G4	2 ≤ CBR < 3	25 ≤ E ₂ < 35

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

W drugim kroku grupę nośności podłoża określamy na podstawie rodzaju gruntu oraz warunków wodnych. Zgodnie z tablicą 7.2 piasek pylasty określono jako grunt wątpliwy, warunki wodne określono wcześniej na przeciętne. Stąd z tablicy 7.4 odczytano grupę nośności podłoża **G2**.

Otrzymaliśmy dwie takie same grupy nośności podłoża. W przypadku otrzymania dwóch różnych grup nośności do dalszych obliczeń wybieramy gorszą. Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjmujemy grupę nośności podłoża **G2**.

Tablica 7.4. Grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych

Lp.	Rodzaj gruntu podłoża nawierzchni wg tablicy 7.2	Grupa nośności podłoża gruntowego nawierzchni, gdy warunki wodne są:		
		dobrze	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 twardoplastycznym ($I_L \leq 0,25$ lub $I_L \geq 0,75$ wg PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2:2012 tablica 6); grunty wysadzinowe w stanie plastycznym, miękoplastycznym lub bardzo miękoplastycznym wykazują wartość wskaźnika CBR < 2% i wymagają indywidualnego projektowania.

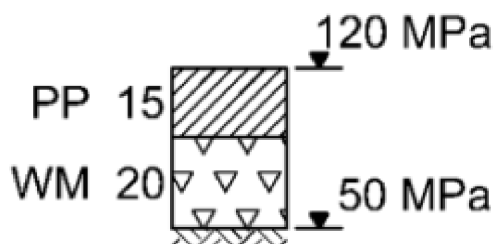
4. Przyjęcie konstrukcji nawierzchni

4.1. Warstwy dolne

Po ustaleniu kategorii ruchu oraz grupy nośności podłoża gruntowego możemy przyjąć rozwiązania katalogowe dolnych warstw konstrukcji nawierzchni na podstawie tablic:

- tablica 8.2 – kategorie ruchu KR5, KR6, KR7
- tablica 8.3 – kategorie ruchu KR3, KR4
- tablica 8.4 – kategorie ruchu KR1, KR2

Dla danych z przykładu (KR5, G2) dolne warstwy konstrukcji przyjmujemy z tablicy 8.2. Zdecydowano się na typ 1.



- Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym – 15 cm
- Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej lub gruntu niewysadzinowego o CBR > 35% – 20 cm

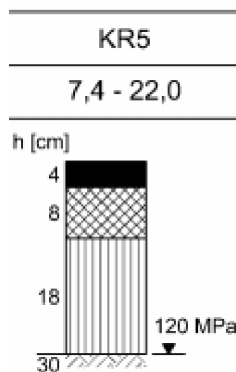
4.2. Warstwy górne

Warstwy górne nawierzchni przyjmujemy w zależności od kategorii ruchu na podstawie tablic:

- tablica 9.1 – typ A1 – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC i mieszanki niezwiązanej z kruszywem $C_{90/3}$

- tablica 9.2 – typ A2 – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC i mieszanki niezwiązanej z kruszywem $C_{50/30}$
- tablica 9.3 – typ A3 – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC i mieszanki niezwiązanej z kruszywem C_{NR}
- tablica 9.4 – typ B – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC
- tablica 9.5 – typ C – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC i mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym
- tablica 9.6 – typ D – podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym
- tablica 9.7 – typ E – podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC i mieszanki w technologii recyklingu na zimno

Przyjęto górne warstwy konstrukcji nawierzchni według typu B:



- Warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej – 4 cm
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego – 8 cm
- Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego – 18 cm

W projekcie przyjmujemy jeden rodzaj warstw górnych konstrukcji nawierzchni.

4.3. Sprawdzenie poprawności rozwiązania

Przyjęty układ nawierzchni wygląda następująco:

- Warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej – 4 cm
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego – 8 cm
- Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego – 18 cm
- Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym – 15 cm
- Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej lub gruntu niewysadzinowego o $CBR > 35\%$ – 20 cm

Łączna grubość nawierzchni wynosi $H_{naw} = 65 \text{ cm}$. Różnica między wstępnie przyjętą grubością nawierzchni a ostateczną wynosi 5 cm. Różnica ta jest nieduża i nie powinna wpłynąć na obliczenia. Przy większej różnicy dobrze jest sprawdzić czy zmianie nie ulegnie grupa nośności podłoża i jeszcze raz przeprowadzić obliczenia z punktu 3.

4.3.1. Sprawdzenie warunku mrozoodporności

Ponieważ w podłożu zalegają grunty wysadzinowe lub wątliwe należy sprawdzić czy grubość nawierzchni jest większa niż grubość przemarzania. Z mapy na rys. 10.1 określamy głębokość przemarzania gruntu dla miejscowości, w której zlokalizowana jest droga. Dla Łodzi głębokość przemarzania wynosi $h_z = 1,0 m$. Następnie z tablicy 10.1 należy określić obliczeniową głębokość przemarzania, która jest minimalną grubością nawierzchni.

Tablica 10.1. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadzinę

Lp.	Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża z gruntów wątliwych 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

W przykładzie minimalna grubość nawierzchni będzie wynosiła (dla KR5 oraz G2):

$$h_{min} = 0,60h_z = 0,6 \cdot 1,0 = 0,60 m$$

Porównujemy to z grubością nawierzchni:

$$H_{naw} = 65 cm > h_{min} = 0,60 m$$

Na tej podstawie stwierdzamy, że całkowita grubość nawierzchni i warstw ulepszonego podłoża (o ile występuje) jest większa niż minimalna grubość wymagana przez Katalog. W przeciwnym wypadku należy pogrubić najniższą położoną warstwę tak aby warunek był spełniony lub zastosować warstwę mrozochronną o grubości co najmniej 15 cm.

4.3.2. Zastosowanie warstwy odsączającej

Jeżeli nawierzchnia położna jest na gruncie wątliwym lub wysadzinowym należy sprawdzić czy zwierciadło wody gruntowej jest dalej niż 1,5 od spodu konstrukcji nawierzchni. Należy zwrócić uwagę, że podłoża ulepszone będące w katalogowych rozwiązaniach dolnych warstwach warstw nawierzchni nie wlicza się do grubości nawierzchni. W przykładzie warstwy nawierzchni położone są na 75 cm nasypu, z których górne 20 cm będą wykonane z gruntu o dobrej przepuszczalności. Nawierzchnia będzie zabezpieczona przed podciąganiem kapilarnym wody. W przypadku gdy warstwa odsączająca jest wymagana jej funkcję może pełnić podłoża ulepszone lub warstwa mrozochronna wykonana z materiału ziarnistego o współczynniku filtracji $k \geq 8 m/dobę$. W przypadku grubej warstwy ulepszonego podłoża lub warstwy mrozochronnej można ją wykonać w postaci dwóch warstw technologicznych jak opisano w punkcie 8.19

4.3.3. Zastosowanie warstwy odcinającej

Jeżeli najniższą położoną warstwę nawierzchni lub ulepszonego podłoża wykonaną z materiału ziarnistego ułożoną jest na podłożu wątliwym lub wysadzinowym należy wykonać

warstwę odcinającą. Ma to na celu zabezpieczenie tej warstwy przed wnikaniem drobnych cząstek gruntu podłoża. Warstwę odcinającą można wykonać z odpowiednio uziarnionego piasku lub geosyntetyku. W przykładzie warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej ułożona jest na podłożu niewysadzinowym, nie ma potrzeby stosowania warstwy odcinającej.

4.3.4. Warstwa przeciw spękaniom odbitym

W przypadku ułożenia warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej na warstwie związanej spoiwem hydraulicznym wymagane zastosowanie odpowiedniej technologii przeciw spękaniom odbitym. W przykładzie warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralno-asfaltowej ułożona jest na podbudowie pomocniczej z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym, wymagana jest więc warstwa przeciw spękaniom odbitym. Jej rolę będzie pełniła warstwa geowłókniny nasączonej asfaltem.

5. Przyjęcie rozwiązań technologicznych

5.1. Dokumenty techniczne

W punkcie tym należy przyjąć odpowiednie materiały do wykonania warstw nawierzchni. Należy skorzystać z następujących dokumentów dostępnych na stronie GDDKiA ([LINK](#)). Dodatkowe informacje dotyczące materiałów do wykonania warstw można znaleźć w KTKNPP tablice 11.3 do 11.6

- WT2 cz.1 – mieszanki mineralno-asfaltowe – wymagania dla mieszanek
- WT2 cz.2 – wytyczne dotyczące wykonania warstw asfaltowych
- WT4 – wymagania dla mieszanek niezwiązanych
- WT5 – wymagania dla mieszanek związanych

5.2. Materiały

1. **warstwa ściernalna** – wykonana będzie z mieszanki SMA 11 PMB 45/80-55, w jednej warstwie technologicznej o grubości 4 cm. Dodatkowo warstwa zostanie uszorstniona poprzez posypanie kruszywem 2/4.
2. **warstwa wiążąca** – wykonana będzie z mieszanki AC 16 W 35/50, w jednej warstwie technologicznej o grubości 8 cm.
3. **warstwa podbudowy zasadniczej** – wykonana będzie z mieszanki AC 22 P 35/50, w dwóch warstwach technologicznych o grubości o grubości 9 cm (zgodnie z WT2 cz.2, pkt 8.2).
4. **warstwa przeciwspekaniowa** – wykonana będzie z geosyntetyku nasączonego asfaltem.
5. **warstwa podbudowy pomocniczej** – wykonana będzie z mieszanki związanej cementem CBGM 0/22,4, $C_{5/6} \leq 10$ MPa, w jednej warstwie technologicznej o grubości 15 cm.
6. **warstwa mrozoochronna** – wykonana będzie z mieszanki niezwiązanej 0/31,5 z kruszywem C_{NR} , o wskaźniku nośności $CBR > 35\%$, w jednej warstwie technologicznej o grubości 20 cm.

Zaleca się stopniowanie wymiarów mieszanki MMA w kolejnych warstwach konstrukcyjnych. Zapewni to klinowanie ziaren na połączeniu warstw poprawiając związanie międzywarstwowe.

5.3. Sprawdzenie wymiaru mieszanki mineralno-asfaltowej

Grubość warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej powinna być co najmniej 2,5 razy większa niż maksymalny wymiar mieszanki.

- warstwa ścieralna – $2,5 \times 11 = 27,5 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$
- warstwa wiążąca – $2,5 \times 16 = 40,0 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$
- warstwa podbudowy zasadniczej – $2,5 \times 22 = 55,0 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$ - grubość warstwy technologicznej, nie konstrukcyjnej

5.4. Związanie międzywarstwowe

Skropienie wykonane zostanie emulsją asfaltową C60BP3 ZM w ilości:

- podbudowa pomocnicza - skropienie pod podbudowę zasadniczą w ilości $0,3 \div 0,7 \text{ kg/m}^2$
- podbudowa zasadnicza - skropienie pod podbudowę zasadniczą w ilości $0,2 \div 0,2 \text{ kg/m}^2$, można pominąć jeżeli druga warstwa technologiczna będzie układana w technologii "gorące na gorące".
- podbudowa zasadnicza - skropienie pod warstwę wiążącą w ilości $0,3 \div 0,5 \text{ kg/m}^2$
- warstwa wiążąca - skropienie pod warstwę ścieralną w ilości $0,2 \div 0,4 \text{ kg/m}^2$