

ANTONI SZYDŁO
PIOTR MACKIEWICZ

NAWIERZCHNIE BETONOWE NA DROGACH GMINNYCH

PORADNIK



Redakcja

Piotr Kijowski

DTP

Cement&Concrete Consulting
Grzegorz Kijowski

Projekt okładki i rysunki

Konrad Kowal

Korekta

Magdalena Sarkowicz

Wydawca:

Stowarzyszenie Producentów Cementu
Polish Cement Association

Stowarzyszenie Producentów Cementu

ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków

tel.: +48 12 423 33 55

fax.: +48 12 423 33 45

e-mail: wydawnictwo@polskicement.pl

<http://www.polskicement.pl>

Druk

Drukarnia Skleniarz, Kraków

**ANTONI SZYDŁO
PIOTR MACKIEWICZ**

**NAWIERZCHNIE
BETONOWE
NA DROGACH
GMINNYCH
PORADNIK**

Stowarzyszenie Producentów Cementu
Kraków 2012

WPROWADZENIE

Nawierzchnie betonowe nie mają w Polsce ustalonej tradycji. Wprawdzie pierwsze nawierzchnie tego typu pojawiły się w 1912 roku w Krakowie, to jednak popularność ich nastąpiła dopiero w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku w związku z kryzysem energetycznym oraz pojawieniem się na drogach o nawierzchniach asfaltowych trwałych odkształceń, tzw. kolein, zagrażających bezpieczeństwu ruchu.

Poprawnie zaprojektowana i wykonana nawierzchnia betonowa ma wiele zalet. Należą do nich:

- wysoka nośność i zdolność do przenoszenia obciążeń,
- odporność na odkształcenia trwałe,
- jasny kolor,
- dobre cechy eksploatacyjne,
- niskie koszty utrzymania.

Nawierzchniowa płyta betonowa przenosi obciążenia samoistnie, redukując w dużym stopniu obciążenie podbudów, co przyczynia się do znacznego zmniejszenia ich odkształceń. Nawierzchnie betonowe charakteryzują się wysoką zdolnością do przenoszenia obciążeń, nawet w przypadku obciążeń punktowych. Zwiększenie grubości pociąga za sobą znaczne zwiększenie zdolności do przenoszenia obciążeń, co jest bardzo korzystne w odniesieniu do wzrastających obciążeń osiowych i ogólnego wzrostu natężenia ruchu.

Poprawnie zbudowana nawierzchnia betonowa bez problemu osiąga zwykle 20-letni okres użytkowania, a standardem jest okres 30-letni.

Drogi o nawierzchniach betonowych odznaczają się dużą odpornością na odkształcenia w pełnym zakresie temperatur. Nie dochodzi do powstawania kolein, a woda powierzchniowa bez problemów spływa z nawierzchni.

Jasny kolor nawierzchni drogi przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, szczególnie podczas jazdy o zmroku lub w deszczu. Powierzchnie betonowe o jasnej barwie umożliwiają lepszą widoczność: ludzie, pojazdy oraz wszelkie przeszkody są na drodze szybciej i lepiej rozpoznawalne. Jasny kolor betonu przyczynia się również do znacznych oszczędności inwestycyjnych, dzięki zredukowaniu kosztów oświetlenia drogowego. Według badań szwajcarskich, koszty oświetlenia ponoszone przy nawierzchniach betonowych stanowią jedynie 43% kosztów pochłanianych przez oświetlenie dróg o nawierzchniach wykonanych z mieszanek mineralno-asfaltowych.

Nawierzchnie betonowe uchodzą za bezpieczne ze względu na dostateczną szorstkość i szczepność, co związane jest z możliwością szybkiego odprowadzania wody spod kół samochodowych.

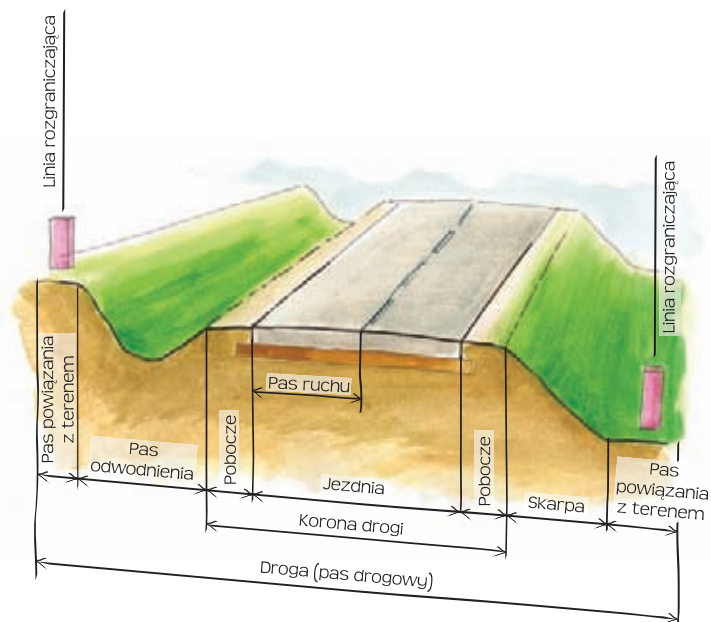
Zalety nawierzchni betonowych dowodzą, iż powinny one zyskać popularność i stać się uzupełnieniem wyboru dostępnych technologii obok nawierzchni asfaltowych, kostkowych i innych.

Prezentowana publikacja jest poradnikiem, w którym przedstawiono informacje o możliwościach stosowania nawierzchni betonowych na drogach gminnych, sposobach doboru grubości warstw nawierzchni oraz o technologiach wytwarzania i wbudowywania mieszanek betonowych na drogach o niewielkim obciążeniu ruchem.

Autorzy

1. OGÓLNE WIADOMOŚCI O KLASYFIKACJI DRÓG

Drogą nazywa się odpowiednio przygotowany pas terenu służący do poruszania się różnym jednostkom ruchu. Na rys. 1 pokazano schemat drogi w przekroju poprzecznym. Pas terenu pomiędzy liniami rozgraniczającymi to droga (pas drogowy). Szerokość pasa drogowego w liniach rozgraniczających powinna zapewniać możliwość umieszczania elementów drogi i urządzeń z nią związanych, wynikających z ustalonych docelowych transportowych i innych funkcji drogi oraz uwarunkowań terenowych.



Rys. 1.1. Przekrój poprzeczny drogi

Jezdnia składająca się z pasów ruchu jest najważniejszym elementem drogi, który umożliwia poruszanie się jednostkom ruchu. Pobocza pełnią funkcję pasa postojowego, przypory statecznej dla jezdni oraz umożliwiają sytuowanie urządzeń bezpieczeństwa ruchu.

Sieć dróg publicznych w Polsce podzielona jest na następujące kategorie (jest to tzw. podział administracyjny):

- drogi krajowe,
- drogi wojewódzkie,
- drogi powiatowe,
- drogi gminne.

Drogi krajowe są własnością Skarbu Państwa, drogi wojewódzkie, powiatowe i gminne są własnością samorządu odpowiedniego szczebla administracyjnego.

Centralnym organem administracji rządowej w sprawach dróg jest Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, natomiast zarządcami dróg wojewódzkich, powiatowych i gminnych są zarządy odpowiednich jednostek samorządu terytorialnego.

W celu określenia wymagań technicznych dróg wprowadza się klasy dróg. Rozróżnia się następujące klasy techniczne dróg:

- autostrady – A,
- ekspresowe – S,
- główne ruchu przyspieszonego – GP,
- główne – G,
- zbiorcze – Z,
- lokalne – L,
- dojazdowe – D.

Drogi zaliczone do jednej z kategorii powinny mieć parametry techniczne odpowiadające następującym klasom:

- drogi krajowe – klasy A, S, GP, wyjątkowo G,
- drogi wojewódzkie – klasy G, Z, wyjątkowo GP,
- drogi powiatowe – klasy G, Z, wyjątkowo L,
- drogi gminne – klasy L, D, wyjątkowo Z.

W tabeli 1.1 podano długości dróg publicznych w Polsce.

Tabela 1.1. Zestawienie długości dróg publicznych w Polsce

Kategoria dróg	Szacunkowe długości		
	Ogółem [km]	w tym o nawierzchni twardej	
		[km]	[%]
Krajowe	18 120	18 110	99,94
Wojewódzkie	28 170	28 110	99,78
Powiatowe	128 070	111 900	87,37
Gminne	183 400	82 347	44,90
Razem	357 760	240 467	67,21

Analizując dane zestawione w tabeli 1, możemy zauważyć, że największą długość w skali kraju stanowią drogi gminne; gminy też mają największy odsetek dróg o nawierzchni nieulepszonej.

Poniżej zostaną przedstawione wymagania dotyczące najważniejszych parametrów przekroju poprzecznego dróg klasy L i D, które stanowią największy odsetek dróg gminnych.

Szerokość w liniach rozgraniczających dróg klasy L i D wynosi 15 m.

W tabeli 1.2 podano szerokości pasów ruchu na drogach klasy L i D.

Tabela 1.2. Zestawienie szerokości pasów ruchu dla dróg klasy L i D

Usytuowanie drogi	Szerokość pasa ruchu, s (m)	
	L	D
Poza terenem zabudowy	2,50 – 2,75	2,50 – 2,75 ²
		3,50 – 3,00 ³
Na terenie zabudowy	3,00	2,50 – 2,25 ²
	3,00 – 2,50 ¹	3,50 – 3,00 ⁴

¹ stosuje się w zabudowie jednorodzinnej lub przy uspokojeniu ruchem,

² stosuje się na drodze dwupasmowej,

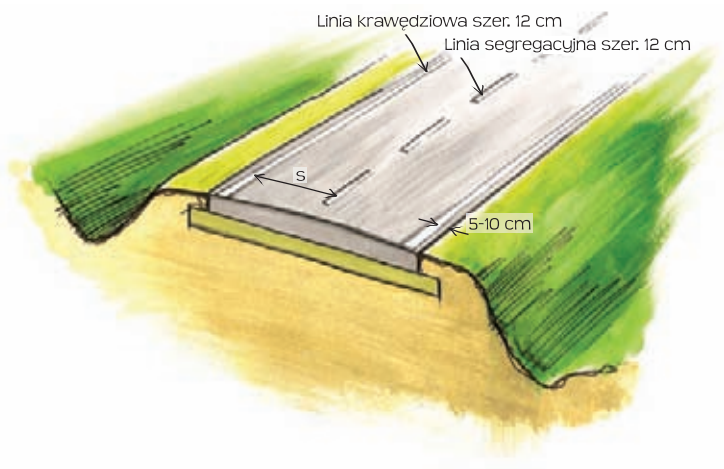
³ stosuje się na drodze jednopasmowej, jeżeli szerokość utwardzonej części korony jest mniejsza niż 5,0 m, a mijanki umożliwiają wymijanie pojazdów,

⁴ stosuje się na ulicy jednopasmowej na odcinkach z zachowaną wzajemną widocznością, z możliwością wymijania pojazdów.

Pochylenie poprzeczne jezdni powinno wynosić nie mniej niż 2%.

Minimalna szerokość poboczy gruntowych wynosi 0,75 m.

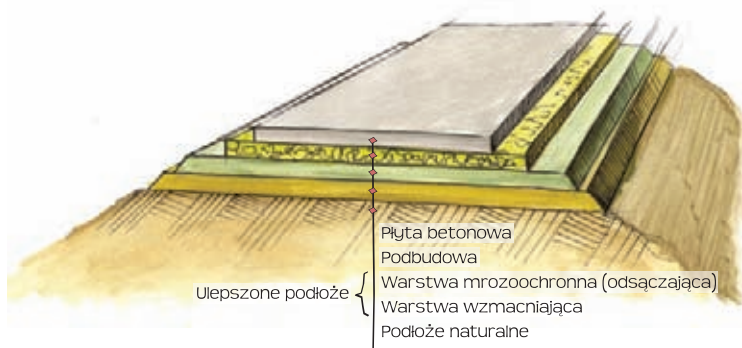
Na rys. 1.2 pokazano sposób oznaczania szerokości pasów ruchu dla przypadku oznakowania poziomego jezdni drogi klasy L i D.



Rys. 1.2. Sposób identyfikacji szerokości pasów ruchu dla przypadku oznakowania poziomego

2. CHARAKTERYSTYKA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Konstrukcją nawierzchni z betonu cementowego nazywamy zespół warstw ułożonych na naturalnym lub ulepszonym podłożu gruntowym. Służy ona do przejmowania i przenoszenia na podłoże gruntowe obciążeń pochodzących od kół pojazdów i innych wpływów zewnętrznych, w sposób gwarantujący jej określoną trwałość. Konstrukcja taka powinna zapewniać określony poziom wygody i bezpieczeństwa ruchu, co zależy od równości i szorstkości jej zewnętrznej powierzchni.



Rys. 2.1. Układ warstw w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego

W konstrukcji nawierzchni betonowej wyróżniamy następujące warstwy: górną warstwę nawierzchni, tj. płytę betonową, podbudowę, ulepszone podłoże (warstwa mrozochronna, wzmacniająca podłoże) i podłoże naturalne.

Płyta betonowa bezpośrednio przejmuje działanie ruchu i wpływy atmosferyczne, pełni więc funkcję warstwy ścieralnej i częściowo nośnej (podbudowy).

Warstwa podbudowy może składać się z jednej warstwy lub zespołu warstw, których głównym zadaniem jest podparcie płyty betonowej, jak również rozłożenie na podłoże nacisków pochodzących od kół pojazdów.

Warstwę ulepszonego podłoża stosuje się wtedy, gdy podłoże naturalne ma niską nośność i zadaniem tej warstwy jest wzmocnienie naturalnego podłoża. Warstwa ulepszonego podłoża może spełniać również inne zadania: zabezpieczanie gruntu przed przemarzaniem (warstwa mrozochronna), wyrównywanie braków w niestarannie wykonanych robotach ziemnych (warstwa wyrównawcza), odprowadzanie wody gruntowej (warstwa odsączająca), zabezpieczanie przed przenikaniem cząstek nawodnionego gruntu podłoża do warstw podbudowy, szczególnie rozdrobnionej (warstwa odcinająca).

Podłoże gruntowe naturalne jest to tzw. strefa czynna korpusu ziemnego, której odkształcalność i związana z nią nośność decydują o wymaganej grubości warstw konstrukcji nawierzchni.

Projektowanie konstrukcji nawierzchni obejmuje dwie podstawowe czynności:

- konstruowanie,
- wymiarowanie.

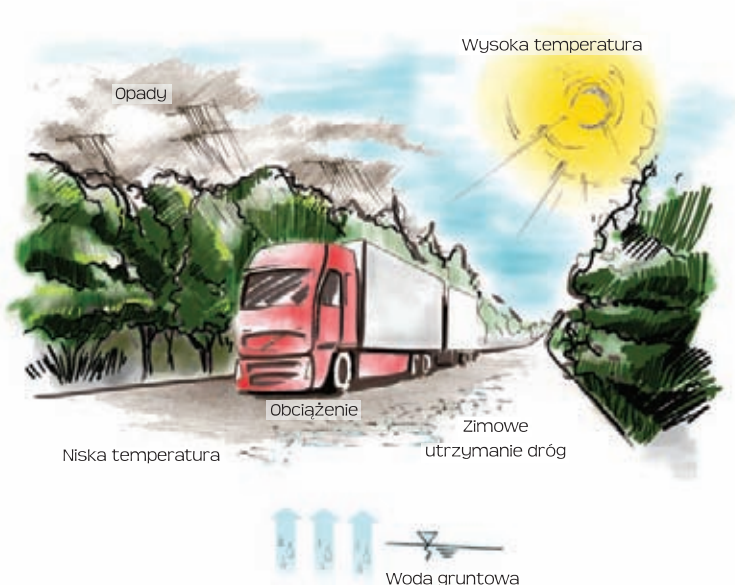
Konstruowanie polega między innymi na ustaleniu wzajemnego układu warstw i wyborze materiałów do ich wykonania z uwzględnieniem warunków lokalnych, technologii i organizacji robót oraz względów ekonomicznych.

Po ustaleniu wzajemnego układu warstw, następną czynnością jest wymiarowanie (wyznaczanie grubości warstw).

Według współczesnych opinii grubość warstw konstrukcji nawierzchni (w tym płyty betonowej) powinna być taka, ażeby przy prognozowanym obciążeniu ruchem nie występowały przedwcześnie zjawiska zmęczeniowe w warstwach i podłożu.

Na każdą konstrukcję nawierzchni oddziałują następujące czynniki zewnętrzne (rys. 2.2):

- obciążenie wywierane na powierzchnię jezdni przez koła pojazdów poruszających się z różną prędkością; jest istotna nie tylko wartość obciążenia, lecz także liczba i układ osi w pojeździe, liczba kół zlokalizowanych na osi oraz jego powtarzalność zależna od natężenia ruchu,
- temperatura, działająca na poszczególne warstwy, w szczególności na betonową warstwę nawierzchniową oraz podłoże gruntowe,
- woda powierzchniowa i gruntowa,
- inne czynniki, jak np. środki chemiczne używane do zimowego utrzymania, starzenie się materiałów itp.



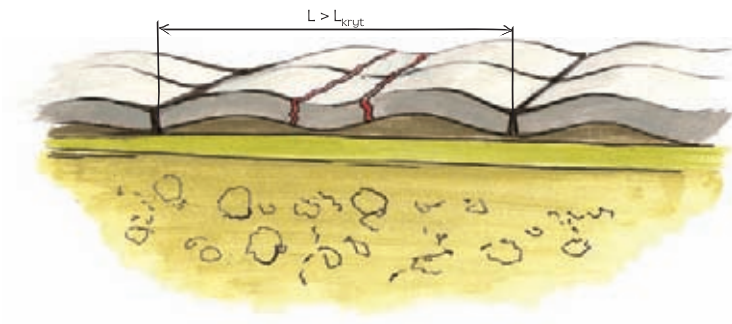
Rys. 2.2. Oddziaływanie różnych czynników na nawierzchnię

Dobór wymiarów płyt w planie

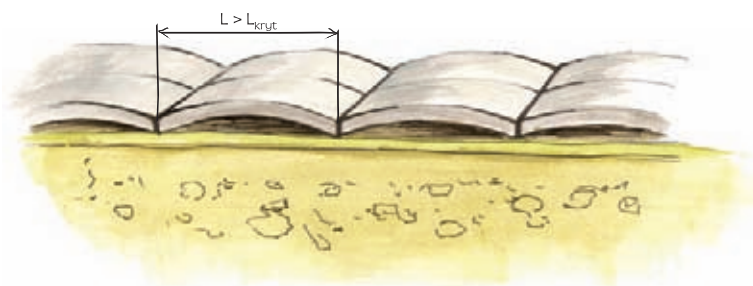
W nawierzchniach betonowych na etapie konstruowania ważne jest ustalenie wymiarów płyt w planie. O tym decyduje w głównym stopniu temperatura.

Na rys. 2.3 pokazano odkształcalność płyt długich w zależności od temperatury. Płyty długie są to takie płyty, dla których największy wymiar w planie jest większy od tzw. długości krytycznej L_{kryt} . W takich przypadkach ciężar własny płyty oraz obciążenie od koła mogą spowodować znaczne naprężenia w płycie i jej pęknięcia, jak to pokazano na rys. 2.3.

Na rys. 2.4 przedstawiono schemat odkształcenia płyt krótkich, których ciężar nie powoduje powstawania znacznych naprężeń termicznych.



Rys. 2.3. Schemat odkształcenia płyt długich



Rys. 2.4. Schemat odkształcenia płyt krótkich

Długość krytyczną określa się z zależności:

$$L_{kryt} = (22 \div 24) h \quad (2.1)$$

gdzie: L_{kryt} – długość krytyczna płyty [m],
 h – grubość płyty [m].

W praktyce maksymalne wymiary płyt w planie nie powinny być większe od długości krytycznej. Stosując takie wymiary płyt, ograniczamy w nich naprężenia termiczne.

Dobór grubości płyt przedstawiono w rozdziale 3.

Podbudowy

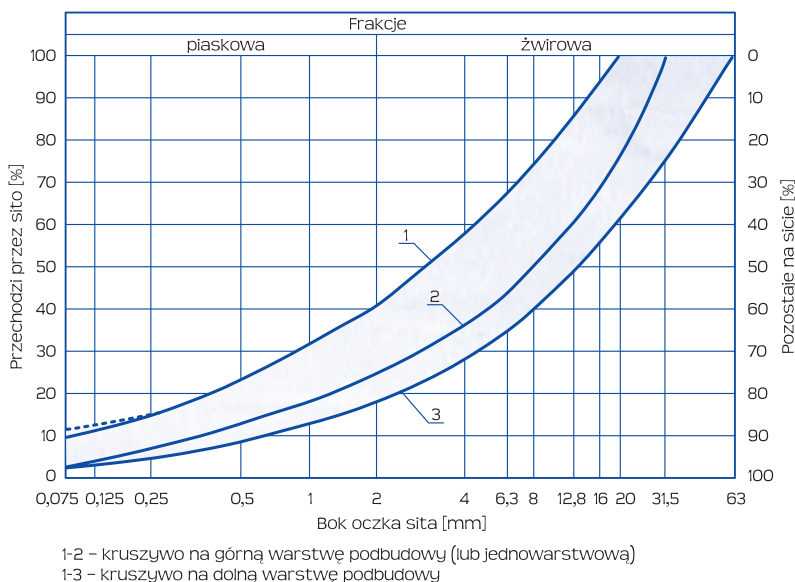
Podbudowy nawierzchni dróg gminnych pod płytami betonowymi mogą być zbudowane z następujących materiałów:

- kruszywo łamane lub naturalne o ciągłym uziarnieniu 0/31,5,
- chudy beton,
- grunt stabilizowany cementem.

Podbudowę mogą stanowić także istniejące nawierzchnie drogowe.

Podbudowy z kruszywa łamanego lub naturalnego

Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie jest to kruszywo dobrane o ciągłym uziarnieniu i zagęszczone w optymalnej wilgotności. Do podbudów używane są następujące rodzaje kruszyw: łamane, żwir i mieszanki, kruszywa z żużla wielkopieczowego. Na rys. 2.5 przedstawiono krzywe graniczne dla kruszywa.



Rys. 2.5. Krzywe graniczne uziarnienia wg wymagań polskich

Przeprowadza się następujące rodzaje badań dla kruszywa: zawartość ziaren mniejszych od 0,075 mm, zawartość nadziarna, zawartość ziaren nieforemnych, wskaźnik piaskowy, ścieralność w bębnie Los Angeles, nasiąkliwość, mrozoodporność, rozpad krzemianowy, zawartość związków siarki, wskaźnik nośności (CBR).

Materiały stosowane do wykonywania podbudowy powinny spełniać wymagania dotyczące nieprzenikania cząstek pomiędzy podbudową oraz podłożem, zgodnie z zależnością:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (2.2)$$

gdzie: D_{15} – wymiar boku oczka sita, przez które przechodzi 15% ziaren warstwy podbudowy [mm],

d_{85} – wymiar boku oczka sita, przez które przechodzi 85% ziaren podłoża [mm].

Wtórny moduł na powierzchni warstwy podbudowy nie powinien być mniejszy od 120 MPa. Minimalna grubość podbudowy wynosi 15 cm.

Podbudowy z chudego betonu

Wytrzymałość na ściskanie chudego betonu po 28 dniach twardnienia wynosi $R_{28} = 6-12$ MPa, natomiast po 7 dniach $R = 3,5-5,5$ MPa. Wytrzymałość określa się na próbkach walcowych o średnicy i wysokości 160 mm.

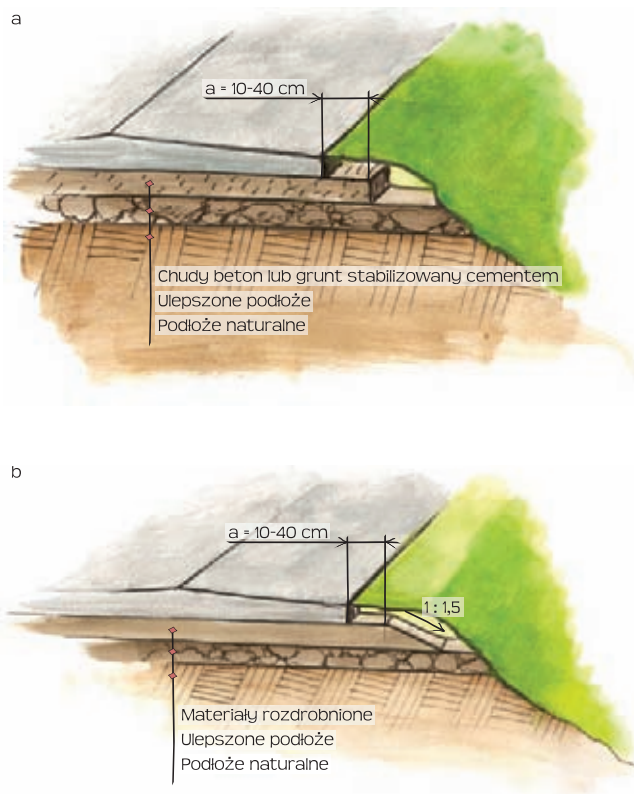
Do wykonywania chudych betonów stosuje się następujące rodzaje kruszyw: naturalne, łamane, z żużla wielkopieczowego, grys z otoczków oraz kruszywo pochodzące z recyklingu betonu większe niż 4 mm. Maksymalne uziarnienie kruszywa wynosi 31,5 mm lub 63 mm. Uziarnienie powinno być tak dobrane, aby mieszanka chudego betonu wykazywała maksymalną szczelność i urabialność przy minimalnym zużyciu wody i cementu. Aby sporządzić chudy beton, należy użyć cementu portlandzkiego CEM I, cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II, hutniczego CEM III, pucolanowego CEM IV lub cementu wieloskładnikowego CEM V klasy 32,5 N (R).

Podbudowa z chudego betonu powinna być wykonywana wtedy, gdy temperatura powietrza wynosi powyżej 5°C oraz gdy podłoże nie jest zamrożone. Nierówności górnej powierzchni mierzone 4-metrową łatą nie powinny przekraczać 9 mm. Minimalna grubość wynosi 12 cm.

Podbudowy z gruntu stabilizowanego cementem

Grunt stabilizowany cementem jest to mieszanka ustalonych, optymalnych ilości gruntu, cementu i wody. Najlepsze wyniki stabilizacji uzyskuje się przy gruntach o wskaźniku piaskowym $20 \leq WP \leq 50$ oraz zawartości frakcji $< 0,075$ mm do 15%, a także zawartości ziaren > 2 mm co najmniej 30%. Wytrzymałość gruntu stabilizowanego cementem po 28 dniach wynosi $R_{28} = 2,5 - 5$ MPa i wyznacza się ją na próbkach walcowych o średnicy i wysokości równej 8 cm. Do stabilizacji używa się następujących rodzajów cementu: cementu portlandzkiego CEM I, cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II, hutniczego CEM III, pucolanowego CEM IV lub cementu wieloskładnikowego CEM V klasy 32,5 N (R). Minimalna grubość podbudowy wynosi 14 cm.

Szerokości podbudów są większe niż szerokości warstwy nawierzchniowej z betonu cementowego. Na rys. 2.6 pokazano szerokości podbudów w stosunku do nawierzchni.



Rys. 2.6. Szerokości odsadzek w podbudowach nawierzchni betonowych: a) dla podbudowy sztywnej, b) dla podbudowy z materiałów rozdrobnionych

Szerokości odsadzek (a) wynoszą od 10 do 40 cm. Szerokość ta zależy od szerokości deskowań w przypadku układania betonu w deskowaniu lub szerokości gąsienic lub kół maszyn układających w przypadku układania za pomocą sprzętu zmechanizowanego.

Stare nawierzchnie

Istniejące nawierzchnie asfaltowe, smołowe, tłuczniowe, powierzchniowo utrwalane mogą być używane jako podbudowy nawierzchni betonowych. Warunkiem ich wykorzystania jest zachowanie odpowiedniego profilu podłużnego i poprzecznego. Wtórny moduł nie powinien być mniejszy od 120 MPa.

W przypadku nierówności istniejących nawierzchni należy wyprofilować je jednym z wyżej używanych materiałów do podbudów: kruszywem, chudym betonem lub gruntem stabilizowanym cementem.

Podłoże gruntowe

Podłoże nawierzchni drogowych tworzą grunty, które leżą w strefie bezpośrednio pod konstrukcją nawierzchni (a dokładniej pod podbudową lub w przypadku jej braku

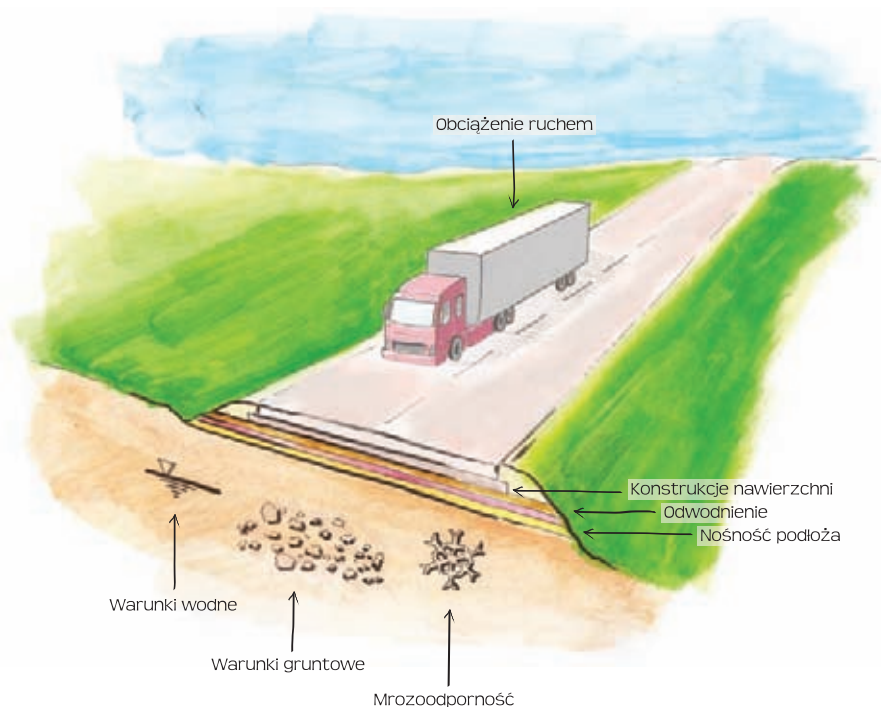
zaraz pod płytą betonową) i sięgają do głębokości przemarzania nie mniej jednak niż 1 m od powierzchni robót ziemnych. Podłoże nawierzchni mogą tworzyć grunty naturalne, antropogeniczne lub naturalne i antropogeniczne ulepszone za pomocą spoiw.

Do podłoża nawierzchni zaliczamy warstwy mrozoochronne, odsączające, odcinające oraz wzmacniające podłoże.

Podłoże powinno mieć wtórny moduł nie mniejszy niż 100 MPa. Sposób doprowadzania podłoża do wyżej wymienionej wartości modułu podano w rozdziale 3.

3. PROJEKTOWANIE GRUBOŚCI WARSTW

W celu ułatwienia inwestorom, projektantom i wykonawcom projektowania grubości konstrukcji nawierzchni oraz planowania robót drogowych przedstawiono poniżej procedurę katalogową doboru typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych („Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych”, GDDP, Warszawa 2001). Taka metoda projektowania pozwala uniknąć przyjmowania nieekonomicznych i przypadkowych grubości warstw, umożliwia także zmechanizowanie robót i wykorzystanie materiałów miejscowych do budowy nawierzchni.



Rys. 3.1. Czynniki uwzględniane w wymiarowaniu nawierzchni

W procesie projektowania uwzględnia się następujące etapy postępowania:

- etap I – określenie obciążenia ruchem,
- etap II – określenie warunków wodnych,
- etap III – określenie warunków gruntowych,
- etap IV – określenie nośności podłoża,
- etap V – przyjęcie typowej konstrukcji nawierzchni,
- etap VI – sprawdzenie warunku mrozoodporności,
- etap VII – przyjęcie ostatecznej konstrukcji.

Etap I – określenie obciążenia ruchem

Punktem wyjścia jest przyjęcie prognozowanego średniodobowego ruchu (SDR) w przekroju drogi, w 15 roku po oddaniu drogi do eksploatacji. Pod uwagę bierze się wyłącznie trzy grupy pojazdów:

- samochody ciężarowe bez przyczep (dwu- i trzyosiowe),
- samochody ciężarowe z przyczepami (od trzech do pięciu osi),
- autobusy.

Następnie na podstawie prognozowanych natężeń dobowych dla poszczególnych typów pojazdów określa się tzw. oś obliczeniową. Jest to zastępcza oś pojedyncza o kołach pojedynczych i określonym obciążeniu. W przypadku gdy w strukturze ruchu występują grupy pojazdów o obciążeniach osi 100 kN lub udział pojazdów o obciążeniu osi 115 kN nie przekracza 8 %, przyjmuje się oś obliczeniową równą 100 kN. Taka struktura występuje najczęściej na drogach gminnych.





W praktyce liczbę osi obliczeniowych dla drogi o jednym pasie ruchu w każdym kierunku oblicza się z zależności:

$$L = (N_1 \cdot r_1 + N_2^A \cdot r_2^A + N_2^B \cdot r_2^B + N_3 \cdot r_3) \cdot 0,5 \quad (3.1)$$


gdzie:

- N_1 – średni dobowy ruch samochodów ciężarowych bez przyczep w 15 roku po oddaniu drogi do eksploatacji,
- N_2^A – średni dobowy ruch samochodów ciężarowych z przyczepami (czterooosiowych) w 15 roku po oddaniu drogi do eksploatacji,
- N_2^B – średni dobowy ruch samochodów ciężarowych z przyczepami (pięcioosiowych) w 15 roku po oddaniu drogi do eksploatacji,
- N_3 – średni dobowy ruch autobusów w 15 roku po oddaniu drogi do eksploatacji,
- r_1, r_2^A, r_2^B, r_3 – współczynniki przeliczeniowe dla odpowiednich grup pojazdów (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Współczynniki przeliczeniowe sylwetek pojazdów na oś obliczeniową 100 kN

Pojazdy ciężarowe bez przyczep		$r_1 = 0,032$
Pojazdy ciężarowe z przyczepami (czteroosiowe)		$r_2^A = 1,477$
Pojazdy ciężarowe z przyczepami (pięćoosiowe)		$r_2^B = 3,76$
Autobusy		$r_3 = 0,43$

Oś obliczeniowa 100 kN



Tak określona liczba osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy pozwala wyznaczyć kategorię ruchu (tabela 3.2). W przypadku ruchu występującego na drogach lokalnych będzie to kategoria KR1 lub KR2.





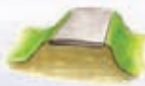


Tabela 3.2. Określenie kategorii ruchu

Kategoria ruchu	Liczba osi obliczeniowych $L_{100 \text{ kN}}$ na dobę na pas obliczeniowy
KR1	≤ 12
KR2	13 – 70

Etap II – określenie warunków wodnych

Warunki wodne występujące w podłożu gruntowym uzależniona się od poziomu występowania swobodnego zwierciadła wody gruntowej oraz charakterystyki korpusu drogowego (wysokość nasypu oraz głębokość wykopu) – tabela 3.3.

Tabela 3.3. Określenie warunków wodnych

Charakterystyka korpusu drogowego		Poziom zwierciadła wody gruntowej			
					
	Wykopy ≤ 1 m	złe	przeciętne	przeciętne	Warunki wodne
	Nasyp ≤ 1 m	złe	przeciętne	przeciętne	
	Wykopy > 1 m	złe	przeciętne	dobrze	
	Nasyp > 1 m	złe	przeciętne	dobrze	

W zależności od wymienionych czynników można otrzymać warunki wodne: złe, dobre i przeciętne.

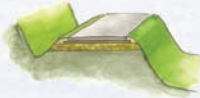

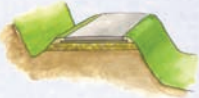
Etap III – określenie warunków gruntowych

Podział gruntów przeprowadza się na podstawie ich wrażliwości na działanie wody i mrozu. Istotna jest odporność gruntu na powstawanie wysadzin, soczewek lodowych, a także przełomów w okresie nadmiernego zawilgocenia powodującego utratę nośności.

Podstawowym kryterium oceny jest zawartość drobnych cząstek gruntu, a dodatkowymi, stosowanymi w przypadkach wątpliwych: wskaźnik piaskowy i kapilarność bierna.

Jeśli ocena na podstawie badania różnymi metodami jest rozbieżna, to decyduje wynik najmniej korzystny (tabela 3.4).

Tabela 3.4. Określenie warunków gruntowych

Właściwość	Grupa gruntów		
	Niewysadzinowe 	Wątpliwe 	Wysadzinowe 
Zawartość cząstek [%] ≤ 0,075 mm	< 15	15 ÷ 30	> 30
≤ 0,02 mm	< 0,3	3 ÷ 10	> 10
Kapilarność bierna [m] H_{kb}	< 1,0	÷ 1,0	> 1,0
Wskaźnik piaszkowy [%] WP	> 35	25 ÷ 35	< 25

Ostatecznie grunty charakteryzuje się jako: niewysadzinowe, wątpliwe lub wysadzinowe.

Etap IV – określenie nośności podłoża

Na podstawie znanych warunków wodnych oraz stopnia wysadzinowości gruntu można określić grupę nośności podłoża (tabela 3.5).

Tabela 3.5. Określenie grupy nośności podłoża

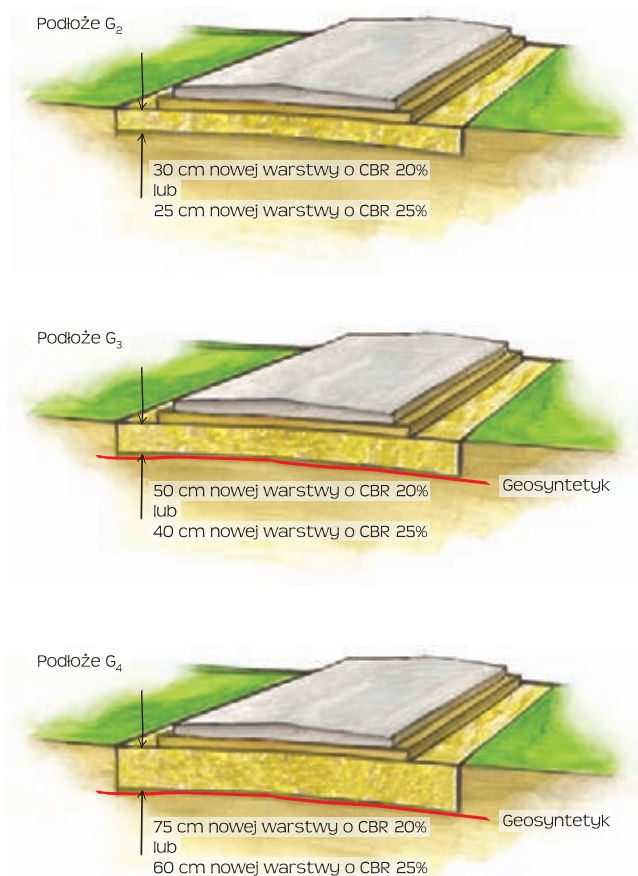
Rodzaj gruntów podłoża	Grupa nośności podłoża nawierzchni G_I , gdy warunki wodne są:		
	dobrze	przeciętne	złe
Grunty niewysadzinowe żwiry, pospółki, piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste oraz rumosze skalne (wszystkie niegliniaste), żuźle nierozpadowe	G_1	G_1	G_1
Grunty wątpliwe piaski pylaste	G_1	G_2	G_2
żwiry gliniaste, pospółki gliniaste, rumosze i wietrzliny gliniaste	G_1	G_2	G_3
Grunty mało wysadzinowe gliny związane piaszczyste i pylaste, ility, ility piaszczyste i pylaste	G_2	G_3	G_4
Grunty bardzo wysadzinowe piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły, gliny, gliny piaszczyste i pylaste, ility warwowe	G_3	G_4	G_4

Grupę nośności podłoża (G_I) można ustalić również na podstawie wskaźnika nośności gruntu (CBR) – tabela 3.6.

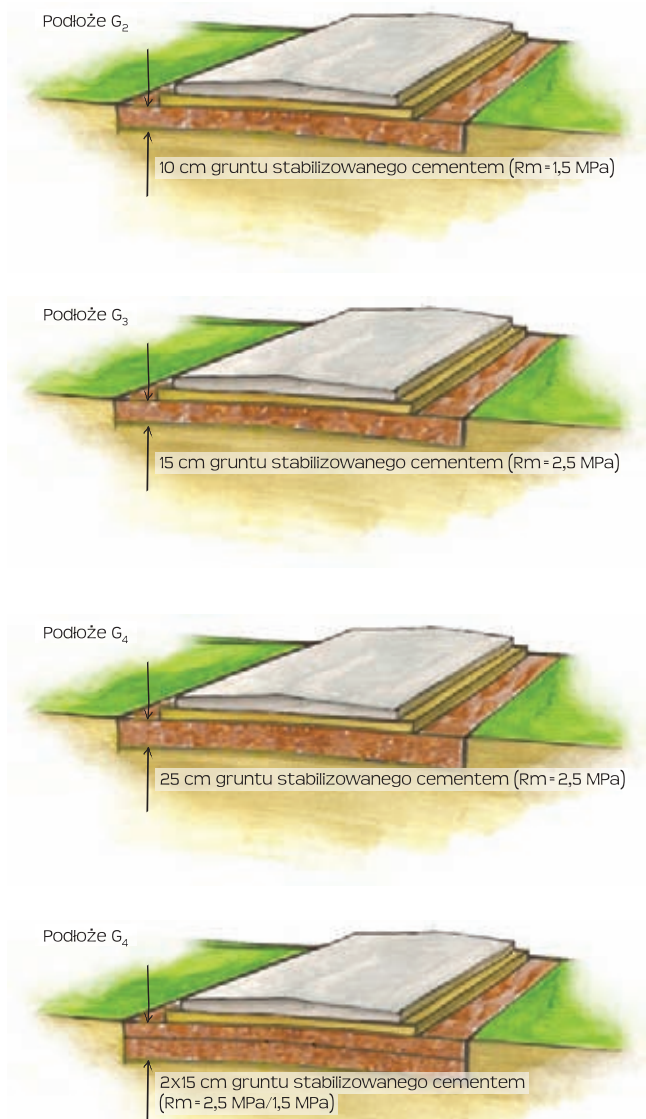
Tabela 3.6. Określenie grupy nośności podłoża na podstawie wskaźnika CBR

Grupa nośności podłoża G_i	Wskaźnik nośności CBR [%]
G_1	≥ 10
G_2	3 – 10
G_3	3 – 5
G_4	< 3

W przypadku otrzymania słabego podłoża gruntowego o grupie nośności G_2 , G_3 lub G_4 należy zastosować odpowiednio wymianę gruntu (rys. 3.2) lub wzmocnienie (rys. 3.3) tak, aby uzyskać grupę nośności G_1 . W przypadku gruntu dla podłoża G_3 i G_4 zaleca się zastosowanie geosyntetyku.

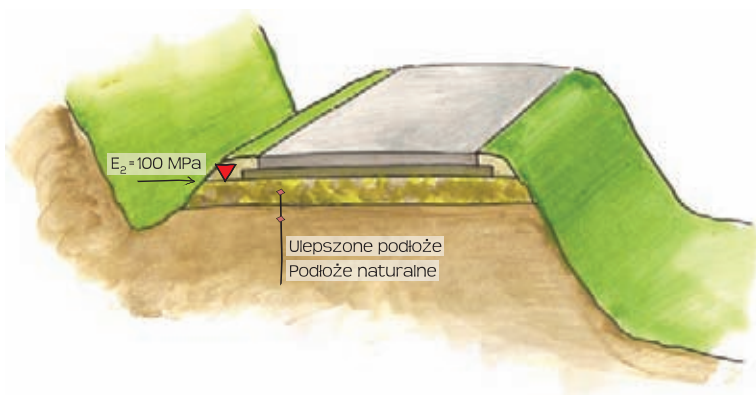


Rys. 3.2. Wymiana gruntu podłoża



Rys. 3.3. Wzmocnienie gruntu podłoża za pomocą stabilizacji

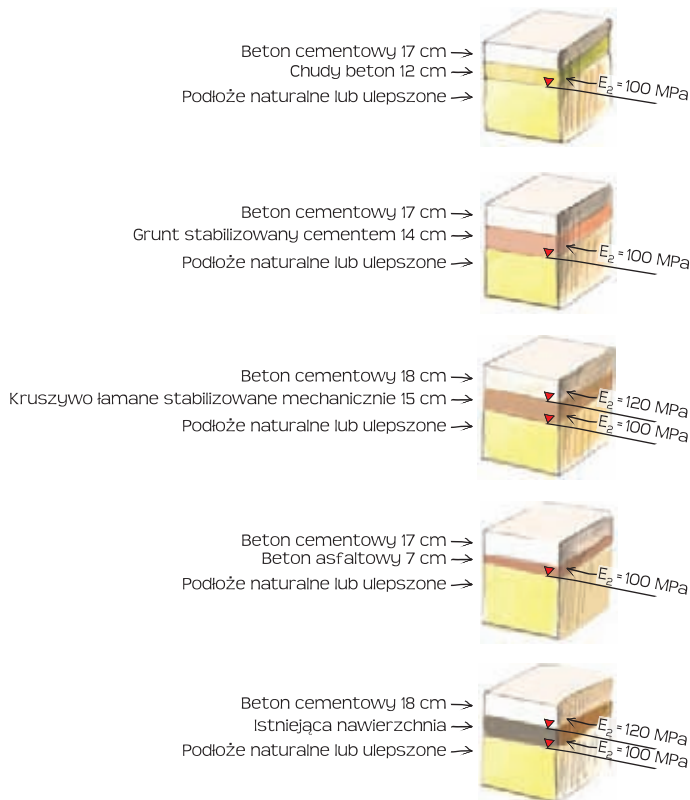
Tak przeprowadzone zabiegi, wzmacniające podłoże naturalne do tzw. ulepszono podłoża, powinny doprowadzić do uzyskania na poziomie układania podbudowy nawierzchni wtórnego modułu odkształcenia $E_2 = 100 \text{ MPa}$ oraz wskaźnika zagęszczenia 1,00 (rys. 3.4).



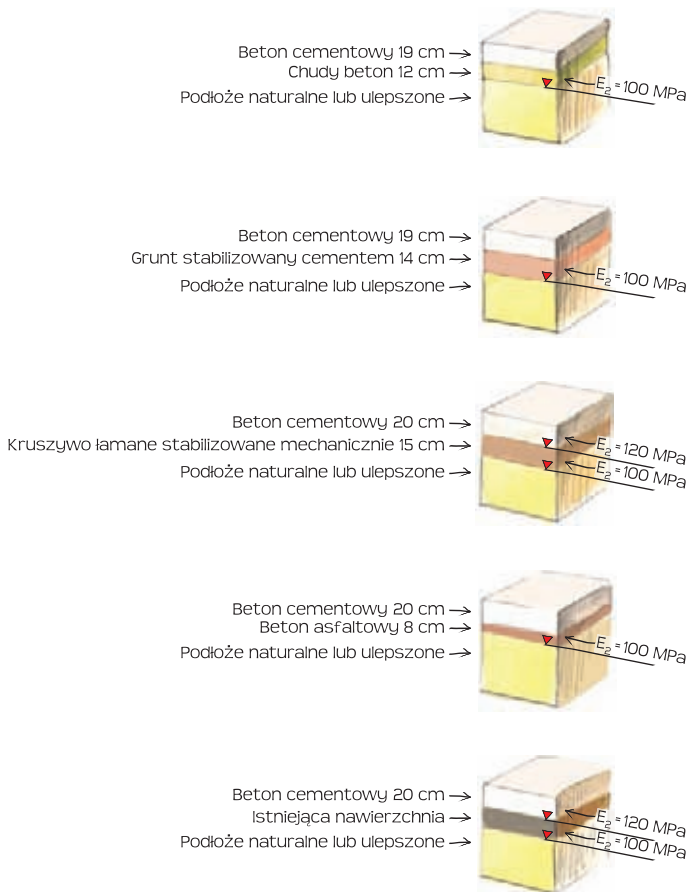
Rys. 3.4. Wymagana nośność ulepszonego podłoża

Etap V – przyjęcie typowej konstrukcji nawierzchni

Na podstawie znanej kategorii ruchu, zależnie od wyboru materiału podbudowy, można przyjąć jedną z pięciu typów konstrukcji nawierzchni (rys. 3.5 i 3.6).



Rys. 3.5. Typowe konstrukcje dla ruchu KR1



Rys. 3.6. Typowe konstrukcje dla ruchu KR2

Etap VI – sprawdzenie warunku mrozoodporności

Ze względu na niekorzystny wpływ mrozu na konstrukcję nawierzchni i podłoże (szczególnie wysadzinowe), istotne jest sprawdzenie warunku mrozoodporności. Głębokość przemarzania gruntu h_z jest różna dla poszczególnych regionów Polski i zależy od strefy klimatycznej.

Sprawdzenie warunku mrozoodporności polega na stwierdzeniu, czy przyjęta grubość nawierzchni wraz z ulepszonym podłożem nie jest mniejsza od wartości podanej w tabeli 3.7.

Tabela 3.7. Wymagane grubości konstrukcji odpornej na przemarzanie

Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża		
	G ₁ i G ₂	G ₃	G ₄
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

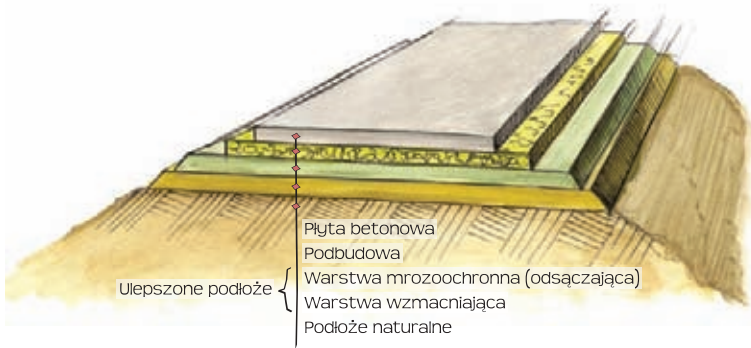
Jeżeli powyższy warunek nie zostanie spełniony, to należy zastosować warstwę mrozoochronną lub ulepszone podłoże pogrubić.



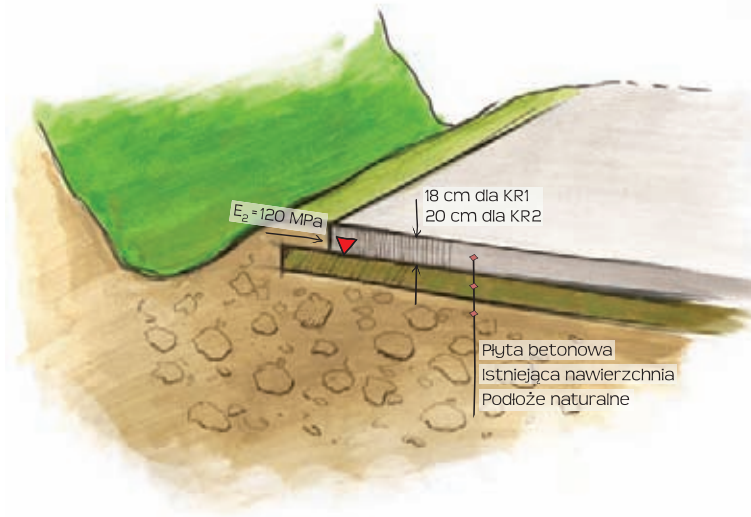
Rys. 3.7. Określenie głębokości przemarzania w Polsce

Etap VII – przyjęcie ostatecznej konstrukcji

Znając już odpowiednie wymagania dotyczące wzmocnienia podłoża, odwodnienia, mrozoodporności oraz uwzględniając przyjętą typową konstrukcję nawierzchni, można zestawzić projektowany układ warstw (rys. 3.8 i 3.9).



Rys. 3.8. Schemat układu warstw nowej konstrukcji



Rys. 3.9. Schemat układu warstw na istniejącej nawierzchni

4. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW UŻYWANYCH DO PRODUKCJI MIESZANEK BETONOWYCH

Podstawowymi materiałami używanymi do produkcji betonu są: cementy, kruszywa, piasek, woda, domieszki (napowietrzające i uplastyczniające).

Cementy

Cement jest podstawowym i zasadniczym składnikiem betonu. W celu zapewnienia nawierzchni betonowej odpowiednich właściwości cement powinien spełniać wymagania podane w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Cementy używane do drogowych nawierzchni betonowych

Rodzaje nawierzchni	Klasa betonu	Rodzaj cementu	Klasa cementu	Wymagania specjalne
Typowe nawierzchnie betonowe	B 30 – 50 C25/30 ÷ C40/50*	Cement portlandzki CEM I	32,5 N	Wodozwardność wg PN-EN 196-3 ≤ 28%, wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 ≤ 29 MPa; Powierzchnia właściwa wg PN-EN 196-6 ≤ 3500 cm ² /g; Początek wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut
			32,5 R	
			42,5 N	
			42,5 R	
		Cement portlandzki żużłowy CEM II/A-S CEM II/B-S	32,5 N 32,5 R 42,5 N 42,5 R	
Cement portlandzki popiołowy CEM II/A – V CEM II/B – V	32,5 N 32,5 R 42,5 N 42,5 R			
Cement hutniczy CEM III/A	32,5 N 32,5 R 42,5 N 42,5 R			
Nawierzchnie betonowe do wczesnego obciążenia ruchem	B 30 – 50 C25/30 ÷ C40/50*	Cement portlandzki CEM I	42,5 N 42,5 R	Wodozwardność wg PN-EN 196-3 ≤ 28%, wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 ≤ 29 MPa;
Nawierzchnie betonowe w warunkach agresji siarczanowej	B 30 – 50 C25/30 ÷ C40/50*	Cement portlandzki specjalny siarczanoodporny CEM I HSR CEM I MSR	32,5 N	Powierzchnia właściwa wg PN-EN 196-6 ≤ 3500 cm ² /g; Początek wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut
			32,5 R	
			42,5 N	
			42,5 R	
Cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V	32,5 N 32,5 R 42,5 N 42,5 R			
Cement hutniczy CEM III/B	32,5 N 32,5 R			
Cement pucołanowy CEM IV/B	42,5 N 42,5 R			

* Oznaczenie według normy PN-EN 206-1.

Kruszywo

Do produkcji betonu najlepiej nadają się kruszywa pochodzące z następujących skał: granit, bazalt, czyste wapienie, dolomity oraz skały metamorficzne typu gnejs, łupki krystaliczne. Stosuje się kruszywa łamane i żwirowe płukane. Maksymalny wymiar ziaren wynosi 31,5 mm.

Kruszywo powinno odpowiadać zerowemu stopniowi potencjalnej reaktywności alkalicznej.

W tabeli 4.2 podano wymagania dla kruszywa łamanego do nawierzchni betonowych dróg gminnych.

Tabela 4.2. Wymagania dla kruszywa łamanego do nawierzchni betonowych

Właściwości	B30 i B35 C25/30 ÷ C30/37*
Ścieralność w bębnie Los Angeles, nie więcej niż [%]	35
Nasiąkliwość, nie większa niż [%]:	
a) dla kruszyw ze skał magmowych i przeobrażonych,	
– frakcja 4–8 mm,	2,0
– frakcja powyżej 8 mm	2,0
b) dla kruszyw ze skał osadowych	3,0
Mrozoodporność, nie większa niż [%]	
a) dla kruszyw ze skał magmowych i przeobrażonych,	4,0
b) dla kruszyw ze skał osadowych	5,0
Zawartość związków siarki w przeliczeniu na SO ₃ , nie większa niż [%]	1,0
Zawartość ziaren nieforemnych, nie większa niż [%]	25
Zawartość zanieczyszczeń obcych, nie większa niż [%]	0,2
Zawartość zanieczyszczeń organicznych, nie większa niż [%]	Barwa nie ciemniejsza niż wzorcowa

* Według normy PN-EN 206-1.

Wymagania dla kruszywa żwirowego do nawierzchni betonowych przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Wymagania dla kruszywa żwirowego do nawierzchni betonowych

Właściwości	B30 C25/30*
Ścieralność w bębnie Los Angeles, nie większa niż [%]	35
Nasiąkliwość, nie większa niż [%]	2,5
Mrozoodporność, nie większa niż [%]	5,0
Zawartość związków siarki w przeliczeniu na SO ₃ , nie większa niż [%]	1,0
Zawartość ziaren nieforemnych, nie większa niż [%]	25
Zawartość zanieczyszczeń obcych, nie większa niż [%]	0,2
Zawartość ziaren słabych, zwietrzałych, nie większa niż [%]	10
Zawartość zanieczyszczeń organicznych, nie większa niż [%]	Barwa nie ciemniejsza niż wzorcowa

* Według normy PN-EN 206-1.

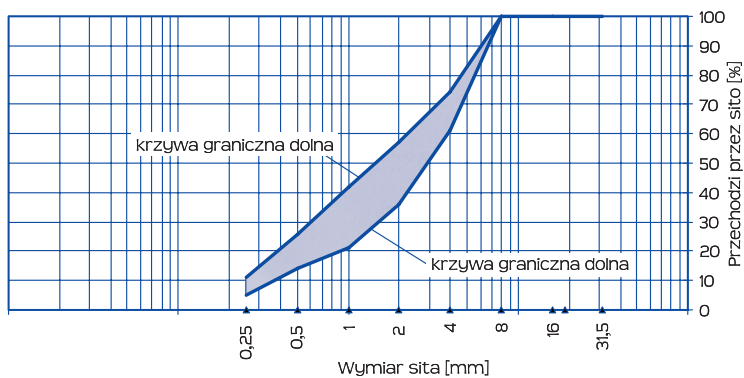
W tabeli 4.4 podano wymagania dla kruszywa drobnego.

Tabela 4.4. Wymagania dla kruszywa drobnego

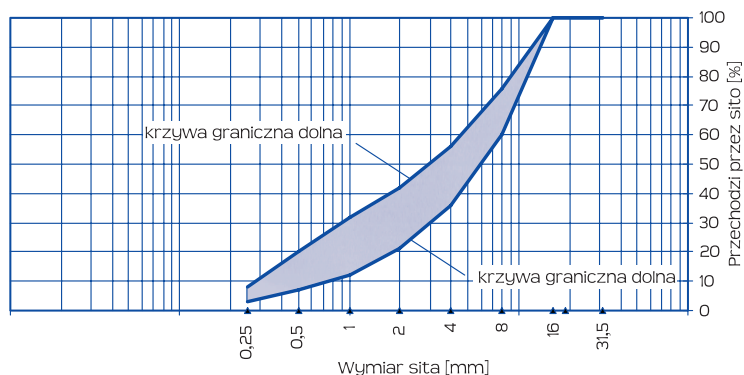
Właściwości	Piasek naturalny	Piasek łamany
Zawartość związków siarki w przeliczeniu na SO ₃ , nie większa niż [%]	0,2	0,2
Zawartość zanieczyszczeń obcych, nie większa niż [%]	0,1	0,1
Zawartość zanieczyszczeń organicznych, nie większa niż [%]	Barwa nie ciemniejsza niż wzorcowa	Barwa nie ciemniejsza niż wzorcowa
Zawartość ziaren mniejszych niż 0,075 mm [%]	1,0	1,0
Zawartość nadziana powyżej 2 mm, nie większa niż [%]	15	15
Wskaźnik piaskowy, większy niż [%]	75	65

Skład ziarnowy kruszywa powinien mieścić się w granicznych krzywych uziarnienia, które podano na rys. 4.1.

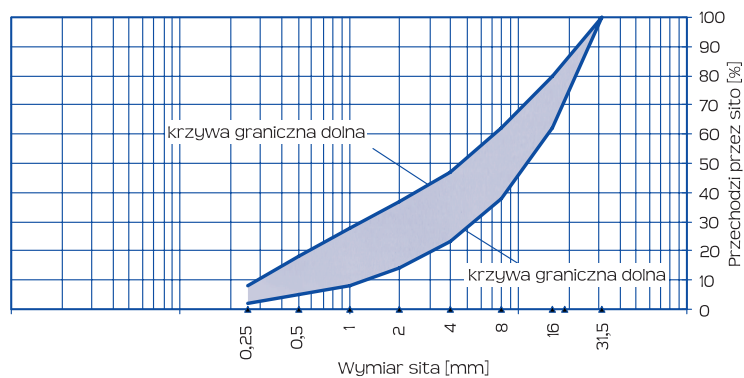
Kruszywo
0 ÷ 8 mm



Kruszywo
0 ÷ 16 mm



Kruszywo
0 ÷ 31,5 mm



Rys. 4.1. Krzywe uziarnienia mieszanki betonowej

Woda

Zaleca się, ażeby wodą zarobową była woda wodociągowa. W przypadku korzystania z innych źródeł należy wykonać badania jej składu. Woda zarobowa nie może

zawierać składników, które mogłyby mieć negatywny wpływ na przebieg wiązania i twardnienia betonu. Woda powinna spełniać wymagania polskiej normy.

Inne dodatki

Do napowietrzenia i upłynnienia betonu stosuje się różnego rodzaju domieszki chemiczne. Domieszki te poprzez swoje działanie chemiczne i fizyczne będą miały wpływ na właściwości betonu. Najczęściej stosuje się następujące rodzaje domieszek:

- napowietrzające,
- plastyfikujące,
- upłynniające,
- opóźniające.

Ze względu na wymaganą odporność betonu na mróz oraz działanie soli rozmrażających, konieczne jest stosowanie środków napowietrzających. Środków tych nie stosuje się w betonach o małych współczynnikach wodno-cementowych, do których zalicza się betony wałowane czy betony przeznaczone do produkcji kostki brukowej.

Domieszki napowietrzające, które stosuje się w celu otrzymania betonu napowietrzonego, wytwarzają w świeżym betonie mikropory powietrzne (średnica ich waha się w przedziale 10–300 μm). Pozwala to na niwelowanie skutków wzrostu objętości zamarzającej wody w stwardniałym betonie. Wysoką odporność na działanie środków odladzających i mrozu można osiągnąć w zagęszczonym betonie przy określonej objętościowo ilości mikroporów, przy czym należy podkreślić, że mikropory o określonych wymiarach będą miały znaczenie dla odporności betonu na mróz i sole odladzające. Ważny ponadto jest odstęp pomiędzy mikroporami a ziarnami cementu. Odległość ta powinna wynosić od 0,20 do 0,24 mm. W celu utrzymania prawidłowego stanu napowietrzenia betonu ważne jest, aby stosowane domieszki plastyfikujące i upłynniające nie wykazywały działania zakłócającego lub zmieniającego działanie domieszek napowietrzających (należy sprawdzić ich kompatybilność). Użycie domieszki napowietrzającej poprawia urabialność świeżej mieszanki betonowej oraz zmniejsza wodożądność stosu okrucowego. Należy pamiętać, że wytrzymałość końcowa betonu napowietrzonego ulegnie obniżeniu (ok. 10%) i fakt ten przy opracowywaniu recepty należy uwzględnić.

Domieszki plastyfikujące zmniejszają wodożądność składników betonu oraz poprawiają urabialność betonu przy zmniejszonym dozowaniu wody lub zmniejszonej ilości cementu.

Domieszki upłynniające – superplastyfikatory, mają działanie uplastyczniające w znacznie silniejszym zakresie niż domieszki plastyfikujące. Stosowane są przede wszystkim do produkcji betonu drogowego o szybkim narastaniu wczesnej wytrzymałości. Trwałość działania domieszek upłynniających waha się w granicach od 30 do 60 minut.

W szczególnych przypadkach wymagane jest stosowanie domieszek opóźniających. Służą one do wydłużenia czasu przerabialności betonu, opóźnienia początku wiązania cementu w warunkach wysokich temperatur.

Wszelkie domieszki stosowane do betonu, przeznaczonego do wykonywania nawierzchni drogowych, mogą być używane po wykonaniu odpowiednich prób i uzyskaniu wymaganych parametrów betonu w badaniach laboratoryjnych.

5. CHARAKTERYSTYKA MIESZANEK BETONOWYCH I BETONU NAWIERZCHNIOWEGO

Wymagania dla mieszanek betonowych

Wymaga się, aby mieszanki do nawierzchni betonowych odznaczały się następującymi właściwościami:

- odpowiednią konsystencją oraz
- zawartością powietrza.

Konsystencja powinna być dostosowana do warunków transportu oraz technologicznych warunków układania i zagęszczania. Dopuszcza się stosowanie konsystencji w przedziale K2–K4 (od gęstoplastycznej do półciekłej, wg PN -88/B-06250 dopuszczalny opad stożka od 2 do 11 cm). Natomiast wg PN-EN 206-1 dopuszcza się klasy konsystencji S1, S2, odpowiada to dopuszczalnemu opadowi stożka w przedziale od 1 do 9 cm.

Jeżeli chodzi o zawartość powietrza, to do betonu dodawane są domieszki napowietrzające, których zadaniem jest wytworzenie mikroskopijnych pęcherzyków powietrza o średnicy ok. 10 do 300 µm. Głównym zadaniem tych domieszek jest uzyskanie wysokiej mrozoodporności.

Domieszki napowietrzające zwiększają także urabialność, plastyczność i jednorodność mieszanki betonowej.

Wymagana zawartość powietrza według PN-EN 206-1 dla klasy ekspozycji betonu XF4 wynosi minimum 4%.

Stosunek wodno-cementowy powinien być mniejszy od 0,45, przy czym jego wartość należy dostosować do warunków wykonania i utrzymania nawierzchni.

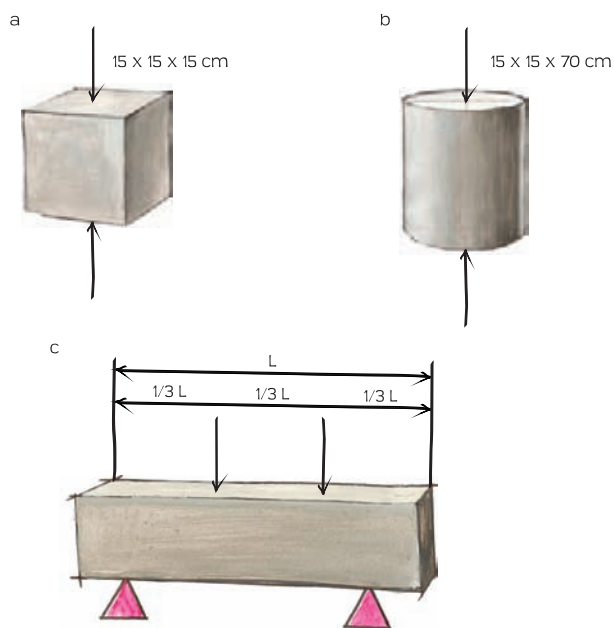
Wymagania wytrzymałościowe dla betonów drogowych

Podstawowymi wymaganiami dla betonów nawierzchni drogowych są wymagania wytrzymałościowe. Przyjęto dwa najważniejsze:

- wytrzymałość na ściskanie,
- wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu.

Żałożono, że klasy betonów używanych do nawierzchni betonowych wynoszą według PN-88/B-06250 - B 30 dla dróg o obciążeniu ruchem KR1, KR2 (drogi gminne), przy czym klasy betonów oznaczane są na próbkach sześciennych o wymiarach boku 15 x 15 x 15 cm po 28 dniach dojrzewania.

Według PN-EN 206-1 wytrzymałość charakterystyczna dla dróg o obciążeniu ruchem KR1, KR2 wynosi C25/30. Pierwsza liczba oznacza wytrzymałość charakterystycz-



Rys 5.1. Schematy badań: a, b) wytrzymałość na ściskanie, c) wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

na ściskanie na walcach o średnicy 15 cm i wysokości 30 cm po 28 dniach dojrzewania. Drugą wytrzymałość charakterystyczną na kostkach sześciennych o wymiarach $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$, również po 28 dniach dojrzewania.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu określa się na beleczkach $15 \times 15 \times 70 \text{ cm}$ zginanych czteropunktowym obciążeniem. Rozstaw podpór wynosi 60 cm. Wytrzymałość charakterystyczną na rozciąganie przy zginaniu przyjęto równą $4,5 \text{ MPa}$ dla ruchu KR1 i KR2.

Do wyżej wymienionych wymagań wytrzymałościowych dla betonu dochodzi jeszcze spełnienie innych parametrów, takich jak:

- nasiąkliwość wagowa nie większa niż 5%,
- użycie kruszywa o odpowiedniej mrozoodporności (zgodnie z tabelami 4.2 i 4.3).

6. WYTWARZANIE I WBUDOWYWANIE MIESZANEK BETONOWYCH ORAZ WYKAŃCZANIE NAWIERZCHNI

Wytwarzanie i transport

Mieszanki betonowe wytwarzane są najczęściej w betonowniach. Rozróżnia się betonownie o pracy cyklicznej i ciągłej. W betonowniach cyklicznych poszczególne

składniki podawane są w sposób powtarzający się. Natomiast w betonowniach o pracy ciągłej składniki podawane są w sposób ciągły. Tego typu betonownie (o pracy ciągłej) są dużej wydajności. Wytwórnice mieszanek betonowych powinny być wyposażone w automatyczne urządzenia do wagowego dozowania wszystkich składników. Powinny być także zaopatrzone w silosy na cement, dozatory kruszywa oraz urządzenia dozujące co najmniej dwa rodzaje domieszek. Czas mieszania składników w mieszalniku powinien wynosić minimum 45 sekund.

Doświadczenia wskazują, że wydajność betonowni nie powinna być mniejsza od $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Mieszanki betonowe transportowane są z betonowni na budowę za pomocą samochodów skrzyniowych oraz betoniarek. Przy czym ze względu na konsystencję betonu drogowego najczęściej używane są samochody skrzyniowe. Dla średniej temperatury 20°C czas transportu w betoniarce wynosić powinien maksymalnie 90 minut, natomiast w samochodach skrzyniowych maksymalnie 45 minut ze względu na zachowanie wymaganego poziomu napowietrzenia mieszanki. Należy unikać transportu mieszanki w skrzyniach aluminiowych ze względu na reakcję opiłków aluminium, pochodzących ze skrzyń ładunkowych samochodów z wodorotlenkiem wapnia zawartym w betonie, podczas której wydziela się wodór i prowadzi to do powstawania kraterów w betonie.

Wbudowywanie mieszanek

Rozróżnia się dwa zasadnicze metody wbudowywania mieszanek betonowych:

- w deskowaniu ślizgowym,
- w deskowaniu stałym (prowadnicach).

Metoda ślizgowa polega na wbudowywaniu mieszanki za pomocą maszyny, która formułuje nawierzchnię, ograniczając ją z boków za pomocą deskowań ślizgowych, będących częścią składową maszyny.

Metoda w deskowaniu stałym polega na wbudowywaniu mieszanki betonowej między stałymi deskowaniami złożonymi z drewnianych belek lub ceowników, przytwierdzonych do podłoża za pomocą szpilek.

Rozkładanie betonu odbywa się albo ręcznie, albo za pomocą równiarek lub spycharek.

Zagęszczanie betonu powinno się odbywać za pomocą wibratorów wglębnych lub powierzchniowych. Dla grubości mniejszych od 20 cm dopuszcza się zagęszczanie z użyciem wibratorów powierzchniowych (listew wibracyjnych).

W tabeli 6.1 zestawiono wymagania dotyczące temperatury powietrza T_p i temperatury betonu T_b podczas układania.

Tabela 6.1. Wymagania dotyczące temperatury powietrza (T_p) i betonu (T_b) podczas układania nawierzchni

Wbudowywanie betonu	Temperatura powietrza i betonu
Dopuszczalne	$25^{\circ}\text{C} \geq T_p \geq 5^{\circ}\text{C}$ $30^{\circ}\text{C} \geq T_b \geq 5^{\circ}\text{C}$
Przy spełnieniu określonych wymogów	$30^{\circ}\text{C} > T_p > 25^{\circ}\text{C}$ $T_b \leq 30^{\circ}\text{C}$
Niedopuszczalne	Nieprzerwany mróz $T_p \leq -3^{\circ}\text{C}$ $30^{\circ}\text{C} < T_b$ lub $5^{\circ}\text{C} > T_b$

W razie konieczności wykonywania nawierzchni w temperaturze powietrza poniżej $+5^{\circ}\text{C}$ należy podjąć specjalne środki zabezpieczające, do których zalicza się:

- zwiększenie ilości cementu w składzie betonu,
- zastosowanie cementu o wyższej wytrzymałości początkowej (wyższym ciepłe hydratacji),
- podgrzewanie dodawanej wody lub podgrzewanie kruszywa do betonu.

Dodawaną wodę o temperaturze przekraczającej $+70^{\circ}\text{C}$ należy mieszać z kruszywem przed dodaniem cementu.

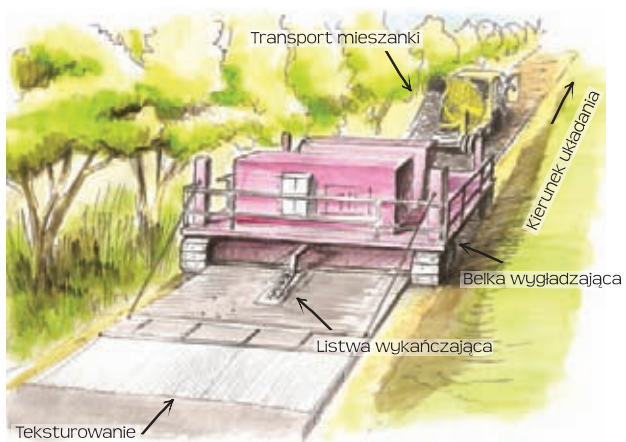
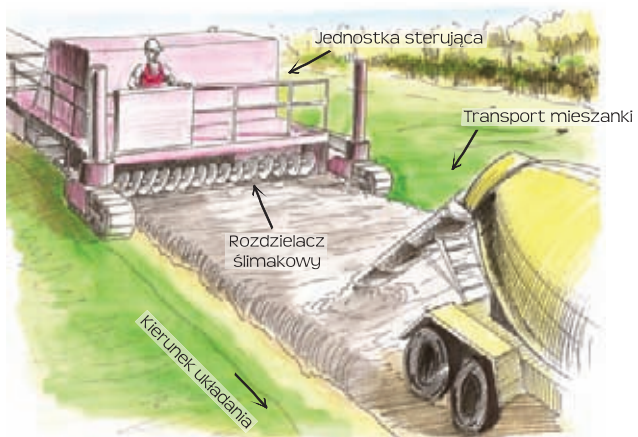
Jeżeli układanie betonu odbywa się w temperaturze powietrza przekraczającej $+25^{\circ}\text{C}$, należy kontrolować temperaturę świeżego betonu w miejscu wbudowywania. Temperatura ta nie powinna przekraczać $+30^{\circ}\text{C}$.

W celu zapobiegania niekorzystnym wpływom wysokich temperatur na beton należy zastosować środki zapobiegawcze, takie jak:

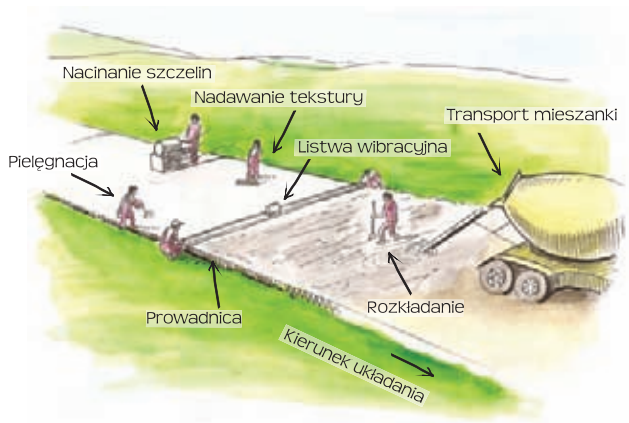
- ochładzanie podłoża przez nawilżanie,
- zraszanie grubego kruszywa wodą.

Na rys. 6.1 pokazano przykład układania nawierzchni w deskowaniu ślizgowym, a na rys. 6.2 w deskowaniu stałym.

Nawierzchnię układa się na całej szerokości lub półwkami. Jeżeli szerokość nie przekracza 4,5 m, to można układać na całej szerokości, nie stosując szczelin podłużnych. Przy szerokościach powyżej 4,5 m nawierzchnie układa się półwkami, stosując szczelinę podłużną.



Rys. 6.1. Transport mieszanki i układanie nawierzchni w deskowaniu ślizgowym



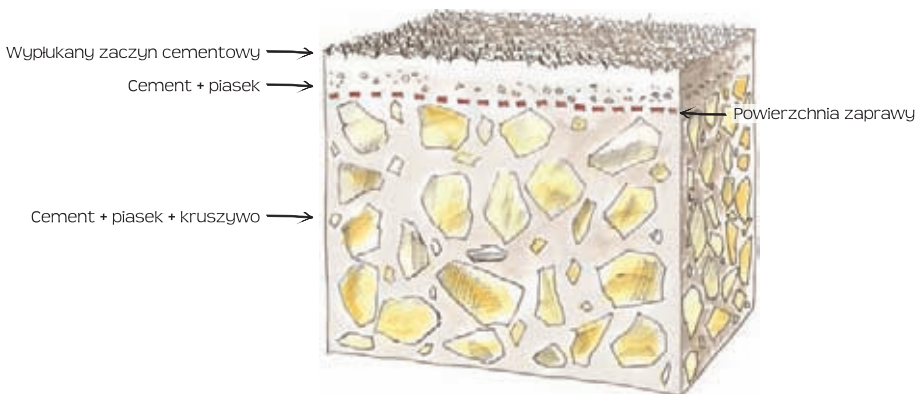
Rys. 6.2. Transport mieszanki i układanie nawierzchni w deskowaniu stałym

Wykańczanie i pielęgnowanie nawierzchni

Po ułożeniu nawierzchni, jej zagęszczeniu należy wygładzić nawierzchnię za pomocą deski mechanicznej lub ręcznie. Po wykonaniu tej czynności nawierzchni nadaje się odpowiednią teksturę.

Na rys. 6.3 pokazano przekrój górnej części nawierzchni w strefie przypowierzchniowej.

Na górnej powierzchni powstaje zaprawa piaskowa, która w pierwszym etapie eksploatacji nawierzchni decyduje o szorstkości nawierzchni. Ważnym problemem dla bezpieczeństwa ruchu jest wykończenie górnej powierzchni, czyli nadanie nawierzchni odpowiedniej tekstury.



Rys. 6.3. Przekrój nawierzchni w strefie przypowierzchniowej

Teksturowanie w celu uzyskania odpowiedniej szorstkiej nawierzchni można przeprowadzić jedną z niżej podanych metod:

- ręczne lub mechaniczne przeciąganie w kierunku podłużnym (równoległym do osi jezdni) tkaniny jutowej,
- przecieranie świeżo ułożonej mieszanki betonowej stalową szczotką o szerokości od 0,45 do 0,7 m, składającej się z dwóch rzędów wiązek ze stali sprężynującej; przecieranie szczotką należy wykonywać w kierunku prostopadłym do osi jezdni,
- rowkowanie poprzeczne za pomocą widełek metalowych,
- przeciąganie juty lub rowkowanie podłużne za pomocą grzebieni lub widełek ciągnionych za jutą; rozstaw grzebieni ok. 15 mm,
- opóźnianie hydratacji cementu w górnej warstwie świeżo ułożonej nawierzchni, a następnie wyplukanie niezwiązanej warstwy zaprawy cementowej strumieniem wody lub wyszczotkowanie.

Każdy z wymienionych sposobów ma zalety i wady.

Przeciąganie juty jest najtańszym sposobem, jednakże uzyskuje się najmniejszą teksturę powierzchni rzędu od 0,2 do 0,6 mm. Trwałość tego typu zabiegu wynosi od roku

do 3 lat. Sposób ten ma również zalety. Tak wyprofilowana powierzchnia powoduje obniżenie głośności nawierzchni ok. 1–2 dB.

Szczotkowanie nawierzchni za pomocą szczotek w kierunku poprzecznym daje większą teksturę w granicach 1–1,5 mm. Jednakże zwiększa się hałas podczas ruchu pojazdów. Zaletą tego sposobu jest stosunkowo szybkie odprowadzenie wody w kierunku poprzecznym oraz duży współczynnik szepności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi od 3 do 5 lat.

Rowkowanie poprzeczne daje dużą teksturę w granicach od 1,5 do 2 mm, a tym samym duży współczynnik szepności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi od 3 do 8 lat. Zwiększa się hałas, ale jednocześnie zmniejsza się możliwość wystąpienia aquaplaningu.

Przeciąganie juty wraz z rowkowaniem podłużnym daje dużą teksturę w granicach od 2 do 5 mm, zmniejsza hałas ok. 2–3 dB, zmniejsza możliwość wystąpienia aquaplaningu, zwiększa szepność koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi ok. 6–10 lat.

W ostatnich latach rozwinęła się technologia zwana *eksponowaniem kruszywa* lub *tekstura płukanego betonu*.

Zabieg wykonany według tej technologii składa się z następujących czynności:

- powierzchnię rozłożonej warstwy zrasza się środkiem opóźniającym wiązanie cementu w warstwie powierzchniowej, następnie w ramach zabiegów pielęgnacyjnych rozkłada się na nią folię,
- szczeliny dylatacyjne w warstwie betonu nacina się poprzez folię,
- po około dwóch dniach (w zależności od warunków klimatycznych i recepty betonowej) usuwa się folię z powierzchni betonu, a niezwiązaną zaprawę cementową wymywa lub szczotkuje, pozostawiając frakcję grubego kruszywa na powierzchni warstwy ścieralnej.

W celu uzyskania spodziewanego efektu, głównie obniżenia hałasu i zwiększenia współczynnika szepności, należy używać do warstw ścieralnych kruszywa drobnego o uziarnieniu do 10 mm oraz o wysokim współczynniku polerowalności. Technologia ta daje bardzo dobrą teksturę nawierzchni, wysoki współczynnik szepności koła z nawierzchnią, jak również zmniejsza hałas. Jest jednocześnie technologią kosztowną.

Na fot. 6.4 pokazano przykładowe technologie wykańczania nawierzchni.

Podczas układania nawierzchni oraz po jej ułożeniu beton wymaga szczególnej ochrony i starannej pielęgnacji. Ma ona na celu osiągnięcie dużej wytrzymałości oraz eliminację pęknięć. Środki ochronne po ułożeniu nawierzchni mogą być jednocześnie środkami służącymi do pielęgnacji betonu.

Pęknięcia nawierzchni mogą wystąpić wtedy, gdy powierzchnia betonu bardzo nagrzanego pod wpływem wysokiej temperatury otoczenia oraz hydratacji cementu zostanie ochłodzona przez nagłe wypromieniowanie ciepła, w szczególności podczas pierwszej nocy po ułożeniu i następnego dnia.



Fot. 6.4. Technologie wykańczania nawierzchni: a, b) szczotkowanie, c) zacieranie jutą

Pielęgnowanie betonu jest konieczne. Istnieje wiele sposobów pielęgnowania. Obecnie w celu zabezpieczenia świeżego betonu przed skutkami szybkiego odparowania wody zaleca się stosować pielęgnację powłokową jako metodę najbardziej skuteczną i najmniej pracochłonną. Preparat powierzchniowy należy natryskiwać możliwie szybko po zakończeniu wbudowywania mieszanki, lecz nie później niż 90 minut od zakończenia zagęszczenia. Preparatem powłokowym należy pokryć również powierzchnie boczne. Jednym ze składników preparatu powłokowego jest parafina, która tworząc powłokę na świeżo rozścielonej warstwie betonu zabezpiecza go przed powierzchniowym wysychaniem.

Innymi sposobami pielęgnacji jest spryskiwanie wodą powierzchni górnej oraz bocznej przez okres przynajmniej 3 dni oraz przykrywanie folią, geowłókniną itp.

W przypadku stosowania geowłóknin lub folii należy je zabezpieczyć przed podrywaniem przez wiatr oraz utrzymywać w stanie wilgotnym przez 3 dni.

Celowe jest impregnowanie nawierzchni, zwłaszcza wykonywanych w jesieni, przed wpływami soli używanej do zimowego utrzymania, bądź stosowanie niechemicznych metod zimowego utrzymania, np. posypanie piaskiem, żużlem paleniskowym itp.

Szczeliny

Z tego powodu, że beton wykazuje wrażliwość na działanie wpływów termicznych oraz wilgotnościowych w celu redukcji tych wpływów w nawierzchniach betonowych stosuje się system szczelin.

Ze względu na usytuowanie szczeliny dzielimy na: podłużne i poprzeczne.

Szczeliny podłużne

Szczeliny podłużne stosuje się w przypadku jezdni o szerokościach większych od 4,5 m. Wymiar boku płyty nie może przekraczać $L_{\max} = (22 \div 24)$ h.

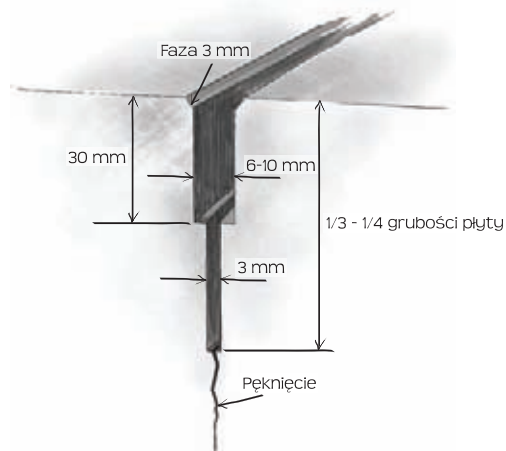
Współcześnie szczeliny podłużne nacinają się na 1/3 do 1/4 grubości płyty. Cięcie szczelin wykonuje się w twardniejącym betonie. Pierwsze cięcie o szerokości 3 mm, w zależności od temperatury otoczenia, wykonuje się w czasie od 7 do 14 godzin od momentu ułożenia nawierzchni. Drugie cięcie poszerzające na szerokość od 6 do 10 mm i do głębokości 30 mm wykonuje się w terminie późniejszym, gdy beton osiągnie wytrzymałość powyżej 12 MPa (rys. 6.5). Szczeliny podłużne oczyszcza się, ścianki szczeliny konserwuje środkiem gruntującym i zalewa masą zalewową na zimno lub na gorąco.

Na rys. 6.6 pokazano przykładową szczelinę podłużną.

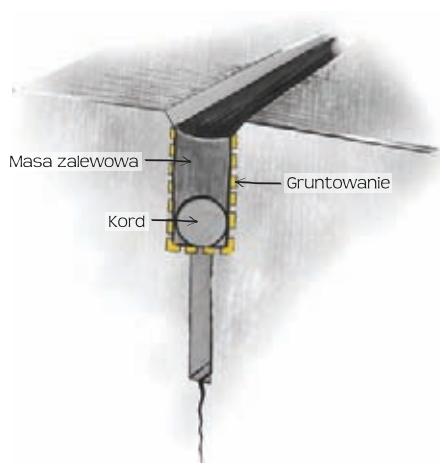
Masa zalewowa wbudowywana na gorąco powinna spełniać następujące wymagania:

- temperatura mięknięcia nie mniejsza niż 85°C,
- penetracja w temperaturze 25°C od 70 do 100° Pen,
- wydłużenie w temperaturze (-20°C) – większe lub równe 4 mm,
- zdolność do całkowitego wypełnienia szczelin.

Jeżeli nawierzchnię wykonuje się dwoma pasami, to szczelinę podłużną wykonuje się jak szczelinę poprzeczną konstrukcyjną.



Rys. 6.5. Wymiary szczeliny



Rys. 6.6. Szczelina podłużna

Szczeliny poprzeczne

Szczeliny poprzeczne dzielimy na:

- skurczowe (pozorne),
- konstrukcyjne,
- rozszerzania.

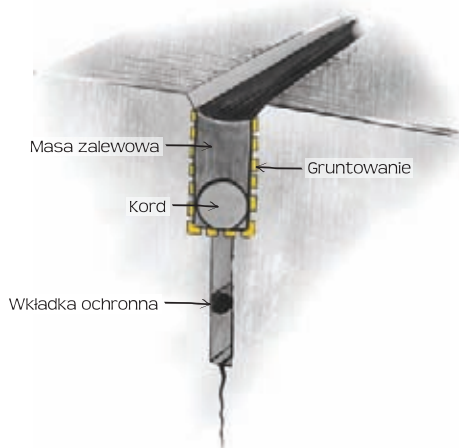
Szczeliny skurczowe umożliwiają płytom skurcze, które mogą się pojawiać pod wpływem zjawisk chemicznych w czasie wiązania cementu i pod wpływem obniżania temperatury. Umożliwiają one również rozszerzanie płyt w takim zakresie, jak na to pozwala luz pomiędzy płytami.

Minimalna odległość pomiędzy szczelinami skurczowymi wynosi 1 m, a maksymalna jest równa 23-krotnej grubości płyty. Doświadczenia wieloletnie wykazały, że optymalnym rozstawem jest odległość 4–5 m, przy współcześnie stosowanej grubości.

Szczeliny poprzeczne (pozorne) wycina się w twardniejącym betonie. Czas cięcia musi być tak dobrany, ażeby nie pojawiły się dzikie pęknięcia skurczowe. Pierwsze cięcie wykonuje się na szerokość 3 mm i głębokość od 1/3 do 1/4 grubości płyty, a drugie poszerzające na szerokość od 8 do 10 mm i głębokość 30 mm.

W celu uszczelnienia tych szczelin stosuje się wkładki ochronne zabezpieczające przed zanieczyszczeniami oraz tzw. kordy, których zadaniem jest m.in. zmniejszenie wysokości szczeliny.

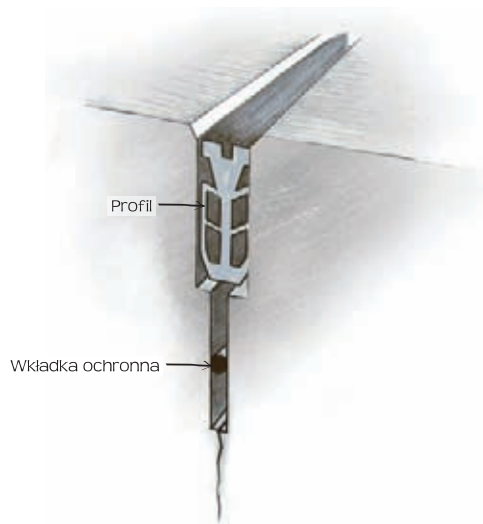
Przykład szczeliny poprzecznej z masą zalewową pokazano na rys. 6.7.



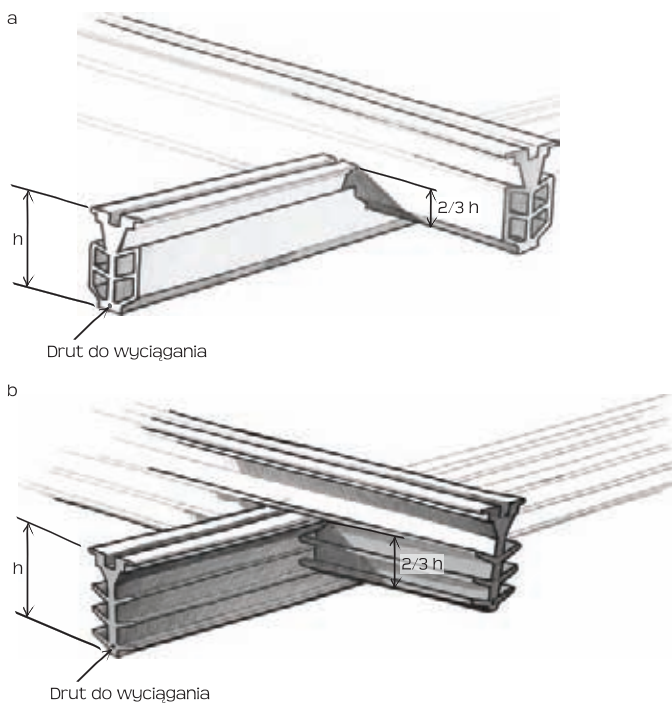
Rys. 6.7. Przykład szczeliny poprzecznej

Szczeliny poprzeczne należy wypełniać masą zalewową na gorąco. Masy te powinny charakteryzować się dobrą spływnością i stabilnością w wysokich temperaturach, dobrą przyczepnością do zagruntowanych ścianek szczeliny, elastycznością w niskich temperaturach, odpornością na działanie środków chemicznych do zimowego utrzymania oraz odpornością na działanie paliw i olejów samochodowych. Preparat gruntujący szczelinę powinien z masą zalewową wzajemnie się tolerować.

W miejsce masy zalewowej oraz kordu można stosować profile elastyczne. Przykład szczeliny z profilem elastycznym pokazano na rys. 6.8. Występują dwa rodzaje profili: zamknięte i otwarte. Na rys. 6.9 przedstawiono przykład ułożenia profili przy krzyżowaniu się szczelin poprzecznych (np. place postojowe, parkingi).



Rys. 6.8. Szczelina poprzeczna z wypełnionym profilem



Rys. 6.9. Rodzaje profili: a) zamknięty, b) otwarty

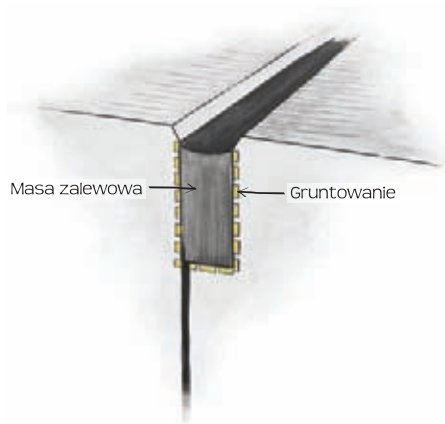
Profile wciska się w szczelinę poprzeczną po wykonaniu szczelin podłużnych. Do szczelin podłużnych nie używa się profili ze względu na niebezpieczeństwa wysiania przez samochody.

Szerokość cięcia szczeliny powinna być dostosowana do wymiarów profilu.

Szczeliny konstrukcyjne

Szczeliny konstrukcyjne wykonuje się w przypadku stosowania dłuższych przerw w betonowaniu na zakończenie dziennej działki roboczej. Szczeliny te spełniają funkcję szczelin skurczowych. Szerokości szczelin są podobne jak przy szczelinach poprzecznych.

Przykład szczeliny konstrukcyjnej pokazano na rys. 6.10.



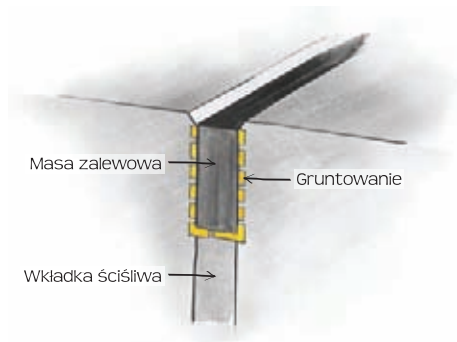
Rys. 6.10. Szczelina konstrukcyjna

Szczeliny rozszerzania

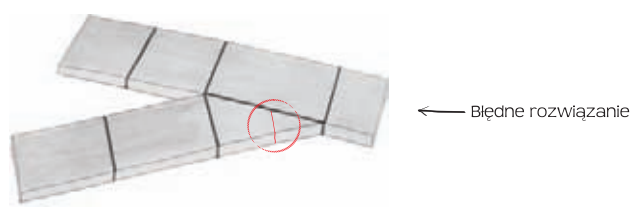
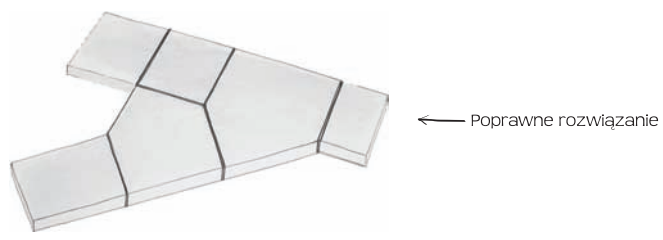
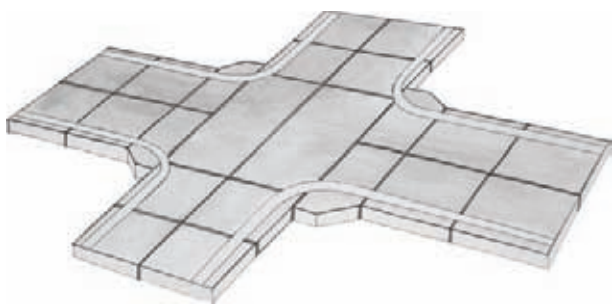
Szczeliny rozszerzania stosowane są w przypadkach, gdy chodzi o zabezpieczenie warunków rozszerzania betonu w wysokich temperaturach. Obecnie prawie nie wykonuje się ich. Występują jedynie przy obiektach mostowych, studzienkach itp. Funkcję szczelin rozszerzania pełnią szczeliny skurczowe, które są rozmieszczone w małych odstępach i kompensują rozszerzanie.

Na rys. 6.11 pokazano przykładową szczelinę rozszerzania.

Na rys. 6.12 przedstawiono przykład podziału szczelin na skrzyżowaniu, a na rys. 6.13 w obrębie studzienek.



Rys. 6.11. Przykład szczeliny rozszerzania – niedyblowanej



Rys. 6.12. Rozmieszczenie szczelin w obrębie skrzyżowania



Rys. 6.13. Rozmieszczenie szczelin przy studzienkach

7. PORÓWNANIE KOSZTÓW, CZYLI CO SIĘ OPLACA

W celu porównania kosztów budowy nawierzchni drogowych podatnych (asfaltowych) i sztywnych (betonowych) Stowarzyszenie Producentów Cementu dokonało analizy porównawczej wykonania nawierzchni drogowych dla kategorii ruchu od KR1 do KR3 wraz z uwzględnieniem różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Przyjęto oznaczenia: typ A, B, C, D dla nawierzchni podatnych i półsztywnych, które najczęściej są wykorzystywane w drogownictwie, oraz typ I, II, III, IV dla nawierzchni sztywnych. Dla nawierzchni asfaltowych rozwiązania konstrukcyjne zaczerpnięto z Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, wydanego przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych w 1999 roku i Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (DzU 1999 nr 43, poz. 430). W przypadku nawierzchni betonowych wykorzystano rozwiązania konstrukcyjne z Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych, zatwierdzonego przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych w 2001 roku.

Bazą kosztorysową dla cen materiałów – M, sprzętu – S i robocizny – R jest baza cenowa pochodząca z cennika Sekocenbud, która jest powszechnie stosowana do kosztorysowania robót drogowych, m.in. przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych

i Autostrad. W kosztorysach podano aktualne ceny materiałów i sprzętu z II kwartału 2012 roku.

Zakres prac w poszczególnych etapach budowy nawierzchni asfaltowych i betonowych wraz z normami czasowymi pochodzą z Katalogów Nakładów Rzeczowych (KNR 231, KNNR 6).

Tabela 7.1. Koszty budowy nawierzchni betonowych i asfaltowych dla kategorii ruchu KR1 wraz z wyszczególnieniem kosztów dla poszczególnych warstw

Nawierzchnie podatne				
	Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1			
Warstwy nawierzchni	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Warstwa ścieralna	4 cm – BA	4 cm – BA	4 cm – BA	4 cm – BA
	32,97 PLN	32,97 PLN	32,97 PLN	32,97 PLN
Warstwa wiążąca	4 cm – BA	5 cm – BA	–	4 cm – BA
	28,98 PLN	36,20 PLN	–	27,17 zł
Górna warstwa podbudowy	20 cm – KŁSM	20 cm – KNSM	11 cm – BA	14 cm – POA
	38,61 PLN	15,94 PLN	76,74 PLN	67,53 PLN
Koszt całkowity	100,56 PLN	85,11 PLN	109,71 PLN	127,67 PLN

Nawierzchnie sztywne				
	Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1			
Warstwy nawierzchni	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Nawierzchnia betonowa	17 cm – BC	17 cm – BC	18 cm – BC	17 cm – BC
	68,48 PLN	68,48 PLN	71,90 PLN	68,48 PLN
Podbudowa	12 cm – CHB	14 cm – GSC	15 cm – KŁSM	7 cm – BA
	32,36 PLN	23,52 PLN	29,15 PLN	48,81 PLN
Warstwa technologiczna	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr
	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN
Koszt całkowity	108,74 PLN	99,90 PLN	108,95 PLN	125,19 PLN

Oznaczenia:
 BA – beton asfaltowy
 POA – piasek otoczony asfaltem
 CHB – chudy beton
 Pr – piasek gruboziarnisty

KŁSM – kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie
 KNSM – kruszywo naturalne stabilizowane mechanicznie
 GSC – grunt stabilizowany cementem
 BC – beton cementowy

Tabela 7.2. Koszty budowy nawierzchni betonowych i asfaltowych dla kategorii ruchu KR2 wraz z wyszczególnieniem kosztów dla poszczególnych warstw

Nawierzchnie podatne				
	Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1			
Warstwy nawierzchni	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Warstwa ścieralna	5 cm – BA	5 cm – BA	5 cm – BA	5 cm – BA
	41,21 PLN	41,21 PLN	41,21 PLN	41,21 PLN
Warstwa wiążąca	–	–	–	6 cm – BA
	–	–	–	43,42 PLN
Górna warstwa podbudowy	7 cm – BA	9 cm – BA	9 cm – BA	8 cm – BA
	48,93 PLN	62,84 PLN	62,84 PLN	55,59 PLN
Dolna warstwa podbudowy	20 cm – KŁSM	15 cm – KŁSM	20 cm – KNSM	–
	38,61 PLN	29,67 PLN	15,94 PLN	–
Koszt całkowity	128,75 PLN	133,72 PLN	119,99 PLN	140,22 PLN

Nawierzchnie sztywne				
	Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1			
Warstwy nawierzchni	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Nawierzchnia betonowa	19 cm – BC	19 cm – BC	20 cm – BC	20 cm – BC
	75,32 PLN	75,32 PLN	78,73 PLN	78,73 PLN
Podbudowa	12 cm – CHB	14 cm – GSC	15 cm – KŁSM	8 cm – BA
	32,36 PLN	23,97 PLN	29,15 PLN	55,45 PLN
Warstwa technologiczna	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr
	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN
Koszt całkowity	115,58 PLN	107,19 PLN	115,78 PLN	142,08 PLN

Oznaczenia:

BA – beton asfaltowy

CHB – chudy beton

Pr – piasek gruboziarnisty

BC – beton cementowy

KŁSM – kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie

KNSM – kruszywo naturalne stabilizowane mechanicznie

GSC – grunt stabilizowany cementem

Tabela 7.3. Koszty budowy nawierzchni betonowych i asfaltowych dla kategorii ruchu KR3 wraz z wyszczególnieniem kosztów dla poszczególnych warstw

Nawierzchnie podatne				
Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1				
Warstwy nawierzchni	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Warstwa ścieralna	5 cm – BA	5 cm – BA	5 cm – BA	5 cm – BA
	41,21 PLN	41,21 PLN	41,21 PLN	41,21 PLN
Warstwa wiążąca	6 cm – BA	–	8 cm – BA	14 cm – BA
	43,42 PLN	–	57,76 PLN	101,17 PLN
Górna warstwa podbudowy	7 cm – BA	13 cm – BA	10 cm – BA	20 cm – GSSH
	48,93 PLN	90,65 PLN	69,53 PLN	38,80 PLN
Dolna warstwa podbudowy	20 cm – KŁSM	15 cm – KŁSM	–	–
	38,61 PLN	29,67 PLN	–	–
Koszt całkowity	172,17 PLN	161,53 PLN	168,50 PLN	181,18 PLN

Nawierzchnie sztywne				
Ceny budowy 1 m ² konstrukcji nawierzchni na podłożu G1				
Warstwy nawierzchni	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Nawierzchnia betonowa	22 cm – BC	22 cm – BC	22 cm – BC	22 cm – BC
	85,58 PLN	85,58 PLN	85,58 PLN	85,58 PLN
Podbudowa	–	–	5 cm – BA	–
	–	–	34,93 PLN	–
	15 cm – CHB	16 cm – GSC	12 cm – KŁSM	10 cm – BA
	38,75 PLN	27,60 PLN	24,40 PLN	69,34 PLN
Warstwa technologiczna	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr	20 cm – Pr
	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN	7,90 PLN
Koszt całkowity	132,23 PLN	121,08 PLN	152,81 PLN	162,82 PLN

Oznaczenia:

BA – beton asfaltowy

CHB – chudy beton

Pr – piasek gruboziarnisty

BC – beton cementowy

KŁSM – kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie

GSSH – grunt stabilizowany spoiwem hydraulicznym

GSC – grunt stabilizowany cementem

Tabela 7.4. Łączne zestawienie kosztów budowy nawierzchni betonowych i asfaltowych dla kategorii ruchu od KR1 do KR3 (wartości podano w PLN)

Kategoria ruchu	Nawierzchnie podatne				Nawierzchnie sztywne			
	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
KR1	100,56	85,11	109,71	127,67	108,74	99,90	108,95	125,19
KR2	128,75	133,72	119,99	140,22	115,58	107,19	115,78	142,08
KR3	172,17	161,53	168,50	181,18	132,23	121,08	152,81	162,82

Powyższe porównania kosztów budowy nowych nawierzchni drogowych w technologii asfaltowej i betonowej wskazują, że w przypadku kategorii ruchu KR1 ceny budowy nawierzchni betonowych są nieznacznie wyższe od nawierzchni asfaltowych. Dla kategorii ruchu KR2 koszty budowy są porównywalne, a począwszy od kategorii ruchu KR3 nawierzchnie betonowe są najtańszym rozwiązaniem konstrukcyjnym.

Potwierdzeniem powyższych wyliczeń kosztorysowych są rzeczywiste koszty budowy nawierzchni betonowej w gminie Ujazd z roku 2006. W przeliczeniu na powierzchnię 1 m² nawierzchni betonowej cena wyniosła 95,45 PLN; dla porównania cena nawierzchni asfaltowej (również w gminie Ujazd), która jest eksploatowana w tych samych warunkach, wyniosła 91,83 PLN. W obu przypadkach koszty budowy są porównywalne, z tą różnicą, że wykonawca udzielił gwarancji na 10 lat dla nawierzchni betonowej, natomiast dla nawierzchni asfaltowej okres gwarancyjny wynosi 5 lat.

PODSUMOWANIE

Drogi lokalne z nawierzchnią betonową doskonale sprawdziły się w wielu krajach Unii Europejskiej. Również w Polsce, w ostatnich latach, w wielu gminach (i powiatach) powstało sporo odcinków dróg z nawierzchnią betonową, co świadczy o dużym zainteresowaniu, jakie ta technologia wzbudza wśród samorządów lokalnych i firm wykonawczych.

Liczne zalety nawierzchni betonowych, do których należy zaliczyć: wysoką trwałość, brak koleinowania, jasny kolor oraz niskie koszty utrzymania, wskazują, że nawierzchnie te mogą być dobrym rozwiązaniem w budowie i modernizacji dróg lokalnych.

Dostępność surowców krajowych – wysokiej jakości cementów i kruszyw oraz prosta i łatwa technologia wykonania sprawiają, że drogi z nawierzchnią betonową mogą być wykonywane prawie w każdej gminie.

LITERATURA

- [1] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, GDDP, Warszawa 2001.
- [2] Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Polski Cement, Kraków 2004.
- [3] PN-EN 197-1 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [4] PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

PRZYKŁADY WYKONANIA DRÓG GMINNYCH

Województwo łódzkie
droga Skomlin-Zbęk



długość 750 m., szer. 4 m.
realizacja 1999 r.

Województwo łódzkie
mięszowina Nowosolna



długość 1300 m., szer. 4 m.
realizacja 2003 r.

Województwo mazowieckie
obwodnica Młodziyszyna



długość 3000 m., szer. 7 m.
realizacja 2002 r.

Województwo łódzkie
droga Pajęczno-Dylów Rządowy



długość 340 m., szer. 4,2 m.
realizacja 2006 r.

Województwo opolskie
droga Ujazd-Zimna Wódka



długość 5100 m., szer. 4 m.
realizacja 2006 r.

Województwo świętokrzyskie
mięszowina Włoszczowa



długość 220 m., szer. 6 m.
realizacja 2002 r.

Województwo opolskie
mięszowina Kietrz



długość 750 m., szer. 6 m.
realizacja 2000 r.

Województwo świętokrzyskie
mięszowina Sitkówka-Nowiny



długość 720 m., szer. 10,5 m.
realizacja 2008 r.



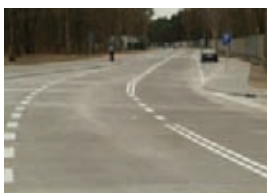
Z NAWIERZCHNIĄ BETONOWĄ

Województwo świętokrzyskie
droga Gliniany-Teofilów



długość 5300 m., szer. 5 m.
realizacja 2006 r.

Województwo podkarpackie
miejsowość Stalowa Wola



długość 850 m., szer. 6 m.
realizacja 2005 r.

Województwo lubelskie
okolice Chełma



w latach 2003-2008 powstało
6 km dróg gminnych

Województwo małopolskie
okolice Bochni



w latach 1995-2008 powstało
40 km dróg gminnych

Województwo lubelskie
miejsowość Ratyczów



długość 650 m., szer. 3 m.
realizacja 2000 r.

Województwo lubelskie
okolice Hrubieszowa



w latach 1983-1991 powstało
50 km dróg gminnych

Województwo małopolskie
okolice Nowego Sącza



w latach 1997-2008 powstało
180 km dróg gminnych

Województwo małopolskie
miejsowość Tarnów



w latach 1998-2006 powstało
15 km dróg i ścieżek rowerowych



• Olsztyn

• Warszawa

• Kielce

• Kraków

• Nowy Sącz

• Zamość

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	3
1. Ogólne wiadomości o klasyfikacji dróg	5
2. Charakterystyka konstrukcji nawierzchni betonowych	8
Dobór wymiarów płyt w planie	10
Podbudowy	11
3. Projektowanie grubości warstw	14
Etap I – określenie obciążenia ruchem	15
Etap II – określenie warunków wodnych	16
Etap III – określenie warunków gruntowych	17
Etap IV – określenie nośności podłoża	18
Etap V – przyjęcie typowej konstrukcji nawierzchni	21
Etap VI – sprawdzenie warunku mrozoodporności	22
Etap VII – przyjęcie ostatecznej konstrukcji	23
4. Charakterystyka materiałów używanych do produkcji mieszanek betonowych	24
Kruszywo	26
Woda	28
Inne dodatki	29
5. Charakterystyka mieszanek betonowych i betonu nawierzchniowego	30
Wymagania dla mieszanek betonowych	30
Wymagania wytrzymałościowe dla betonów drogowych	30
6. Wytwarzanie i wbudowywanie mieszanek betonowych oraz wykańczanie nawierzchni	31
Wytwarzanie i transport	31
Wbudowywanie mieszanek	32
Wykańczanie i pielęgnowanie nawierzchni	36
Szczeliny	39
Szczeliny podłużne	39
Szczeliny poprzeczne	40
Szczeliny konstrukcyjne	43
Szczeliny rozszerzania	43
7. Porównanie kosztów, czyli co się opłaca (opr. mgr inż. Piotr Kijowski)	45
Podsumowanie	49
Literatura	49
Przykłady wykonania dróg gminnych z nawierzchnią betonową	50



Prof. dr hab. inż. Antoni SZYDŁO kieruje Zakładem Dróg i Lotnisk na Politechnice Wrocławskiej. Jest autorem licznych publikacji naukowych, prac badawczych, ekspertyz i projektów z zakresu budowy dróg i lotnisk, m.in. książki pt. *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*. Jest też współautorem *Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych* oraz projektantem konstrukcji nawierzchni betonowej na autostradzie A4. Posiada uprawnienia do projektowania i kierowania robotami w zakresie dróg i lotnisk. Jest rzeczoznawcą Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczospolitej Polskiej.



Dr inż. Piotr MACKIEWICZ, adiunkt w Zakładzie Dróg i Lotnisk Politechniki Wrocławskiej, studia ukończył na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w 1995 roku w specjalności drogi i lotniska. Stopień doktora nauk technicznych nadała mu Rada Naukowa Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej w 2001 roku. Jest autorem wielu publikacji naukowych, prac badawczych, ekspertyz i projektów z zakresu budowy dróg i lotnisk oraz laureatem wielu nagród za działalność naukowo-badawczą.

Zalety nawierzchni betonowych dowodzą, iż powinny one zyskać popularność i stać się uzupełnieniem wyboru dostępnych technologii oprócz nawierzchni asfaltowych, kostkowych i innych.

Prezentowana publikacja jest poradnikiem, w którym przedstawiono informacje o możliwościach stosowania nawierzchni betonowych na drogach gminnych – klasyfikację dróg i ich podstawowe parametry, sposoby doboru grubości warstw nawierzchni oraz technologie wytwarzania i wbudowywania mieszanek betonowych na drogach o niewielkim obciążeniu ruchem.

STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW CEMENTU

ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków

tel.: +48 12 423 33 55

fax.: +48 12 423 33 45

<http://www.polskicement.pl>

<http://www.drogibetonowe.pl>