

# Podstawowe zasady budowy warstwowej nawierzchni drogowej.

## Materiały stosowane do budowy i ogólne wymagania

Agnieszka Kędzierska, Przewodnicząca Komisji Nawierzchniowej PSWNA

Większość z nas przyzwyczajona jest oglądać konstrukcję nawierzchni drogowej z góry, patrząc na jej wierzchnią warstwę z punktu widzenia użytkownika – kierowcy czy pieszego. Często oceniamy i komentujemy jej równość, strukturę i estetykę wpływające na komfort użytkowania, nie zdając sobie nawet sprawy, że przyczyny stanu nawierzchni, którą widzimy tkwią zazwyczaj głęboko – w niższych warstwach konstrukcji, czasem nawet 1,5 m niżej.

Zajrzyjmy zatem pod wierzchnią, ścieralną warstwę drogi, wgląd całej konstrukcji. Odpowiedzmy sobie na pytania: czym jest konstrukcja nawierzchni i jakie są podstawowe zasady jej budowy, uwzględniając funkcje poszczególnych warstw. Zróbmy krótki przegląd materiałów, które można użyć do budowy każdej z warstw, ze szczególnym uwzględnieniem najważniejszych właściwości dla danej warstwy. Poznajmy podstawowe zasady i rolę odwodnienia nawierzchni. Pozwoli nam to zrozumieć jak ona działa i pracuje.

### Czym jest konstrukcja nawierzchni?

Konstrukcja nawierzchni to zespół odpowiednio dobranych warstw, którego celem jest:

- rozłożenie naprężenia od kół pojazdów na podłoże gruntowe,
- zapewnienie nośności i trwałości drogi,
- zapewnienie bezpieczeństwa i komfortu jazdy pojazdów,
- zapewnienie jak najmniejszego wpływu na środowisko.

Konstrukcja nawierzchni spoczywa na podłożu gruntowym lub na warstwie ulepszanego podłoża.

Ze względu na rodzaj materiałów użytych do budowy, konstrukcje nawierzchni dzielimy na: podatne, półsztywne i sztywne. W niniejszym artykule omówi-

my konstrukcje podatne i półsztywne, a więc takie, w których górne warstwy, ścieralna i wiążąca (a czasem również podbudowa zasadnicza), zbudowane są z mieszanek mineralno-asfaltowych, natomiast leżące poniżej podbudowy wykonane są z mieszanek niezwiązanych lub związanych spoiwami hydraulicznymi. Szczegółowe definicje tych konstrukcji można odnaleźć w *Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych* (KTKNPIP z 2014 roku).

### Zasady budowy warstwowej nawierzchni podatnej i półsztywnej

Podstawowym celem projektowania i budowy konstrukcji warstwowej jest bezpieczne rozłożenie nacisków od kół pojazdów na podłoże gruntowe. Naciski te powodują bowiem uginanie się nawierzchni. Pod wpływem ciągłych ugięć występują naprężenia ściskające i rozciągające. Naprężenia rozciągające występują w warstwach związanych. Przekroczenie krytycznych naprężeń rozciągających prowadzi do zmęczenia warstw konstrukcji, a w konsekwencji do ich pęknięcia (propagacji pęknięć z dołu do góry). Natomiast naprężenia ściskające znajdują się przede wszystkim w leżących niżej warstwach niezwiązanych. Z biegiem czasu powodują one deformacje strukturalne. Dla trwałości

nawierzchni niezwykle ważne jest zapewnienie jednorodności każdej warstwy nawierzchni oraz dobre i równomierne ich zagęszczenie.

Sztywności i odporności na ścinanie warstw konstrukcji wzrastają stopniowo od dołu do góry konstrukcji – od najniższych wartości w podłożu gruntowym do najwyższych w warstwach asfaltowych. Sztywności warstw powinny być dobrane z uwzględnieniem warunków pracy konstrukcji.

Liczba, rodzaj oraz grubość warstw konstrukcji nawierzchni zależą od:

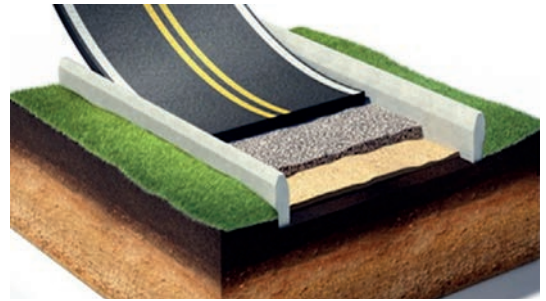
- przeznaczenia nawierzchni,
- obciążenia ruchem,
- warunków gruntowo-wodnych,
- specyficznych warunków klimatycznych,
- materiałów użytych do budowy.

## Schemat konstrukcji nawierzchni

Grubość konstrukcji nawierzchni jest sumą grubości warstw, z których jest ona zbudowana, zgodnych ze schematami przedstawionymi poniżej. W skład grubości konstrukcji nawierzchni nie wchodzi warstwa ulepszanego podłoża gruntowego. Spód konstrukcji nawierzchni to najwyższa warstwa spoczywająca na podłożu gruntowym, którego górna część jest w szczególnych przypadkach wzmocniana, tworząc tzw. warstwę ulepszanego podłoża. Warstwa ulepszanego podłoża pełni istotną rolę w pracy nawierzchni, ale formalnie zaliczana jest do robót ziemnych i nie jest wliczana w skład warstw konstrukcji nawierzchni.

Nie wszystkie warstwy podane na schemacie będą zawsze występowały w każdej nawierzchni. Zależać to będzie w konkretnym przypadku od warunków gruntowo-wodnych, kategorii ruchu i uwarunkowań materiałowych. Przykładowo:

- W przypadku gruntów o wysokiej nośności, G1 i G2, zbędna jest warstwa ulepszanego podłoża.
- W przypadku ruchu lekkiego, KR1 i KR2, może wystąpić tylko jedna warstwa podbudowy zasadniczej – np. beton asfaltowy, mieszanka z kruszyw niezwiązanych lub mieszanka z kruszywami związanymi spoiwem hydraulicznym.
- W przypadku ruchu ciężkiego, KR3-KR7, wystąpić mogą dwie warstwy podbudowy zasadniczej: warstwa górna z mieszanki mineralno-asfaltowej i warstwa dolna z mieszanki niezwiązanych lub związanych spoiwami hydraulicznymi.



Rys. 1. Przekrój nawierzchni; źródło: LOTOS Asfalt Sp. z o.o.



Rys. 2. Podłoże gruntowe; źródło: archiwum prywatne autorki



Fot. 1. Uważaj! Warstwa odsączająca musi być wyprowadzona w nasypie na krawędź skarpy, a w wykopie do drenu podłużnego lub 20 cm nad poziomem dna rowu; źródło: archiwum prywatne autorki

- W przypadku konstrukcji o podbudowach całkowicie asfaltowych (typu *full depth asphalt pavement*) wystąpi tylko jedna warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego dla każdej kategorii ruchu.
- Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni mogą być jedno- lub dwuwarstwowe. Jeżeli będą jednowarstwowe, to mogą wystąpić opcjonalnie: podbudowa pomocnicza albo warstwa mrozochronna. Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni są odpowiednikiem angielskiego terminu *foundation*, czyli fundament.

|   |   |                             |                                     |
|---|---|-----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Konstrukcja nawierzchni (nawierzchnia)</b> | <b>Warstwy górne konstrukcji nawierzchni</b>  | <b>Warstwa ścieralna</b>    |                                     |
|   |   | <b>Warstwa wiążąca</b>      |                                     |
|   |   | <b>Podbudowa zasadnicza</b> | Górna warstwa podbudowy zasadniczej |
|   | Dolna warstwa podbudowy zasadniczej (dla kategorii ruchu KR3-7)   |                             |                                     |
| <b>Spód konstrukcji nawierzchni</b>           | <b>Warstwy dolne konstrukcji nawierzchni</b>  | Podbudowa pomocnicza        |                                     |
|   |   | Warstwa mrozochronna        |                                     |
| <b>Podłoże gruntowe nawierzchni</b>           | Warstwa ulepszonego podłoża (w szczególnych przypadkach!)   |                             |                                     |
|   | Grunt rodzimy w wykopie lub grunt nasypowy w nasypie, zakwalifikowane do jednej z grup nośności G1 ÷ G4 |                             |                                     |

Rys. 3. Schemat i nazwy warstw konstrukcji podatnych i półsztywnych wg KTKNPIP z 2014 roku

- – Natomiast w konstrukcjach nawierzchni przeznaczonych do ruchu pieszych lub rowerów:
- nie występuje warstwa podbudowy pomocniczej,
  - nie ma zastosowania określenie „dolne warstwy konstrukcji nawierzchni”,
  - podbudowa zasadnicza jest zawsze jednowarstwowa.

Zasady te zobrazowane są na schematach z *Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych* z 2014 roku.

## Grubość konstrukcji nawierzchni ze względu na odporność na wysadzinę

Istotny wpływ na grubość pakietu warstw konstrukcyjnych nawierzchni mają: głębokość przemarzania gruntu, określona w miejscu występowania

drogi oraz rodzaj gruntu znajdujący się na spodzie warstw konstrukcyjnych. Im większa głębokość przemarzania i mniejsza przepuszczalność gruntu oraz większa jego wysadzinowość, tym grubszą konstrukcję należy zaprojektować.

Mapę z podziałem Polski na strefy w zależności od głębokości przemarzania gruntu ( $h_z$ ) odnaleźć można w normie PN-81/B-03020, przywołana jest też w KTKNPIP z 2014 roku. W obowiązującym KTKNPIP zachowano podział podłoża gruntowego na 4 grupy nośności G1 ÷ G4 (tab.1).

W przypadku występowania w podłożu gruntów wysadzinowych lub wątpliwych (G2 ÷ G4), projektując nawierzchnię, należy sprawdzić, czy łączna grubość konstrukcji nawierzchni i ulepszonego podłoża jest wystarczająca, aby zapewnić drodze odporność na wysadzinę. W tym celu zgodnie z KTKNPIP z 2014 roku należy posłużyć się tab. 2.

Suma warstw konstrukcji nawierzchni, powiększona o grubość warstwy ulepszonego podłoża, powinna być większa niż grubość wymagana ze względu na odporność na wysadzinę. Jeżeli tak nie jest, to należy pogrubić najniższą warstwę mrozochronną lub warstwę ulepszonego podłoża. Jeżeli najniższą warstwą jest podbudowa pomocnicza, należałoby wprowadzić dodatkowo warstwę mrozochronną, której minimalna grubość wynosiłaby 15 cm.

## Odwodnienie głębsze konstrukcji nawierzchni

Warunki gruntowo-wodne panujące w obrębie pasa drogowego są niezwykle ważne ze względu na zapewnienie konstrukcji należytej trwałości. Złe lub przeciętne warunki gruntowo-

| Parametr                  | Grupa nośności podłoża |        |       |       |
|---------------------------|------------------------|--------|-------|-------|
|                           | G1                     | G2     | G3    | G4    |
| Wskaźnik nośności CBR [%] | ≥10                    | 5 ÷ 10 | 3 ÷ 5 | 2 ÷ 3 |

Tab. 1. Podział podłoża gruntowego na 4 grupy nośności wg KTKNPIP

| Kategoria ruchu | Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych |            |            |
|-----------------|---|------------|------------|
|                 | G2  | G3         | G4         |
| KR1             | 0,40 $h_z$  | 0,50 $h_z$ | 0,60 $h_z$ |
| KR2             | 0,45 $h_z$  | 0,55 $h_z$ | 0,65 $h_z$ |
| KR3             | 0,50 $h_z$  | 0,60 $h_z$ | 0,70 $h_z$ |
| KR4             | 0,55 $h_z$  | 0,65 $h_z$ | 0,75 $h_z$ |
| KR5             | 0,60 $h_z$  | 0,70 $h_z$ | 0,80 $h_z$ |
| KR6-7           | 0,65 $h_z$  | 0,75 $h_z$ | 0,85 $h_z$ |

Tab. 2. Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych wg KTKNPIP,  $h_z$  – głębokość przemarzania gruntów w metrach wg normy PN-81/B-03020



**Fot. 2.** Wykonywanie warstwy odcinającej; źródło: Tensar



**Fot. 3.** DW791 Myszków–Zawiercie. Badanie nośności VSS podbudowy pomocniczej; autor: Piotr Mazurowski



**Fot. 4.** DW791 Myszków–Zawiercie. Zagęszczenie podbudowy; autor: Piotr Mazurowski

-wodne obniżają nośność gruntów wątpliwych i wysadzinowych. Grupy nośności podłoża gruntowego w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków gruntowo-wodnych wg KTKNPIP z 2014 roku określa tab. 3.

Jeżeli warunki te są złe i zwierciadło wody gruntowej występuje bliżej niż 1,5 m od spodu konstrukcji nawierzchni, konieczne jest zastosowanie warstwy odsączającej. Podstawową funkcją takiej warstwy jest zapewnienie odprowadzenia wody przedostającej się od spodu nawierzchni. Rolę warstwy odsączającej może pełnić również warstwa mrozoochronna lub warstwa ulepszonego podłoża wykonana z mieszanki niezwiązanej lub gruntu niewysadzinowego o odpowiednim uziarnieniu i współczynniku filtracji  $k_{10} \geq 8$  m/dobę.

### Warstwa odcinająca

Warstwę odcinającą spód konstrukcji od podłoża gruntowego stosujemy w przypadku występowania w nim gruntów spoistych. Warstwa ta pełni funkcję separującą dolne warstwy konstrukcji lub ulepszonego podłoża od przenikania w górę konstrukcji drobnych cząstek ze spoistego podłoża. Materiałami do wykonania warstwy odcina-

jącej mogą być geotekstylia (geowłókniny i geotkaniny separacyjne) lub, w ekonomicznie uzasadnionych przypadkach dla ruchu bardzo lekkiego KR1-2, odpowiednio uziarniony piasek spełniający warunek szczelności Terzaghiego.

### Ulepszone podłoże

Ulepszenie wierzchniej warstwy podłoża gruntowego jest niezbędne w przypadku występowania w wykopie lub wbudowywania w nasyp gruntów o niewielkiej nośności  $E_2 < 50$  MPa; klasy G3 i G4.

Podstawowe funkcje ulepszonego podłoża to:

- zwiększenie nośności gruntu w czasie budowy i eksploatacji nawierzchni,
- ochrona gruntu rodzimego przed deformacjami (koleinami) powodowanymi przez ciężkie pojazdy w czasie budowy nawierzchni,
- umożliwienie właściwego wbudowania i zagęszczenia wyżej leżących warstw konstrukcji,
- zwiększenie odporności nawierzchni na powstawanie wysadzin.

Materiałami stosowanymi do tej warstwy są mieszanki niezwiązane, grunty rodzime w wykopie lub nasypie stabilizowane spoiwami hydraulicznymi albo wapnem bądź grunty niewysadzinowe (nośne i niespoiste). W szczególnych przypadkach ▶

| Lp. | Rodzaje gruntu podłoża nawierzchni | 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            | G3   | G4         | G4  |
| 4.  | Grunty bardzo wysadzinowe          | G4   | G4         | G4  |

**Tab. 3.** Grupy nośności podłoża gruntowego w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków gruntowo-wodnych wg KTKNPIP





Fot. 5. Wykonanie nawierzchni asfaltowej; źródło: LOTOS Asfalt Sp. z o.o.

- ▶ warstwa ulepszanego podłoża, wykonana z gruntu niewysadzinowego lub z mieszanki niezwiązanej, może pełnić funkcję warstwy odsączającej.

### Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni

Rolą dolnych warstw konstrukcji nawierzchni układanych na podłożu gruntowym lub ulepszonym podłożu jest zapewnienie całej konstrukcji odpowiedniej nośności pod podbudową zasadniczą oraz odporności na wysadzinę. W skład zespołu tych warstw wchodzi: warstwa mrozochronna i warstwa podbudowy pomocniczej. Podstawowa funkcja warstwy mrozochronnej to zapewnienie ochrony przed skutkami mrozu oraz odpowiedniej nośności pod górnymi warstwami konstrukcji nawierzchni. W szczególnych przypadkach warstwa ta może pełnić funkcję warstwy odsączającej.

Możemy ją wybudować z mieszanek niezwiązanych, mieszanek stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi lub z gruntu niewysadzinowego czy stabilizowanego spoiwem hydraulicznym albo wapnem.

| Kategoria ruchu | Wymagana nośność $E_2$ [MPa], minimum |
|-----------------|---------------------------------------|
| KR1-2           | 80 MPa                                |
| KR3-4           | 100 MPa                               |
| KR5-7           | 120 MPa                               |

Tab. 4. Nośności na górnej powierzchni warstwy podbudowy pomocniczej

Główną rolą leżącej powyżej podbudowy pomocniczej jest zapewnienie odpowiedniej nośności pod górnymi warstwami konstrukcji nawierzchni. Nośności określone wartością wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  na górnej powierzchni warstwy podbudowy pomocniczej zestawione zostały w tab. 4.

### Górne warstwy konstrukcji nawierzchni

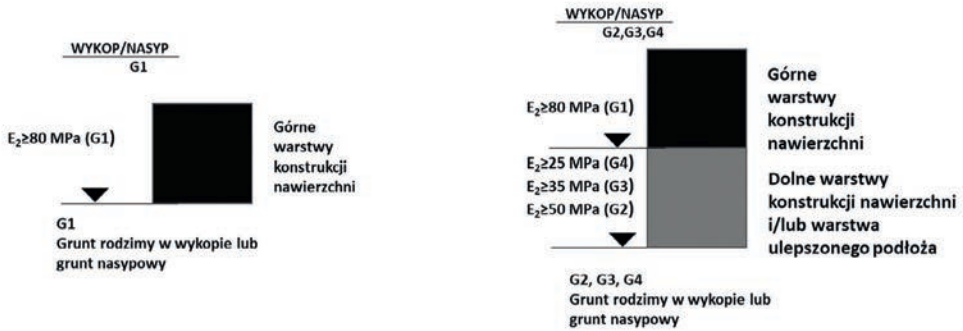
Zapewnienie nośności i trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogowej to podstawowe funkcje górnych warstw konstrukcji nawierzchni, w skład których wchodzi: podbudowa zasadnicza, warstwa wiążąca i ścieralna. Podbudowa zasadnicza, w zależności od kategorii ruchu na drodze, może być jedno- bądź dwuwarstwowa. Różne są też materiały, z których może być zbudowana. W przypadku wyższych kategorii ruchu (KR3-7) stosuje się zwykle dwuwarstwowe podbudowy, w których warstwa górna wykonana jest z betonu asfaltowego, a dolna warstwa z mieszanki niezwiązanej, mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym bądź też mieszanki w technologii recyklingu „na zimno”. Uwaga! Jeżeli projektowana grubość podbudowy z betonu asfaltowego będzie zbyt duża, żeby ułożyć ją w jednej warstwie, aby zapewnić równość i właściwe zagęszczenie, to mimo iż będzie ona układana w dwóch warstwach technologicznych, będzie nosiła nazwę „górnej warstwy podbudowy zasadniczej”.

Dla niższych kategorii ruchu (KR1-2) funkcję podbudowy zasadniczej pełni jedna warstwa zbudowana odpowiednio z mieszanki niezwiązanej, związanej spoiwem hydraulicznym lub mieszanki wykonanej w technologii recyklingu „na zimno”.

Z kolei jednowarstwowa podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego może występować dla wszystkich kategorii ruchu KR1-7. Oczywiście w zależności od natężenia ruchu i jego struktury, taka warstwa będzie cechować się różnymi parametrami fizyko-mechanicznymi.

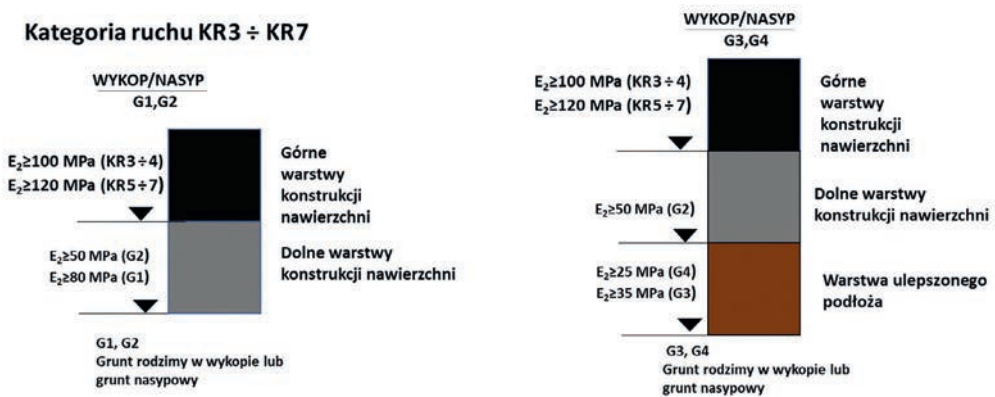
W ten sposób doszliśmy do górnych „asfaltowych” warstw konstrukcji nawierzchni, gdzie warstwa wiążąca z mieszanki mineralno-asfaltowej odpowiada przede wszystkim za rozłożenie naprężenia na warstwę podbudowy i ma duży wpływ na odporność nawierzchni na koleinowanie.

Ostatnią wierzchnią warstwą konstrukcji jest warstwa ścieralna, na którą bezpośrednio oddziałują



Rys. 4. Schemat układu warstw konstrukcji dla kategorii ruchu KR1 ÷ KR2 wg KTKNPIP z 2014 roku oraz wymagane wartości wtórnych modułów odkształcenia na powierzchni poszczególnych warstw

### Kategoria ruchu KR3 ÷ KR7



Rys. 5. Schemat układu warstw konstrukcji dla kategorii ruchu KR3 ÷ KR7 wg KTKNPIP z 2014 roku oraz wymagane wartości wtórnych modułów odkształcenia na powierzchni poszczególnych warstw

obciążenia od ruchu i warunki atmosferyczne. Odpowiada ona za komfort i bezpieczeństwo użytkownika. Chroni nawierzchnię przed czynnikami klimatycznymi. Powinna charakteryzować się odpowiednią szorstkością i równością oraz szczelnością przy jednoczesnym zapewnieniu zredukowanej hałaśliwości i małych oporów toczenia.

### Podsumowanie

Proces projektowania i wykonania warstwowej nawierzchni drogowej jest skomplikowany i wymaga zrozumienia zasad działania oraz pracy całej konstrukcji, jak też wpływającego na nią ruchu pojazdów, ale też warunków gruntowo-wodnych i atmosferycznych. Podstawowym warunkiem uzyskania dobrej nawierzchni podatnej i półsztywnej jest prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie poszczególnych warstw konstrukcji ze szczególnym uwzględnieniem:

- funkcji poszczególnych warstw,
- doboru odpowiednich materiałów,



Rys. 6. Źródło: KTKNPIP z 2014 roku

- właściwego odwodnienia,
- ochrony przed wysadzinami,
- zapewnienia wymaganej grubości,
- zapewnienia jednorodności materiału,
- zapewnienia wymaganej nośności i równości,
- prawidłowego zagęszczenia. □