



Aktualizacja katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych Etap II

Raport serii SPR 24/2012

Antoni Szydło
Piotr Mackiewicz
Robert Wardęga
Bartłomiej Krawczyk

Słowa kluczowe: konstrukcja nawierzchni, nawierzchnia
betonowa, wykonanie nawierzchni,
obciążenie ruchem

Opracowano na zlecenie:
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad
W Warszawie; Warszawa ul. Żelazna 59

Nr zlecenia 603131

Wrocław, listopad 2012r.

Wybrzeże
St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T/F : + 48 71 328 18 89
T : + 48 71 320 23 54

www.iil.pwr.wroc.pl
iil@pwr.wroc.pl

SPIS TREŚCI

1	Wprowadzenie	11
2	Zakres i etapy pracy badawczej.....	11
3	Podsumowanie prac etapu I i zadania 1.....	13
4	Definicje warstw konstrukcji nawierzchni betonowych.....	13
5	Przegląd nowych technologii wykonywania nawierzchni betonowych stosownie do kategorii obciążenia ruchem oraz funkcji drogi.....	14
5.1	Typy nawierzchni betonowych.....	14
5.2	Charakterystyka wybranych typów nawierzchni.....	19
5.2.1	Nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane	19
5.2.2	Nawierzchnie niezbrojone, dyblowane w szczelinach poprzecznych i kotwione w szczelinach podłużnych (płyty krótkie).....	21
5.2.3	Nawierzchnie zbrojone i dyblowane w szczelinach poprzecznych (płyty krótkie i długie) 28	
5.2.4	Nawierzchnie zbrojone (zbrojenie ciągłe, płyty długie).....	28
5.2.5	Nawierzchnie z betonu wałowanego Roller Compacted Concrete (RCC)	33
5.2.6	Nawierzchnie złożone	34
5.2.7	Nawierzchnie z betonu cementowego zbrojone i niezbrojone układane na już istniejących nawierzchniach asfaltowych.....	35
5.2.8	Nawierzchnie z betonu cementowego o ciągłym zbrojeniu przykryte warstwą asfaltową 38	
5.3	Szczeliny w nawierzchniach betonowych.....	39
5.3.1	Szczeliny podłużne.....	41
5.3.2	Szczeliny poprzeczne	42
5.3.3	Szczeliny konstrukcyjne	44
5.3.4	Szczeliny rozszerzania	45
5.3.5	Szczeliny skurczowe pełne.....	48
5.4	Połączenie nawierzchni betonowych z istniejącymi.....	48
5.5	Wymagania materiałowe	52
5.5.1	Cementy.....	52
5.5.2	Kruszywo.....	54
5.5.3	Woda.....	55
5.5.4	Inne dodatki.....	56
5.5.5	Wymagania dla mieszanek betonowych	57
5.6	Wytwarzanie, wbudowywanie mieszanek betonowych oraz wykańczanie nawierzchni	58
5.6.1	Wytwarzanie i transport.....	58
5.6.2	Wbudowywanie mieszanek.....	59
5.6.3	Wykańczanie i pielęgnowanie nawierzchni	61
5.7	Podbudowy nawierzchni betonowych	66
5.7.1	Podbudowy z chudych betonów.....	66
5.7.2	Podbudowy z gruntów stabilizowanych cementem.....	68
5.7.3	Podbudowy z kruszyw łamanych stabilizowanych mechanicznie	69

5.7.4	Podbudowy z betonów asfaltowych.....	71
5.8	Warstwy poślizgowe.....	71
5.8.1	Geowłókniny.....	71
5.8.2	Betony asfaltowe.....	73
5.9	Nawierzchnie kostkowe, z betonu wciskanego, z płyt betonowych.....	73
6	Technologie wzmacniania podłoża gruntowego. Dostosowanie do „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” [18].....	80
6.1	Określenie warunków gruntowo-wodnych.....	80
6.1.1	wymagania ogólne.....	80
6.1.2	Warunki wodne.....	80
6.1.3	Warunki gruntowe.....	81
6.1.4	Ustalenie grupy nośności podłoża gruntowego na etapie projektowania.....	82
6.1.5	Projektowe parametry podłoża gruntowego.....	84
6.1.6	Sprawdzenie nośności podłoża w czasie robót.....	84
6.2	Warstwa ulepszanego podłoża i dolne warstwy konstrukcji nawierzchni.....	86
6.2.1	Rola ulepszanego podłoża i dolnych warstw konstrukcji nawierzchni.....	86
6.2.2	Układ warstw.....	86
6.2.3	Wymagana nośność.....	87
6.2.4	Warstwa ulepszanego podłoża.....	88
6.2.5	Podbudowa pomocnicza.....	89
6.2.6	Warstwa odsączająca.....	89
6.2.7	Warstwa odcinająca.....	90
6.2.8	Typowe rozwiązania.....	90
6.2.9	Wzmocnienie geosyntetykami.....	94
6.2.10	Sprawdzenie wymaganej mrozoodporności nawierzchni.....	94
6.2.11	Postępowanie w przypadku podłoża gruntowego z gruntów nieściśliwych o CBR < 2% 96	
6.2.12	Postępowanie w przypadku gruntów organicznych i ściśliwych w podłożu.....	96
6.2.13	Kontrola w czasie robót.....	96
7	Dostosowanie konstrukcji katalogowych do zwiększonego obciążenia ruchem. Analiza wyników pomiarów ważenia pojazdów na stacjach zainstalowanych na nawierzchniach betonowych.....	97
7.1	Klasyfikacja pojazdów ciężkich.....	97
7.2	Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich.....	101
7.2.1	Generalny Pomiar Ruchu.....	102
7.2.2	Badania ruchu – prace nad aktualizacją KTKNPIP.....	102
7.2.3	Kraje europejskie.....	103
7.2.4	Badania ruchu – prace nad aktualizacją KTKS.....	103
7.3	Masy pojazdów ciężkich.....	111
7.4	Obciążenia osi pojazdów.....	117
7.4.1	Rozkład obciążeń osi w pojazdach – 2P.....	117
7.4.2	Rozkład obciążeń osi w pojazdach – 2C+2N.....	123
7.4.3	Rozkład obciążeń osi w pojazdach – 2C+3N.....	128
7.5	Agresywności osi pojazdów.....	132
7.5.1	Pojazdy – 2P.....	132
7.5.2	Pojazdy – 2C+2N.....	137

7.5.3	Pojazdy – 2C+3N	142
7.5.4	Podsumowanie i wnioski końcowe.....	147
7.6	Przeciętne naciski osi pojazdów	147
7.7	Podsumowanie	151
8	Podsumowanie	152
9	Literatura	153

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 4.1 Przekrój poprzeczny dla nawierzchni sztywnej oraz ulepszonego podłoża	14
Rys. 5.1 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana	15
Rys. 5.2 Nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona.....	16
Rys. 5.3. Nawierzchnia zbrojona i dyblowana	16
Rys. 5.4 Nawierzchnia zbrojona – ciągle zbrojenie	16
Rys. 5.5 Nawierzchnia sprężona	17
Rys. 5.6 Nawierzchnia prefabrykowana.....	17
Rys. 5.7 Nawierzchnia mieszana.....	18
Rys. 5.8 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana	19
Rys. 5.9 Ukształtowanie szczelin ukośnych i oznakowania dla jezdni jedno i dwukierunkowej.....	20
Rys. 5.10 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana – płyta gruba.....	21
Rys. 5.11 Nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona.....	22
Rys. 5.12 Schemat rozkładu obciążenia na cztery dyble o rozstawie 0.50m, $l=0.70m$, sumaryczny współczynnik grupy dybli wynosi 1.80	23
Rys. 5.13 Schemat rozkładu obciążenia na siedem dybli o rozstawie 0.25m, $l=0.76m$, sumaryczny współczynnik grupy dybli wynosi 3.273	24
Rys. 5.14 Zależność rozstawu dybli od naprężenia dla różnych średnic dybli (w obliczeniach przyjęto: $P=250\,000\text{ N}$, $l=0.9m$, $K=409\cdot 10^9\text{ N/m}^3$, $E_d=200\cdot 10^9\text{ Pa}$, $z=0.0058$)	24
Rys. 5.15 Zależność średnicy dybla od naprężenia dla różnego rozstawu dybli (w obliczeniach przyjęto: $P=250\,000\text{ N}$, $l=0.9m$, $K=409\cdot 10^9\text{ N/m}^3$, $E_d=200\cdot 10^9\text{ Pa}$, $z=0.0058$)	25
Rys. 5.16 Rozmieszczenie dybli wg przepisów niemieckich.....	26
Rys. 5.17 Dyble ułożone na podpórkach.....	26
Rys. 5.18 Dyblowana szczelina rozszerzania kotwy.....	27
Rys. 5.19 Nawierzchnia zbrojona – ciągle zbrojenie	28
Rys. 5.20 Szczelina skurczowa w nawierzchni o ciągłym zbrojeniu.....	29
Rys. 5.21 Układ zbrojenia w płycie betonowej.....	30
Rys. 5.22 Schemat rozmieszczenia bloków żelbetowych	30
Rys. 5.23 Szczegół zbrojenia bloków.....	31
Rys. 5.24 Zbrojenie w kołach oporowych (autostrada A2).....	31
Rys. 5.25 Układ zbrojenia przy budowie autostrady A4	32
Rys. 5.26 Przykładowy układ warstw konstrukcji nawierzchni pasów autobusowych.....	33
Rys. 5.27 Typowy układ warstw nawierzchni z betonem wałowanym.....	34
Rys. 5.28 Układ nawierzchni niezbrojonej typu whitetopping	35
Rys. 5.29 Układ nawierzchni zbrojonej typu whitetopping	35
Rys. 5.30 Układ nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z cienką warstwą ścierną z mieszanki min.-asf.	38
Rys. 5.31 Układ nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z warstwą ścierną i wiążącą z mieszanki min.-asf.	38
Rys. 5.32 Schemat odkształcenia płyt długich.....	39

Rys. 5.33 Schemat odkształcenia płyt krótkich.....	39
Rys. 5.34 Schemat odkształcenia płyty dla dodatniej różnicy temperatur.....	40
Rys. 5.35 Schemat odkształcenia płyty dla ujemnej różnicy temperatur.....	40
Rys. 5.36 Wymiary szczeliny	41
Rys. 5.37 Szczelina podłużna pozorna	42
Rys. 5.38 Szczelina podłużna profilowana.....	42
Rys. 5.39 Szczelina poprzeczna pozorna z masą zalewową.....	43
Rys. 5.40 Szczelina poprzeczna pozorna z wypełnionym profilem.....	43
Rys. 5.41 Rodzaje profili: a) zamknięty, b) otwarty.....	44
Rys. 5.42 Szczelina konstrukcyjna.....	45
Rys. 5.43 Szczelina konstrukcyjna dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – zakres układania ręcznego	45
Rys. 5.44 Szczelina konstrukcyjna dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – granica układania w sposób zmechanizowany.....	45
Rys. 5.45 Przykład szczeliny rozszerzania.....	46
Rys. 5.46 Rozmieszczenie szczelin w obrębie skrzyżowania.....	46
Rys. 5.47 Rozmieszczenie szczelin przy studzienkach	47
Rys. 5.48 Rozmieszczenie szczelin na obszarze skrzyżowań.....	47
Rys. 5.49 Rozmieszczenie szczelin na chodniku/ciągu pieszym.....	48
Rys. 5.50 Szczeliny skurczowe pełne	48
Rys. 5.51 Połączenie nawierzchni betonowej niedyblowanej z nawierzchnią asfaltową.....	49
Rys. 5.52 Połączenie nawierzchni betonowej dyblowanej z nawierzchnią asfaltową.....	49
Rys. 5.53 Połączenie nawierzchni betonowej dyblowanej z nawierzchnią asfaltową z zastosowaniem płyty przejściowej.....	49
Rys. 5.54 Połączenie nawierzchni betonowej z nawierzchnią asfaltową na obiekcie mostowym	50
Rys. 5.55 . Połączenie nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu z nawierzchnią asfaltową.....	50
Rys. 5.56 Połączenie nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu z nawierzchnią betonową.....	51
Rys. 5.57 Sposób ukształtowania nawierzchni betonowej – dyblowanej i kotwionej w obszarze łuków kołowych poziomych o zmiennych kątach zwrotu	51
Rys. 5.58 Zestaw maszyn w układaniu ślizgowym.....	60
Rys. 5.59 Układanie nawierzchni w deskowaniu stałym.....	60
Rys. 5.60 Przekrój nawierzchni w strefie przypowierzchniowej	62
Rys. 5.61 Przykłady wykańczania nawierzchni betonowej.....	63
Rys. 5.62 Technologia eksponowania kruszywa	64
Rys. 5.63 Wyniki pomiaru hałasu dla nawierzchni z odkrytym kruszywem w porównaniu do innych nawierzchni	64
Rys. 5.64 Mikro-, makro- i megatekstura.....	65
Rys. 5.65. Widok wyciętej próbki z nawierzchni i podbudowy, a) w środku płyty, b) na krawędzi.....	67
Rys. 5.66. Różne formy i wzory kostki betonowej [3].....	75
Rys. 5.67. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR3	76
Rys. 5.68. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR4	76

Rys. 5.69. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR5	76
Rys. 5.70. Nawierzchnia jezdni dróg klasy L (lokalnych) i D (dojazdowych) w strefie zamieszkania	77
Rys. 5.71. Nawierzchnia chodnika z dopuszczeniem postoju samochodów o masie całkowitej < 2500 kg.....	77
Rys. 5.72. Nawierzchnia chodnika wyłącznie dla ruchu pieszego.....	77
Rys. 5.73. Nawierzchnia ścieżek rowerowych.....	77
Rys. 5.74. Nawierzchnia przeznaczona do postoju pojazdów i jezdni manewrowej (m.in. na parkingu) dla samochodów o masie całkowitej < 2500 kg.....	77
Rys. 5.75. Nawierzchnia przeznaczona do postoju pojazdów i jezdni manewrowej (m.in. na parkingu) dla samochodów ciężarowych.....	78
Rys. 5.76. Matryce do betonu wyciskanego.....	78
Rys. 5.77. Typowe prefabrykowane płyty prefabrykowane: a) płyta chodnikowa, b) płyta drogowa typu YOMB, c) płyta drogowa żelbetowa, d) płyta MEBA, e) płyta parkingowa, f) płyta przejazdowa	79
Rys. 6.1 Schemat układu warstw konstrukcji nawierzchni dla kategorii ruchu KR3 - KR7 w wykopie i w nasypie oraz wymagane wartości wtórnych modułów odkształcenia na powierzchni warstw.....	87
Rys. 6.2 Schemat układu warstw konstrukcji nawierzchni dla kategorii ruchu KR1 - KR2 w wykopie i w nasypie oraz wymagane wartości wtórnych modułów odkształcenia na powierzchni warstw.....	88
Rys. 6.3 Głębokość przemarzania gruntu hz wg PN-81/B-03020	95
Rys. 7.1. Występowanie pojazdów wg typów w różnych krajach europejskich [2]:.....	103
Rys. 7.2. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.	106
Rys. 7.3. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.	107
Rys. 7.4. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.....	108
Rys. 7.5. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.	109
Rys. 7.6. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.	110
Rys. 7.7. Masy całkowite pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.	112
Rys. 7.8. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.	113
Rys. 7.9. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.....	114
Rys. 7.10. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.	115
Rys. 7.11. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.	116
Rys. 7.12. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – A2 – węzeł Emilia.	118
Rys. 7.13. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Karkonoska.	119
Rys. 7.14. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Sobieskiego.....	120
Rys. 7.15. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 1.	121
Rys. 7.16. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 2.	122
Rys. 7.17. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – A2 – węzeł Emilia.....	123
Rys. 7.18. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Karkonoska.....	124
Rys. 7.19. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Sobieskiego.....	125
Rys. 7.20. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 1.....	126
Rys. 7.21. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 2.....	127
Rys. 7.22. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – A2 – węzeł Emilia.....	128
Rys. 7.23. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Karkonoska.....	129

<i>Rys. 7.24. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Sobieskiego.....</i>	<i>130</i>
<i>Rys. 7.25. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Byczyna – stanowisko 1.....</i>	<i>131</i>
<i>Rys. 7.26. Rozkłady nacisków osi samochodu ciężarowego dwuosioowego (2P).....</i>	<i>150</i>
<i>Rys. 7.27. Rozkłady nacisków osi pojazdu członowego czteroosiowego (ciągnik siodłowy dwuosioowy wraz z dwuosiową naczepą – 2C+2N).....</i>	<i>150</i>
<i>Rys. 7.28. Rozkłady nacisków osi pojazdu członowego pięcioosiowego (ciągnik siodłowy dwuosioowy wraz z trójosiową naczepą – 2C+3N).....</i>	<i>151</i>

SPIS TABLIC

Tab. 4.1. Schemat i nazwy warstw konstrukcji nawierzchni sztywnych	13
Tab. 5.1 Wymiary dybli wg [20]	25
Tab. 5.2 Wymagania dotyczące stosowania dybli we Francji [5].....	25
Tab. 5.3 Zestawienie grubości płyt i rozstawu szczelin dla whitetoppingu [9].....	36
Tab. 5.4 Czas nacinania szczelin w zależności od temperatury powietrza	41
Tab. 5.5 Wymagania wytrzymałości dla betonu.....	52
Tab. 5.6 Cementy do drogowych nawierzchni betonowych	53
Tab. 5.7 Właściwości i wymagane kategorie kruszywa drobnego do nawierzchni z betonu cementowego	54
Tab. 5.8 Właściwości i wymagane kategorie kruszywa grubego do nawierzchni z betonu cementowego	55
Tab. 5.9 Wymagana zawartość powietrza w mieszance betonowej	58
Tab. 5.10 Wymagania dotyczące temperatury powietrza (T_p) i betonu (T_b) podczas układania nawierzchni	61
Tab. 6.1 Klasyfikacja warunków wodnych podłoża konstrukcji nawierzchni	81
Tab. 6.2 Klasyfikacja grup gruntów podłoża gruntowego G_i	82
Tab. 6.3 Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego G_i	83
Tab. 6.4 Grupy nośności podłoża gruntowego G_i w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych	83
Tab. 6.5 Wymagania w zakresie nośności na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni w zależności od kategorii ruchu.....	87
Tab. 6.6 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonego podłoża dla kategorii ruchu KR 5-7 ($E_2 \geq 120\text{MPa}$).....	91
Tab. 6.7 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonego podłoża dla kategorii ruchu KR 3-4 ($E_2 \geq 100\text{MPa}$).....	92
Tab. 6.8 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonego podłoża dla kategorii ruchu KR 1-2 ($E_2 \geq 80\text{MPa}$).....	93
Tab. 6.9 Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i ulepszonego podłoża ze względu na mrozoodporność ...	94
Tab. 7.1. Klasyfikacja pojazdów zgodna z COST 323 [1].....	98
Tab. 7.2. Klasyfikacja pojazdów zgodna z FHWA	99
Tab. 7.3. Klasyfikacja pojazdów zgodna z obowiązującymi w Polsce Katalogami.....	100
Tab. 7.4. Klasyfikacja sylwetek pojazdów ciężarowych.....	100
Tab. 7.5. Struktura ruchu na drogach krajowych – GPR 1990 – 2010.....	102
Tab. 7.6. Struktura ruchu na drogach krajowych.....	102
Tab. 7.7. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.....	106
Tab. 7.8. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A1. Karkonoska	107
Tab. 7.9. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A1. Sobieskiego.....	108
Tab. 7.10. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.....	109
Tab. 7.11. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.....	110

<i>Tab. 7.12. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich na drogach krajowych zalecana do przyjmowania w wymiarowaniu nawierzchni.</i>	111
<i>Tab. 7.13. Masy całkowite pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.</i>	112
<i>Tab. 7.14. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.</i>	113
<i>Tab. 7.15. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.</i>	114
<i>Tab. 7.16. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.</i>	115
<i>Tab. 7.17. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.</i>	116
<i>Tab. 7.18. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – A2 – węzeł Emilia.</i>	118
<i>Tab. 7.19. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Karkonoska.</i>	119
<i>Tab. 7.20. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Sobieskiego.</i>	120
<i>Tab. 7.21. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 1.</i>	121
<i>Tab. 7.22. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 2.</i>	122
<i>Tab. 7.23. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – A2 – węzeł Emilia.</i>	123
<i>Tab. 7.24. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Karkonoska.</i>	124
<i>Tab. 7.25. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Sobieskiego.</i>	125
<i>Tab. 7.26. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 1.</i>	126
<i>Tab. 7.27. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 2.</i>	127
<i>Tab. 7.28. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – A2 – węzeł Emilia.</i>	128
<i>Tab. 7.29. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Karkonoska.</i>	129
<i>Tab. 7.30. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Sobieskiego.</i>	130
<i>Tab. 7.31. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Byczyna – stanowisko 1.</i>	131
<i>Tab. 7.32. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, A2 – Węzeł Emilia.</i>	132
<i>Tab. 7.33. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Al. Karkonoska.</i>	133
<i>Tab. 7.34. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Al. Sobieskiego.</i>	134
<i>Tab. 7.35. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Byczyna – stanowisko 1.</i>	135
<i>Tab. 7.36. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Byczyna – stanowisko 2.</i>	136
<i>Tab. 7.37. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, A2 – węzeł Emilia.</i>	137
<i>Tab. 7.38. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Al. Karkonoska.</i>	138
<i>Tab. 7.39. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Al. Sobieskiego.</i>	139
<i>Tab. 7.40. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Byczyna – stanowisko 1.</i>	140
<i>Tab. 7.41. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Byczyna – stanowisko 2.</i>	141
<i>Tab. 7.42. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, A2 – węzeł Emilia.</i>	142
<i>Tab. 7.43. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Al. Karkonoska.</i>	143
<i>Tab. 7.44. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Al. Sobieskiego.</i>	144
<i>Tab. 7.45. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Byczyna – st. 1.</i>	145
<i>Tab. 7.46. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Byczyna – st. 2.</i>	146

1 WPROWADZENIE

Przedmiotem raportu jest sprawozdanie z prac II etapu zadania badawczego pt: „Aktualizacja Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych” zleconego przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie do Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej.

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest weryfikacja i aktualizacja „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych” wydanego w 2001 roku. Katalog ten opracowany był pod koniec lat 90-tych ubiegłego stulecia, kiedy nawierzchnie betonowe nie były stosowane na szeroką skalę w kraju. Aktualnie po ponad 10 latach stosowania Katalogu, nawierzchnie betonowe znalazły uznanie wśród Inwestorów, Projektantów i Wykonawców i są stosowane zarówno na sieci dróg autostradowych, krajowych jak dróg gminnych. Pojawiły się nowe normy materiałowe, nowe technologie konstruowania, wbudowywania, wykańczania nawierzchni. Zdobyto nowe doświadczenia oraz obserwacje co sprawia, że obowiązujący Katalog jest przestarzały i nie uwzględnia nowych tendencji występujących w tej problematyce, stąd pojawia się konieczność jego aktualizacji. Pod koniec 2011 roku oddano do eksploatacji najdłuższy odcinek autostradowy w Polsce na autostradzie A2 o długości ok. 106 km wybudowany wg najnowszych standardów światowych. Warstwa wierzchnia została wykonana w technologii „odkrytego kruszywa” w celu zmniejszenia hałasu. Na odcinku tym zastosowano fragment eksperymentalnej nawierzchni o ciągłym zbrojeniu. W listopadzie 2012 roku oddano kolejne odcinki o nawierzchni betonowej na drodze S8. Nawierzchnię wykonano w technologii whitetoppingu. W niniejszym raporcie będącym sprawozdaniem z prac etapu II zamieszczono następujące zadania:

Zadanie 2

Przegląd nowych technologii wykonywania nawierzchni betonowych stosownie do kategorii obciążenia ruchem oraz funkcji drogi (w sieci dróg samochodowych), ścieżek rowerowych, parkingów, przystanków autobusowych oraz chodników.

Zadanie 3

Technologie wzmocnienia podłoża gruntowego. Dostosowanie do „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”.

Zadanie 4

Dostosowanie konstrukcji katalogowych do zwiększonego obciążenia ruchem. Analiza wyników pomiarów ważenia pojazdów na stacjach zainstalowanych na nawierzchniach betonowych.

2 ZAKRES I ETAPY PRACY BADAWCZEJ

Praca badawcza podzielona jest na IV etapy. Każdy etap składa się z zadań. Poniżej zestawiono zakresy i terminy wykonania etapów i zadań.

ETAP I

Zadanie 1

Prace wstępne

Przegląd Katalogów nawierzchni betonowych funkcjonujących w administracjach drogowych innych krajów.

Przegląd norm oraz wytycznych, dotyczących materiałów stosowanych w betonowych nawierzchniach drogowych.

Termin realizacji (etap I) 30 listopad 2011 r.

Sposób zakończenia: sprawozdanie częściowe. Oddano protokołem zdawczo-odbiorczym jako raport Instytutu Inżynierii Lądowej SPR 21/2011.

ETAP II

Zadanie 2

Przegląd nowych technologii wykonywania nawierzchni betonowych stosownie do kategorii obciążenia ruchem oraz funkcji drogi (w sieci dróg samochodowych), ścieżek rowerowych, parkingów, przystanków autobusowych oraz chodników.

Zadanie 3

Technologie wzmacniania podłoża gruntowego. Dostosowanie do „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”.

Zadanie 4

Dostosowanie konstrukcji katalogowych do zwiększonego obciążenia ruchem. Analiza wyników pomiarów ważenia pojazdów na stacjach zainstalowanych na nawierzchniach betonowych.

Termin realizacji (etap II) 30 listopad 2012 r.

Sposób zakończenia: sprawozdanie częściowe.

ETAP III

Zadanie 5

Określenie współczynników agresywności oraz przeliczeń sylwetek pojazdów na osie obliczeniowe.

Zadanie 6

Studia nad kryteriami zmęczeniowymi do określania trwałości zmęczeniowej

Zadanie 7

Analiza warunków klimatycznych na obszarze kraju.

Zadanie 8

Przyjęcie modeli obliczeniowych nawierzchni betonowych.

Termin realizacji (etap III) 30 czerwiec 2013 r.

Sposób zakończenia: sprawozdanie częściowe.

ETAP IV

Zadanie 9

Obliczenia i wymiarowanie konstrukcji nawierzchni betonowych

Zadanie 10

Redakcja wersji roboczej Katalogu

Zadanie 11

Opiniowanie wersji roboczej oraz opracowanie wersji końcowej.

Termin realizacji (etap IV) 30 listopad 2013 r.

Sposób zakończenia: sprawozdanie końcowe z wersją roboczą katalogu.

3 PODSUMOWANIE PRAC ETAPU I I ZADANIA 1

W I etapie składającym się z zadania 1 zestawiono podstawowe informacje o katalogach nawierzchni betonowych funkcjonujących w administracjach drogowych wybranych krajów w Europie i na świecie. Zestawiono katalogi nawierzchni betonowych stosowane w Niemczech, Austrii, Włoszech, Francji oraz USA. Ponadto zestawiono wykaz aktualnych norm dotyczących projektowania technologicznego i budowy nawierzchni betonowych. Zestawiono również wybrane wytyczne technologiczne konstruowania nawierzchni betonowych. Sprawozdanie z prac etapu I zamieszczono w raporcie Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej SPR 21/2011 opracowanym w listopadzie 2011 roku.

4 DEFINICJE WARSTW KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH

W niniejszym rozdziale przedstawiono propozycje nazewnictwa warstw konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego. Dowiązano się do propozycji Katalogu nawierzchni podatnych. Podział warstw nawierzchni sztywnych pokazano w Tab. 4.1.

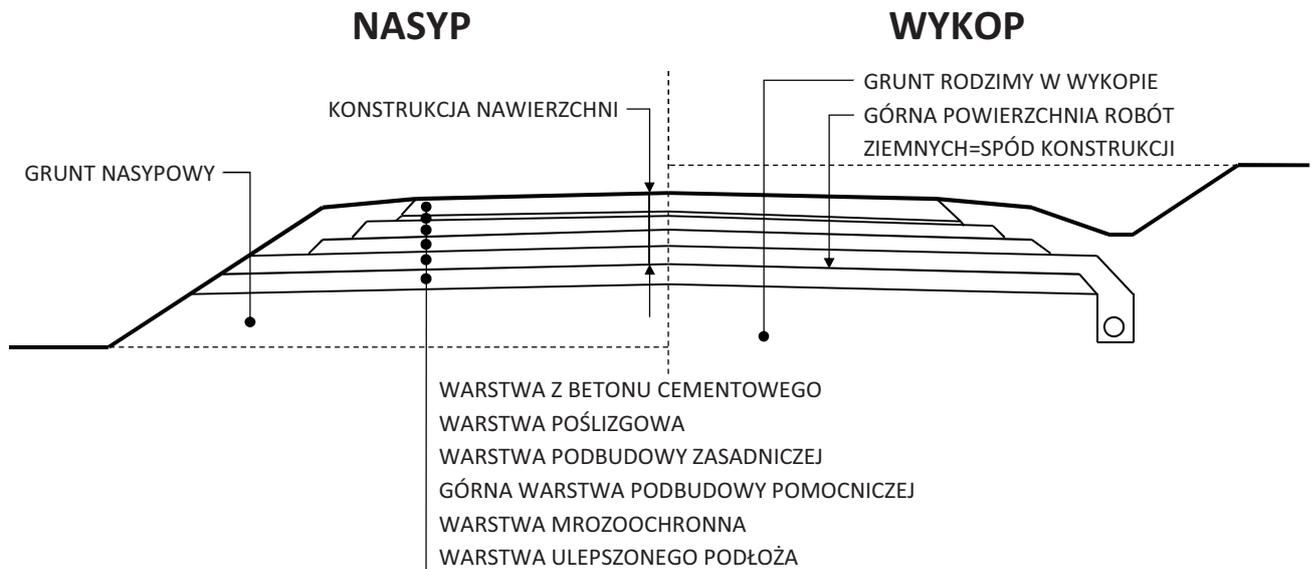
Tab. 4.1. Schemat i nazwy warstw konstrukcji nawierzchni sztywnych

Konstrukcja nawierzchni (nawierzchnia)	Górne warstwy konstrukcji nawierzchni	Warstwa z betonu cementowego*		Warstwy przyjmowane z tablic w katalogu dla danej kategorii ruchu po zapewnieniu na podbudowie pomocniczej wymaganej nośności (wymaganego wtórnego modułu odkształcenia E2)
		Warstwa poślizgowa		
		Warstwa podbudowy zasadniczej		
	Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni	Warstwy podbudowy pomocniczej	Górna warstwa podbudowy pomocniczej	Warstwy zapewniające wymaganą nośność (wymagany wtórny moduł odkształcenia E2), zapewniające mrozoodporność i odwodnienie wgłębne
			Warstwa mrozochronna (odsączająca)	
Warstwa ulepszanego podłoża				
Podłoże gruntowe (grunt rodzimy w wykopie i grunt nasypowy w nasypie), określone dla grupy nośności Gi				

* Warstwa z betonu cementowego

- płyta betonowa niedyblowana
- płyta betonowa dyblowana i kotwiona
- warstwa betonowa o ciągłym zbrojeniu
- płyta betonowa prefabrykowana itp.

Na Rys. 4.1 zaprezentowano typowy przekrój poprzeczny dla nawierzchni sztywnej oraz ulepszanego podłoża.



Rys. 4.1 Przekrój poprzeczny dla nawierzchni sztywnej oraz ulepszanego podłoża

5 PRZEGLĄD NOWYCH TECHNOLOGII WYKONYWANIA NAWIERZCHNI BETONOWYCH STOSOWANIE DO KATEGORII OBCIĄŻENIA RUCHEM ORAZ FUNKCJI DROGI

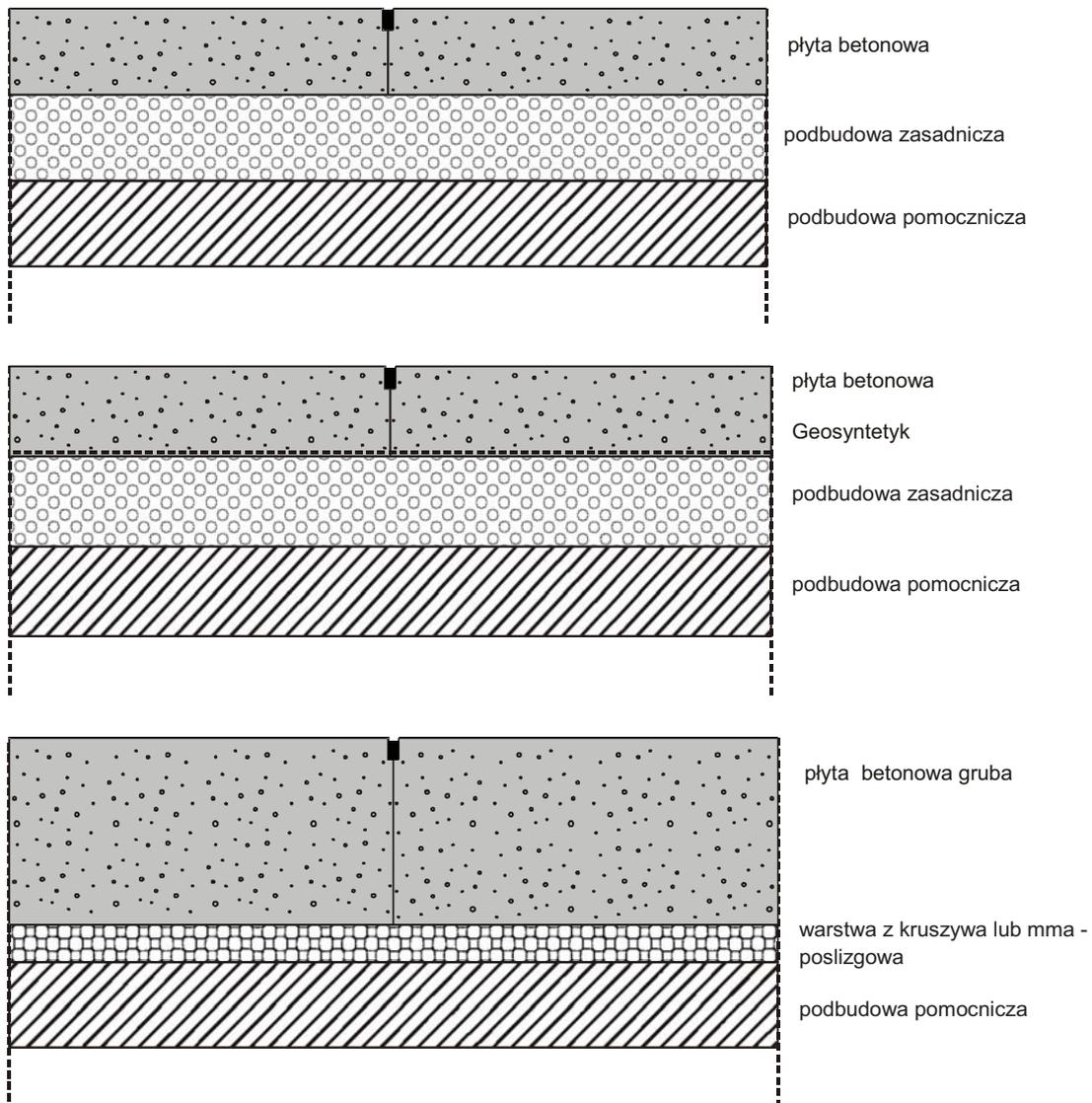
5.1 TYPY NAWIERZCHNI BETONOWYCH

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. Konstrukcja taka powinna posiadać określoną trwałość oraz zapewniać określony poziom wygody i bezpieczeństwa ruchu, w zależności od równości i szorstkości jej zewnętrznej powierzchni. Podstawą klasyfikacji jest rodzaj zastosowanej płyty betonowej (zbrojona lub nie zbrojona), rodzaj materiału użytego na płytę oraz sposób wykonania wybranych elementów technologicznych. Rozróżnia się:

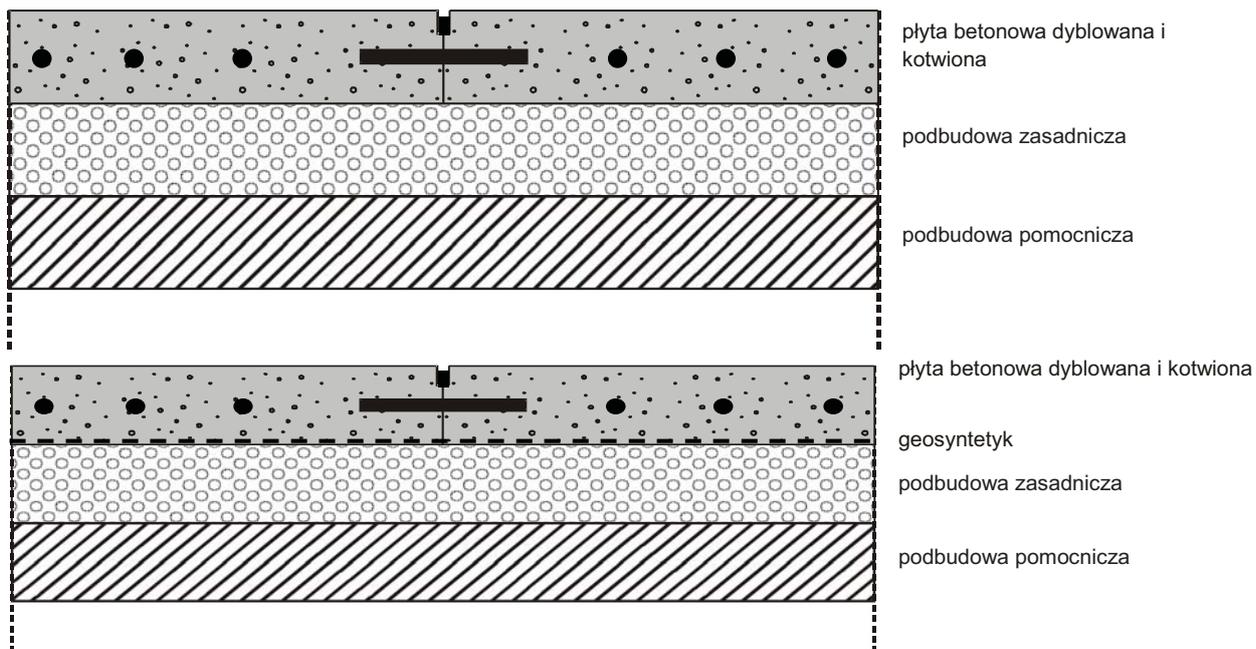
- nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane (płyty krótkie),
- nawierzchnie niezbrojone, dyblowane w szczelinach poprzecznych i kotwione w szczelinach podłużnych (płyty krótkie),
- nawierzchnie zbrojone i dyblowane w szczelinach poprzecznych (płyty krótkie i długie),
- nawierzchnie zbrojone (zbrojenie ciągłe, płyty długie),
- nawierzchnie sprężone,
- nawierzchnie prefabrykowane,
- nawierzchnie z włóknami rozproszonymi,
- nawierzchnie z betonu wałowanego,
- nawierzchnie z betonu porowatego,
- nawierzchnie z betonu piaskowego,

- nawierzchnie złożone (mieszane) - podbudowa betonowa, na której ułożona jest cienka warstwa z mieszanki mineralno-asfaltowej lub warstwa betonowa ułożona na istniejącej nawierzchni asfaltowej (whitetopping).

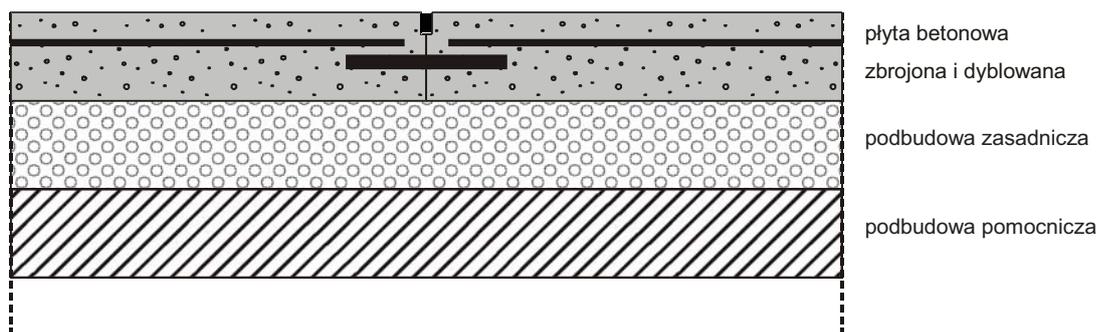
Na Rys. 5.1 - Rys. 5.7 pokazano typy nawierzchni betonowych.



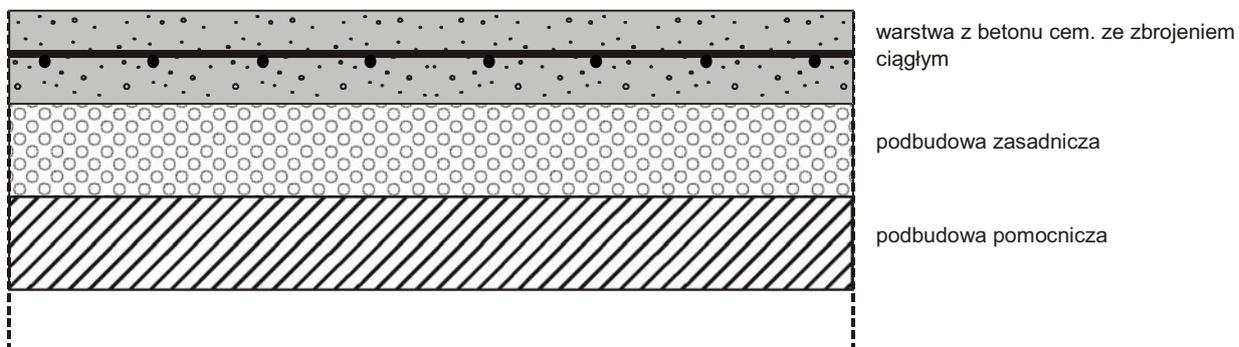
Rys. 5.1 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana



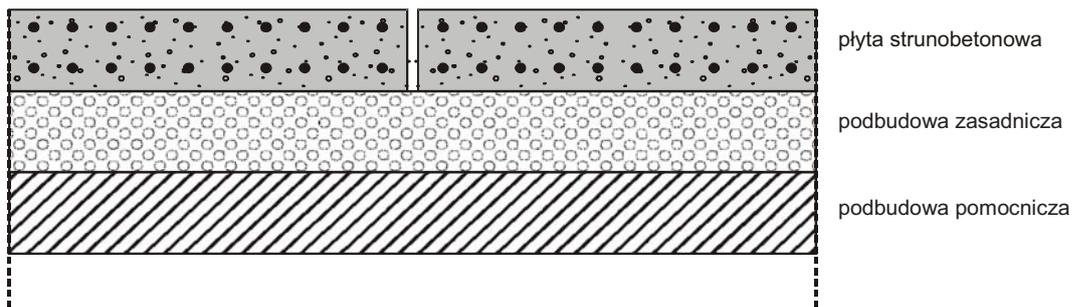
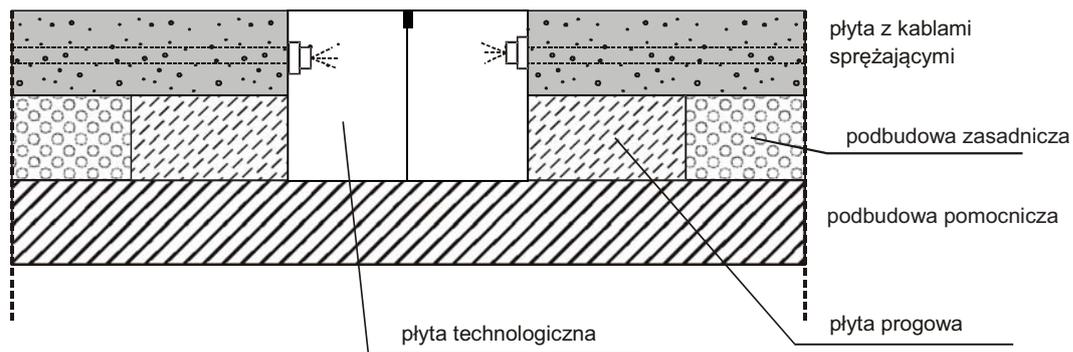
Rys. 5.2 Nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona



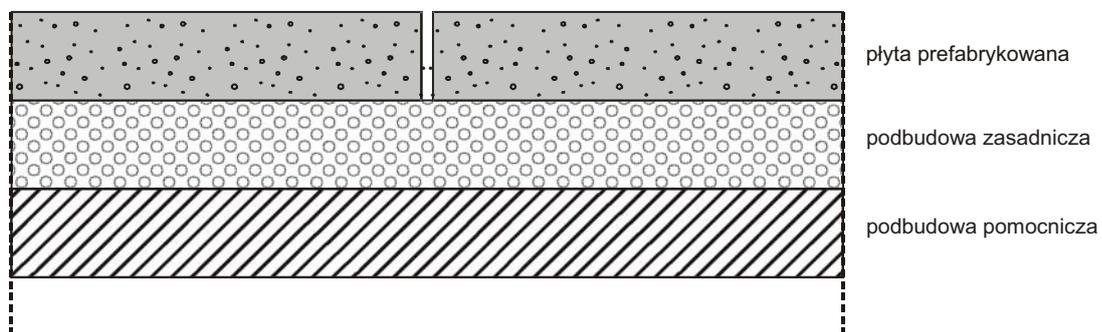
Rys. 5.3. Nawierzchnia zbrojona i dyblowana



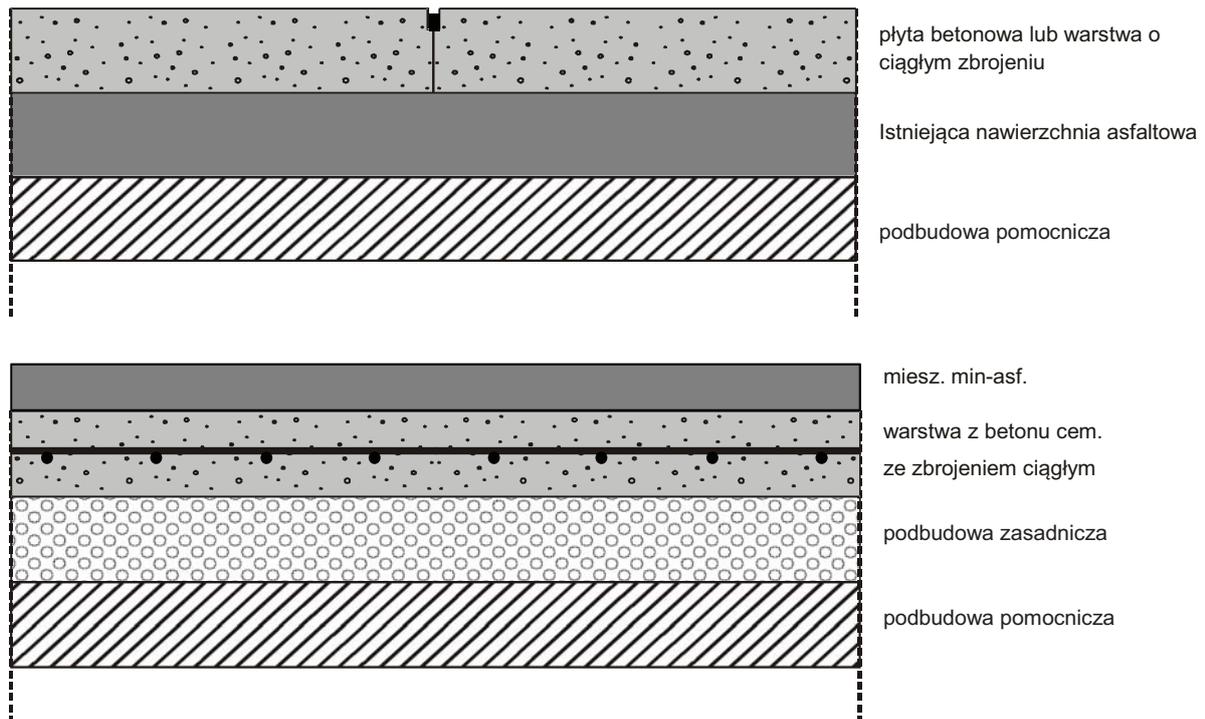
Rys. 5.4 Nawierzchnia zbrojona – ciągłe zbrojenie



Rys. 5.5 Nawierzchnia sprężona



Rys. 5.6 Nawierzchnia prefabrykowana



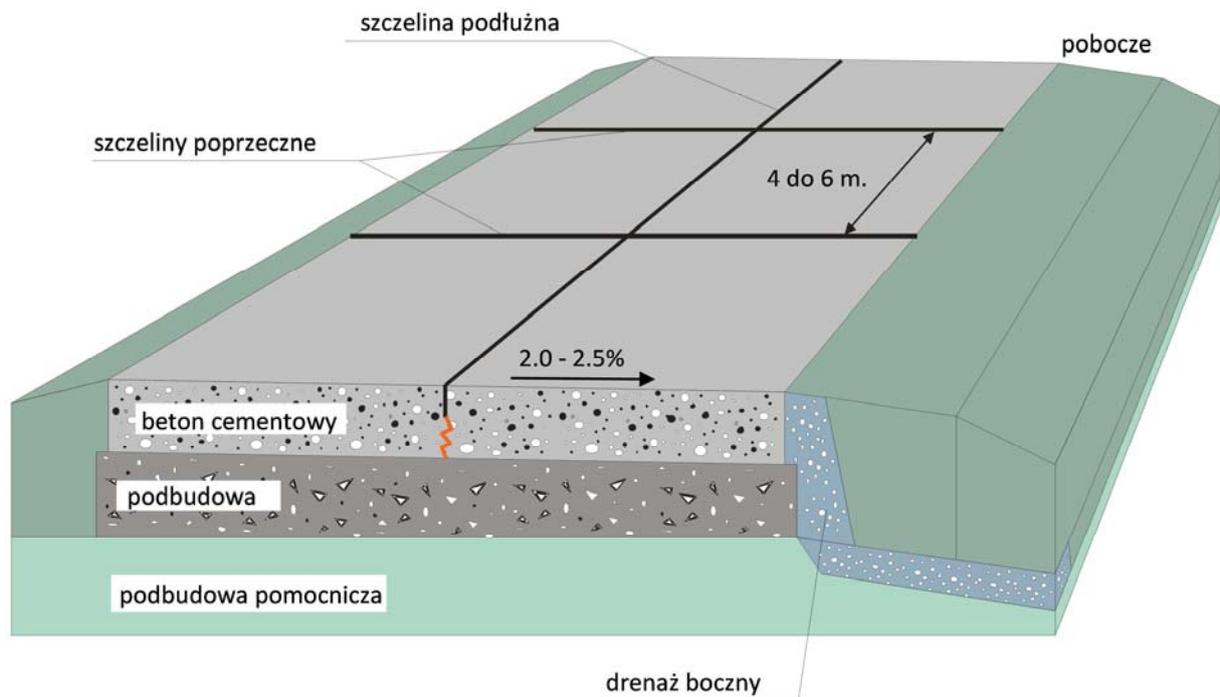
Rys. 5.7 Nawierzchnia mieszana

W światowej technice drogowej znalazły zastosowanie nawierzchnie: niezbrojone i niedyblowane, dyblowane i kotwione, zbrojone oraz nawierzchnie złożone (mieszane). W różnych krajach stosowane są różne typy nawierzchni. W Niemczech stosowana jest nawierzchnia dyblowana i kotwiona. W Belgii - nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu. Francuzi natomiast stosują nawierzchnie dyblowane i kotwione oraz zbrojone. Ponadto stosują grube płyty niedyblowane. W Anglii dominują nawierzchnie złożone (mieszane). Poszczególne typy nawierzchni posiadają odmienne zalety i wady. Stosowane powinny być w zależności od specyfiki ruchu, możliwości utrzymania, warunków klimatycznych itp. W Polsce jak dotąd stosowano nawierzchnie dyblowane i kotwione. Coraz więcej pojawia się również odcinków o nawierzchni zbrojonej i złożonej (whitetopping).

5.2 CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TYPÓW NAWIERZCHNI

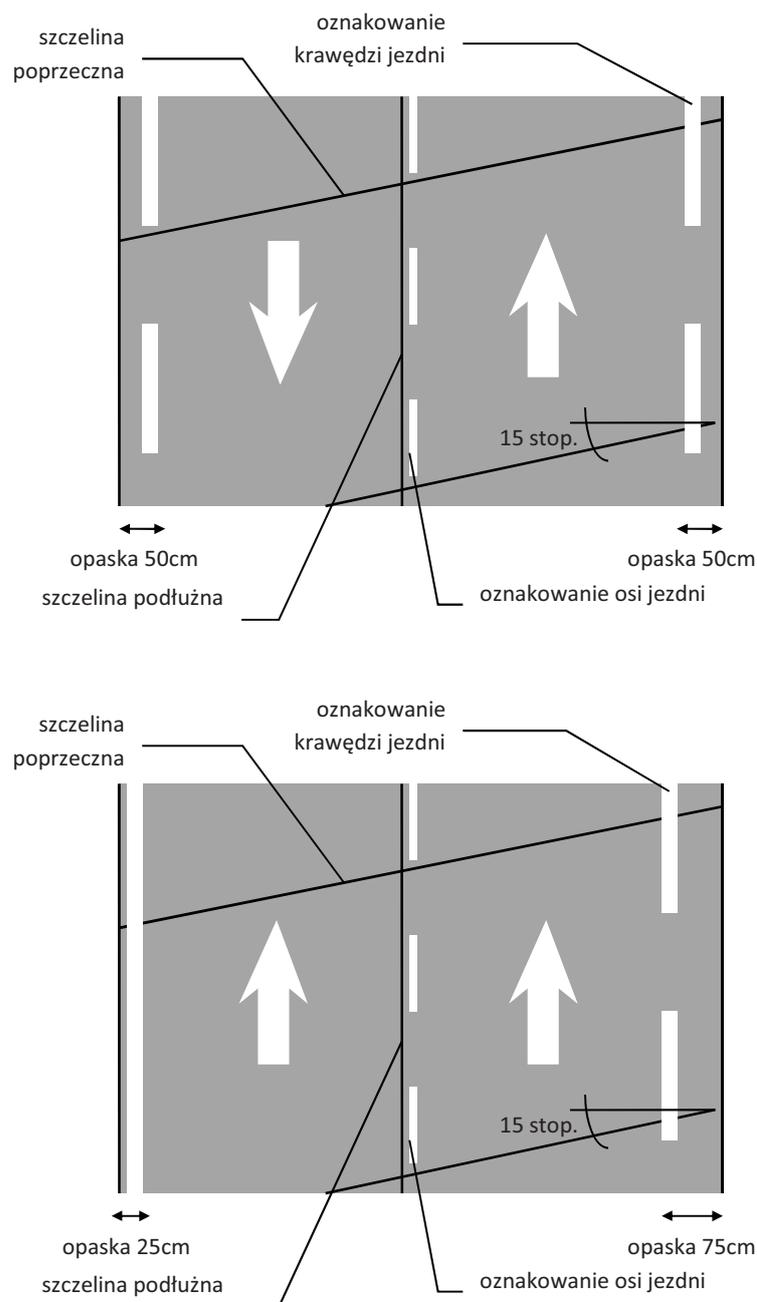
5.2.1 NAWIERZCHNIE NIEZBROJONE I NIEDYBLOWANE

Jest to najstarszy rodzaj nawierzchni betonowej zwany nawierzchnią „kalifornijską”. Typ takiej nawierzchni tworzą płyty krótkie wydzielone za pomocą szczelin poprzecznych i podłużnych. Rozstaw szczelin podłużnych praktycznie pokrywa się z wymiarami szerokości pasów ruchu. Z uwagi na wpływy termiczne należy przestrzegać wymagań rozstawu szczelin poprzecznych, który zmienia się od 4 do 6 m w zależności od grubości płyty. Najczęściej wynosi on 25 x grubość płyty. W Anglii zleca się stosować rozstaw szczelin poprzecznych 4m dla płyt o grubości poniżej 23 cm. Dla płyt grubszych – 5m. Na Rys. 5.8 pokazano schemat nawierzchni niezbrojonej i niedyblowanej.



Rys. 5.8 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana

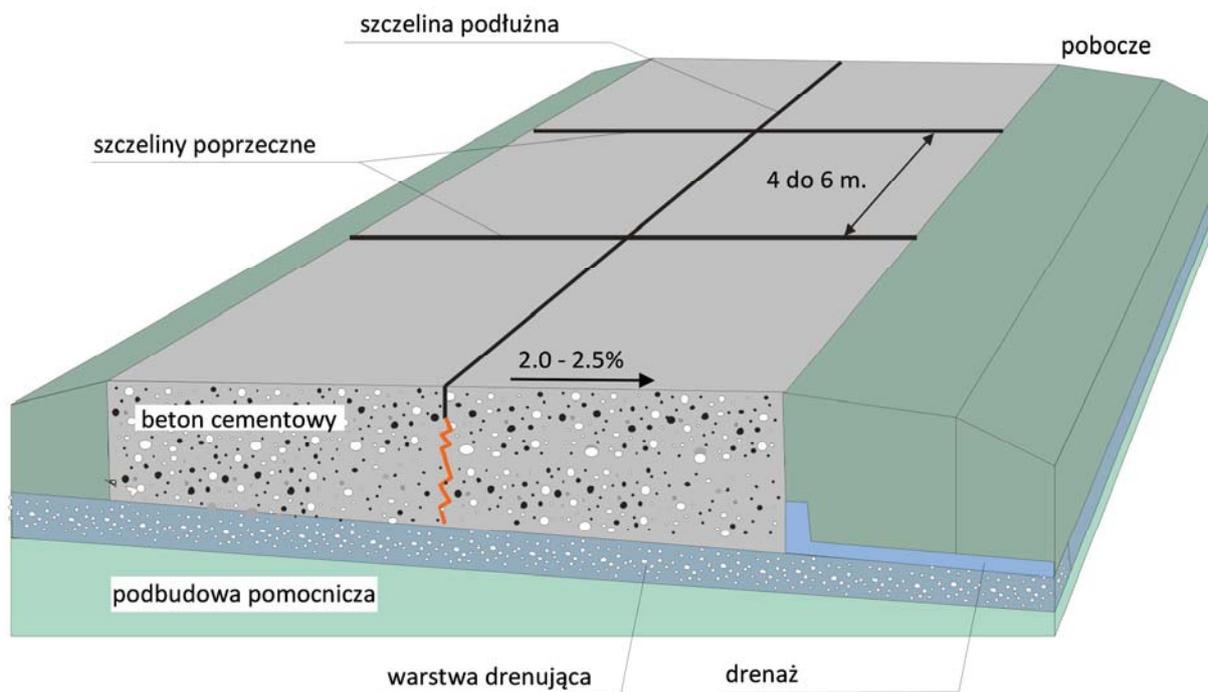
Szczeliny poprzeczne są najczęściej prostopadłe do szczeliny podłużnej i osi drogi, ale z uwagi na lepszy komfort jazdy, zapewnienie lepszej współpracy płyt mogą być ukośne o kącie odchylenia 15 stopni (Rys. 5.9).



Rys. 5.9 Ukształtowanie szczelin ukośnych i oznakowania dla jezdni jedno i dwukierunkowej

Typ nawierzchni niezbrojonej i niedyblowanej zalecany jest do stosowania w polskim katalogu [19] dla ruchu lekkiego KR1, KR2 (płyta o grubości 17 – 20cm). W wymaganiach francuskich [5] można taką nawierzchnię stosować dla ruchu średniego (płyta o grubości 18 – 24cm). W katalogu niemieckim [25] ten typ nawierzchni stosowany jest dla ruchu od IV do VI (płyta o grubości 16 – 18cm).

W połowie lat siedemdziesiątych we Francji pojawił się typ nawierzchni niezbrojonej i niedyblowanej – płyta gruba. W przypadku tej konstrukcji płytą układa się bezpośrednio na warstwie drenażowej z kruszywa lub geowłókniny, bez stosowania podbudowy (Rys. 5.10).

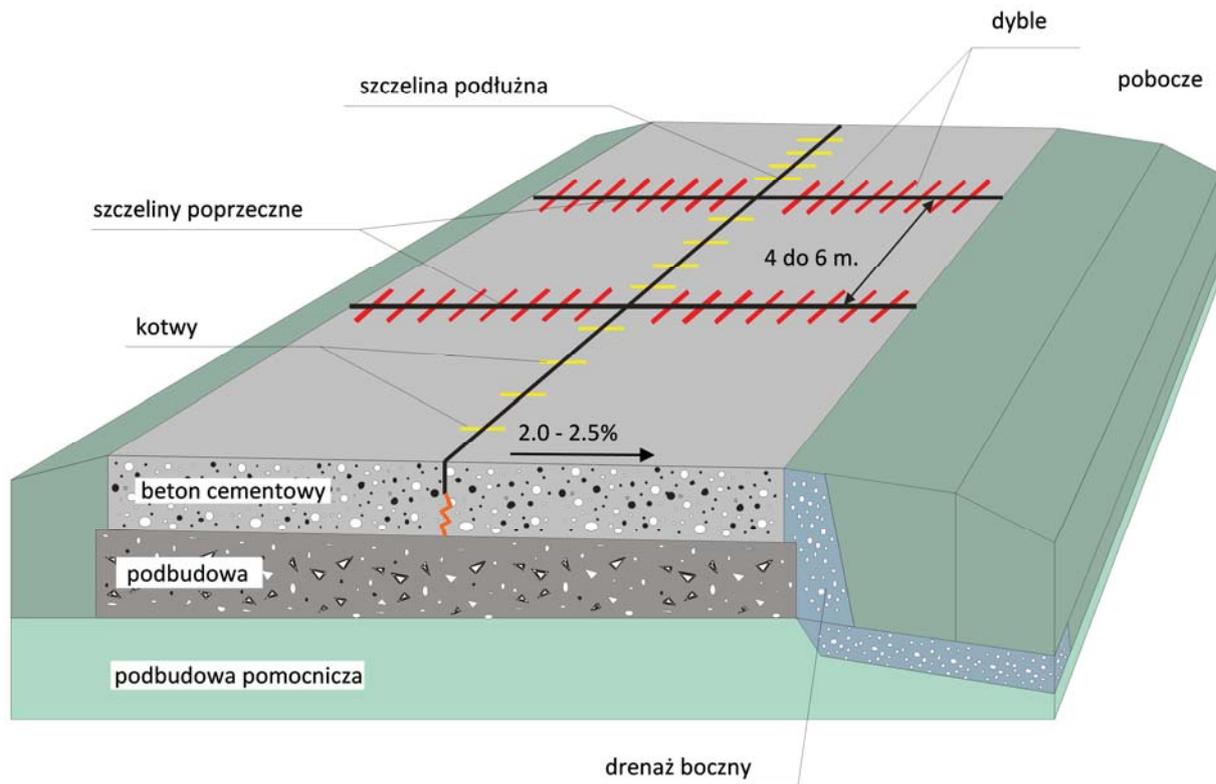


Rys. 5.10 Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana – płyta gruba

Płyta gruba jest mniej wrażliwa na wpływy termiczne, odkształcenia, zmniejsza się w niej skurcz z uwagi na większe siły tarcia o podłoże oraz naprężenia. Wymagane jest jednak dobre odwodnienie pod płytą i odprowadzenie wody poza obręb jezdni. Zgodnie z wymaganiami francuskimi stosuje się płyty o grubości od 31 do 37cm, przy czym stosuje się zmienną grubość płyty (do 10cm różnicy) w przekroju poprzecznym. Ma to swoje uzasadnienie z uwagi na większe obciążenie prawej krawędzi jezdni, wywierane przez pojazdy ciężarowe.

5.2.2 NAWIERZCHNIE NIEZBROJONE, DYBLowane W SZCZELINACH POPRZECZNYCH I KOTWIONE W SZCZELINACH PODŁUŻNYCH (PŁYTY KRÓTKIE)

Ten typ nawierzchni charakteryzuje się płytami krótkimi, powstałymi w wyniku podziału płyty betonowej szczelinami poprzecznymi i podłużnymi. W polskim katalogu [19] ten typ nawierzchni występuje dla ruchu KR3 – KR6. W celu zapewnienia właściwej współpracy płyt w szczelinach stosuje się dyble (szczeliny poprzeczne) oraz kotwy (szczeliny podłużne) (Rys. 5.11).



Rys. 5.11 Nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona

Ten typ rozwiązania stosujemy w przypadku małej odporności podbudowy na erozję. W przypadku nieprawidłowego zastosowania dybli (błędy projektowe i wykonawcze) może dojść do zniszczenia płyty betonowej przy szczelinach dyblowanych, wykruszania, pęknięcia oraz ograniczenia współpracy płyt.

dyble

Na podstawie znanych algorytmów obliczeniowych w oparciu o teorię sprężystości określa się odpowiednio: ugięcie dybla, moment zginający, siłę poprzeczną, a następnie naprężenia ściskające w betonie pod dyblem:

$$\sigma_b = \frac{K \cdot P_t \cdot (2 + \beta \cdot z)}{4 \cdot \beta^3 \cdot E_d \cdot I_d}$$

gdzie:

σ_b – maksymalne naprężenia ściskające w betonie w płaszczyźnie krawędzi płyty [Pa],

K – współczynnik sprężystego podparcia dybla w betonie [N/m^3],

P_t – maksymalna siła jaką może przenieść pojedynczy dybel na sąsiednią płytę [N],

$$P_t = \frac{P \cdot 0.5}{\sum_{i=1}^n \eta_i}$$

P – siła wywołana naciskiem koła pojazdu [N]

η_i – współczynnik obciążenia i-tego dybla [-]

n – liczba dybli [-]

$\sum_{i=1}^n \eta_i$ – sumaryczny współczynnik grupy n dybli [-]

β - współczynnik uwzględniający sztywność obetonowanego dybla [1/m],

$$\beta = \left(\frac{K \cdot d}{4 \cdot E_d \cdot I_d} \right)^{0.25}$$

d – średnica dybla [m],

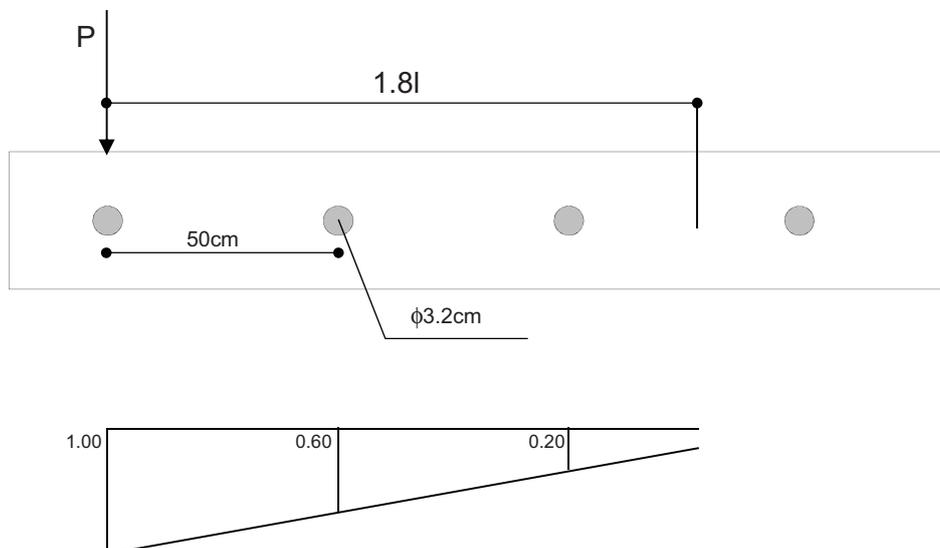
E_d – współczynnik sprężystości dybla [Pa],

I_d – moment bezwładności przekroju poprzecznego dybla [m⁴],

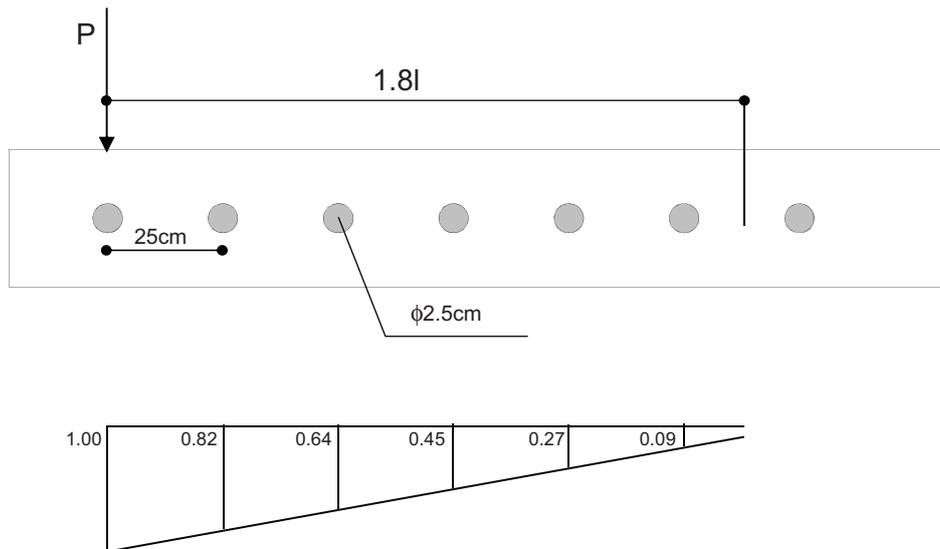
$$I_d = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4$$

z – szerokość szczeliny między płytami [m],

Obciążenie działające na dybel powoduje ugięcie krawędzi płyty. Zgodnie z analizą Westergaarda punkty przegięcia krzywej ugięcia krawędzi płyty obejmującej maksymalne ugięcie, znajdują się w odległości $1.8l$ (gdzie l jest promieniem względnej sztywności płyty [m]) od miejsca przyłożenia obciążenia. Znajdujący się pod obciążeniem dybel, pracuje na pełną nośność. Nośność sąsiednich dybli maleje wraz ze zwiększaniem się odległości. Wynosi 0 dla dybla oddalonego o wartość $1.8l$ od punktu obciążenia. Na Rys. 5.12 i Rys. 5.13 pokazano przykładowe schematy rozkładu obciążenia dla różnych konfiguracji dybli.

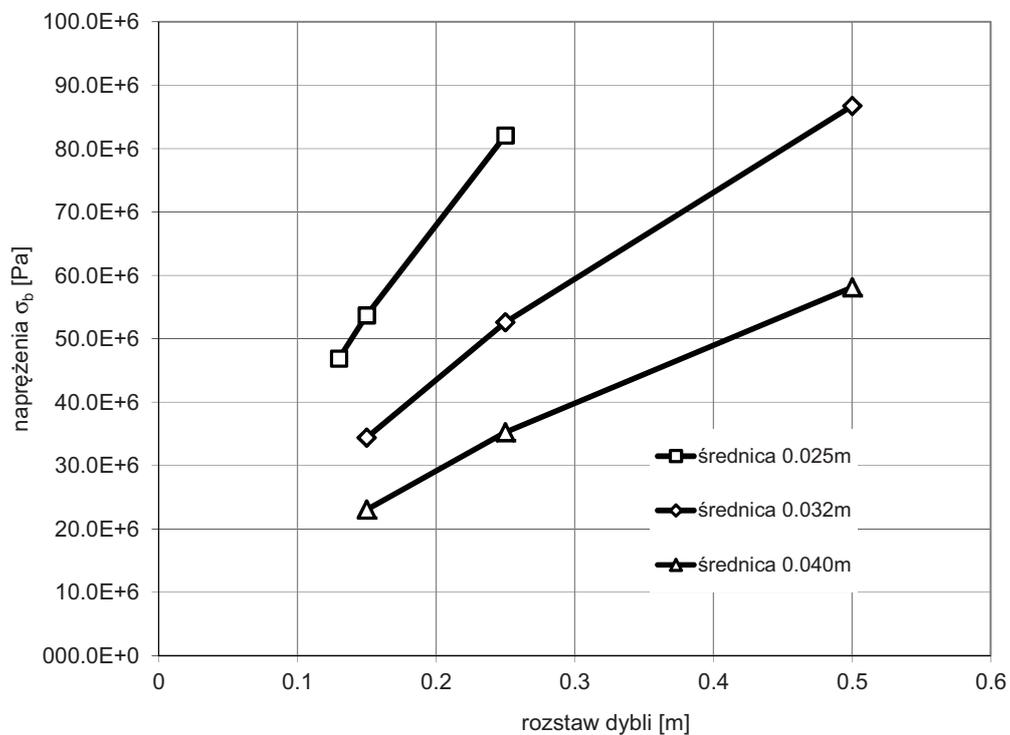


Rys. 5.12 Schemat rozkładu obciążenia na cztery dyble o rozstawie 0.50m, $l=0.70$ m, sumaryczny współczynnik grupy dybli wynosi 1.80

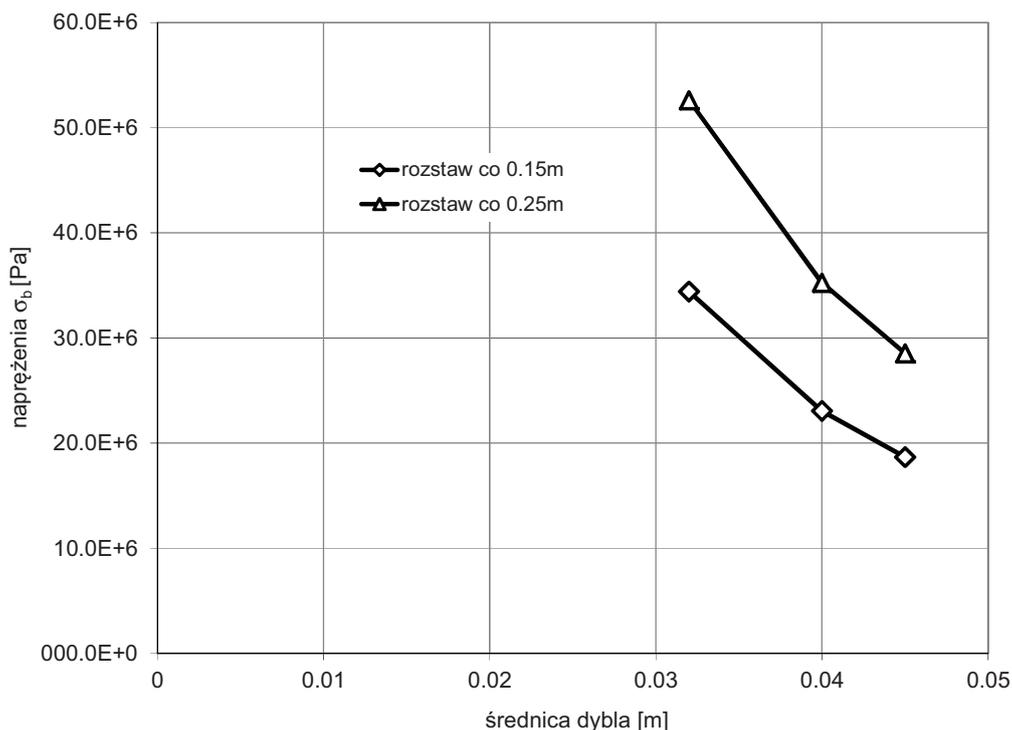


Rys. 5.13 Schemat rozkładu obciążenia na siedem dybli o rozstawie 0.25m, $l=0.76m$, sumaryczny współczynnik grupy dybli wynosi 3.273

Dla typowych wartości ($P=250\ 000\ N$, $l=0.9m$, $K=409\cdot 10^9\ N/m^3$, $E_d=200\cdot 10^9\ Pa$, $z=0.0058$) na Rys. 5.14 i Rys. 5.15 pokazano zależności rozstawu dybli/średnicy od naprężenia w betonie.



Rys. 5.14 Zależność rozstawu dybli od naprężenia dla różnych średnic dybli (w obliczeniach przyjęto: $P=250\ 000\ N$, $l=0.9m$, $K=409\cdot 10^9\ N/m^3$, $E_d=200\cdot 10^9\ Pa$, $z=0.0058$)



Rys. 5.15 Zależność średnicy dybla od naprężenia dla różnego rozstawu dybli (w obliczeniach przyjęto: $P=250\,000\text{ N}$, $l=0.9\text{ m}$, $K=409\cdot 10^9\text{ N/m}^3$, $E_d=200\cdot 10^9\text{ Pa}$, $z=0.0058$)

Wg archiwalnej polskiej normy [20] wymiary dybli należy przyjmować zależnie od grubości płyt (Tab. 5.1). Rozstaw dybli powinien wynosić od 0.3 do 0.5m. Wymagania francuskie pokazano w Tab. 5.2.

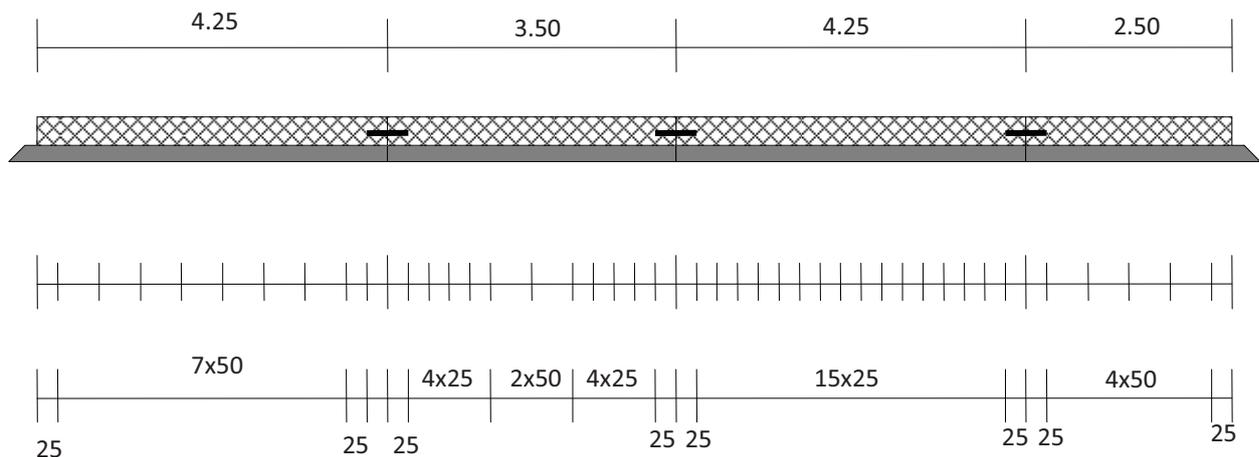
Tab. 5.1 Wymiary dybli wg [20]

Grubość płyty [m]	Min. średnica dybla [mm]	Min. długość dybla [m]
0.26	32	0.52
0.30	40	0.64
0.40	45	0.80

Tab. 5.2 Wymagania dotyczące stosowania dybli we Francji [5]

Grubość płyty [m]	Średnica dybla [mm]	Długość dybla [m]	Rozstaw dybli [m]
0.13-0.15	20	0.40	0.30
0.16-0.20	25	0.45	0.30
0.21-0.28	30	0.45	0.30
0.29-0.40	40	0.50	0.40
0.41-0.50	45	0.55	0.45

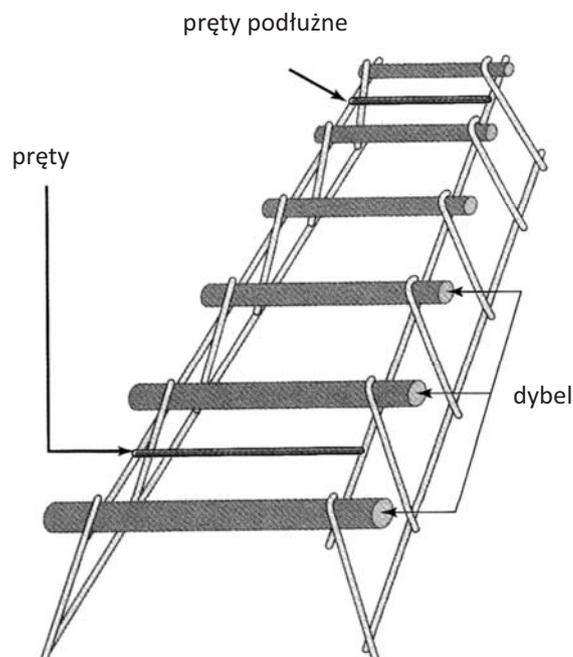
Wg przepisów niemieckich [28] dyble powinny mieć średnicę 25mm i długość min. od 0.5m do 0.6m. Rozmieszczenie dybli wg przepisów niemiecki pokazano na Rys. 5.16.



Rys. 5.16 Rozmieszczenie dybli wg przepisów niemieckich.

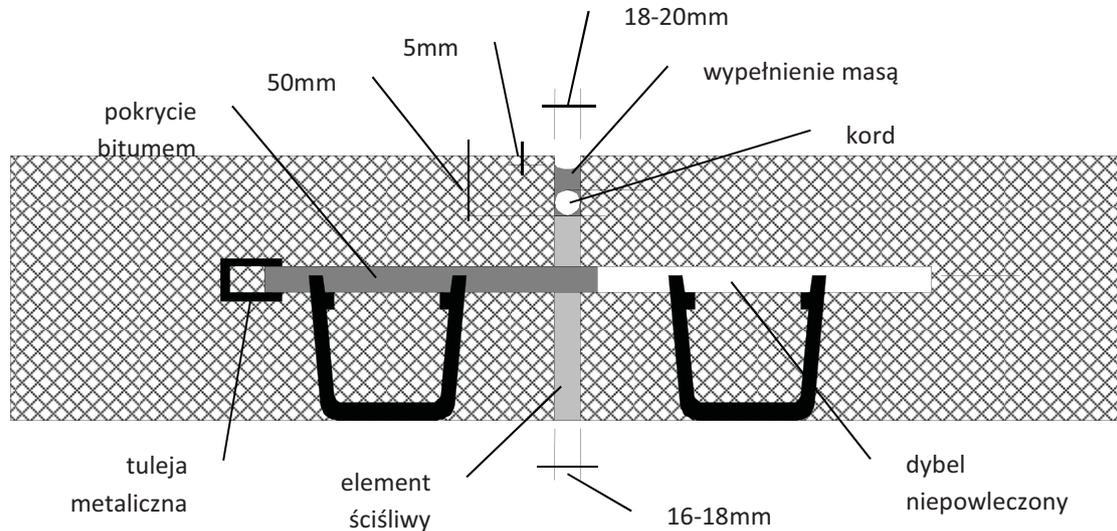
W Anglii [26] zaleca się stosowanie dybli: o średnicy 25mm, rozstaw 0.3m, długość 0.6m - w szczelinach rozszerzania oraz dla płyt o grubościach mniejszych od 0.24m. Dla płyt grubszych należy zastosować średnicę 32mm. Natomiast dla szczelin pozornych i płyt o grubości mniejszej niż 0.24m: średnica dybli wynosi 20mm, rozstaw 0.3m, długość 0.4m. Dla większej grubości średnica wynosi 25mm.

Dyble powinny być wykonane z odpowiedniej stali (St3S) i powleczone powłoką polimerową uniemożliwiającą związaną z betonem. Dyble wciska się za pomocą specjalnych urządzeń wwibrowywując je w ułożoną świeżą płytę betonową na połowę jej grubości. Dyble można układać również na podpórkach z wykorzystaniem prętów podłużnych i montażowych – usuwanych przed zabetonowaniem. (Rys. 5.17)



Rys. 5.17 Dyble ułożone na podpórkach

W szczelinach rozszerzania dyble układa się na podpórkach i tak się konstruuje szczelinę i dybel, ażeby była możliwość przemieszczania płyty i dybla. Przykład dyblowanej szczeliny rozszerzania pokazano na Rys. 5.18. Dybel powleczony do połowy materiałem izolacyjnym oraz osadzony w tulei będzie miał możliwość swobodnego przesuwu.



Rys. 5.18 Dyblowana szczelina rozszerzania kotwy

W celu zapewnienia odpowiedniej współpracy płyt w kierunku podłużnym, stosuje się kotwy. Wykonuje się je ze stali żebrowanej zapewniającej właściwe warunki szczepności. Zabezpiecza się w środkowej części odcinek 90.1-0.15m) antykorozyjnie. Umieszcza się je w połowie grubości płyty. Wg wymagań polskich [20] kotwy stosuje się w szczelinach podłużnych grubości ponad 0.25m. Norma ta zaleca wymiary i rozstaw kotew jak dla dybli, uzupełniając ich długość o haki.

Wymagania niemieckie [28] zalecają dla klas SV, I, do III: średnicę kotew – 20mm, długość 0.8m. Natomiast w pozostałych przypadkach: średnica 16mm, długość 0.6m. Na odcinkach prostych stosuje się 3 kotwy na długości płyty w równomiernych odstępach. W przypadku nawierzchni o wyższych klasach nośności należy zwiększyć liczbę kotew do 5 sztuk.

W przepisach francuskich [6] stosuje się kotwy o średnicy 10-14mm i długości 0.6-1.0m. Rozstaw określa się w zależności od szczepności płyty z podbudową, minimalnej odległości krawędzi swobodnej płyty od szczeliny z kotwami, naprężeń dopuszczalnych w stali, ciężaru warstwy. Przykładowo dla płyty o grubości 20cm, średnica kotew powinna wynosić 12mm, długość 0.6m i rozstaw 1.0m.

W Anglii [26] podaje się minimalną średnicę kotew – 12mm, długość 0.6m, a rozstaw równy 30-krotnej średnicy, nie mniejszy niż 0.5m.

Kotwy najczęściej wciska się od góry w świeżo ułożoną mieszankę za pomocą urządzeń wibrujących. Kotwy można także, w zależności od technologii nawiercać w krawędzi bocznej w związanym betonie.

5.2.3 NAWIERZCHNIE ZBROJONE I DYBLOWANE W SZCELINACH POPRZECZNYCH (PŁYTY KRÓTKIE I DŁUGIE)

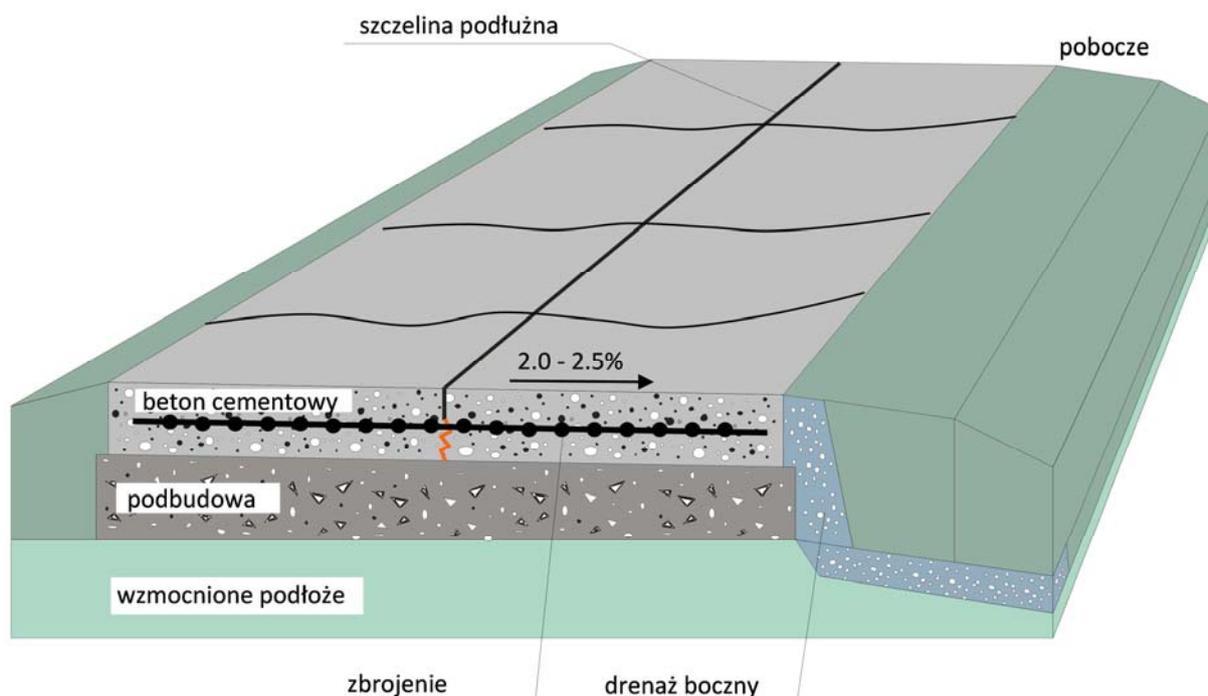
Ten typ nawierzchni tworzą płyty zbrojone krótkie. Wg polskiej normy [20] zaleca się zbroić płyty w przypadkach nierównomiernych osiadań podłoża. Zbrojenie płyt ma istotny wpływ na zmniejszenie się liczby rys ich rozwartości i pęknięć, zmniejszenie szczelin skurczowych, przeciwdziałanie stopniowemu rozszerzaniu pęknięć. Siatkę zbrojeniową należy wykonać z prętów o średnicy 6-8mm. Ilość zbrojenia w płytach od długości ponad 10m powinna wynosić co najmniej 5kg/m², natomiast dla płyt o długości 6-10m – 2 kg/m². Pręty zbrojenia powinny stanowić 70% masy całego zbrojenia. Siatkę układa się na głębokości 7 cm poniżej górnej powierzchni płyty. Zbrojenie służy zapobieganiu pęknięciom poprzecznym, dlatego też powinno być ułożone podłużnie.

Wg doświadczeń angielskich [8] zbrojenie podłużne powinno wynosić 500-800mm²/m. Dla płyt zbrojonych 500mm²/m rozstaw szczelin poprzecznych wynosi 22-25m. Dla płyt zbrojonych 600mm²/m rozstaw szczelin poprzecznych wynosi 23-25m, natomiast dla płyt 700mm²/m i 800mm²/m rozstaw szczelin wynosi 25m.

Amerykanie [9] uzależniają stopień zbrojenia podłużnego od jej długości, współczynnika tarcia płyty o podłoże oraz od wytrzymałości stali.

5.2.4 NAWIERZCHNIE ZBROJONE (ZBROJENIE CIĄGŁE, PŁYTY DŁUGIE)

Ten typ nawierzchni został spopularyzowany w USA, Anglii, Belgii oraz we Francji [9], [26], [5]. Nawierzchnię tworzą płyty długie o ciągłym zbrojeniu. Nie wymagają nakładów na utrzymanie szczelin, nie występuje: zjawisko przenikania wody do podłoża „pompowania wody w szczelinach, klawiszowanie. Dzięki temu nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu posiada wydłużony okres eksploatacji, wymaga jednak dużych nakładów finansowych. Na Rys. 5.19 pokazano schemat nawierzchni.



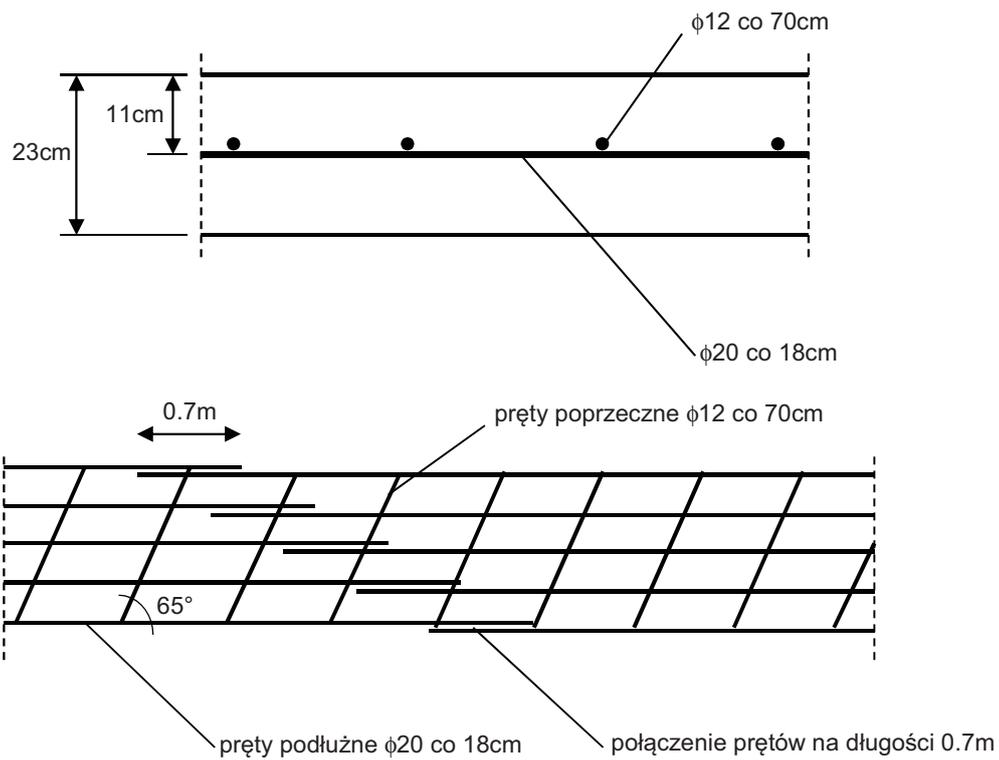
Rys. 5.19 Nawierzchnia zbrojona – ciągłe zbrojenie

Zbrojenie podłużne układa się w połowie grubości płyty. Jednym ze sposobów jest układanie zbrojenia na podpórkach, a drugi z wykorzystaniem specjalnej maszyny. Rozstaw zbrojenia powinien być w przedziale 0.1-0.23m. W nawierzchni powstają spękania skurczowe w odległościach 3-5m (Rys. 5.20). Nie są one jednak głębokie i nie doprowadzają do korozji leżącej niżej stali. Na Rys. 5.21 pokazano typowy układ zbrojenia.

Łączenie zbrojenia podłużnego w przekroju poprzecznym wykonuje się schodkowo. W przekroju podłużnym nie może być łączony więcej niż 1/3 prętów. Szczeliny poprzeczne występują jako szczeliny robocze po zakończeniu dnia roboczego lub gdy jest przerwa w dostawie mieszanki betonowej dłuższa niż 30min.

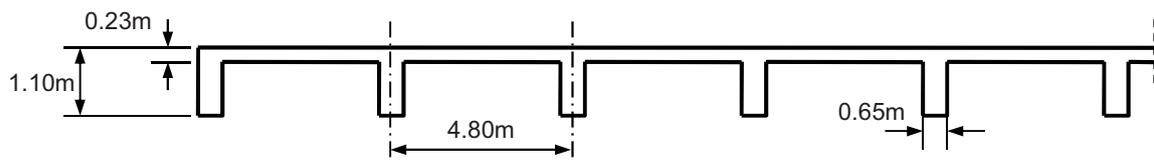


Rys. 5.20 Szczelina skurczowa w nawierzchni o ciągłym zbrojeniu

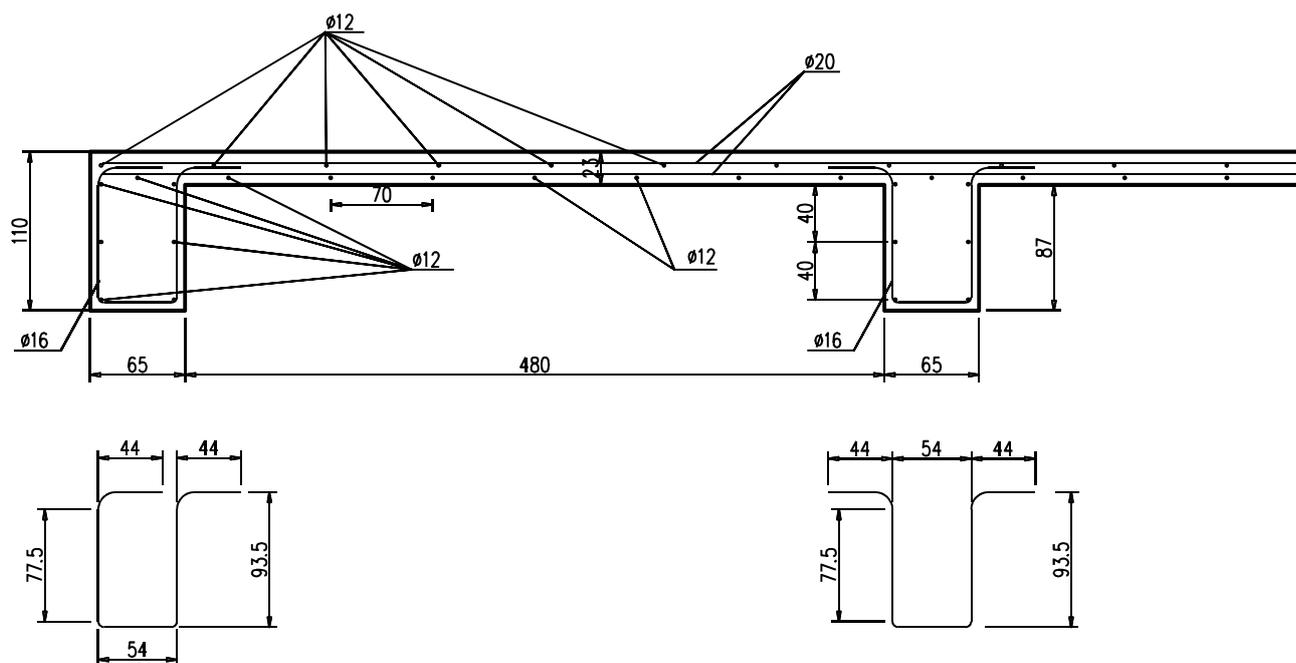


Rys. 5.21 Układ zbrojenia w płycie betonowej

Na obu końcach odcinka nawierzchni o ciągłym zbrojeniu, na długości ok. 30 m stosuje się w rozstawie co ok. 4.8m bloki żelbetowe o wysokości ok. 0.90 m (bez uwzględnienia grubości płyty) i szerokości 0.65 m (Rys. 5.22). Ich celem jest odpowiednie zakotwienie monolitycznej zbrojonej płyty betonowej. Szczegóły zbrojenia bloków pokazano na Rys. 5.23.

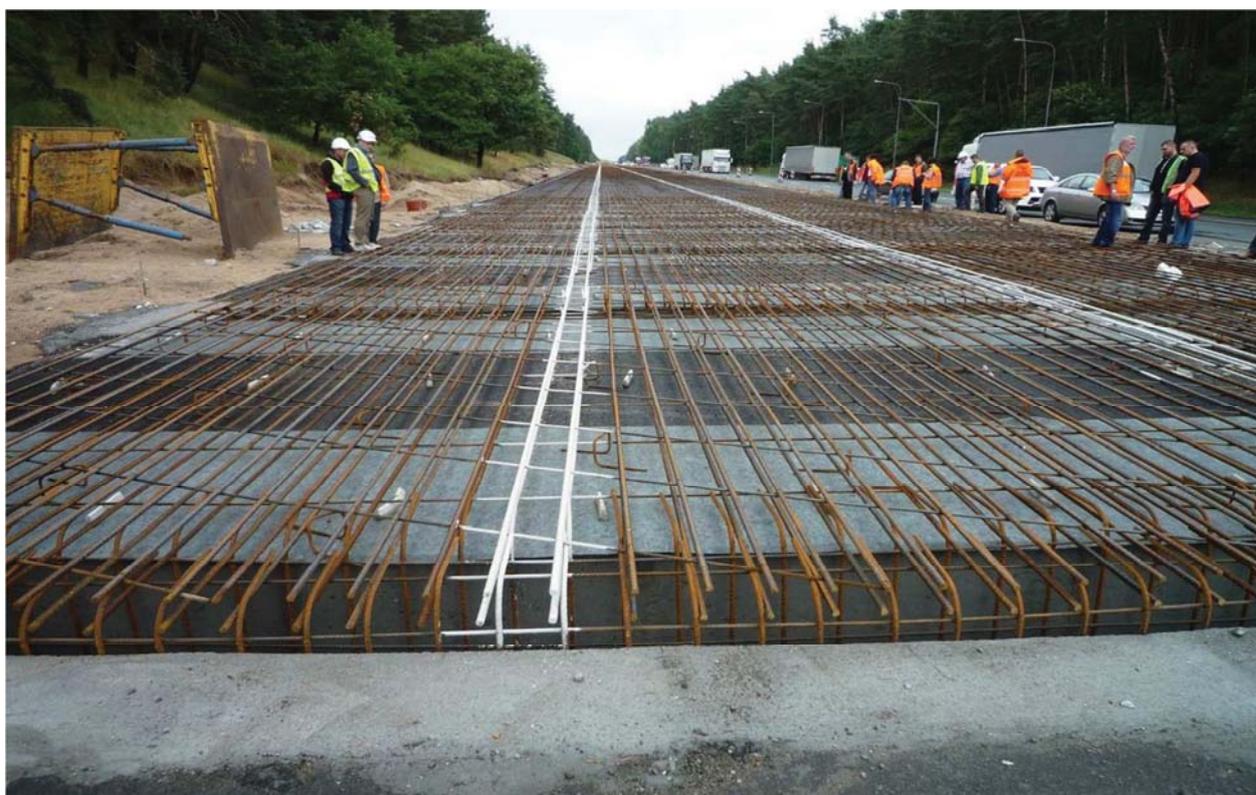


Rys. 5.22 Schemat rozmieszczenia bloków żelbetowych



Rys. 5.23 Szczegół zbrojenia bloków

Na Rys. 5.24 pokazano zbrojenie w kozłach oporowych (autostrada A2)



Rys. 5.24 Zbrojenie w kozłach oporowych (autostrada A2)

We Francji stosuje się dwa rodzaje zbrojenia: pręty zbrojeniowe dobrej przyczepności do betonu o średnicy 14-20mm, płaskowniki 40x2.55mm lub 50x2.55mm. Pręty zbrojeniowe mają

długość 16-18m i wymagają spawania, natomiast płaskowniki są długości 200-400m. Stopień zbrojenia w przypadku prętów wynosi 0.67% (dla prętów o średnicy 16mm) oraz w przypadku płaskowników 0.41%. Zbrojenie poprzeczne stosuje się tej samej średnicy co podłużne i pełni ono funkcję dystansową lub w przypadku występowania szczelin podłużnych kotew o rozstawie 1m. Wymagania angielskie [26] zlecają pręty podłużne 12-16mm i stopień zbrojenia 0.4-0.6%. Pręty poprzeczne muszą mieć średnicę 12mm o rozstawie 0.6m. Pręty poprzeczne służą utrzymywaniu prętów podłużnych i do zapobiegania pęknięciom podłużnym.

W USA [9] procent zbrojenia podłużnego 0.4-0.9% zależy od stosunku współczynników rozszerzalności stali i betonu, wytrzymałości betonu i skurczu betonu. Zbrojenie układa się w połowie grubości płyty. Pręty poprzeczne montuje się w rozstawie 0.9-1.2m w przypadku układania ich na podbudowie, natomiast w przypadku przygotowania siatek w wytwórni – rozstaw prętów wynosi 0.4m.

W katalogu francuskim ten typ nawierzchni występuje na podbudowie z chudego betonu dla obciążeń 6-94mln pojazdów ciężarowych. Rozstaw prętów stosuje się 0.6-1.0m. Stopień zbrojenia 0.67%. Podobny procent zbrojenia stosuje się w Belgii.

W katalogu włoskim [4] procent zbrojenia podłużnego wynosi 0.52-0.67% w zależności od natężenia pojazdów ciężarowych. Na Rys. 5.25 pokazano układ zbrojenia przy budowie autostrady A4.

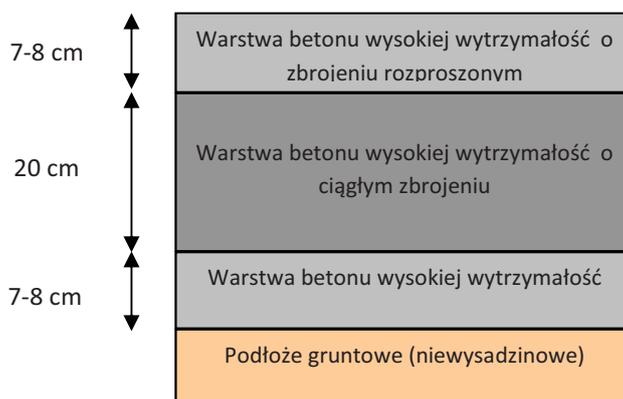


Rys. 5.25 Układ zbrojenia przy budowie autostrady A4

W przypadku nawierzchni pasów autobusowych, przystanków i zatok znane są zastosowania konstrukcji złożonej, w której nad warstwą o ciągłym zbrojeniu układana jest warstwa o zbrojeniu rozproszonym [7]. Nawierzchnia taka dedykowana jest dla szczególnie dużych obciążeń, a dzięki zastosowaniu betonów o wysokiej wytrzymałości (35 MPa pod 3 dniami i 70 MPa po 56 dniach wiązania) możliwe jest jej oddanie do użytkowania po bardzo krótkim czasie od wykonania. W

technologii tej możliwa jest wymiana (i oddanie do użytkowania) istniejących nawierzchni pasów autobusowych w ciągu 3 dni [7].

Nawierzchnię wykonuje się w postaci płyt długich o wymiarach około 3,3 m x 10 m. Górna warstwa betonu o zbrojeniu rozproszonym (gr. 7-8 cm) skutecznie zapobiega powstawaniu spękań skurczowych. Siatkę zbrojeniową układa się na styku warstwy o zbrojeniu rozproszonym, z kolejną warstwą betonu o wysokiej wytrzymałości (gr. 20 cm) oraz w połowie tej warstwy. Przykładowy układ warstw w konstrukcji nawierzchni pasów autobusowych pokazano na Rys. 5.26.



Rys. 5.26 Przykładowy układ warstw konstrukcji nawierzchni pasów autobusowych

5.2.5 NAWIERZCHNIE Z BETONU WAŁOWANEGO ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC)

Technologia wykonywania nawierzchni z betonu wałowanego jest w Polsce stosunkowo nowa. Główną jej zaletą jest krótszy czas wykonania nawierzchni niż w przypadku nawierzchni z betonu cementowego. Nawierzchnia z betonu wałowanego łączy zalety eksploatacyjne nawierzchni betonowych z zaletami technologicznymi nawierzchni asfaltowych. Należą do nich: możliwość szybkiego udostępnienia nawierzchni dla ruchu pojazdów oraz brak konieczności deskowania krawędzi nawierzchni.

W USA i Kanadzie technologia betonu wałowanego jest znana i stosowana już od 30 lat. Znalazła zastosowanie w budowie nawierzchni dróg lokalnych o małym natężeniu ruchu, placów postojowych i manewrowych oraz wybranych elementów lotnisk.

W Europie technologia betonu wałowanego stosowana jest we Francji, Niemczech i Belgii. Wykonuje się w niej głównie nawierzchnie dróg lokalnych oraz podbudowy nawierzchni autostrad i dróg ekspresowych.

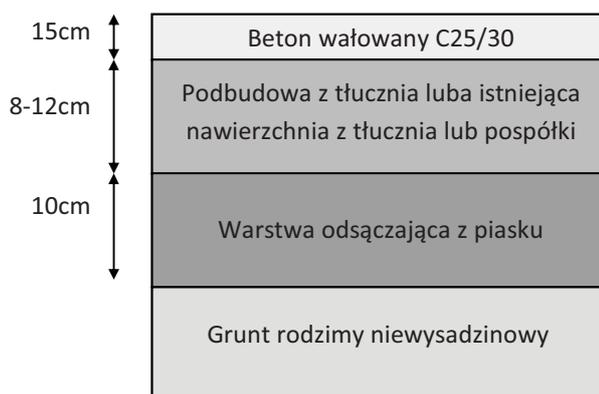
Beton wałowany charakteryzuje się małą zawartością wody zarobowej. Także zawartość cementu jest mniejsza niż w betonie zwykłym. Świeża mieszanka betonowa swoją konsystencją przypomina wilgotny grunt. Do produkcji betonu wałowanego oprócz cementu wykorzystuje się także popioły lotne oraz żużel mielony w połączeniu z katalizatorami lub aktywatorami. Minimalna zawartość cementu wynosi 240 kg/m³, wskaźnik wodno-cementowy < 0.40, nasiąkliwość betonu < 4%, min. zawartość powietrza 4%. Stosuje się klasę betonu C25/30.

Skład betonu wałowanego w porównaniu z tradycyjnym ma wyższy punkt piaskowy, występuje wysoka zawartość w kruszywie frakcji pylastych (< 0,075 mm) 2 ÷ 8%.

Najczęściej ilość spoiwa używanego do produkcji betonu wałowanego wynosi ok. 10%, ilość wody 3,5-8% masy mieszanki mineralnej przy stosowaniu dodatków. W przypadku niestosowania dodatków ilość spoiwa wzrasta do ok. 15% a ilość wody do ok. 10% masy mieszanki mineralnej. Do układania mieszanki betonowej można stosować zmodyfikowane rozkładarki do mieszanek mineralno-asfaltowych. Maszyny te również wstępnie zagęszczają mieszankę, jednak właściwe zagęszczanie wykonywane jest za pomocą walców powyżej 8-10 ton. Z uwagi na mały skurcz betonu wałowanego można jako szczeliny skurczowe traktować szczeliny technologiczne nawet co 60-70m. W Polsce nawierzchnie z betonu wałowanego najczęściej buduje się dla ruchu o małym natężeniu KR1-KR2 (głównie z uwagi na problemy z uzyskaniem odpowiednich wymagań równości dla wyższych klas dróg), na obszarach małych miast, wsi, jako drogi dojazdowe na osiedlach, place przeładunkowe oraz jako drogi leśne. Z powodzeniem może być stosowany do budowy podbudów na drogach autostradowych i ekspresowych.

Nawierzchnie z betonu wałowanego charakteryzują się dużą trwałością i nośnością w każdych warunkach pogodowych, odpornością na wymywanie i podmywanie przez wezbrane wody opadowe, krótkim czasem budowy, brakiem konieczności wykonywania deskowania i teksturowania.

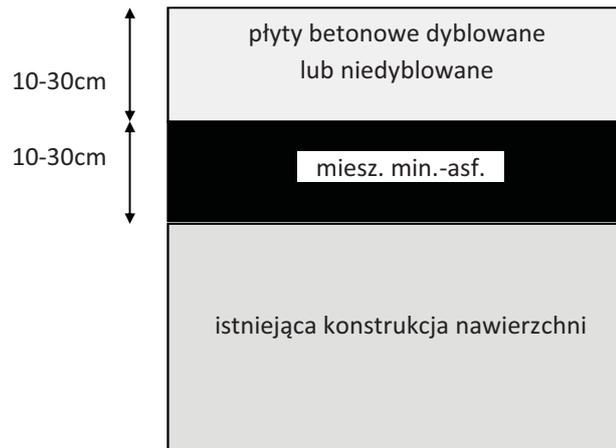
Na Rys. 5.27 przedstawiono typowy układ warstw nawierzchni z betonem wałowanym.



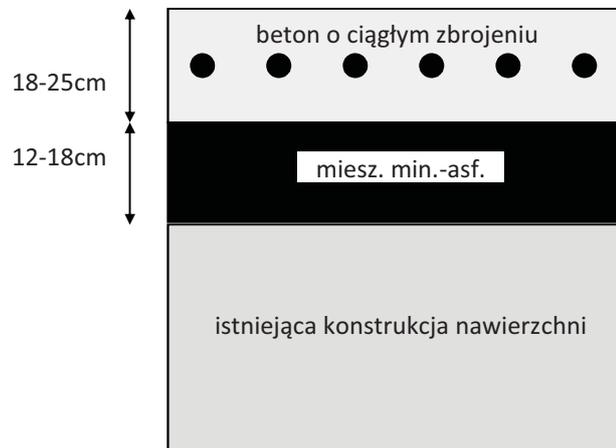
Rys. 5.27 Typowy układ warstw nawierzchni z betonem wałowanym

5.2.6 NAWIERZCHNIE ZŁOŻONE

Nawierzchnie złożone to połączenie nawierzchni z betonu cementowego z nawierzchnią wykonaną z mieszanki mineralno-asfaltowej. Wyróżnia się następujące rodzaje takich połączeń: nawierzchnie z betonu cementowego zbrojone i niezbrojone układane na już istniejących nawierzchniach asfaltowych, tzw. whitetopping (Rys. 5.28 i Rys. 5.29) oraz nawierzchnie z betonu cementowego o ciągłym zbrojeniu przykryte warstwą asfaltową (Rys. 5.30 i Rys. 5.31).



Rys. 5.28 Układ nawierzchni niezbrojonej typu whitetopping



Rys. 5.29 Układ nawierzchni zbrojonej typu whitetopping

5.2.7 NAWIERZCHNIE Z BETONU CEMENTOWEGO ZBROJONE I NIEZBROJONE UKŁADANE NA JUŻ ISTNIEJĄCYCH NAWIERZCHNIACH ASFALTOWYCH

W wolnym tłumaczeniu termin whitetopping oznacza „białe pokrycie”. Jest to technologia polegająca na pokrywaniu nawierzchni asfaltowych (ale nie tylko, również zniszczonych betonowych) warstwą z betonu cementowego. Metodę tę zastosowano po raz pierwszy w 1918 roku na terenie USA, wzmacniając znaczne powierzchnie nawierzchni autostrad, dróg startowych, ulic oraz parkingów. Zebrane od tego czasu doświadczenia wykazują, że metoda ta pozwala na wykonanie nawierzchni charakteryzującej się długim okresem eksploatacji, niskimi kosztami utrzymania, a także wysokim stopniem bezpieczeństwa dla ruchu samochodowego. Metoda ta oferuje korzyści zarówno dla użytkowników dróg, jak i administracji drogowej. Technologia ta pozwala na naprawę typowych zniszczeń nawierzchni asfaltowych, takich jak: koleiny, złuszczenia powierzchniowe, spękania temperaturowe i zmęczeniowe.

Według doświadczeń amerykańskich [9] do whitetoppingu mogą być stosowane płyty betonowe niezbrojone, zbrojone lub o ciągłym uzbrojeniu. Jeżeli używa się betonu niezbrojonego, to maksymalny wymiar płyty nie może przekroczyć 21-krotnej grubości płyty, a wymiar podłużny płyty powinien być zbliżony do poprzecznego. Minimalna grubość płyty wynosi 0,1 m. W Tab. 5.3 podano grubości płyt oraz maksymalny rozstaw szczelin. Płyty o grubości mniejszej od 0,2 m są niedyblowane, natomiast dla grubości większych stosuje się dybie.

W przypadku stosowania betonu zbrojonego (od 0,1 do 0,3% przekroju poprzecznego) rozstaw szczelin wynosi od 9 do 12 m (przy ciężkim ruchu stosuje się dybie). W przypadku stosowania betonu o ciągłym zbrojeniu nie stosuje się szczelin.

Doświadczenia amerykańskie wskazują, że pęknięcia nawierzchni asfaltowej nie przenoszą się na nakładkę betonową (nie tworzą spękań odbitych). Dlatego nie jest konieczne stosowanie specjalnych napraw, chyba że są to spękania „klawiszujące”.

Tab. 5.3 Zestawienie grubości płyt i rozstawu szczelin dla whitetoppingu [9]

Grubość płyty [m]	Maksymalny rozstaw szczelin [m]
0.1	2.1
0.15	3.2
0.2	4.3
0.25	5.3
0.3	6.4
0.35	7.6

Podstawowymi uszkodzeniami nawierzchni asfaltowych wymagającymi napraw przed whitetoppingiem są: koleiny o głębokości powyżej 50 mm, wyboje i zapadnięcia, słabe podłoże, spękania poprzeczne „klawiszujące”.

Po wykonaniu prac naprawczych przygotowuje się podłoże w następujący sposób: oczyszczenie mechaniczne powierzchni i ułożenie nakładki, frezowanie nierówności, a następnie wykonanie warstwy wyrównawczej. Doświadczenia francuskie [6] pokazują, że whitetopping można stosować przy koleinach mniejszych od 30 mm. Natomiast wg doświadczeń belgijskich [17] przy koleinach mniejszych od 40 mm.

Dodatkowo, w zależności od warunków pogodowych, zaleca się wykonanie specjalnych czynności obniżających temperaturę nawierzchni asfaltowej: rozpylanie wody, nakładanie białej powłoki.

Nakładka betonowa, układana bezpośrednio na starej nawierzchni, zalecana jest w przypadkach, gdy głębokość kolein nie przekracza 50 mm.

Aby określić objętość betonu potrzebną do wykonania whitetoppingu, należy posłużyć się następującą procedurą: wykonać pomiary profilów przekrojów poprzecznych powierzchni na całym odcinku w odległościach od 8 do 30 m, następnie obliczyć średnie wartości profilu poprzecznego powierzchni nawierzchni asfaltowej, obliczyć pole powierzchni przekroju nakładki whitetoppingu, uwzględniając przyjętą grubość płyty i profil poprzeczny nawierzchni i na koniec obliczyć objętość mieszanki betonowej.

Wyrównywanie większych nierówności powierzchni (np. kolein większych od 50 mm) może odbywać się poprzez frezowanie. W tej metodzie nie są konieczne obmiary profilu poprzecznego. Oszczędza się czas ekipy pomiarowej, ale zwiększa koszty frezowania i wywozu destruktu asfaltowego.

Inną metodą wyrównywania powierzchni przed ułożeniem nakładki betonowej jest ułożenie mieszanki mineralno-asfaltowej jako warstwy wyrównawczej. Układanie warstw wyrównawczych znacznie podraża koszty oraz powoduje zajęcie pasa ruchu. Po ułożeniu warstwy wyrównawczej zwiększa się całkowita grubość nawierzchni.

Nakładki whitetoppingu wykonywane są podczas sezonu robót drogowych. Podczas długotrwałego okresu dni słonecznych nawierzchnia asfaltowa nagrzewa się, a temperatura powierzchni może osiągnąć kilkadziesiąt stopni Celsjusza. Wysoka temperatura nawierzchni wraz z temperaturą powstałą podczas hydratacji cementu mogą spowodować powstanie dużych naprężeń w betonie podczas nocnego ochładzania nakładki. Efektem tego zjawiska mogą być pęknięcia. Aby obniżyć temperaturę, w USA np. stosuje się dwie metody: rozpylanie wody (water jogging) oraz nakładanie białej powłoki (whitewashing).

W przypadku rozpylania wody efekt schładzania określa się na podstawie pomiaru temperatury nawierzchni, która powinna być zbliżona do temperatury układania.

Od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku do wzmacniania nawierzchni asfaltowych stosuje się ultracienkie nakładki betonowe (ultra-thin-whitetopping). Jest to technologia polegająca na naprawie nawierzchni asfaltowych betonem cementowym zawierającym zbrojenie rozproszone w postaci włókien syntetycznych lub stalowych. Rolą tych włókien jest ograniczenie segregacji świeżej mieszanki betonowej, wydzielania mleczka cementowego oraz zminimalizowanie mikrospekai. Warstwy z betonu mają grubość 50 - 100 mm. Nakładki te stosuje się w następujących przypadkach: na drogach o małym i średnim obciążeniu ruchem, na parkingach, placach postojowych, na pasach ruchu bardzo obciążonych i tam gdzie występują częste zatrzymania, nawierzchniach lotniskowych o małym obciążeniu ruchem.

Technologia ta jest stosowana do modernizacji nawierzchni asfaltowych podatnych na koleinowanie, ale charakteryzujących się dobrą nośnością.

Przygotowanie nawierzchni asfaltowej polega na jej frezowaniu w celu likwidacji kolein. Minimalna grubość warstw mieszanek mineralno-asfaltowych nie może być mniejsza od 75 mm, wskazane jest 120 mm. Nawierzchnia frezowana powinna być starannie oczyszczona, aby uzyskać dobrą przyczepność pomiędzy betonem a nawierzchnią asfaltową. Przyczepność ta powinna być jak największa, w celu zminimalizowania naprężeń rozciągających w betonie. Zaleca się, ażeby wytrzymałość na ścinanie mieściła się w przedziale 2-3 MPa a na odrywanie 0,6-0,9 MPa.

W nakładce betonowej wykonuje się szczeliny, aby ograniczyć naprężenia termiczne (unoszenie naroży) oraz pochodzące od obciążeń.

Ze względu na niewielką grubość nakładki betonowej oraz projektowany szybki przyrost odkształceń betonu należy w odpowiednim czasie naciąć szczeliny. Szczeliny nacina się na 1/3 grubości płyty. Szerokość szczeliny maksymalnie powinna wynosić 3 mm (zalecane 1-2 mm). Zaleca się, ażeby maksymalny rozstaw szczelin nie przekroczył 12 - 15 grubości nakładki betonowej. Proponowany rozstaw szczelin przedstawia się następująco:

- dla nakładek o grubości 50 mm - szczeliny w rozstawie 0,6 - 0,9 m,
- dla nakładek o grubości 70 mm - szczeliny w rozstawie 0,9 - 1,2 m,
- dla nakładek o grubości > 70 mm - szczeliny w rozstawie 1,2 - 1,8 m.

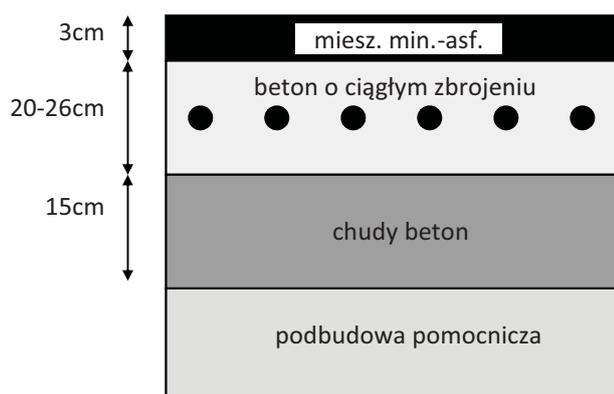
Przy ultracienkich nakładkach nie stosuje się dybli ani kotew. Przenoszenie obciążeń odbywa się poprzez zazębienie ziaren. Szczeliny wypełnia się masą zalewową. Zakłada się, że nakładka powinna mieć dużą wytrzymałość i projektuje się ją z betonu o wytrzymałości na ściskanie równą ok. 50 MPa. Po 24 godzinach wytrzymałość powinna wynosić od 20 do 30 MPa. Bardzo ważnym elementem jest odporność płyty na cykliczne zamrażanie i odmrażanie oraz środki zimowego

utrzymania. W związku z tym mieszanka betonowa powinna posiadać wskaźnik $w/c < 0,4$ oraz od 5,5 do 7,5 % zawartości powietrza. Utworzona w ten sposób cienka nakładka betonowa odznacza się długim okresem eksploatacji, niskimi nakładami finansowymi oraz dużym komfortem użytkowania.

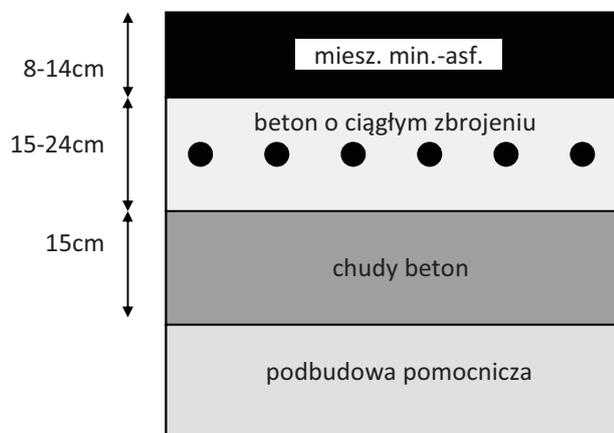
5.2.8 NAWIERZCHNIE Z BETONU CEMENTOWEGO O CIĄGŁYM ZBROJENIU PRZYKRYTE WARSTWĄ ASFALTOWĄ

Ten typ nawierzchni stosowany jest najczęściej w Anglii [8]. Wyróżnia się dwa rodzaje nawierzchni:

- beton cementowy o ciągłym zbrojeniu (stopień zbrojenia wynosi 0,6%, min. średnica pręta - 16 mm), na którym ułożona jest cienka warstwa z mieszanki mineralno-asfaltowej o grubości 3 cm; minimalna grubość warstwy betonowej wynosi 20cm (przenosi 100 000 000 osi 80 kN), a maksymalna 26cm (przenosi 400 000 000 osi 80kN), (Rys. 5.30)
- podbudowa betonowa o ciągłym zbrojeniu (stopień zbrojenia wynosi 0,4%, min. średnica prętów - 12 mm), na której ułożona jest mieszanka mineralno-asfaltowa (warstwa wiążąca) o grubości od 5 do 9cm i mieszanka mineralno-asfaltowa (warstwa ścieralna) o grubości od 3 do 5cm; minimalna grubość podbudowy o wytrzymałości jak nawierzchnia betonowa wynosi 15cm (przenosi 50 000 000 osi 80 kN), a maksymalna 24cm (przenosi 140 000 000 osi 80 kN), grubość warstw z mieszank mineralno-asfaltowych min. 8cm, (Rys. 5.31).



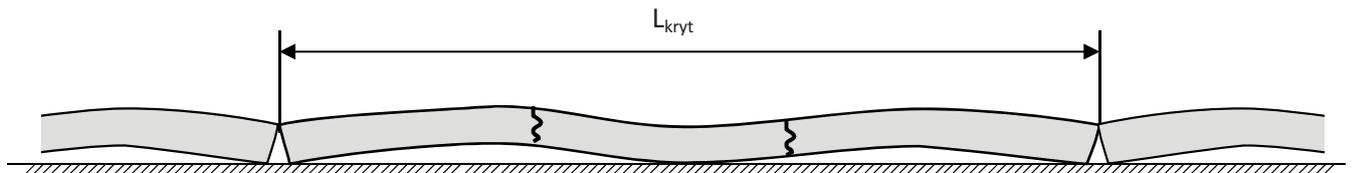
Rys. 5.30 Układ nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z cienką warstwą ścieralną z mieszanki min.-asf.



Rys. 5.31 Układ nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z warstwą ścieralną i wiążącą z mieszanki min.-asf.

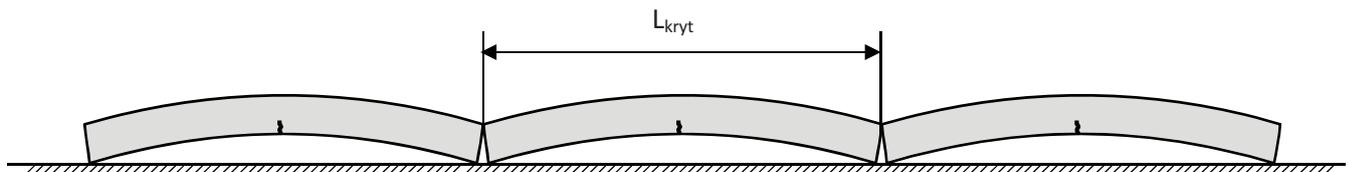
5.3 SZCZELINY W NAWIERZCHNIACH BETONOWYCH

W nawierzchniach betonowych na etapie konstruowania ważne jest ustalenie wymiarów płyt w planie. O tym decyduje w głównym stopniu temperatura. Na Rys. 5.32 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.



Rys. 5.32 Schemat odkształcenia płyt długich

Na Rys. 5.33 przedstawiono schemat odkształcenia płyt krótkich, których ciężar nie powoduje powstawania znacznych naprężeń termicznych.



Rys. 5.33 Schemat odkształcenia płyt krótkich

Długość krytyczną określa się z zależności:

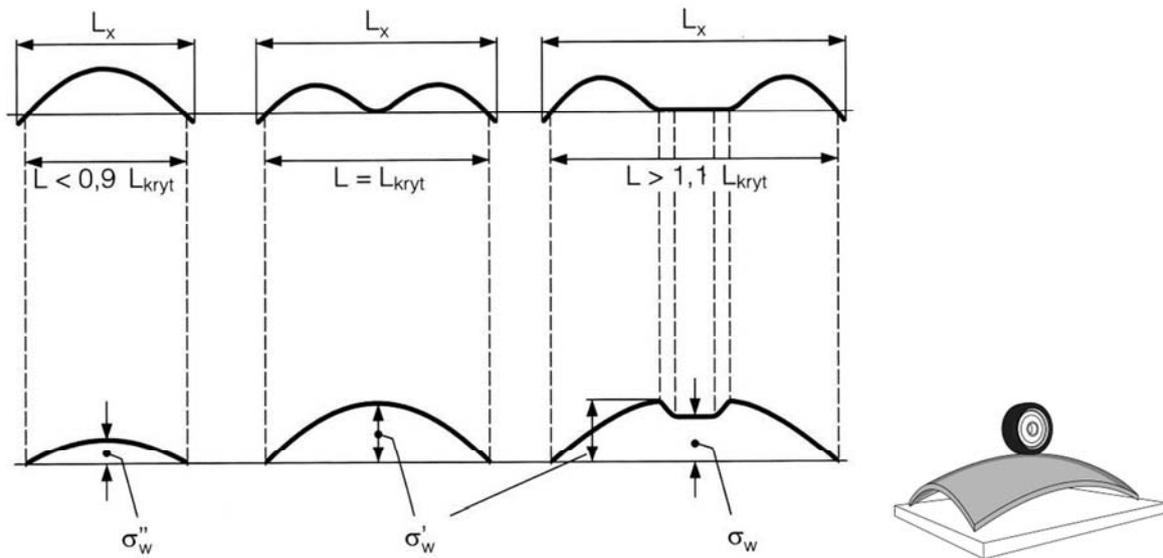
$$L_{kryt} = (22 \div 24)h$$

gdzie:

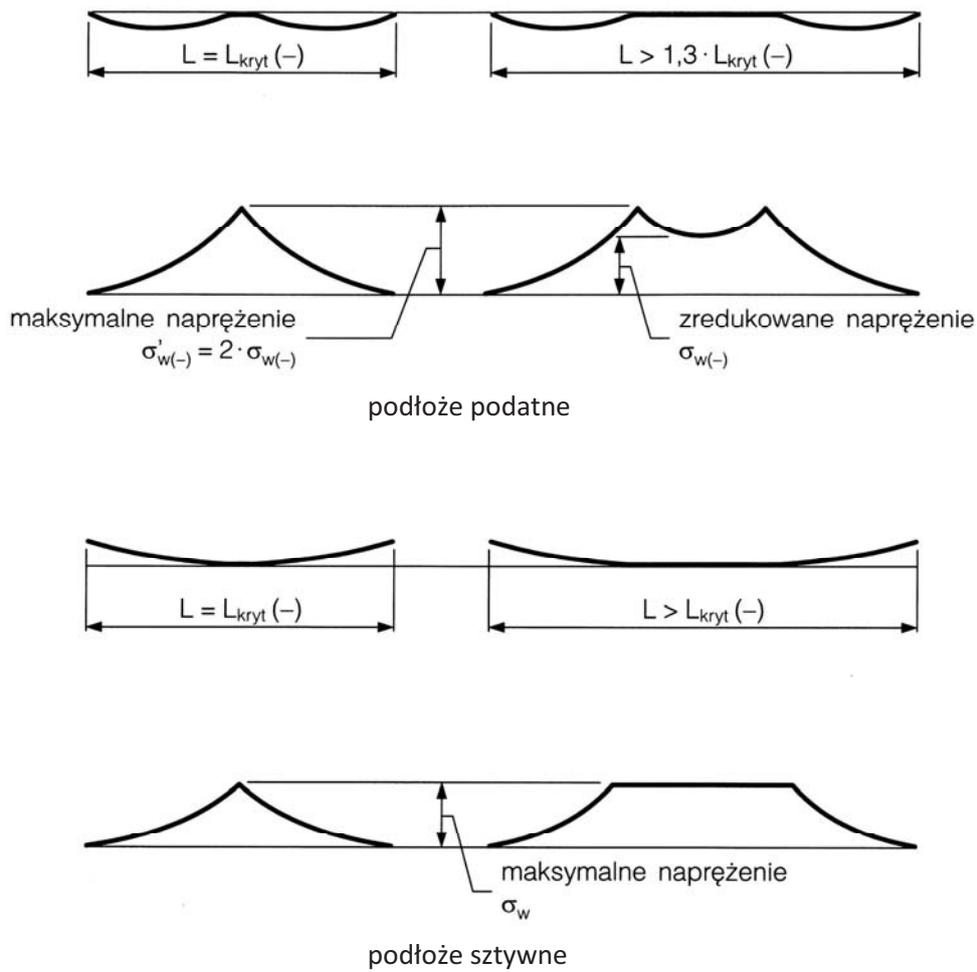
L_{kryt} – długość krytyczna płyty [m],

h – grubość płyty [m].

W praktyce maksymalne wymiary płyt w planie nie powinny być większe od długości krytycznej. Płyta osiągająca długość krytyczną posiada największe naprężenia termiczne i pod wpływem ciężaru własnego opiera się w środku rozpiętości na podłożu. W zależności od gradientu temperatury pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty następują różne odkształcenia płyty. Na Rys. 5.34 i Rys. 5.35 pokazano odkształcalność dla gradientu dodatniego i ujemnego.



Rys. 5.34 Schemat odkształcenia płyty dla dodatniej różnicy temperatur



Rys. 5.35 Schemat odkształcenia płyty dla ujemnej różnicy temperatur

Ze względu na to, 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.

5.3.1 SZCZELINY PODŁUŻNE

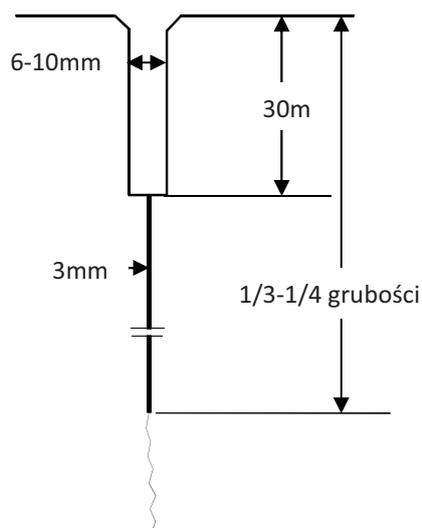
Szczeliny podłużne stosuje się w przypadku jezdni o szerokościach większych od 4.5 m. W przypadku jezdni o szerokościach 16m należy stosować co najmniej dwie szczeliny podłużne [20].

Wymagania niemieckie [28] proponują, aby wymiar płyty nie przekraczał 25 krotności grubości płyty, przy czym największy wymiar krawędzi płyty w planie nie może przekraczać 7.5m. Najczęściej stosuje się zasadę, aby rozstaw szczelin podłużnych pokrywał się z szerokościami pasów ruchu.

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. 5.36). W Tab. 5.4 zestawiono czas nacinania szczelin w zależności od temperatury powietrza.

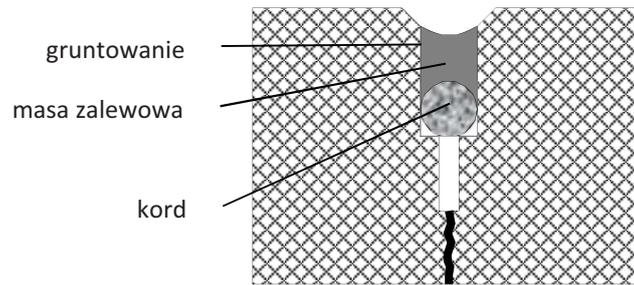
Tab. 5.4 Czas nacinania szczelin w zależności od temperatury powietrza

średnia temperatura powietrza w °C	5	5 ÷ 15	15 ÷ 25	25 ÷ 30
liczba godzin od ułożenia mieszanki do osiągnięcia przez beton wytrzymałości 10 MPa	20 ÷ 30	15 ÷ 20	10 ÷ 15	6 ÷ 10

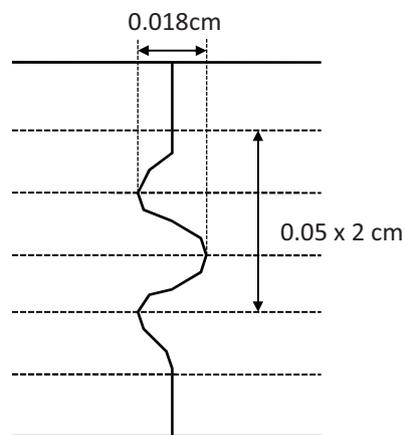


Rys. 5.36 Wymiary szczeliny

Na Rys. 5.37 pokazano przykładową szczelinę podłużną pozorną. Natomiast na Rys. 5.38 szczelinę podłużną profilowaną – jest ona stosowana jako szczelina konstrukcyjna, w połączeniach roboczych, sąsiednich pasów.



Rys. 5.37 Szczelina podłużna pozorna



Rys. 5.38 Szczelina podłużna profilowana

Szczeliny podłużne oczyszcza się, ścianki szczeliny konserwuje środkiem gruntującym i zalewa masą zalawową na zimno lub na gorąco. Menisk masy zalawowej powinien wynosić 1-5mm. Masa zalawowa 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) – ponad 4 mm,
- zdolność do całkowitego wypełniania szczelin.

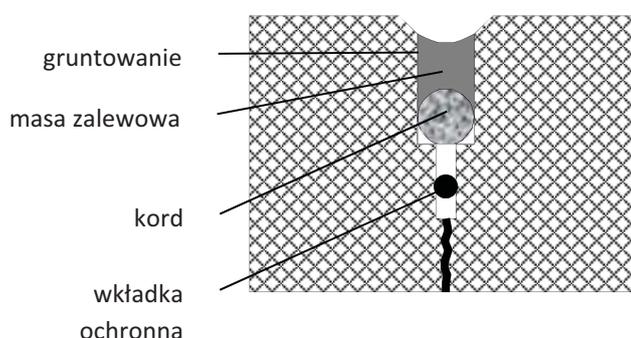
Jeżeli nawierzchnię wykonuje się dwoma pasami, to szczelinę podłużną wykonuje się jak szczelinę poprzeczną konstrukcyjną.

5.3.2 SZCZELINY POPRZECZNE

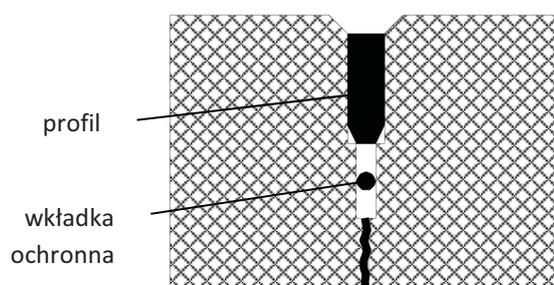
Szczeliny poprzeczne dzielimy na:

- 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 to umożliwia 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 stosowanych grubościach. 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. 5.39.



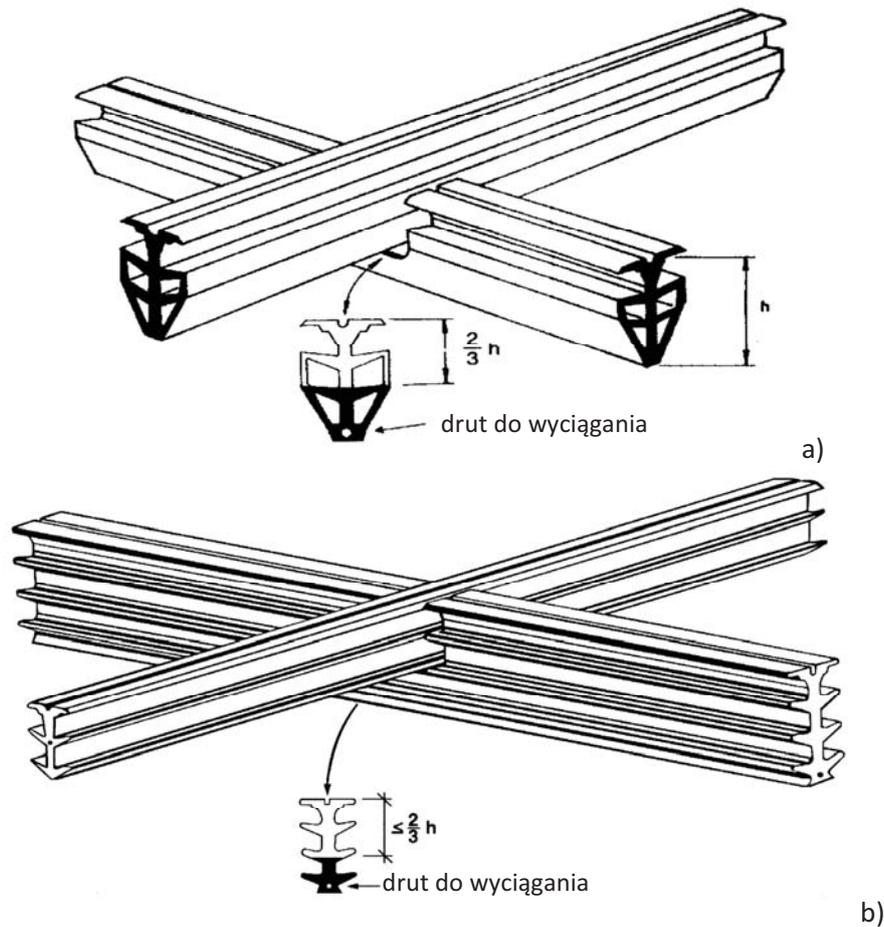
Rys. 5.39 Szczelina poprzeczna pozorna z masą zalewową



Rys. 5.40 Szczelina poprzeczna pozorna z wypełnionym profilem

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. 5.40. Występują dwa rodzaje profili:

zamknięte i otwarte. Na Rys. 5.41 pokazano przykład ułożenia profili przy krzyżowaniu się szczelin poprzecznych (np. place postojowe, parkingi).

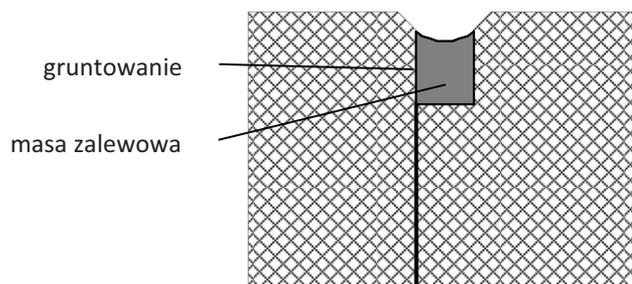


Rys. 5.41 Rodzaje profili: a) zamknięty, b) otwarty

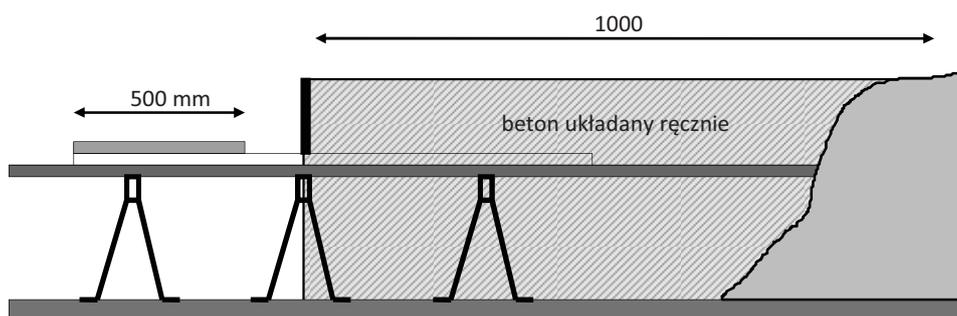
Profile wciska się w szczelinę poprzeczną po wykonaniu szczelin podłużnych. Do szczelin podłużnych nie używa się profili ze względu na niebezpieczeństwa wysiania przez samochody. Szerokość cięcia szczeliny powinna być dostosowana do wymiarów profilu.

5.3.3 SZCZELINY KONSTRUKCYJNE

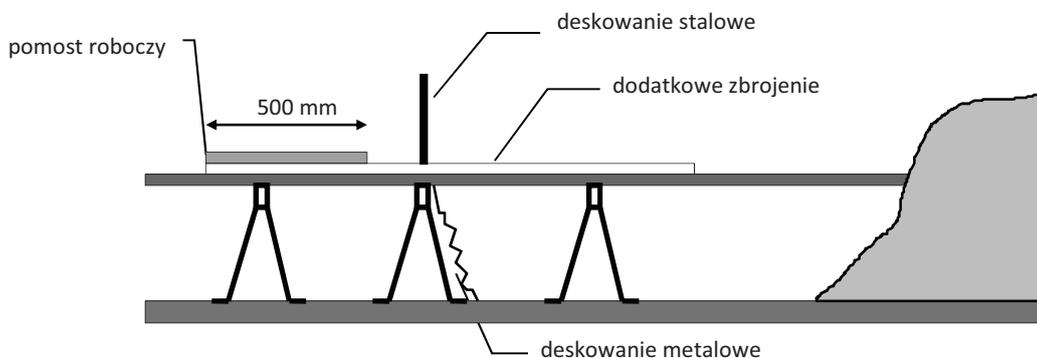
Szczeliny konstrukcyjne wykonuje się w przypadku stosowania dłuższych przerw w betonowaniu na zakończenie dziennej działki roboczej. Szczeliny te spełniają funkcję szczelin skurczowych. Szerokości szczelin są podobne jak przy szczelinach poprzecznych. Przykład szczeliny konstrukcyjnej pokazano na Rys. 5.42, Rys. 5.43, Rys. 5.44.



Rys. 5.42 Szczelina konstrukcyjna



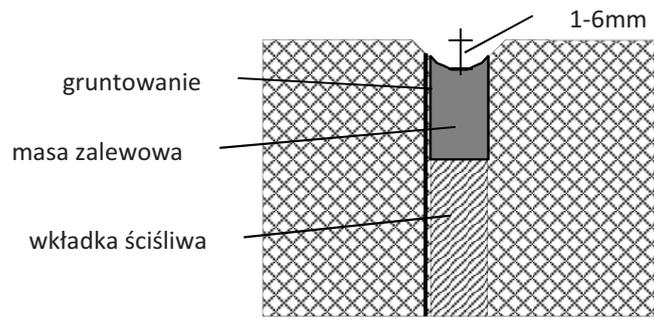
Rys. 5.43 Szczelina konstrukcyjna dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – zakres układania ręcznego



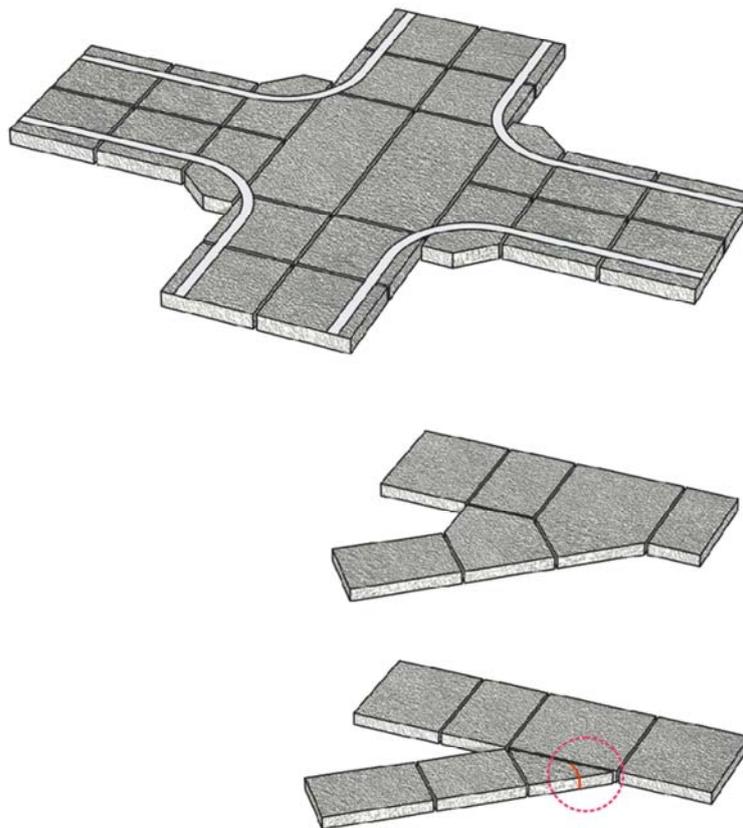
Rys. 5.44 Szczelina konstrukcyjna dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – granica układania w sposób zmechanizowany

5.3.4 SZCZELINY ROZSZERZANIA

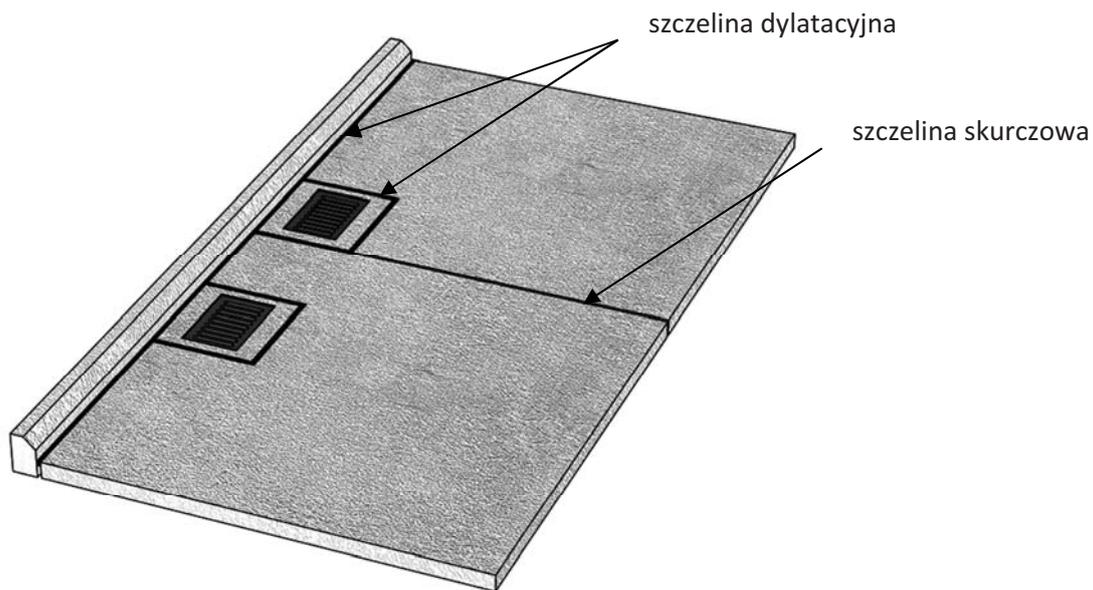
Szczeliny rozszerzania stosowane są w przypadkach, gdy chodzi o zabezpieczenie warunków rozszerzania betonu w wysokich temperaturach. Obecnie prawie nie wykonuje się ich. Występują jedynie przy obiektach mostowych, elementach odwodnienia (studnie, ruszty) itp. Rolę szczelin rozszerzania pełnią szczeliny skurczowe, które są rozmieszczone w małych odstępach i kompensują rozszerzanie. Na Rys. 5.45 pokazano przykładową szczelinę rozszerzania. Na Rys. 5.46 przedstawiono przykład podziału szczelin na skrzyżowaniu, a na Rys. 5.47 w obrębie studzienek.



Rys. 5.45 Przykład szczeliny rozszerzania

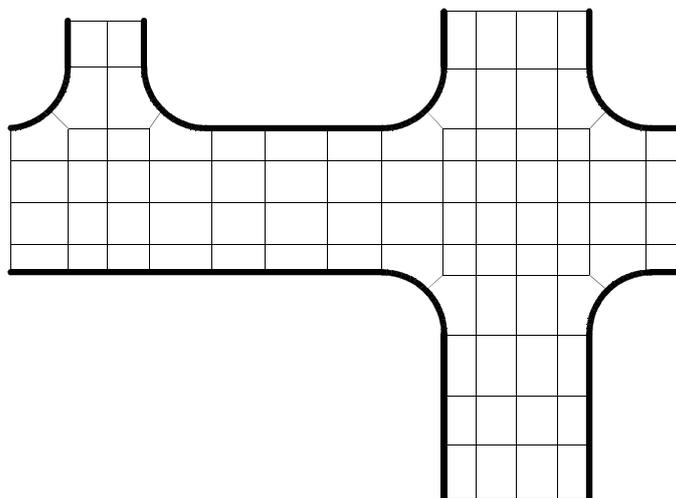


Rys. 5.46 Rozmieszczenie szczelin w obrębie skrzyżowania

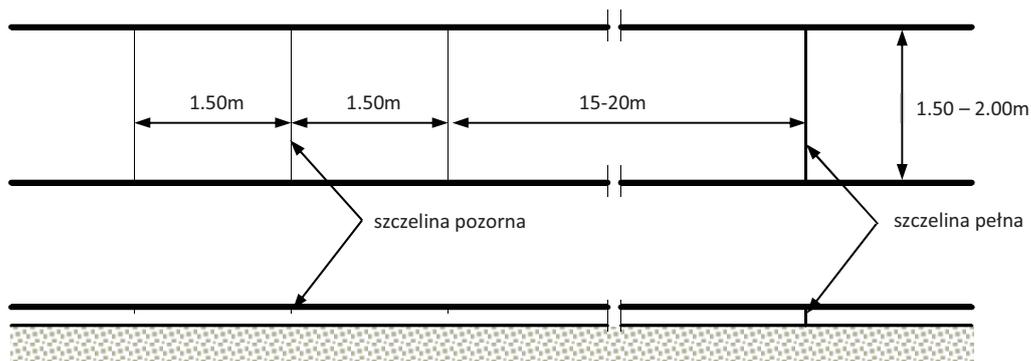


Rys. 5.47 Rozmieszczenie szelin przy studzienkach

Podział nawierzchni betonowej za pomocą szelin należy wykonywać tak, aby kształt wydzielonych płyt był zbliżony do wielokątu foremnego. Niedopuszczalne jest uzyskanie płyt w kształcie trójkątów. W miejscach kątów ostrych może dochodzić do pęknięcia płyt. Na Rys. 5.48 pokazano podział nawierzchni betonowej na obszarze skrzyżowań. Na długich ciągach i chodnikach pieszych również należy zachować odpowiednie proporcje podziałów zbliżonych do kwadratów. Dodatkowo zaleca się co 15-20m stosować szeliny dylatacyjne pełne (Rys. 5.49).



Rys. 5.48 Rozmieszczenie szelin na obszarze skrzyżowań



Rys. 5.49 Rozmieszczenie szczelin na chodniku/ciągu pieszym

5.3.5 SZCZELINY SKURCZOWE PEŁNE

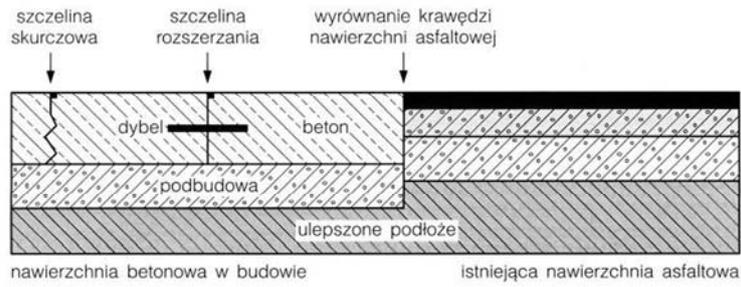
Z uwagi na znaczne wpływy termiczne warto wyróżnić szczeliny skurczowe pełne (Rys. 5.50). Dzielą powierzchnię na całej jej grubości i umożliwiającą kurczenie się płyt. Pozwalają poszczególnym płytom na większą niż pozorne zmianę ich wymiarów liniowych, głównie na skutek skurczu powstałego w wyniku hydratacji betonu, a docelowo umożliwiają także wydłużanie się płyt (w zakresie ograniczonym wymiarami geometrycznymi szczeliny) pod wpływem wahań temperatury zewnętrznej.



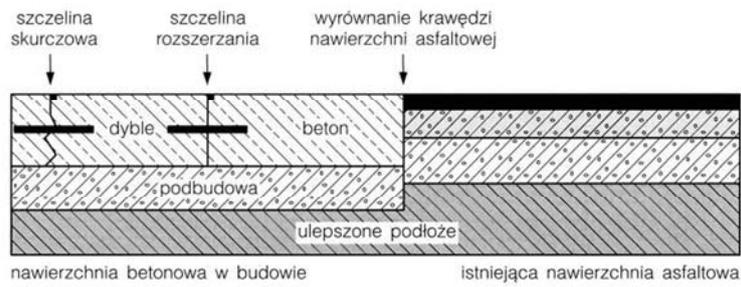
Rys. 5.50 Szczeliny skurczowe pełne

5.4 POŁĄCZENIE NAWIERZCHNI BETONOWYCH Z ISTNIEJĄCYMI

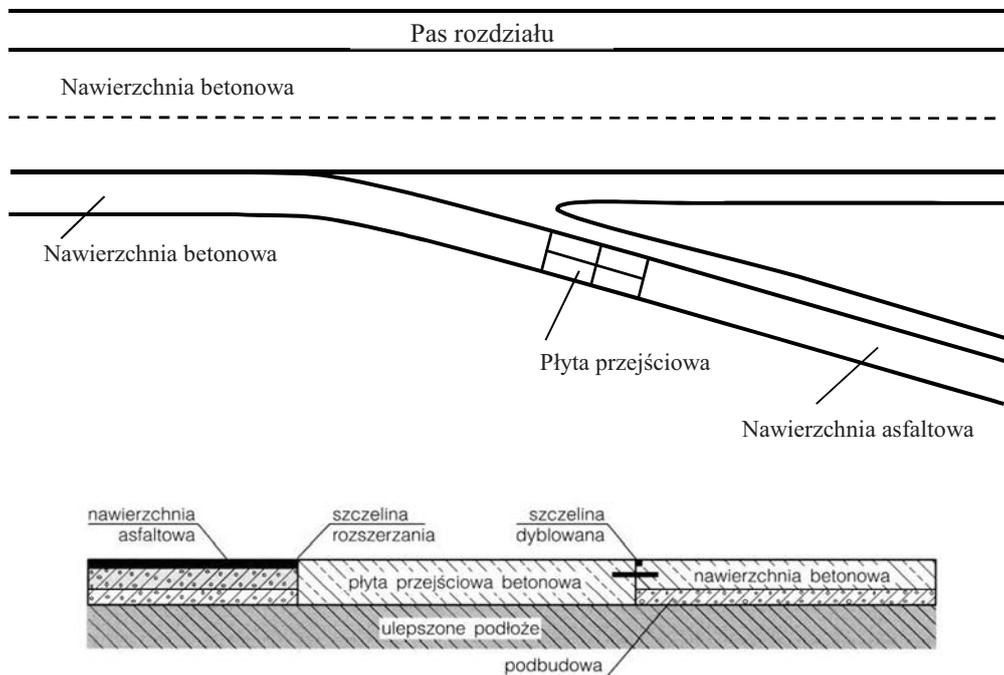
W celu zapewnienia odpowiednich warunków współpracy i połączenia różnych nawierzchni stosuje się różne rozwiązania. Na Rys. 5.51 - Rys. 5.56 pokazano przykładowe sposoby połączenia nawierzchni betonowej z istniejącymi nawierzchniami asfaltowymi.



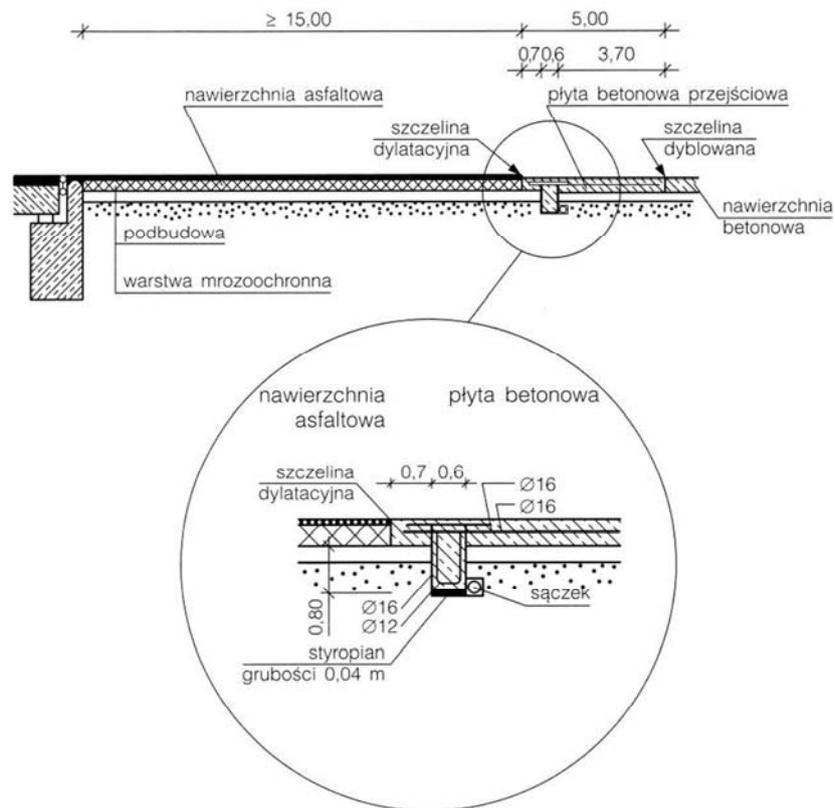
Rys. 5.51 Połączenie nawierzchni betonowej niedyblowanej z nawierzchnią asfaltową



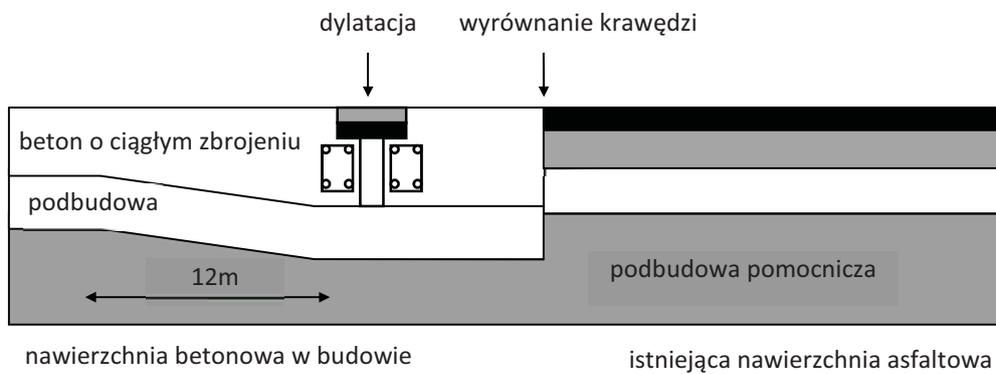
Rys. 5.52 Połączenie nawierzchni betonowej dyblowanej z nawierzchnią asfaltową



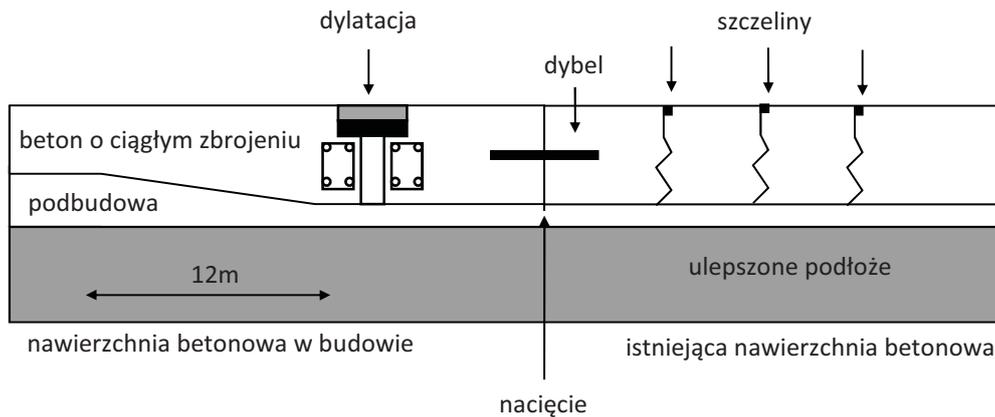
Rys. 5.53 Połączenie nawierzchni betonowej dyblowanej z nawierzchnią asfaltową z zastosowaniem płyty przejściowej



Rys. 5.54 Połączenie nawierzchni betonowej z nawierzchnią asfaltową na obiekcie mostowym

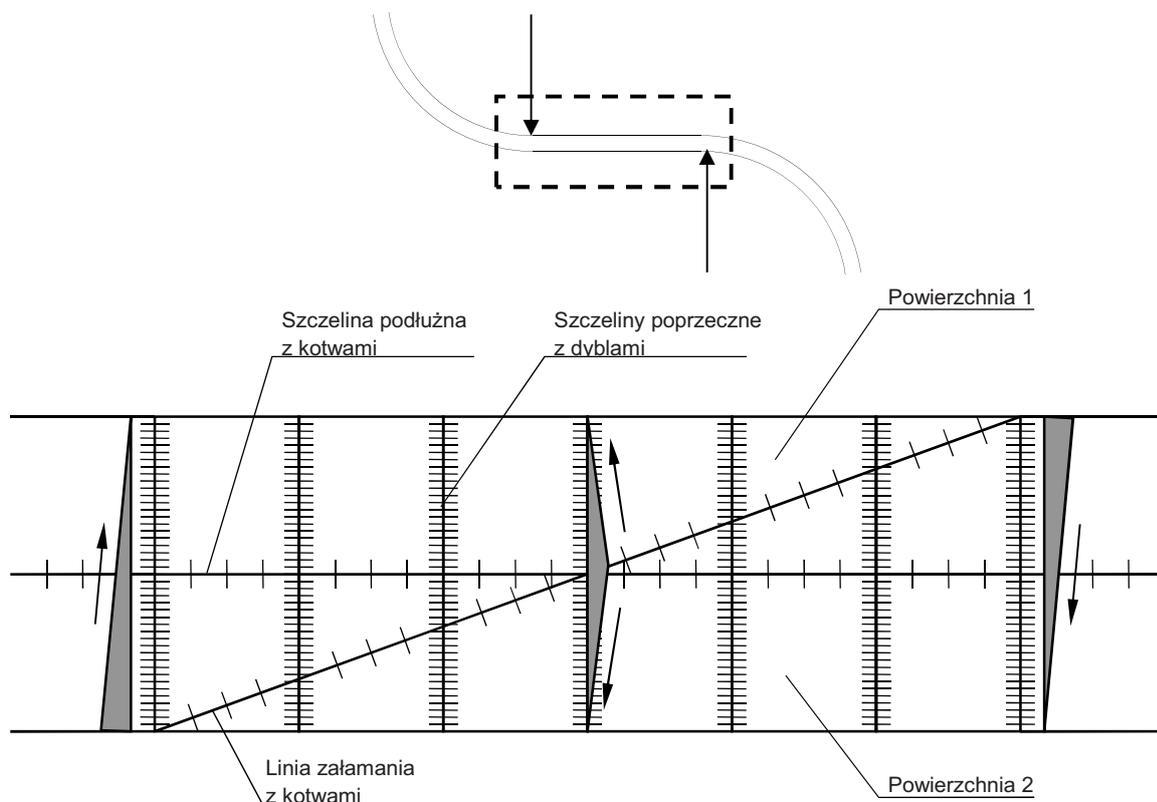


Rys. 5.55 . Połączenie nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu z nawierzchnią asfaltową



Rys. 5.56 Połączenie nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu z nawierzchnią betonową

W przypadkach wykonywania zmiany przekroju poprzecznego nawierzchni drogowej, a w szczególności na krzywych „esowych” dróg dwujezdniowych stosuje ukształtowanie typu „kopertowego” zapewniające prawidłowe odwodnienie nawierzchni drogowej. Na Rys. 5.57 przedstawiono sposób ukształtowania nawierzchni betonowej – dyblowanej i kotwionej w obszarze łuków kołowych poziomych o zmiennych kątach zwrotu.



Rys. 5.57 Sposób ukształtowania nawierzchni betonowej – dyblowanej i kotwionej w obszarze łuków kołowych poziomych o zmiennych kątach zwrotu

5.5 WYMAGANIA MATERIAŁOWE

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

W zależności od kategorii ruchu wg katalogu [19] określa się wymagania wytrzymałościowe dla betonów na nawierzchnie drogowe (Tab. 5.5).

Tab. 5.5 Wymagania wytrzymałości dla betonu

Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206-1, nie niższa niż: - dla kategorii ruchu KR1÷KR2 - dla kategorii ruchu KR3÷KR6	C30/37 C35/45
Klasa wytrzymałości betonu na zginanie wg PN-EN 13877-1, nie niższa niż: - dla kategorii ruchu KR1÷KR2 - dla kategorii ruchu KR3÷KR6	F4,5 F5,5
Klasa wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu wg PN-EN 13877-1, nie niższa niż: - dla kategorii ruchu KR1÷KR2 - dla kategorii ruchu KR3÷KR6	S3,3 S4,0

5.5.1 CEMENTY

Cement jest podstawowym i zasadniczym składnikiem betonu. Cement powinien zostać dobrany zgodnie z PN-EN 206-1. Do wyższych kategorii ruchu tj. KR4, KR5 i KR6 powinny być stosowane cementy portlandzkie CEM I 32,5 N, CEM I 32,5 R i CEM I 42,5 N, CEM I 42,5 R. W Tab. 5.6 podano rodzaj cementu w zależności od typu nawierzchni.

Tab. 5.6 Cementy do drogowych nawierzchni betonowych

Rodzaje nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania specjalne
typowa nawierzchnia betonowa	cement portlandzki CEM I	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> wodozwardność wg PN-EN 196-3 $\leq 28,0\%$ wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 $\leq 29,0$ MPa powierzchnia własciwa wg PN-EN 196-6 ≤ 3500 cm²/g poczatek wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
	cement portlandzki żużłowy CEM II/A-S	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
	cement portlandzki żużłowy CEM II/B-S		<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,90$
	cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
	cement wapienny CEM II/A-LL	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
	cement hutniczy CEM III/A	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 1,05$
nawierzchnia betonowa do wczesnego obciążenia ruchem	cement portlandzki CEM I 42,5 N CEM I 42,5 R	PN-EN 197-1	<ul style="list-style-type: none"> wodozwardność wg PN-EN 196-3 $\leq 28,0\%$ wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 $\leq 29,0$ MPa powierzchnia własciwa wg PN-EN 196-6 ≤ 3500 cm²/g poczatek wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
nawierzchnia betonowa w warunkach agresji siarczanowej	cement o wysokiej odporności na siarczany CEM I HSR	PN-B-19707	<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$
	cement o wysokiej odporności na siarczany CEM III/A HSR		<ul style="list-style-type: none"> całkowita zawartość alkaliów wg PN-EN 196-2 $\leq 1,05$

5.5.2 KRUSZYWO

Do produkcji betonu najlepiej nadają się kruszywa pochodzące z następujących skał: granit, bazalt, czyste wapienie, dolomity oraz skały metamorficzne typu gnejs, łupek krystaliczny. Stosuje się kruszywa łamane i żwirowe płukane. Maksymalny wymiar ziaren wynosi 31,5 mm. Kruszywo powinno odpowiadać zerowemu stopniowi potencjalnej reaktywności alkalicznej.

Kruszywo powinno spełniać wymagania PN-EN 12620. Wymagania dla kruszyw do nawierzchni betonowych przedstawiono w Tab. 5.7 i Tab. 5.8.

Tab. 5.7 Właściwości i wymagane kategorie kruszywa drobnego do nawierzchni z betonu cementowego

Lp.	Właściwości kruszywa	Przeznaczenie betonu			
		Beton dolny	Beton górny KR1÷KR3	Beton górny KR4÷KR6	Beton płukany
1	Skład chemiczny – uproszczony opis petrograficzny wg PN-EN 932-3	<i>Deklarowany przez producenta</i>			
2	Gęstość ziaren wg PN-EN 1097-6	<i>Deklarowana przez producenta</i>			
3	Gęstość nasypowa wg PN-EN 1097-3	<i>Deklarowana przez producenta</i>			
4	Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż:	G_{F85}			
5	Tolerancja uziarnienia:	<i>wg PN-EN 12620 Zał.C</i>			
6	Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż:	f_3			
7	Nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6	$W_{cm} 0,5$			
8	Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa wg PN-B-06714-34, stopień reaktywności:	0			
9	Grube zanieczyszczenia lekkie wg PN-EN 1744-1 p.14.2, kategoria nie wyższa niż:	$m_{LPC} 0,1$			
10	Zanieczyszczenia organiczne wg 1744-1 p.15	<i>Nie dopuszcza się</i>			

Tab. 5.8 Właściwości i wymagane kategorie kruszywa grubego do nawierzchni z betonu cementowego

Lp.	Właściwości kruszywa	Przeznaczenie betonu			
		Beton dolny	Beton górny KR1÷KR3	Beton górny KR4÷KR6	Beton płukany
1	Skład chemiczny – uproszczony opis petrograficzny wg PN-EN 932-3	<i>Deklarowany przez producenta</i>			
2	Gęstość ziaren wg PN-EN 1097-6	<i>Deklarowana przez producenta</i>			
3	Gęstość nasypowa wg PN-EN 1097-3	<i>Deklarowana przez producenta</i>			
4	Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż:	$G_{c,90/15}$			
5	Tolerancja uziarnienia; odchylenia nie większe niż wg kategorii:	$G_{T,15}; G_{T,17,5}$			
6	Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż:	$f_{1,5}$			
7	Kształt kruszywa grubego wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4; kategoria nie wyższa niż:	Sl_{20}, Fl_{20}		Sl_{15}, Fl_{15}	
8	Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej według PN-EN 933-5, kategoria nie niższa niż:	$C_{90/3}$	$C_{90/1}$	$C_{90/1}, C_{100/0}$	
9	Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż:	LA_{35}	LA_{25}	LA_{20}	
10	Odporność na polerowanie wg PN-EN 1097-8	PSV_{45}		PSV_{50}	
11	Nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6, załącznik B; kategoria	$W_{cm} 0,5$			
12	Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż:	F_4	F_2		
13	„Zgorzel słoneczna” bazaltu wg PN-EN 1367-3; kategoria:	$SB_{sz} (SB_{LA})$			
14	Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa wg PN-B-06714-34, stopień reaktywności:	0			
15	Grube zanieczyszczenia lekkie wg PN-EN 1744-1 p.14.2, kategoria nie wyższa niż:	$m_{LPC} 0,1$			
16	Zanieczyszczenia organiczne wg 1744-1 p.15	<i>Nie dopuszcza się</i>			

5.5.3 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 żadnych składników,

które mogłyby mieć wpływ na przebieg wiązania i twardnienia betonu. Woda zarobowa powinna być zgodna z PN-EN 1008.

5.5.4 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.

Domieszki do betonu muszą spełniać wymagania normy PN-EN 934-1 i PN-EN 934-2. Konieczne jest stosowanie domieszek o działaniu napowietrzającym. Inne domieszki niż domieszki napowietrzające i uplastyczniające (lub upłynniające), np. domieszki opóźniające wiązanie, można stosować tylko po uzgodnieniach. Stosowanie domieszek uplastyczniających i upłynniających, powinno wynikać z potrzeb technologicznych podyktowanych warunkami wbudowania mieszanki betonowej. Do jednego betonu można użyć tylko jednej domieszki z danej grupy środków. Wyklucza się jednoczesne użycie domieszek w jednym betonie wyprodukowanych przez różnych producentów. Nie należy stosować równocześnie więcej niż 3 rodzaje domieszek.

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

Środki 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 0.20 do 0.24 mm. Dla prawidłowego stanu napowietrzenia betonu ważne jest, aby stosowane domieszki plastyfikujące i upłynniające nie wykazywały działania zakłócającego lub zmieniającego działanie domieszek napowietrzających. Użycie domieszki napowietrzającej poprawia urabialność świeżej mieszanki betonowej oraz zmniejsza wodożądność stosu okruszowego. Należy pamiętać, że wytrzymałość końcowa betonu napowietrzonego ulegnie obniżeniu (ok. 10%) i fakt ten przy opracowywaniu recepty należy uwzględnić.

Domieszki plastyfikujące zmniejszają wodożądność kruszyw oraz poprawiają urabialność betonu przy zmniejszonym dozowaniu wody lub zmniejszonej ilości cementu. Domieszki upłynniające – superplastyfikatory, posiadają 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 30 do 60 min.

W szczególnych przypadkach wymagane jest stosowanie domieszek opóźniających. Stosuje się je do wydłużenia czasu przerabialności betonu, opóźnienia początku wiązania cementu w warunkach wysokich temperatur czy konieczności rozłożenia ekstremów temperaturowych powstających w procesie twardnienia betonu.

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

5.5.5 WYMAGANIA DLA MIESZANEK BETONOWYCH

Skład granulometryczny

Do wykonywania mieszank betonowych do nawierzchni drogowych należy stosować kruszywa łamane, naturalne płukane o maksymalnym wymiarze ziaren do 31,5 mm. Należy stosować minimum 3 frakcje kruszywa.

W przypadku wykonywania nawierzchni drogowych dwuwarstwowych do warstwy górnej należy stosować kruszywa łamane i naturalne, płukane o maksymalnym wymiarze ziaren do 8 mm lub 16 mm w zależności od grubości warstwy. Do dolnej warstwy dopuszcza się stosowanie kruszywa grubego z recyklingu pod warunkiem spełnienia parametrów betonu. Dla warstwy górnej nawierzchni dwuwarstwowej, w przypadku stosowania mieszanki kruszyw o uziarnieniu do 8 mm zaleca się udział kruszywa kategorii C90/1 w ilości co najmniej 50 %. W przypadku stosowania mieszanki kruszyw o uziarnieniu powyżej 8 mm zaleca się udział kruszywa kategorii C90/1 w ilości co najmniej 35 %.

Maksymalny wymiar kruszywa nie powinien przekraczać $\frac{1}{4}$ grubości warstwy. Dla nawierzchni betonowych dylatowanych zbrojonych i dla nawierzchni o zbrojeniu ciągłym, maksymalny wymiar kruszywa nie powinien przekraczać $\frac{1}{3}$ długości przestrzeni pomiędzy podłużnymi prętami zbrojeniowymi.

W przypadku montażu betonu w dwóch lub większej ilości warstw należy tak ustalić skład, aby trzykrotna średnica dużego ziarna odpowiadała maksymalnie najmniejszej grubości danej warstwy. Jeżeli beton używany jest na nawierzchnie jezdni, w przypadku której usuwana jest zaprawa nawierzchni, beton górny należy wyprodukować z mieszaniny kruszyw 0/8 mm. Mieszanina ziaren o $d = 8$ mm musi składać się co najmniej z grupy kruszyw 0/2 lub 0/4 i grupy ziarna o $d = 2$ mm, które spełniają wymagania kategorii C100/0 lub C90/1 oraz FI15 lub SI15.

W przypadku nawierzchni klas KR4÷KR6 w betonie, a w przypadku nawierzchni układanej dwuwarstwowo w warstwie górnej, należy tak rozgranicyć udział drobnego kruszywa ($D \leq 2$ mm), aby przesiew przez sito 1 mm nie przekroczył 27 %, a przez sito 2 mm 30 %, a w przypadku betonu z kruszywem powyżej 8 mm wartości 35 % przez sito 2 mm.

Beton płukany powinien być wykonywany z kruszywa o uziarnieniu do 8 mm.

Konsystencja

Konsystencja mieszanki betonowej powinna być dostosowana do warunków transportu, technologicznych warunków układania i zagęszczania. Ilość wody dodanej do mieszanki betonowej po uwzględnieniu danej wilgotności własnej kruszywa, czynników pogodowych oraz sposobu transportu należy ustalić w taki sposób, aby beton miał odpowiednią konsystencję, możliwa była jego

obróbka, nie dochodziło do segregacji a podczas zagęszczania powstawała jednorodna, szczelna struktura oraz została osiągnięta wymagana forma nawierzchni.

W przypadku wykonania deskowania ślizgowego należy przyjąć taką konsystencję betonu, aby świeży zawibrowany beton po usunięciu szalunku nie odkształcał się. Konsystencja powinna być określona poprzez klasy konsystencji lub docelową wartość zgodną z PN-EN 206-1.

Wskaźnik w/c

Wskaźnik wodno-cementowy w/c nie może przekroczyć 0,45. Niedopuszczalne jest doliczanie dodatków do betonu do wskaźnika wodno-cementowego.

Zawartość powietrza

Do betonu należy dodać co najmniej taką ilość domieszki napowietrzającej, aby zapewnić wymaganą w Tab. 5.9 ilość powietrza w mieszance betonowej bezpośrednio przed jej wbudowaniem.

Tab. 5.9 Wymagana zawartość powietrza w mieszance betonowej

Maksymalna \varnothing ziaren kruszywa, [mm]	Zawartość powietrza w mieszance betonowej, [% obj.]			
	bez domieszki upłynniającej lub uplastyczniającej		z domieszką upłynniającą i/lub uplastyczniającą	
	średnia dzienna	minimalna	średnia dzienna	minimalna
8	5,5	5,0	6,5	6,0
16	4,5	4,0	5,5	5,0
31,5	4,0	3,5	5,0	4,5

Dodatkowo należy określić charakterystykę mikroporów w stwardniałym betonie.

Gęstość mieszanki

Jeżeli gęstość mieszanki jest określona jako konkretna wartość, dopuszcza się odchyłkę 1,5 %. Wartość gęstości powinna zostać obliczona z masy wszystkich materiałów składowych i całkowitej objętości poszczególnych składników zgodnie z zatwierdzoną recepturą. W obliczeniach należy uwzględnić objętość powietrza zamkniętego w porach betonu.

5.6 WYTWARZANIE, WBUDOWYWANIE MIESZANEK BETONOWYCH ORAZ WYKAŃCZANIE NAWIERZCHNI

5.6.1 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 cykliczny. 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 zaopatrzone w silosy na cement, dozatory kruszywa oraz urządzenia dozujące co najmniej dwa rodzaje domieszek. Doświadczenia wskazują, że wydajność betonowni nie powinna być mniejsza od 30 m³/h.

Kolejność dozowania poszczególnych składników mieszanki betonowej: kruszywa, cement, woda, dodatki i domieszki. Dokładność dozowania składników: kruszywa do 3 %, cement, woda dodatki i domieszki do 0,5 %. Czas mieszania w mieszalnikach o mieszaniu wymuszonym powinien wynosić co najmniej 45 sekund, zapewnić jednorodność i stabilność urabialności mieszanki betonowej. W przypadku stosowania domieszki uplastyczniającej lub upłynniającej należy przestrzegać właściwej kolejności dozowania. Kolejność i moment dozowania domieszek należy ustalić doświadczalnie podczas próby technologicznej i zgodnie z zaleceniami producenta.

Recepta powinna być korygowana na bieżąco o wartości wilgotności kruszyw. Producent betonu powinien zapewnić niezbędną obsługę laboratoryjną do weryfikacji wilgotności kruszyw minimum raz na dobę dla produkcji nieciągłej i minimum dwa razy na dobę dla produkcji ciągłej. Wskazania automatycznych higrometrów będących na wyposażeniu węzłów betoniarskich należy traktować orientacyjnie.

Mieszanki betonowe transportowane są z betonowni na budowę za pomocą transportu samochodowego skrzyniowego oraz betoniarek. Przy czym ze względu na konsystencję betonu drogowego najczęściej używane są samochody skrzyniowe. Dla średniej temperatury 200 C czas transportu w betoniarence 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 opióków 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.

5.6.2 WBUDOWYWANIE MIESZANEK

Rozróżnia się dwa zasadnicze metody wbudowywania mieszanek betonowych:

- w deskowaniu ślizgowym – z wykorzystaniem zestawu maszyn (Rys. 5.58),
- w deskowaniu stałym (prowadnicach) – z wykorzystaniem zestawu maszyn lub z listwą wibracyjną (Rys. 5.59).

Metoda ślizgowa polega na wbudowywaniu mieszanki za pomocą maszyny, która formułuje nawierzchnię, ograniczając ją z boków za pomocą deskowań ślizgowych, które są 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 lub za pomocą równiarek lub spycharek.



Rys. 5.58 Zestaw maszyn w układaniu ślizgowym



Rys. 5.59 Układanie nawierzchni w deskowaniu stałym

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

W Tab. 5.10 zestawiono wymagania dotyczące temperatury powietrza T_p i temperatury betonu T_b podczas układania.

Tab. 5.10 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	$T_p < 5^{\circ}\text{C}$ $T_b > 25^{\circ}\text{C}$
Niedopuszczalne	Nieprzerwany mróz $T_p \leq -3^{\circ}\text{C}$ $T_b > 5^{\circ}\text{C}$

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

- zwiększenie zawartości cementu,
- zastosowanie cementu o wyższej wytrzymałości początkowej,
- 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 przy temperaturze powietrza przekraczającej $+25^{\circ}\text{C}$, należy kontrolować temperaturę świeżego betonu w miejscu wbudowywania. Temperatura ta nie może przekraczać $+30^{\circ}\text{C}$.

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

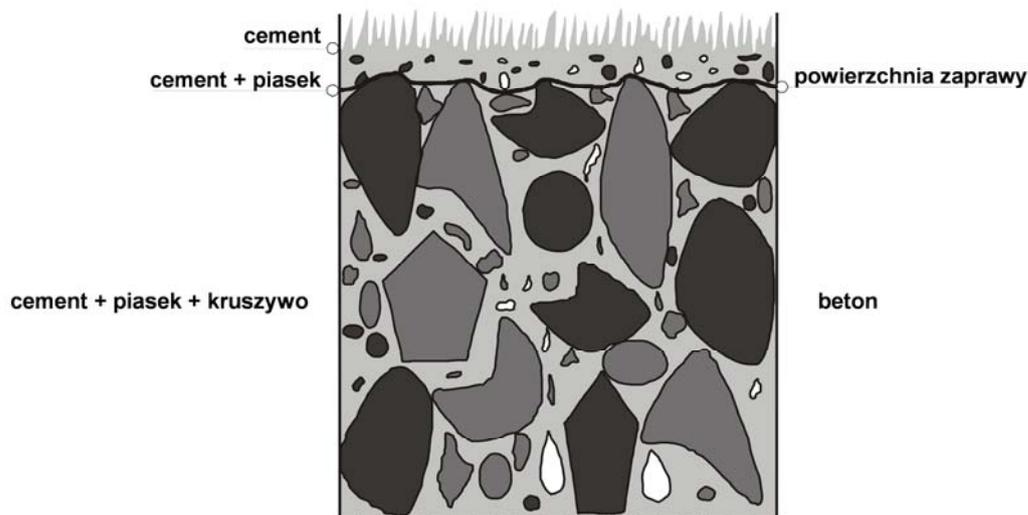
- ochładzanie podłoża przez nawilżanie,
- zraszanie grubego kruszywa wodą.

Nawierzchnię układa się na całej szerokości lub połówkami. 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 połówkami, stosując szczelinę podłużną.

5.6.3 WYKAŃCZANIE I PIELEGNOWANIE NAWIERZCHNI

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

Na górnej powierzchni powstaje zaprawa piaskowa (Rys. 5.60), która w pierwszym etapie eksploatacji nawierzchni decyduje o szorstkości nawierzchni. Wykończenie górnej powierzchni przez nadanie nawierzchni odpowiedniej tekstury jest ważnym problemem dla bezpieczeństwa ruchu z uwagi na szorstkość koła z nawierzchnią oraz szybkie odprowadzenie wody z nawierzchni.



Rys. 5.60 Przekrój nawierzchni w strefie przypowierzchniowej

Teksturowanie w celu uzyskania odpowiednio 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 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 (coraz rzadziej stosowane),
- przeciąganie juty plus rowkowanie podłużne za pomocą grzebieni lub widełek ciągniętych za jutą, rozstaw grzebieni ok. 15 mm,
- opóźnianie hydratacji cementu w górnej warstwie świeżo ułożonej nawierzchni (np. przy użyciu glukozy) a następnie wyflukanie niezwiązanej warstwy zaprawy cementowej strumieniem wody lub wyszczotkowanie.

Na Rys. 5.61 pokazano przykłady wykańczania nawierzchni w postaci przecierania szczotką lub matą jutową.

Każdy z wymienionych sposobów posiada szczególne zalety i wady. Przeciąganie juty jest najtańszym sposobem jednakże uzyskuje się najmniejszą teksturę powierzchni rzędu 0.2 do 0.6 mm. Trwałość tego typu zabiegu wynosi 1-3 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. Zaletą tego sposobu jest stosunkowo szybkie odprowadzenie wody w kierunku poprzecznym oraz duży współczynnik szczelności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi 3 do 5 lat. Rowkowanie poprzeczne daje dużą teksturę w granicach 1.5 do 2 mm a tym samym duży współczynnik szczelności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi 3 do 8 lat. Zwiększa się hałas ale jednocześnie zmniejsza się możliwość wystąpienia aquaplaningu.



Rys. 5.61 Przykłady wykańczania nawierzchni betonowej

Przeciąganie juty wraz z rowkowaniem podłużnym daje dużą teksturę w granicach 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 USA w ostatnich latach coraz popularniejszą metodą wykańczania (i poprawy) powierzchni nawierzchni betonowych jest szlifowanie przy użyciu tarcz diamentowych (diamond grinding). Metoda ta polega na wykonaniu (wycięciu) w nawierzchni podłużnych rowków o głębokości 2,5 – 3,5 mm (w rozstawie co 2 – 3 mm). Badania wykazały, że metoda ta pozwala na znaczną poprawę przyczepności, przy jednoczesnej poprawie równości (IRI) i znacznym spadku poziomu generowanego przez pojazdy hałasu.

W ostatnich latach rozwinęła się również technologia zwana eksponowaniem kruszywa lub tekstura płukanego betonu (Rys. 5.62).

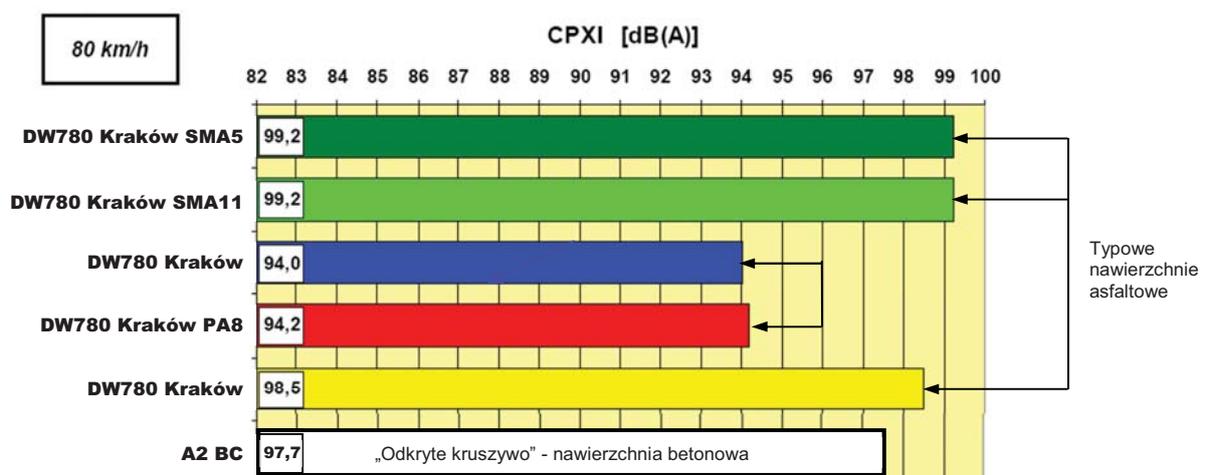
Zabieg wg tej technologii jest następujący:

- powierzchnię rozłożonej warstwy zrasza się środkiem (np. glukozą) niszczącym zaprawę cementową i w ramach zabiegów pielęgnacyjnych rozkłada się na nią folię,
- lub powierzchnię wmywa się wodą,
- 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 wmywa lub szczotkuje, pozostawiając frakcję grubego kruszywa na powierzchni warstwy ścieralnej.



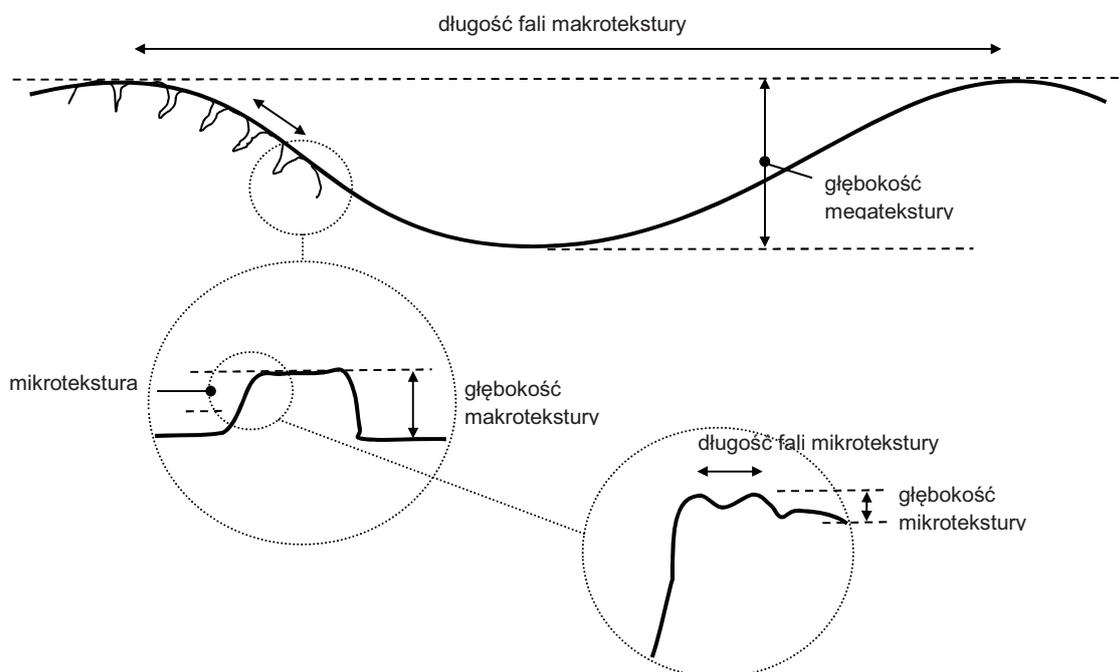
Rys. 5.62 Technologia eksponowania kruszywa

W celu uzyskania spodziewanego efektu, głównie obniżenia hałasu i zwiększenia współczynnika szepności należy używać do warstw ścieralnych kruszywa drobnego do 10 mm oraz o wysokim współczynniku polerowalności. Technologia ta daje bardzo dużą teksturę nawierzchni, wysoki współczynnik szepności koła z nawierzchnią jak również zmniejsza hałas. Jest jednocześnie technologią kosztowną. Na Rys. 5.63 pokazano wyniki pomiaru hałasu dla nawierzchni z odkrytym kruszywem w porównaniu do innych nawierzchni.



Rys. 5.63 Wyniki pomiaru hałasu dla nawierzchni z odkrytym kruszywem w porównaniu do innych nawierzchni

Makrotekstura jest mikroprofilem, który decyduje o szczepności koła z nawierzchnią. Istotne jest zatem, aby na etapie budowy ją odpowiednio wykształcić stosując odpowiednią technologię. Na Rys. 5.64 pokazano zależność mikro-, makro- i megatekstury.



Rys. 5.64 Mikro-, makro- i megatekstura

Podczas układania nawierzchni oraz 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, zimne powietrze w szczególności podczas pierwszej nocy i następnego dnia.

Pielęgnowanie betonu jest konieczne. Istnieje wiele sposobów pielęgnowania. Aktualnie dla 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 na powierzchni górnej oraz bocznych 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 okres 3 dni.

Celowe jest impregnowanie nawierzchni zwłaszcza wykonywanych w jesieni przed wpływami soli używanej do zimowego utrzymania.

5.7 PODBUDOWY NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Podbudowa jest to warstwa, która występuje pomiędzy płytami betonowymi a podłożem nawierzchni. Zadaniem podbudowy jest między innymi: stworzenie jednorodnego podparcia płyt betonowych, zwiększenie nośności płyty betonowych, zapobieżenie zjawiskom erozji i pompowania, umożliwienie prawidłowego zagęszczenia i wykonania nawierzchni, zabezpieczenie przed działaniem wody przenikającej przez szczeliny dylatacyjne.

Podbudowy mają decydujące znaczenie dla żywotności nawierzchni betonowych przy dużym obciążeniu ruchem. Najniebezpieczniejszym zjawiskiem jakie pojawia się w nawierzchniach betonowych jest zjawisko erozji podbudów gdy pomiędzy nawierzchnią a podbudową znajduje się woda. Obciążenia przekazywane przez koła pojazdów powodują nieznaczne odchylenia krawędzi płyty a woda znajdująca się pod płytą jest pod ciśnieniem. W chwili przejeżdżania koła po szczelinie, krawędź następnej płyty przemieszcza się w dół, podczas gdy brzeg poprzednio obciążonej płyty podnosi się do góry i zasysa wodę a także okruchy materiałów mineralnych. Dochodzi do zjawiska hydrodynamicznego pompowania. Wytwarzają się przy tym wysokie prędkości przepływu, wywołujące znaczne siły erozyjne. Wskutek tego wyłukiwane są na górną powierzchnię w obrębie pasów drobnoziarniste okruchy z górnej powierzchni warstwy podbudowy. Może to doprowadzić do znacznego klawiszowania płyt (płyty w kierunku jazdy położone są niżej). Dzięki zastosowaniu dybli zmniejsza się zarówno skala ruchu krawędzi płyt jak i amplituda ruchu tych krawędzi. Ponadto są inne sposoby na eliminację zjawiska erozji i klawiszowania płyt do nich należą:

- zastosowanie podbudowy z betonu odpornego na erozję lub bitumicznej; żadne okruchy mineralne nie powinny się oderwać od podbudowy,
- wykonanie podbudowy z kruszywa w taki sposób ażeby była ona przepuszczalna dla wody i wnikająca woda powinna być odsączana w głąb; w tym przypadku stosuje się grubsze nawierzchnie betonowe,
- zastosowanie geowłóknin pomiędzy podbudową a nawierzchnią w ten sposób zapobiega się powstawaniu ciśnienia hydraulicznego, dzięki czemu nie dochodzi do erozji podbudowy.

Wymagania francuskie [6] dzielą podbudowy na erozyjne i nie podlegające erozji. Do podbudów odpornych na erozję zalicza się w kolejności:

- I klasa odporności na erozję czyli odporne: chudy beton o wytrzymałości ponad 15 MPa, beton asfaltowy o zawartości asfaltu powyżej 6%,
- II klasa odporności, mało odporne, to kruszywa stabilizowane cementem o zawartości min. 4,5% cementu i pozostałe betony asfaltowe o zawartości asfaltu mniejszej od 6%,
- III klasa odporności na erozję, nieodporne, to grunty stabilizowane cementem.

Najczęściej stosowanymi podbudowami są: chude betony, grunty stabilizowane cementem, kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie, betony asfaltowe.

5.7.1 PODBUDOWY Z CHUDYCH BETONÓW

Chudy beton jest to materiał budowlany powstały z zagęszczenia mieszaniny kruszyw mineralnych, cementu w ilości nie przekraczającej 130 kg/m³ i wody. Wytrzymałość na ścislenie takiego materiału po 28 dniach twardnienia wynosi $R = 6-9$ MPa natomiast po 7 dniach $R=3,5-5,5$ MPa. Wytrzymałość określa się na próbkach walcowych o średnicy i wysokości 160 mm. Katalog [19] podaje wytrzymałości chudego betonu w przedziale 6-12 MPa. 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.

Do wykonania chudego betonu należy stosować cement portlandzki CEM I, mieszany CEM II, hutniczy CEM III lub pucolanowy CEM IV, klasy 32,5. Podbudowa z chudego betonu może być wykonywana, gdy temperatura powietrza wynosi powyżej 50C oraz gdy podłoże nie jest zamrożone. Nierówności górnej powierzchni mierzone 4-metrową łatą nie powinny przekraczać 9 mm. Minimalna grubość wynosi 0,1 m. Doświadczenia niemieckie przez wiele lat [wspominały o zespoleniu podbudowy z chudego betonu z nawierzchnią i zalecały wykonywanie szczelin pozornych w chudym betonie w taki sposób ażeby były one odwzorowaniem szczelin w nawierzchni. Szczeliny te zalecano wykonywać na 1/3 grubości warstwy z chudego betonu. Zebrane doświadczenia wykazały, że w miejscach szczelin występowała korozja w chudym betonie. Na Rys. 5.65 pokazano wycięte przez autora próbki z nawierzchni betonowej ułożonej na chudym betonie w środku oraz na krawędzi.



Rys. 5.65. Widok wyciętej próbki z nawierzchni i podbudowy, a) w środku płyty, b) na krawędzi

Widać wyraźną degradację podbudowy na szczelinach. Przyczyną tego zjawiska jest wpływ wody, środków zimowego utrzymania, które przenikają przez nieszczelne szczeliny w głąb podbudowy. W związku z powyższym ostatnio wydany katalog zaleca nie wykonywanie szczelin w podbudowie z chudego betonu. Natomiast zaleca układanie geowłókniny, która ma pełnić trzy

funkcje: przeciwoerozyjną, filtracyjną oraz antyspękaniaową. Zagadnienia stosowania geowłóknin zostaną omówione oddzielnie. Według przepisów niemieckich wytrzymałość chudego betonu [15] po 28 dniach powinna wynosić $R \geq 15$ MPa. Badania wykonuje się na próbkach o średnicy 150 mm i wysokości 125 mm. Do wytworzenia HGT wykorzystuje się kruszywo o uziarnieniu 0/32 lub 0/45. Minimalne grubości wykonywane z kruszywa 0/32 wynoszą 0,12 m, natomiast z kruszywa 0/45 - 0,15 m. Nowy katalog niemiecki zaleca ułożenie geowłókniny bez wykonywania szczelin w podbudowie. Wymagania francuskie zalecają zastosowanie betonu o wytrzymałości charakterystycznej na rozciąganie przy ściskaniu po 28 dniach 1,7 MPa (oznaczenie francuskie BC2), co odpowiada betonowi klasy B20 wg wymagań krajowych. Wg zaleceń francuskich ten typ podbudowy jest odporny na erozję. Obliczeniowy moduł sprężystości wynosi 20000 MPa natomiast wytrzymałość zmęczeniowa jest opisana zależnością:

$$\sigma = 1,37 \left(\frac{10^6}{N} \right)^{\frac{1}{14}}$$

gdzie: N – liczba powtarzalnych osi obliczeniowych.

Wymagania angielskie określają, że podbudowa pomocnicza grubości 15 cm powinna być wykonana z kruszywa ulepszonego cementem CBM3, CBM2 lub chudego betonu C15, C10. CBM3 oznacza kruszywo 0,15-50 mm z dodatkiem cementu takim, ażeby uzyskać wytrzymałość 7-dniową ponad 10 MPa. CBM2 ma wytrzymałość 7-dniową ponad 7 MPa. C15 oznacza chudy beton o zawartości cementu ponad 160 kg/m³ i wytrzymałości 7-dniowej ponad 12 MPa. C10 oznacza chudy beton o zawartości cementu ponad 130 kg/m³ i wytrzymałości 7-dniowej ponad 7,5 MPa.

W katalogu polskim ten typ podbudowy stosowany jest dla wszystkich kategorii ruchu KR1-KR6, podobnie jak w Belgii. W Szwajcarii ten typ podbudowy nie jest stosowany.

W Katalogu niemieckim ten typ podbudowy jest stosowany dla dróg kategorii SV, I, II, III tj dla obciążenia od 0,8 do 32 i więcej mln osi 100 kN. W Katalogu francuskim ten rodzaj podbudowy stosowany jest dla ruchu 7,3 do 122 mln osi obliczeniowych (130 kN) i podłoża PF3 (wtórny moduł 120 – 200 MPa) dla nawierzchni zbrojonych i dyblowanych oraz dla ruchu 3,6 do 18,4 mln osi obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3, PF4 (wtórny moduł 50 do 200 MPa) dla płyt niezbrojonych i niedyblowanych dla sieci dróg głównych. Dla dróg drugorzędnych dla ruchu 2 do 13,8 mln osi obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3 dla nawierzchni zbrojonych i dyblowanych oraz dla ruchu 0,3 do 13,8 mln osi obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3, PF4 dla płyt niezbrojonych i niedyblowanych.

5.7.2 PODBUDOWY Z GRUNTÓW STABILIZOWANYCH 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 2,5 do 5 MPa i wyznacza się ją na próbkach walcowych o średnicy i wysokości równej 0,08 m. Do stabilizacji używa się następujących rodzajów cementu: cement portlandzki CEM I, mieszany CEM II, hutniczy CEM III lub pucolanowy CEM IV, klasy 32,5.

Według przepisów niemieckich grunt stabilizowany cementem jest to mieszanina cementu gruntu oraz kruszywa z dodatkiem wody. Mieszanina ta może być wykonywana *in situ* oraz w mieszalnikach stacjonarnych. Wytrzymałość oznaczana na walcach o wysokości 125 mm i średnicy 150 mm po 28 dniach, pod nawierzchnie betonowe, wynosi min. 15 MPa. Minimalna grubość warstwy wykonywana na miejscu wynosi 0,15 m a w mieszalnikach 0,12 m.

We Francji istnieje 5 klas kruszyw (gruntów) stabilizowanych cementem (grave-ciment GC1-GC5). Klasy te różnią się wytrzymałością na rozciąganie po 360 dniach. We Francji pod nawierzchnie betonowe stosuje się typ GC3. Zależności wytrzymałości na rozciąganie przy ściskaniu od modułów oraz wytrzymałości na rozciąganie proste opisuje zależność:

$$\begin{aligned} R_{t360} &= 0,8 f_{t360} \\ E_{360} &= 12000 f_{t360} \\ R_{t360} &= 1,67 R_{t28} \end{aligned}$$

gdzie: R_{t360} – wytrzymałość na rozciąganie proste po 360 dniach,
 R_{t28} – wytrzymałość na rozciąganie proste po 28 dniach,
 f_{t360} – wytrzymałość na rozciąganie przy ściskaniu po 360 dniach,
 E_{360} – moduł sprężystości po 360 dniach.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu opisana jest zależnością:

$$\sigma = 1,37 \left(\frac{10^6}{N} \right)^{\frac{1}{14}}$$

W katalogu polskim ten typ podbudowy stosowany jest dla wszystkich kategorii ruchu KR1-KR6, podobnie jest w Belgii. W Katalogu niemieckim ten typ podbudowy jest stosowany dla dróg kategorii SV, I, II, III tj obciążenia od 0,8 do 32 i więcej mln osi 100 kN. W Katalogu francuskim ten rodzaj podbudowy stosowany jest dla ruchu 3,6 do 18,4 mln osi obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3, PF4 (wtórny moduł 50 do 200 MPa) dla płyt niezbrojonych i niedyblowanych dla sieci dróg głównych oraz dla ruchu od 1 do 13,8 mln osi obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3, PF4 dla płyt niezbrojonych i niedyblowanych dla sieci dróg drugorzędnych. W Szwajcarii ten typ podbudowy przyjmowany jest dla ruchu o intensywności ponad 300 osi 80 kN na dobę.

5.7.3 PODBUDOWY Z KRUSZYW ŁAMANYCH STABILIZOWANYCH MECHANICZNIE

Ten typ podbudowy bez środków wiążących ma za zadanie sprawne odprowadzenie wody przedostającej się do podbudowy przez szczeliny i odprowadzenie w głąb lub w poprzek do systemu drenażowego. Podbudowy tego typu stosowane na drogach niemieckich i francuskich spełniają funkcje drenażowe a mniej nośne. Z tego też powodu przy tego typu podbudowach płyty betonowe są grubsze w porównaniu z innymi podbudowami. 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. 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:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5$$

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

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

Według wymagań niemieckich kruszywo powinno być łamane o uziarnieniu 0/32. Zawartość ziaren poniżej 0,063 nie powinna być większa od 5%. Ziaren poniżej 2 mm powinno być maksimum 28% w proporcji 1:1 (naturalne i łamane). Wskaźnik CBR mieszanki 0/22 bez nadziaren powinien być równy lub większy od 80%. Wtórny moduł na powierzchni tej warstwy powinien wynosić min. 150 MPa. Minimalna grubość powinna wynosić 0,30 m. Zagęszczenie wg Proctora powinno wynosić nie mniej niż 103% a stosunek modułów wtórnego do pierwotnego nie powinien być większy od 2,2. Współczynnik wodoprzepuszczalności powinien być równy lub większy od 10^{-5} m/s.

Wymagania francuskie zalecają stosować na podbudowę kruszywo naturalne lub łamane o uziarnieniu 0/14, 0/20 lub 0/31,5. Wyróżnia się dwa rodzaje podbudów: GNT „A” oraz GNT „B”. Typ GNT „A” jest złożony z kruszywa o w/w uziarnieniu przygotowany w kamieniołomach. Typ GNT „B” jest specjalnie przygotowany z różnych frakcji z dodatkiem wody w mieszarkach stacjonarnych. Wymagania francuskie zalecają badanie modułów mieszanki w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach obciążeń powtarzalnych. W podbudowach betonowych zaleca się stosowanie kruszywa typu GNT „A” o module opisanym zależnością:

$$E_{GNT} = 3E_{PF}$$

gdzie: E_{GNT} – moduł mieszanki z kruszywa,

E_{PF} – moduł ulepszonego podłoża.

Moduł E_{GNT} nie może być mniejszy od 360 MPa. W katalogu polskim na podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie ułożona jest nawierzchnia betonowa dla ruchu KR1, KR2, natomiast dla pozostałych kategorii ruchu na podbudowie z kruszywa ułożona jest 5 cm warstwa z betonu asfaltowego i na niej układa się nawierzchnię betonową. Podobny układ warstw występuje w katalogu szwajcarskim i austriackim. W katalogu niemieckim ten typ podbudowy jest stosowany dla dróg kategorii SV, I, II, III tj obciążenia od 0,8 do 32 i więcej mln osi 100 kN. Natomiast dla dróg o obciążeniu ruchem 0,8 do 0,1 mln i mniej obciążeń nawierzchnia betonowa układana jest na warstwie mrozoochronnej (należy w tym miejscu podkreślić, że w Niemczech górna część warstwy mrozoochronnej jest zbudowana z kruszywa o uziarnieniu 0/56).

W Katalogu francuskim ten typ podbudowy stosowany jako warstwa drenująca o grubości 0,1 m pod nawierzchnie betonowe niezbrojone i niedyblowane dla ruchu 3,6 do 18,4 mln osi

obliczeniowych dla podłoża PF2, PF3, PF4 dla dróg głównych. Dla dróg drugorzędnych dla obciążenia 0,3 do 5,2 mln osi obliczeniowych dla podłoża kategorii PF2, PF3, PF4. W Belgii podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie stosowana jest dla wszystkich kategorii ruchu.

5.7.4 PODBUDOWY Z BETONÓW ASFALTOWYCH

Mieszanka mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy może być zastosowana jako podbudowa pod nawierzchnię betonową. Wymagania niemieckie zalecają stosowanie betonów asfaltowych o uziarnieniu 0/22 oraz 0/32. Przykładowe parametry mieszanki mineralno-asfaltowej są następujące:

- zawartość ziaren powyżej 2 mm w przedziale 60-80%,
- ziaren mniejszych od 0,09 mm, 3-10%,
- stabilność wg Marshalla, $\geq 4 - 5$ kN,
- odkształcenie wg Marshalla, 1,5 do 4 mm,
- wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 4-10%,
- wskaźnik zagęszczenia w warstwie 97%.

Przepisy francuskie zalecają stosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o uziarnieniu 0/14 lub 0/20. Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych są następujące:

- moduł określany w temperaturze 15⁰ C i częstotliwości 15 Hz powinien wynosić 9000 MPa,
- odkształcenie przy 1 000 000 obciążeń $\epsilon_6 = 90 \times 10^{-6}$,
- wolna przestrzeń ≤ 10 %,
- zawartość asfaltu powyżej 6%, podbudowy odporne na erozję.

Podbudowy z mieszanek mineralno-asfaltowych w Katalogu polskim są stosowane dla wszystkich kategorii ruchu KR1-KR6. Warstwa ta jest ułożona na warstwie mrozoochronnej. Natomiast dla ruchu KR3-KR6 podbudowa z betonu asfaltowego ułożona jest na warstwie z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie, podobnie jest w katalogu szwajcarskim.

W katalogu niemieckim podbudowa tego typu stosowana jest dla wszystkich kategorii ruchu SV do VI i jest ułożona na warstwie mrozoochronnej. We wszystkich typach konstrukcji i rodzajach podbudów warstwa z betonu asfaltowego o grubości 0,05 m występuje pod płytą betonową w katalogu austriackim [austr.]. W katalogu francuskim warstwa z betonu asfaltowego o grubości 0,05 m stosowana jest w nawierzchniach betonowych o ciągłym zbrojeniu dla ruchu 7,3 do 122 mln osi obliczeniowych na podłożu PF3, PF4 dla dróg głównych. Dla dróg drugorzędnych warstwa ta jest stosowana dla ruchu od 2 do 34 mln osi obliczeniowych i podłoża PF3, PF4.

5.8 **WARSTWY POŚLIZGOWE**

Jako warstwy poślizgowe stosowane są najczęściej: geowłókniny i betony asfaltowe. Poniżej podano charakterystyki tych materiałów stosowanych w różnych krajach.

5.8.1 GEOWŁÓKNINY

Podbudowy nawierzchni betonowych wykonane z materiałów zawierających cement mogą podlegać erozji wskutek przenikania do nich przez szczeliny lub pęknięcia wody oraz środków zimowego utrzymania. Jak wspomniano we wstępie doświadczenia francuskie wskazują, że erozji nie podlegają podbudowy z betonów o wytrzymałości 20 MPa oraz z betonów asfaltowych. Dla pozostałych podbudów wykonanych na bazie cementu należy stosować zabezpieczenia

przeciwerozyjne. Wymagania angielskie zalecają pokrywanie podbudów emulsją kationową w ilości 0,35 do 0,55 l/m². W nowym katalogu niemieckim zaleca się zastosowanie geowłókniny. Wymagania dla niej są sprecyzowane i są one następujące:

- masa 450 do 550 g na 1 m²,
- włóknina w 100% z poliolefinów,
- odporność na działanie alkaliów (bez poliestru),
- wytrzymałość na rozciąganie podłużne i poprzeczne > 10 kN/m,
- grubość przy nacisku 20 kN/m² co najmniej 2 mm,
- przepuszczalność w płaszczyźnie geowłókniny przy nacisku 20 kN/m² co najmniej $k > 5 \times 10^{-4}$ przy spadku hydraulicznym równym 1,
- przepuszczalność prostopadła do powierzchni geowłókniny przy nacisku 20 kN/m² co najmniej $k > 1 \times 10^{-4}$ przy spadku hydraulicznym równym 1.

Geowłóknina taka zabezpiecza również przed spękaniem odbitymi płyty betonowej. Przy stosowaniu geowłókniny w podbudowie nie nacina się szczelin. Doświadczenia niemieckie w stosowaniu geosyntetyków wykazały, że oprócz funkcji filtracyjnych i zabezpieczeniem przed spękaniem odbitymi materiały te powodują również równomierne obciążenie podbudowy przy zmianach termicznych i wilgotnościowych płyt betonowych, stanowią warstwę rozpraszającą i tłumiącą naprężenia powstałe od obciążeń pojazdami. Ponadto stwierdzono, że:

- nie występuje erozja podbudowy,
- górna warstwa włókien geotekstyliów łączy się z betonem,
- geotekstylia nie są wypełnione zaprawą,
- w geotekstyliach osadziły się drobne cząstki cementu, nie stanowiące wypełnienia przestrzennego,
- z dolnej części płyty betonowej wypluła się znikoma ilość zaprawy cementowej,
- w obrębie szczelin nawierzchni betonowych geotekstylia częściowo napełnione są drobnymi cząsteczkami startego betonu, a pomiędzy geotekstyliami i dolną powierzchnią płyty znajduje się piasek, prawdopodobnie wyplukany z betonu,
- na dolnej powierzchni płyty w pobliżu szczelin, beton jest wymyty tak, że odsłonięte zostały frakcje grysowe,
- geotekstylia nie są uszkodzone w sposób widoczny, zarówno w obszarze pod szczelinami jak i w środku płyty,
- geotekstylia w dotyku sprawiają wrażenie puszystych i są podczas obciążenia powierzchniowego ściskane.

Należy stwierdzić, że pozytywne oddziaływanie geotekstyliów sprowadza się do spełnienia następujących podstawowych funkcji:

- funkcja antyspękaniowa; geotekstylia zabezpieczają przed przenoszeniem spękań skurczowych podbudowy na płyty betonowe,
- funkcja drenażowa; odprowadzanie wody wsiąkającej przez szczeliny na pobocze,
- funkcja tłumiąca; geotekstylia powodują tłumienie obciążeń dynamicznych i wprowadzają równomierny rozkład naprężeń w podbudowie od obciążeń pojazdami, temperaturą i wilgotnością ,
- funkcja separująca; geotekstylia zatrzymują na swej górnej powierzchni cząstki mlecza cementowego w ten sposób przyczyniają się do zachowania w masie płyt betonowych pierwotnego składu mieszanki.

Rozkładanie geosyntetyków nie sprawia zasadniczych kłopotów. Pasma geowłókniny układane są na zakład 0,15 m w kierunku podłużnym i poprzecznym, przy czym warstwa wyżej leżąca

musi być nad pasmem niżej leżącym. Na brzegach oraz na zakładkach geowłókninę należy przytwierdzać za pomocą gwoździ i podkładek ocynkowanych o średnicy 70 mm w odległości co ok. 2 m. Wbijanie gwoździ odbywa się za pomocą urządzeń do osadzania kołków. Geowłókninę należy rozkładać mechanicznie unika się w ten sposób marszczenia. Ponadto należy pamiętać o wyprowadzeniu jej poza obręb płyty na pobocze co najmniej 0,15 m.

5.8.2 BETONY ASFALTOWE

W katalogu francuskim warstwa z betonu asfaltowego o grubości 0,05 m stosowana jest w nawierzchniach betonowych o ciągłym zbrojeniu dla ruchu 7,3 do 122 mln osi obliczeniowych na podłożu PF3, PF4 dla dróg głównych. Dla dróg drugorzędnych warstwa ta jest stosowana dla ruchu od 2 do 34 mln osi obliczeniowych i podłoża PF3, PF4.

Przepisy francuskie zalecają stosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o uziarnieniu 0/14 lub 0/20. Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych są następujące:

- moduł określany w temperaturze 15^o C i częstotliwości 15 Hz powinien wynosić 9000 MPa,
- odkształcenie przy 1 000 000 obciążeń $\epsilon_6 = 90 \times 10^{-6}$,
- wolna przestrzeń $\leq 10\%$,
- zawartość asfaltu powyżej 6%, podbudowy odporne na erozję.

Wymagania niemieckie zalecają stosowanie betonów asfaltowych o uziarnieniu 0/22 oraz 0/32. Przykładowe parametry mieszanki mineralno-asfaltowej są następujące:

- zawartość ziaren powyżej 2 mm w przedziale 60-80%,
- ziaren mniejszych od 0,09 mm, 3-10%,
- stabilność wg Marshalla, $\geq 4 - 5$ kN,
- odkształcenie wg Marshalla, 1,5 do 4 mm,
- wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 4-10%,
- wskaźnik zagęszczenia w warstwie 97%.

5.9 **NAWIERZCHNIE KOSTKOWE, Z BETONU WCISKANEGO, Z PŁYT BETONOWYCH**

Duży postęp techniczny w produkcji materiałów betonowych oraz szeregu maszyn i urządzeń spowodował powszechne wykonywanie nawierzchni z betonu wibroprasowanego. Jednym z jego asortymentów jest betonowa kostka brukowa.

Stosowana jest do budowy nawierzchni drogowych, placów, parkingów, podjazdów, ciągów ruchu pieszego. Cechą atrakcyjną kostki jest duża ilość jej form i kształtów, duża trwałość, możliwość ponownego wbudowania po rozbiórce oraz znacznie mniejszy koszt w porównaniu z kamieniem naturalnym. Może być ona wykonywana z jednej lub dwu warstw betonu. W kostce dwuwarstwowej warstwa górna powinna mieć grubość minimum 5 mm i być silnie związana z warstwą dolną - konstrukcyjną. Betonowe kostki brukowe produkowane w technologii jednowarstwowej wykonywane są z jednego rodzaju betonu. Z tego też względu mogą być wytwarzane szybciej niż dwuwarstwowe. Ich wadą jest konieczność stosowania do produkcji mieszanek betonowych o znacznie wyższym punkcie piaskowym. Powoduje wzrost zużycia cementu. W tej technologii wzrasta zużycie barwnika, gdyż zachodzi konieczność barwienia całej masy betonu.

Kształt podstawowy kostki stanowi kwadrat, prostokąt lub sześciokąt. Istnieje także duża liczba innych form oraz kostek łącznikowych i półkowych. Powierzchnia użytkowa kostki może podlegać modelowaniu oraz barwieniu. Podstawowy kolor to szary. Barwienie kostki, pozwala uzyskać wiele kolorów i odcieni. Krawędzie powierzchni użytkowej mogą być sfazowane lub niesfazowane. Ścianki

boczne powinny zachować równoległość jak również posiadać frez zewnętrzny, który stanowi naturalną dylatację. Dobrze ułożona nawierzchnia z betonowych kostek brukowych jest równa i zapewnia właściwe odwodnienie. Jej trwałość eksploatacyjna sięga 40 - 50 lat.

Produkcja wymaga znajomości wielu istotnych cech technologicznych. Warunkiem uzyskania najwyższej jakości betonu wibroprasowanego jest jego prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie: przestrzeganie zasad technologii, wysoka jakość surowców wyjściowych, kontrola jakości wyrobów, utrzymywanie w bardzo dobrym stanie maszyn i urządzeń.

Wibroprasowanie jest jedną z najnowocześniejszych metod zagęszczania mieszanek betonowych. Pozwala na uzyskanie odpowiednio wysokiego stanu szczelności betonu przy zachowaniu możliwie najniższego współczynnika wodno-cementowego (odpowiadającego konsystencji wilgotnej mieszanki betonowej). Mieszanka betonowa poddana takim obciążeniom zagęszczającym zmniejsza swoją objętość w wyniku odprowadzenia z niej nadmiaru powietrza, a na jego miejsce wprowadzone zostają składniki stałe betonu. Metoda wibroprasowania jest połączeniem dwóch procesów zagęszczania mieszanki betonowej: wibrowania i prasowania. Proces wibroprasowania betonowej kostki brukowej składa się z dwóch faz: w pierwszej następuje tylko wibracja objętościowa, w drugiej fazie również wibracja objętościowa z jednoczesnym dociskiem aktywnym lub pasywnym. Dostosowanie częstotliwości oraz amplitudy drgań do danej maszyny pozwala na kontrolowane upłynnienie zaprawy oraz właściwe zagęszczenie mieszanki betonowej.

Ostateczny kształt kostki uzyskuje się z zastosowaniem odpowiednich form. Forma składa się zasadniczo z części dolnej - ramy formy, w której umieszczony jest wkład z gniazdami w kształcie formowanych elementów oraz części górnej, gdzie do sztywnej płyty mocowane są stopki stempli przez pionowe wsporniki. Stopki stempli w kształcie formowanych 15 elementów wchodzi w gniazda dolnej części formy. Jeśli stopki stempli są płaskie, wówczas otrzymujemy kostki o powierzchni górnej gładkiej, jeśli są natomiast odpowiednio uformowane, otrzymujemy kostki z fazami na górnej powierzchni.

Do produkcji betonowej kostki brukowej stosuje się materiały: cement portlandzki, krzemionkowy oraz żuźlowy wysokich klas, kruszywo drobne piaskowe o uziarnieniu 0 - 2 mm, kruszywo frakcjonowane żwirowo-otoczkowe i łamane, dodatki mineralne, domieszki chemiczne, pigmenty, wodę.

Do produkcji betonowej kostki brukowej stosuje się: cement portlandzki CEM I 42,5 i CEM I 52,5, cement portlandzki o wysokiej wytrzymałości wczesnej CEM I 42,5 R i CEM I 52,5 R, cement portlandzki krzemionkowy CEM II/A-D 42,5 i CEM II/A-D 52,5, cement portlandzki żuźlowy o wysokiej wytrzymałości wczesnej CEM II/A-S 42,5 R, cement portlandzki niskoalkaliczny CEM I 42,5 NA i CEM I 52,5 NA, cement portlandzki niskoalkaliczny o wysokiej wytrzymałości wczesnej CEM I 42,5 R NA. Wybór rodzaju cementu uzależniony jest od: warunków organizacyjno-technicznych producenta kostki, pory roku (warunków temperaturowych), kosztów transportu od producenta cementu, możliwości pozyskania odpowiednich dodatków mineralnych.

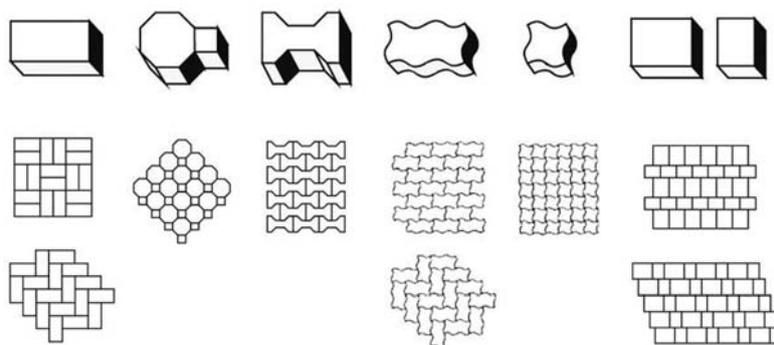
Do produkcji betonowej kostki brukowej należy stosować kruszywa płukane frakcjonowane, żwirowo-otoczkowe i łamane (lub ich mieszaniny) o uziarnieniu 2 - 8 mm i 2 - 16 mm. Kruszywa łamane produkowane są: ze skał magmowych (granity, porfiry, diabazy, bazalty), ze skał osadowych pochodzenia organogenicznego (wapienie i dolomity) oraz ze skał metamorficznych (kwarcyty, marmury).

Dodatki mineralne do produkcji kostek zapewniają m.in.: lepszą urabialność mieszanki betonowej, zwiększają odporność betonu na korozję chemiczną, zmniejszają porowatość stwardniałego betonu, zmniejszają nasiąkliwość, obniżają współczynnik filtracji.

Domieszki chemiczne wprowadza się w celu modyfikacji cech technologicznych mieszanki betonowej lub zaprawy przed jej związaniem, albo też w celu modyfikacji cech użytkowych stwardniałego betonu, zaprawy czy zaczynu. Domieszki oddziałują dyspergująco na cement, poprawiają zwilżalność oraz zdolność lepszego zagęszczenia. Stosowanie domieszek chemicznych ma również istotny wpływ na skrócenie czasu zagęszczania mieszanek betonowych, co korzystnie wpływa na żywotność urządzeń wibroprasujących.

Do barwienia betonu stosowane są pigmenty tlenkowe nieorganiczne w postaci proszków, wodnych zawiesin i granulatów. Barwienie polega na otoczeniu ziaren cementu i kruszywa pigmentem. Popularne pigmenty czerwone i inne pastelowe stanowią ok. 4% mas w stosunku do cementu, czarne 2-3%. Prawidłowe zaprojektowanie składu mieszanki betonowej polega na odpowiednim doborze podstawowych składników pod względem jakościowym i ilościowym, tak aby mieszanka betonowa oraz kostki betonowe posiadały wymagane właściwości [23]. Kostki ostatecznie sprawdza się pod względem: wyglądu zewnętrznego, kształtu i wymiarów, wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości, mrozoodporności, ścieralności.

Rynek stawia wysokie wymagania w zakresie urozmaicenia kolorystyki, wzornictwa, oraz estetyki. Obok tradycyjnej betonowej kostki brukowej oraz kilku podstawowych wzorów (Rys. 5.66) stosuje się różne kostki dekoracyjne, ekologiczne oraz antyczne (sztuczne postarzane przez piaskowanie i młotkowanie). Nazewnictwo nie jest zunifikowane i różnorodne w zależności od regionu i producentów.



Rys. 5.66. Różne formy i wzory kostki betonowej [3]

Układanie betonowej kostki brukowej wymaga: odpowiedniej wiedzy oraz sprzętu specjalistycznego, np. niwelatora, układarki i zagęszczarki wibracyjnej. Nawierzchnie z betonowej kostki brukowej, niezależnie od jej kształtu, wykonuje się z dostosowaniem robót do: miejsca przeznaczenia (nawierzchnia drogowa, zjazdu, podjazdu, zatoki przystankowe), charakteru podłoża (rodzaju gruntu rodzimego oraz podłoża sztucznego, np. wykonanej wcześniej zniszczonej posadzki hal przemysłowych), obciążeń jakie ma przenosić (ruch lekki i ciężki, pojazdy ogumione i nieogumione, ciągi pieszne).

Do typowych etapów wykonywania należą: roboty geodezyjno – pomiarowych związane z wytyczeniem punktów nawierzchni, korytowanie (ręczne lub mechaniczne), wyrównanie i

zagęszczenie, zastosowanie warstw wzmacniających podłoże i/lub separujących, zastosowanie wymaganych warstwy technologicznych:

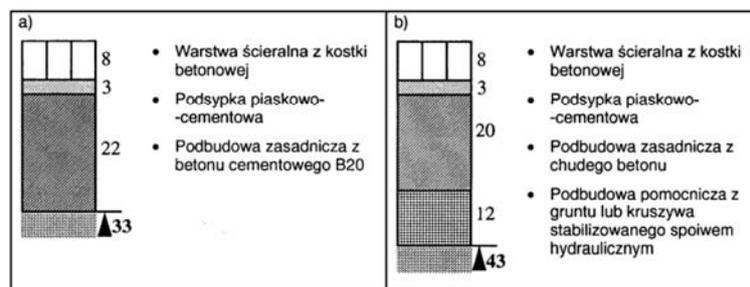
- warstwa podbudowy z betonu cementowego, chudego betonu, kruszywa, grubość 10 do 26 cm,
- podsypka piaskowa, piaskowo-cementowa, żwirowa, miał kamienny, grubość 3-4 cm,
- betonowa kostka brukowa o odpowiedniej grubości 4-10 cm.

Łączna grubość wszystkich warstw winna wynosić 26 - 51 cm, w zależności od przewidywanych obciążeń nawierzchni.

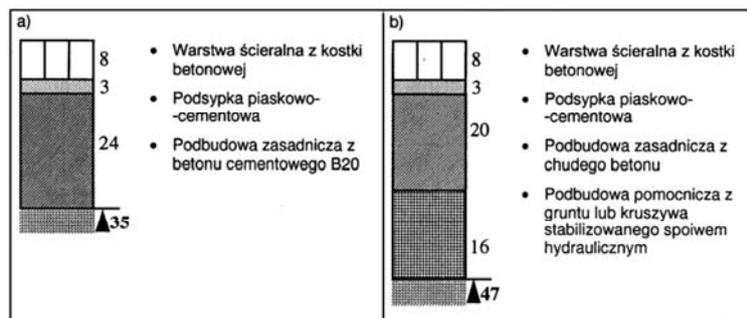
W zależności od przeznaczenia nawierzchni oraz ruchu, przyjmuje się minimalne grubość kostki:

- 4-6 cm w przypadku ruchu pieszego (np. na przydomowych chodnikach, tarasach),
- 8 cm w przypadku ruchu pieszego, rowerowego, samochodowego (KR3- KR5)
- 10 cm w przypadku najbardziej intensywnego obciążenia, np. na placach przemysłowych, przy ciągłym ruchu ciężkich pojazdów.

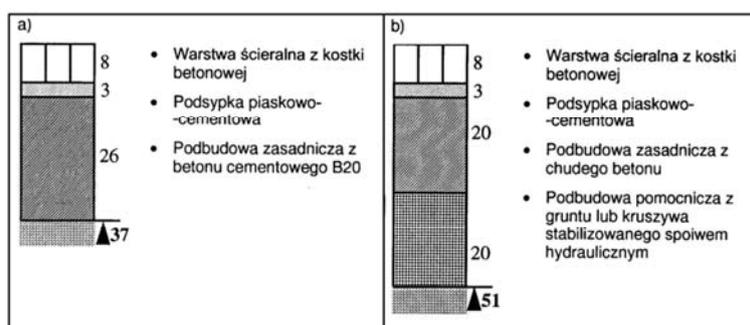
Na Rys. 5.67 – Rys. 5.77 [14] przedstawiono różne typy nawierzchni z kostki w zależności od ruchu.



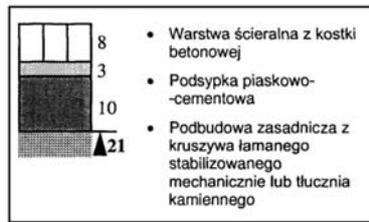
Rys. 5.67. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR3



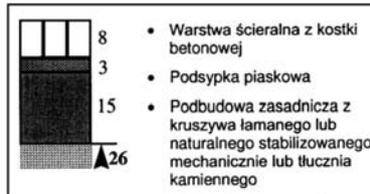
Rys. 5.68. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR4



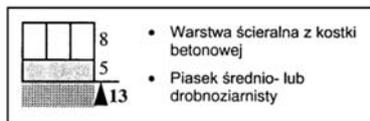
Rys. 5.69. Nawierzchnia w rejonie przystanku autobusowego - drogi o ruchu kategorii KR5



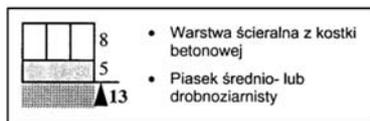
Rys. 5.70. Nawierzchnia jezdni dróg klasy L (lokalnych) i D (dojazdowych) w strefie zamieszkania



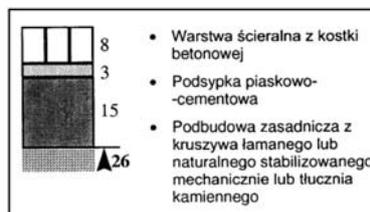
Rys. 5.71. Nawierzchnia chodnika z dopuszczeniem postoju samochodów o masie całkowitej < 2500 kg



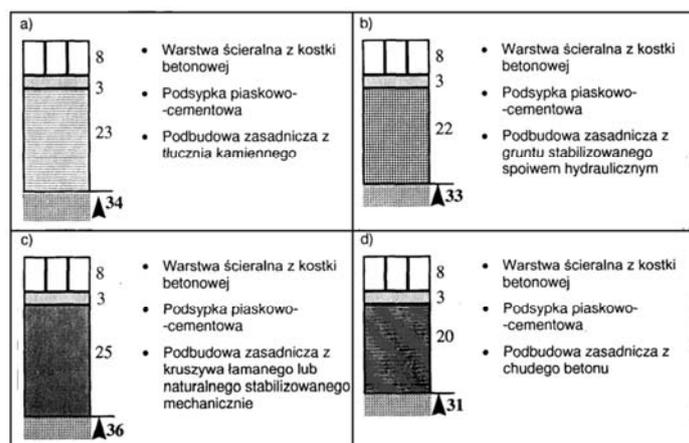
Rys. 5.72. Nawierzchnia chodnika wyłącznie dla ruchu pieszego



Rys. 5.73. Nawierzchnia ścieżek rowerowych



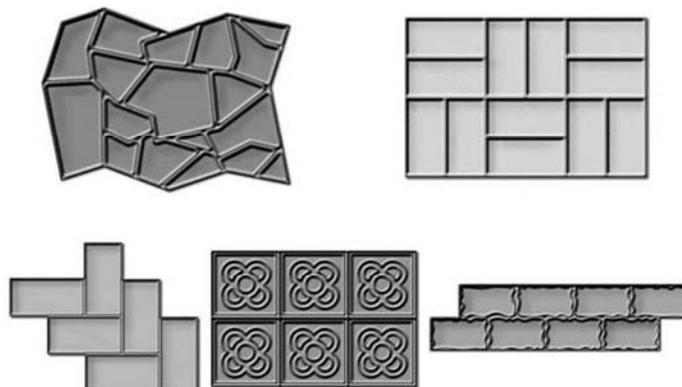
Rys. 5.74. Nawierzchnia przeznaczona do postoju pojazdów i jezdni manewrowej (m.in. na parkingu) dla samochodów o masie całkowitej < 2500 kg



Rys. 5.75. Nawierzchnia przeznaczona do postoju pojazdów i jezdni manewrowej (m.in. na parkingu) dla samochodów ciężarowych

Przez odpowiedni dobór wzoru ułożenia kostek można uzyskać wzrost nośności nawierzchni. Ulice, po których odbywa się ruch kołowy, powinny być wyłożone ukośnie do kierunku jazdy. Ułożenie kostek po przekątnej w stosunku do kierunku jazdy powoduje, że obciążenie rozkłada się równomiernie w czterech kierunkach, a siły poprzeczne i momenty obrotowe są skutecznie równoważone poprzez konstrukcję nawierzchni. Także hałas wytworzony przez toczenie się opon samochodowych jest wtedy niższy. Spoiny między kostkami wypełnia się drobnym piaskiem (0-2mm). Zagęszczenie przeprowadza się równomiernie na całej powierzchni, zawsze od brzegów do środka, a następnie wzdłuż, aż do uzyskania docelowego poziomu nawierzchni i stabilności poszczególnych elementów. Po zagęszczeniu wskazane jest uzupełnienie materiału wypełniającego szczeliny i usunięcie jego nadmiaru. Po uzupełnieniu szczelin i usunięciu nadmiaru piasku nawierzchnia nadaje się do użytkowania.

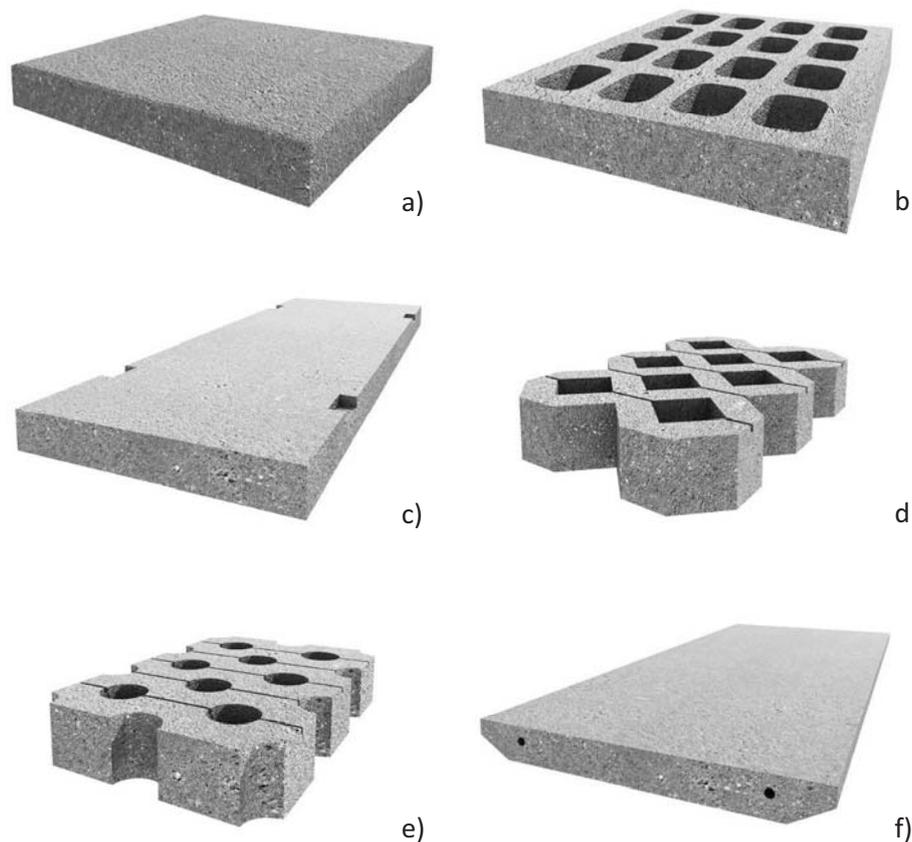
Jedną z najbardziej rozwijających się technik dekoracyjnych nawierzchni betonowych, jest tłoczenie betonu za pomocą form (Rys. 5.76). Efektem tego jest wykończenie wysokiej jakości, imitujące materiały takie jak; kamień, łupek, płytki kamienne, płytki ceramiczne, kostkę kamienną, drewno itp. Stosowane są jedynie na nawierzchnie dla ruchu pieszego.



Rys. 5.76. Matryce do betonu wyciskanego

Z uwagi na koszty, w budowie dróg tymczasowych i technologicznych oraz parkingów i chodników stosuje się płyty prefabrykowane. Najbardziej popularne są (Rys. 5.77):

- płyta chodnikowa – stosowana do nawierzchni chodników oraz placów (beton C20/25, typowe wymiary: 50x50x7 cm, 35x35x5 cm),
- płyta drogowa typu YOMB – stosowana do nawierzchni dróg dojazdowych na budowach oraz do budowy nawierzchni na placach składowych (obciążenie 30 i 40 kN, beton zbrojony C25/30, typowe wymiary: 100x75x12,5 cm),
- płyta drogowa żelbetowa – stosowana do nawierzchni tymczasowych dróg, jak również do utwardzenia placów magazynowych, parkingów itp. (obciążenie 50 i 80 kN, beton zbrojony C25/30, typowe wymiary: 300x100x15 cm, 300x100x18 cm, 300x150x15 cm, 300x150x18 cm),
- płyta MEBA – stosowana do nawierzchni tymczasowych dróg, jak również do utwardzenia placów magazynowych, parkingów itp. (beton C20/25, typowe wymiary: 60x40x10 cm),
- płyta parkingowa – stosowana do nawierzchni dla transportu lekkiego i średniego (samochody osobowe i dostawcze) (beton C20/25, typowe wymiary: 60x40x10 cm)
- płyta przejazdowa – stosowana do nawierzchni w sąsiedztwie torowisk szynowych - kolejowych, tramwajowych (beton zbrojony C30/37, typowe wymiary: 300x130x14 cm, 300x64x14 cm),



Rys. 5.77. Typowe prefabrykowane płyty prefabrykowane: a) płyta chodnikowa, b) płyta drogowa typu YOMB, c) płyta drogowa żelbetowa, d) płyta MEBA, e) płyta parkingowa, f) płyta przejazdowa

6 TECHNOLOGIE WZMACNIANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO. DOSTOSOWANIE DO „KATALOGU TYPOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI PODATNYCH I PÓLSZTYWNYCH” [18]

Ze względu na konieczność ujednoczenia wymagań stawianych podłożu gruntowemu w opracowywanych katalogach nawierzchni, w katalogu nawierzchni sztywnych zostaną przyjęte zapisy ustalone i opracowane dla katalogu nawierzchni podatnych [18] ze zmianami dotyczącymi klasyfikacji podłoża wg norm europejskich. Wprowadzony zostanie dodatkowy parametr – współczynnika reakcji podłoża opisujący model nawierzchni betonowej.

6.1 OKREŚLENIE WARUNKÓW GRUNTOWO-WODNYCH

6.1.1 WYMAGANIA OGÓLNE

Niniejszy rozdział dotyczy określania warunków gruntowo-wodnych podłoża gruntowego nawierzchni. Wymagania i badania związane z drogowymi robotami ziemnymi określają odrębne normy i dokumenty związane.

Warunki gruntowo-wodne do celów projektowania konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem Katalogu są scharakteryzowane poprzez określenie grupy nośności podłoża gruntowego Gi.

W celu określenia grupy nośności podłoża gruntowego należy ocenić podłoże pod względem warunków gruntowych oraz warunków wodnych do głębokości 3m od projektowanej niwelety drogi. Częstotliwość badań związanych z rozpoznaniem warunków gruntowo-wodnych powinna być zgodna z aktualnymi przepisami dotyczącymi rozpoznania podłoża gruntowego budowli drogowych. Zakres badań musi umożliwiać określenie grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni Gi zgodnie z wymaganiami Katalogu.

6.1.2 WARUNKI WODNE

Przyjęto trzystopniową klasyfikację warunków wodnych:

- warunki wodne dobre,
- warunki wodne przeciętne,
- warunki wodne złe.

Klasyfikację warunków wodnych w zależności od poziomu występowania swobodnego zwierciadła wody gruntowej oraz charakterystyki korpusu drogowego podano w Tab. 6.1. Przez wysokość nasypu i głębokość wykopu rozumie się w tym punkcie najmniejszą odległość pionową pomiędzy powierzchnią terenu a koroną drogi. Przez spód konstrukcji nawierzchni rozumie się powierzchnię warstwy ulepszanego podłoża, o ile występuje lub powierzchnię gruntu rodzimego w wykopie lub gruntu nasypowego w nasypie.

Poziom występowania wody gruntowej powinien być określony na podstawie dostępnych najwyższych notowań z ostatnich lat, uwarunkowanych największymi opadami atmosferycznymi oraz ich skutkami lub wysokimi stanami wód powierzchniowych (nie dotyczy powodzi).

W ustalaniu warunków wodnych należy również uwzględnić stwierdzone sączenia wody w wykopach. W takim przypadku należy przyjąć warunki wodne gorsze o jeden stopień niż te wynikające z ustalonego poziomu swobodnego zwierciadła wody gruntowej, wg Tab. 6.1.

Tab. 6.1 Klasyfikacja warunków wodnych podłoża konstrukcji nawierzchni

Lp.	Charakterystyka korpusu drogowego		Warunki wodne, gdy poziom swobodnego zwierciadła wody gruntowej występuje na głębokości poniżej spodu konstrukcji nawierzchni		
			< 1 m	1 + 2 m	> 2 m
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

6.1.3 WARUNKI GRUNTOWE

Warunki gruntowe należy ocenić pod względem wysadzinowości. Cechy gruntu powinny być ustalone na podstawie badań laboratoryjnych właściwości wymienionych w Tab. 6.2. W każdym przypadku należy określić uziarnienie gruntu, a na jego podstawie rodzaj gruntu i zawartość drobnych cząstek gruntu. Wskaźnik piaskowy stanowi dodatkowe kryterium oceny gruntów niespoistych, zwłaszcza zbliżonych do mało spoistych. Jeśli ocena na podstawie określenia rodzaju gruntu, zawartości drobnych cząstek i wskaźnika piaskowego jest rozbieżna to decyduje wynik najmniej korzystny.

Podział gruntów pod względem wysadzinowości podano w Tab. 6.2. W tabelicy podano nazwy gruntów zgodne z normami PN-EN ISO 14688-1/-2 oraz PN-EN 14689-1.

W przypadku, jeżeli podłoża konstrukcji nawierzchni mają stanowić grunty (materiały) antropogeniczne, niewymienione w podstawowej klasyfikacji gruntów, należy ocenić je indywidualnie pod względem wysadzinowości.

Tab. 6.2 Klasyfikacja grup gruntów podłoża gruntowego Gi

Właściwość	Grupa gruntów (*)		
	Niewysadzinowy	Wątpliwy	Wysadzinowy
Rodzaj gruntu	<p>Grunty kamieniste, gruboziarniste i drobnoziarniste, zawierające: f_i (*) < 2% oraz f_π < 10%</p> <p>dawniej stosowane nazwy i symbole (**): rumosz nienliniasty (KR), żwir (Ż), pospółka (Pn) niasek grubu (Pr) niasek średni (Pe) niasek drobnu (Pd) żużel nierozpadowy</p>	<p>Grunty kamieniste i gruboziarniste, zawierające: f_i > 2% oraz grunt drobnoziarnisty zawierający: f_i > 0% i f_i < 2 % f_π > 10% i f_π < 30% f_p > 68% i f_p < 90 %</p> <p>dawniej stosowane nazwy i symbole (**): niasek nielastu (Pπ) zwietrzalina nliniasta (KWg), rumosz nliniasty (KRg), żwir nliniasty (Żn) pospółka gliniasta (Pog)</p>	<p>Grunty mało wysadzinowe: grunty zawierające: f_i > 20 i f_i < 100 % f_π > 0 i f_π < 100% f_p > 0 i f_p < 80 %</p> <p>dawniej stosowane nazwy i symbole (**): glina niaszczwista zwięzła (Gpz), glina zwięzła (Gz) glina pylasta zwięzła (Giz), il (I) il niaszczwisty (Ip), il pylasty (Iπ)</p> <p>Grunty bardzo wysadzinowe: grunty zawierające: f_i > 2% i f_i < 20 % f_π > 0% i f_π < 100% f_p > 0% i f_p < 98% oraz grunty zawierające: f_i > 0% i f_i < 2 % f_π > 30% i f_π < 100% f_p > 68% i f_p < 100%</p> <p>dawniej stosowane nazwy i symbole (**): niasek nliniasty (Pn) nyl niaszczwisty (πn) nyl (π) glina niaszczwista (Gn) glina (G), glina pylasta (Gπ), il warwowy</p>
Zawartość cząstek wg PKN-CEN ISO/TS 17892-4, [%]			
< 0,063 mm	< 15	15 - 30	> 30
< 0,02 mm	< 3	3 - 10	> 10
Wskaźnik piaskowy SE4, wg PN-EN 933-8 (**), [%]	> 35	25 - 35	< 25

(*) Sposób wyznaczania poszczególnych frakcji oraz definicje rodzajów gruntów zamiera Załącznik XXXXX

(**) Rodzaj gruntu wg PN-B-02480

(***) Warunki badania przyjęt wg Załącznika A do normy PN-EN 933-8

6.1.4 USTALENIE GRUPY NOŚNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO NA ETAPIE PROJEKTOWANIA

Ustalenie grupy nośności podłoża gruntowego z zastosowaniem Katalogu wymaga określenia rodzaju i cech gruntu zalegającego do głębokości 1 m od zakładanego spodu konstrukcji nawierzchni. Jeżeli w tej strefie występują warstwy różnych gruntów o miąższości poniżej 1 m, to do projektowania należy przyjąć warunki gruntowe wynikające z rodzaju i cech gorszego gruntu. Przyjęto cztery grupy nośności podłoża gruntowego: G1, G2, G3 i G4. Zakresy właściwości charakteryzujących nośność podłoża gruntowego, odpowiadające poszczególnym grupom nośności podłoża Gi przedstawiono w Tab. 6.3

Tab. 6.3 Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego Gi

Grupa nośności podłoża gruntowego Gi	Wskaźnik nośności CBR [%]	Wtórny moduł odkształcenia E ₂ (*) [MPa]
G1	10 < CBR	80 < E ₂
G2	5 < CBR < 10	50 < E ₂ < 80
G3	3 < CBR < 5	35 < E ₂ < 50
G4	2 < CBR < 3	25 < E ₂ < 35

(*) badanie płytą statyczną w czasie robót zgodnie z normą PN-S-02205:1998

Na etapie projektowania określenie grupy nośności podłoża gruntowego Gi odbywa się na podstawie wskaźnika nośności CBR. Wtórny moduł odkształcenia E₂ wykorzystywany jest w czasie kontroli robót do weryfikacji założeń projektowych.

Pomiędzy wskaźnikiem nośności CBR i wtórnym modułem odkształcenia E₂ zachodzi następująca przybliżona zależność, pochodząca z badań brytyjskich.

$$E_2 = 17,6 (CBR)^{0,64} \text{ [MPa]}$$

gdzie: E₂ - wartość wtórnego modułu odkształcenia podłoża gruntowego [MPa],

CBR - wartość wskaźnika nośności CBR gruntu [%].

Powyższą zależność można stosować, jeżeli wskaźnik nośności CBR mieści się w przedziale od 2 do 12%. W Tab. 6.4 przedstawiono zestawienie, pozwalające ocenić grupę nośności podłoża gruntowego Gi na podstawie wysadzinowości gruntu i charakterystyki warunków wodnych.

W przypadku gruntów wątpliwych i wysadzinowych oraz zawsze w przypadku projektowania nawierzchni dla dróg kategorii ruchu KR5-KR7 grupę nośności Gi określoną według tablicy 8.4 należy porównać z grupą nośności Gi według Tab. 6.3 wyznaczoną na podstawie badania wskaźnika nośności CBR. Oznaczenie wskaźnika CBR należy przeprowadzić zgodnie z normą PN-S- 02205:1998 zał. A. Do projektowania należy przyjąć wynik mniej korzystny z oceny według Tab. 6.3 i Tab. 6.4.

Tab. 6.4 Grupy nośności podłoża gruntowego Gi w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych

L.p.	Rodzaj gruntu podłoża wg PN-B-02480	Grupa nośności podłoża nawierzchni Gi, gdy warunki wodne są		
		dobrze	przeciętne	złe
1.	Grunty niewysadzinowe	G1	G1	G1
2.	Grunty wątpliwe	G1	G2	G3
3.	Grunty mało wysadzinowe (*)	G2	G3	G4
4.	Grunty bardzo wysadzinowe (*)	G3	G4	G4

(*) w stanie bardzo zwartym, zwartym lub twaroplastycznym (IL \geq 0,25 lub I_c > 0,50 wg PN-EN ISO 14688- 2:2006/Ap1:2010 tablica 6); grunty w stanie miękkoplastycznym lub plastycznym wymagają

Jeżeli nie jest możliwe pobranie próbek do wykonania badania wskaźnika CBR, to za zgodą Zarządcy Drogi grupę nośności podłoża można określić jedynie w zależności od wysadzinowości gruntu i charakterystyki warunków wodnych na podstawie Tab. 6.4. W takiej sytuacji szczególnie istotna jest weryfikacja przyjętej grupy nośności G_i w czasie prowadzenia robót.

W przypadku dużej zmienności gruntów, występowania w podłożu gruntów spoiwystych w stanie miękkoplastycznym lub plastycznym, gruntów organicznych lub skał ocena nośności podłoża oraz zaprojektowanie dolnych warstw konstrukcji nawierzchni oraz warstwy ulepszonego podłoża wymaga indywidualnych studiów.

6.1.5 PROJEKTOWE PARAMETRY PODŁOŻA GRUNTOWEGO

Projektant jest zobowiązany do podania w projekcie następujących parametrów określających nośność podłoża gruntowego, przyjętych jako podstawa do projektowania konstrukcji nawierzchni:

- przyjętej grupy nośności podłoża,
- przyjętej projektowej wartości wskaźnika nośności CBR,
- przyjętej projektowej wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 ,
- przyjętej projektowej wartości współczynnika reakcji podłoża K .

Parametry te powinny być zweryfikowane w czasie budowy nawierzchni.

6.1.6 SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI PODŁOŻA W CZASIE ROBÓT

W czasie robót budowlanych, po odsłonięciu podłoża gruntowego w wykopach lub po uformowaniu nasypów, przed wykonaniem warstwy ulepszonego podłoża lub pierwszej warstwy konstrukcji nawierzchni, należy przeprowadzić badania kontrolne potwierdzające założenia dotyczące nośności podłoża, przyjęte w czasie projektowania. Ocenę nośności należy przeprowadzić poprzez określenie wtórnego modułu odkształcenia E_2 z badania płytą statyczną na powierzchni podłoża gruntowego i porównanie czy wyznaczona wartość odpowiada założonej grupie nośności podłoża, zgodnie z klasyfikacją podaną w Tab. 6.3.

Dopuszcza się zastosowanie innej metody określenia nośności podłoża gruntowego:

- użycie dynamicznej sondy stożkowej DCP w celu pośredniego wyznaczenia wartości CBR,
- badanie lekką płytą dynamiczną do pośredniego wyznaczenia wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 ,
- badanie ugięciomierzem FWD w celu pośredniego wyznaczenia wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 .

W przypadkach wątpliwych decyduje badanie płytą statyczną.

Moduł statyczny należy określać z poniższej zależności:

$$E_2 = 0,75pD/w.$$

gdzie: p - obciążenie płyty,

D – średnica płyty,

w – przemieszczenia płyty.

Badania ugięciomierzem FWD oraz lekką płytą dynamiczną powinny być wcześniej skalibrowane z badaniem płytą statyczną. W przypadku zastosowania dynamicznej sondy stożkowej

DCP można - do czasu opracowania polskiej instrukcji badania - wykorzystać następującą zależność określoną w przepisach brytyjskich:

$$\log_{10}(\text{CBR}) = 2,48 - 1,057 \cdot \log_{10} [\text{mm/uderzenie}]$$

gdzie: CBR - wartość wskaźnika nośności CBR [%]

mm/uderzenie - wartość wpędu w mm na jedno uderzenie bijaka sondy DCP

zakończony stożkiem o średnicy 20 mm i kącie 60°.

Współczynnik reakcji podłoża K wyznacza się na podstawie próbnego obciążenia przy użyciu płyty o średnicy $D = 0,762$ m. Płytę obciąża się takim obciążeniem ażeby uzyskać przemieszczenie równe $1,27 \times 10^{-6}$ m. Współczynnik reakcji podłoża oblicza się z zależności:

$$K = \frac{P}{s}$$

gdzie: K – współczynnik reakcji podłoża, MPa/m,

p – obciążenie, MPa, wywołujące przemieszczenie $s = 1,27 \times 10^{-6}$ m.

W przypadku stosowania do próbnych obciążeń innych płyt niż $D=0,762$ m, lecz o minimalnej średnicy $D=0,3$ m współczynnik reakcji podłoża oblicza się z zależności:

$$K = \frac{D_0}{D_{76}} K_0$$

gdzie: K – współczynnik reakcji podłoża oznaczany płytą 0,762 m,

D_0 – płyta badawcza,

$D_{76,2}$ – płyta o średnicy 0,762 m,

K_0 – współczynnik reakcji podłoża oznaczony płytą D_0 .

Zależność pomiędzy wtórnym modułem odkształcenia E_2 (MPa) a współczynnikiem reakcji podłoża k (MPa/m) opisuje wg [8.3] zależność:

$$K = \frac{E_2}{0,762(1 - \nu^2)}$$

Podana powyżej zależność odnosi się do przypadku gdy wykorzystujemy korelację bezpośrednią z badań modułów E_2 oraz współczynników reakcji podłoża K .

Grupa nośności podłoża określona w czasie robót z zastosowaniem Tab. 6.3 na podstawie badania wskaźnika nośności CBR lub wtórnego modułu odkształcenia nie może być niższa (bardziej niekorzystna) od przyjętej do projektowania konstrukcji nawierzchni i ulepszonych podłoża. Jeżeli badania kontrolne wykażą taki przypadek to należy przeprojektować dolne warstwy konstrukcji nawierzchni i warstwę ulepszonych podłoża gruntowego, z uwzględnieniem niższej nośności podłoża gruntowego albo wzmocnić podłoże gruntowe z zastosowaniem technologii zapewniającej uzyskanie przyjętej w projekcie wartości CBR i E_2 . Jeżeli badania kontrolne wykażą zwiększoną nośność podłoża gruntowego w stosunku do założeń projektowych, to nie należy wprowadzać żadnych zmian w projekcie.

6.2 WARSTWA ULEPSZONEGO PODŁOŻA I DOLNE WARSTWY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

6.2.1 ROLA ULEPSZONEGO PODŁOŻA I DOLNYCH WARSTW KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Dolne warstwy konstrukcji nawierzchni (warstwa mrozoochronna i warstwa podbudowy pomocniczej) oraz warstwa ulepszanego podłoża (o ile konieczna) zapewniają wymaganą nośność na poziomie spodu górnych warstw konstrukcji nawierzchni, mrozoodporność konstrukcji nawierzchni oraz odwodnienie wgłębne. Wymagany poziom nośności musi być zapewniony w czasie budowy drogi oraz w całym okresie eksploatacji nawierzchni.

Rolą ulepszanego podłoża i dolnych warstw konstrukcji nawierzchni jest:

W czasie budowy drogi - rozłożenie dużych naprężeń od ruchu technologicznego, ochrona przed powstaniem uszkodzeń na każdym etapie prac budowlanych oraz zapewnienie prawidłowego ułożenia i zagęszczenia górnych warstw nawierzchni.

W czasie eksploatacji nawierzchni - bezpieczne przejście dużej liczby powtarzalnych obciążeń od ruchu pojazdów oraz ochrona nawierzchni przed negatywnymi skutkami działania wody i mrozu.

Właściwe pełnienie roli przez ulepszone podłoże oraz dolne warstwy konstrukcji nawierzchni zależy od prawidłowego zaprojektowania i wykonania robót ziemnych oraz związanych z nimi elementów odwodnienia wgłębego i powierzchniowego, o ile są konieczne.

6.2.2 UKŁAD WARSTW

Górne warstwy konstrukcji nawierzchni mogą spoczywać na jednej lub kilku spośród następujących warstw:

- podbudowie pomocniczej,
- warstwie mrozoochronnej,
- warstwie odcinającej,
- warstwie ulepszanego podłoża.

Podbudowa pomocnicza, warstwa mrozoochronna i warstwa odcinająca tworzą dolne warstwy konstrukcji nawierzchni. Ulepszone podłoże gruntowe jest najwyższą częścią korpusu ziemnego, na której spoczywa konstrukcja nawierzchni.

Położenie poszczególnych warstw w obrębie dolnych warstw konstrukcji nawierzchni jest następujące:

podbudowa pomocnicza - najwyższa warstwa, położona bezpośrednio pod podbudową zasadniczą, warstwa mrozoochronna - położona pod podbudową pomocniczą lub, jeżeli podbudowa pomocnicza nie występuje, bezpośrednio pod podbudową zasadniczą; w przypadkach uzasadnionych złymi warunkami wodnymi pełni funkcję warstwy odsączającej.

warstwa odcinająca - najniższa warstwa, separująca w uzasadnionych przypadkach dolne warstwy konstrukcji nawierzchni, wykonane z materiału ziarnistego, od podłoża gruntowego. W przypadku wykonania ulepszanego podłoża z gruntu niewysadzinowego warstwa odcinająca, o ile występuje, jest umiejscowiona pod warstwą ulepszanego podłoża.

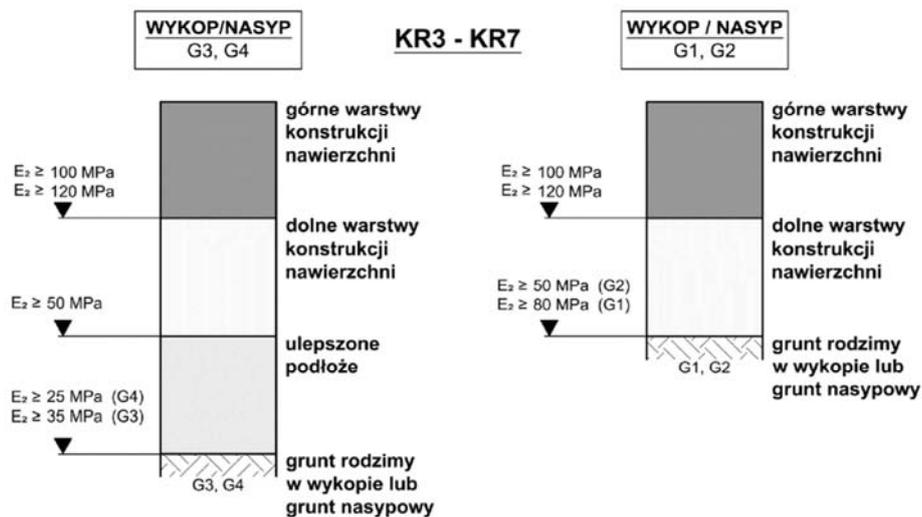
Schematy układu warstw konstrukcji nawierzchni przedstawiono w Tab. 4.1. Zadaniem Projektanta jest określenie potrzeby zastosowania poszczególnych warstw w istniejących warunkach lokalnych i przyjęcie odpowiedniego typowego rozwiązania spośród przedstawionych w niniejszym katalogu, zapewniającego osiągnięcie wymaganej nośności.

6.2.3 WYMAGANA NOŚNOŚĆ

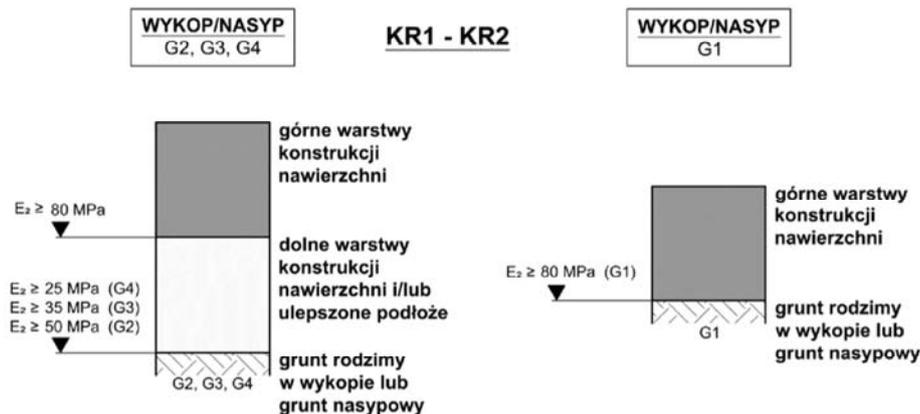
Nośność na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni określa wartość wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wyznaczonego na podstawie badania płytą statyczną. Wymaganie w zakresie nośności na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni jest uzależnione od kategorii ruchu, zgodnie z Tab. 6.5.

Tab. 6.5 Wymagania w zakresie nośności na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni w zależności od kategorii ruchu

Kategoria ruchu	Wymagana nośność na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni
KR 5 - 7	$E_2 > 120 \text{ MPa}$
KR 3 - 4	$E_2 > 100 \text{ MPa}$
KR 1 - 2	$E_2 > 80 \text{ MPa}$



Rys. 6.1 Schemat układu warstw konstrukcji nawierzchni dla kategorii ruchu KR3 - KR7 w wykopie i w nasypie oraz wymagane wartości wtórných modułów odkształcenia na powierzchni warstw



Rys. 6.2 Schemat układu warstw konstrukcji nawierzchni dla kategorii ruchu KR1 - KR2 w wykopie i w nasypie oraz wymagane wartości wtórnych modułów odkształcenia na powierzchni warstw

W przypadku kategorii ruchu od KR3 do KR7 przyjęto, że nośność podłoża gruntowego na poziomie spodu konstrukcji nawierzchni musi wynosić co najmniej 50 MPa. Jeżeli nośność podłoża jest mniejsza od $E_2 = 50$ MPa to należy wykonać warstwę ulepszonego podłoża. W przypadku kategorii ruchu KR3-KR4 dolne warstwy konstrukcji nawierzchni mają za zadanie zapewnić osiągnięcie nośności $E_2 > 100$ MPa, a w przypadku kategorii ruchu KR5-KR7 nośności $E_2 > 120$ MPa.

W przypadku kategorii ruchu KR1 lub KR2 warstwa ulepszonego podłoża oraz dolne warstwy konstrukcji nawierzchni, zaprojektowane łącznie, powinny zapewniać uzyskanie nośności 80 MPa.

6.2.4 WARSTWA ULEPSZONEGO PODŁOŻA

Zadaniem warstwy ulepszonego podłoża jest podniesienie nośności podłoża. Ponadto warstwa ulepszonego podłoża pełni funkcję warstwy mrozochronnej, a w złych warunkach wodnych warstwę odsączającą.

Warstwa ulepszonego podłoża może być wykonana w następujący sposób:

- jako warstwa gruntu rodzimego G3 lub G4 związanego spoiwem hydraulicznym, ulepszonego metodą mieszania na miejscu,
- jako warstwa z gruntu niewysadzinowego, naturalnego lub antropogenicznego, ułożonego na podłożu sklasyfikowanym jako G3 lub G4,
- jako warstwa z niewysadzinowego materiału antropogenicznego lub materiału z recyklingu, ułożonego na podłożu sklasyfikowanym jako G3 lub G4, zapewniającego osiągnięcie wymaganej nośności.

Warstwa ulepszonego podłoża musi być wykonana na całej szerokości korpusu ziemnego. Jeżeli warstwa ulepszonego podłoża pełni funkcję warstwy odsączającej to musi być wyprowadzona w nasypach na skarpę lub do drenażu podłużnego, a w wykopach do drenażu podłużnego lub na skarpę rowu co najmniej 20 cm powyżej jego dna.

Zadaniem warstwy mrozochronnej jest zapewnienie odporności konstrukcji nawierzchni na destrukcyjne działanie wody i mrozu (wyeliminowanie zagrożenia wysadzinami), a w złych warunkach wodnych odprowadzanie wód gruntowych. W złych warunkach wodnych warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej.

Warstwa mrozochronna może być wykonana z gruntu niewysadzinowego (GN), z mieszanki niezwiązanej (MN), z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH), z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym (MZSH). Warstwa mrozochronna musi być wykonana na całej szerokości korpusu ziemnego.

Jeżeli warstwa mrozochronna jest wykonana z materiału niezwiązanego to niezależnie od klasyfikacji warunków wodnych musi być wykonana na całej szerokości korpusu drogi ze spadkiem poprzecznym i podłużnym, zapewniającym skuteczne odprowadzanie wody. Warstwa mrozochronna z materiału niezwiązanego musi być wyprowadzona w nasypach na skarpę lub do drenażu podłużnego, a w wykopach do drenażu podłużnego lub na skarpę rowu co najmniej 20 cm powyżej jego dna. W przekroju ulicznym warstwa mrozochronna z materiału wodoprzepuszczalnego musi być wyprowadzona do drenu.

6.2.5 PODBUDOWA POMOCNICZA

Podstawowym zadaniem podbudowy pomocniczej jest zapewnienie wymaganej nośności na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni, określonej wartością wtórnego modułu odkształcenia, zgodnie z Tab. 6.5.

Materiałami do wykonania podbudowy pomocniczej mogą być mieszanki niezwiązane (MN), mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi (MZSH) i grunty stabilizowane spoiwami hydraulicznymi (GSSH).

6.2.6 WARSTWA ODSĄCZAJĄCA

Zadaniem warstwy odsączającej jest odprowadzenie wody opadowej lub gruntowej przedostającej się do konstrukcji nawierzchni. Funkcję odsączającą pełni warstwa mrozochronna lub warstwa ulepszanego podłoża jeżeli jest wykonana z materiału o odpowiedniej wodoprzepuszczalności.

W przypadku złych warunków wodnych (według Tab. 6.1) należy wykonać warstwę odsączającą, z gruntu niewysadzinowego (GN) lub mieszanki niezwiązanej (MN), spełniającą warunek dla współczynnika wodoprzepuszczalności $k > 8$ m/dobę. Warstwę odsączającą należy wykonać jeżeli: poziom wód gruntowych stale lub okresowo znajduje się bliżej niż 1 metr od spodu konstrukcji nawierzchni, występuje stały lub okresowy dopływ wody gruntowej do konstrukcji nawierzchni i jej podłoża.

Jeżeli nie jest możliwe zastosowanie warstwy odsączającej z gruntu niewysadzinowego (GN) lub mieszanki niezwiązanej (MN) o współczynniku wodoprzepuszczalności $k > 8$ m/dobę, to można zastosować rozwiązanie indywidualne z zastosowaniem geokompozytu drenażowego umożliwiającego szybkie odprowadzenie wody.

Warstwa odsączająca musi być wykonana na całej szerokości korpusu drogi ze spadkiem poprzecznym i podłużnym, zapewniającym skuteczne odprowadzanie wody. Warstwa odsączająca musi być wyprowadzona w nasypach na skarpę lub do drenażu podłużnego, a w wykopach do drenażu podłużnego lub na skarpę rowu co najmniej 20 cm powyżej jego dna. W przekroju ulicznym warstwa odsączająca musi być wyprowadzona do drenu.

6.2.7 WARSTWA ODCINAJACA

Zadaniem warstwy odcinającej jest separacja dolnych warstw konstrukcji nawierzchni lub warstwy ulepszonego podłoża, wykonanych z materiału niezwiązanego spoiwem, od gruntów drobnoziarnistych.

W przypadku wykonania warstwy mrozochronnej z materiału niezwiązanego spoiwem i ułożonej bezpośrednio na podłożu gruntowym lub warstwy ulepszonego podłoża z gruntu niezwiązanego, pomiędzy tą warstwą, a gruntem podłoża musi być spełniony warunek szczelności:

$$D_{15}/d_{85} \leq 5$$

gdzie:

D_{15} - wymiar sita przez które przechodzi 15% ziaren warstwy mrozochronnej lub warstwy ulepszonego podłoża,

d_{85} - wymiar sita przez które przechodzi 85% ziaren gruntu podłoża.

Jeżeli warunek szczelności, nie jest spełniony, konieczne jest wykonanie warstwy odcinającej między podłożem gruntowym, a warstwą mrozochronną lub warstwą ulepszonego podłoża. Zaleca się wykonywanie warstwy odcinającej z geotekstyliów (geowłókniny, geotkaniny) o właściwościach dobranych z uwzględnieniem właściwości stykających się materiałów.

W ekonomicznie uzasadnionych przypadkach dopuszcza się wykonanie warstwy odcinającej z odpowiednio uziarnionego piasku. W takim przypadku warunek szczelności musi być spełniony zarówno między materiałem użytym do warstwy odcinającej i podłożem gruntowym, jak również między tym materiałem i warstwą mrozochronną. Grubość warstwy odcinającej w omawianym przypadku wynosi minimum 10 cm.

6.2.8 TYPOWE ROZWIĄZANIA

Typowe rozwiązania obejmujące warstwę ulepszonego podłoża i dolne warstwy konstrukcji nawierzchni przedstawiono w Tab. 6.6 ($E_2 > 120$ MPa), w Tab. 6.7 ($E_2 > 100$ MPa) i w Tab. 6.8 ($E_2 > 80$ MPa). W każdej kolumnie tablic podano jeden typ konstrukcji. Ze względu na ujednoczenie technologii robót dla projektowanego odcinka drogi zaleca się przyjęcie jednego typu konstrukcji, który będzie obowiązywał dla wszystkich grup nośności podłoża.

W przypadku kategorii ruchu KR5-KR7, ze względu na potrzebę zapewnienia jak najlepszego odwodnienia w głębnego, wszystkie rozwiązania podane dla grup nośności podłoża od G2 do G4 zawierają warstwę mrozochronną z mieszanki niezwiązanej (MN) lub warstwę ulepszonego podłoża z gruntu niewysadzinowego (GN) -Tab. 6.6, typ od 1 do 4. Mieszanka niezwiązana do warstwy mrozochronnej i grunt niewysadzinowy do warstwy ulepszonego podłoża gruntowego musi charakteryzować się współczynnikiem wodoprzepuszczalności $k > 5$ m/dobę w dobrych i przeciętnych warunkach wodnych i $k > 8$ m/dobę w złych warunkach wodnych.

W złych warunkach wodnych ze względu na konieczność zastosowania warstwy odsączającej nie dopuszcza się do stosowania rozwiązań dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża typu 7 i 10 przedstawionych w Tab. 6.7 i Tab. 6.8.

Tab. 6.6 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonych podłoża dla kategorii ruchu KR 5-7 ($E_2 \geq 120 \text{ MPa}$)

		TYP 1	TYP 2	TYP 3	TYP 4
GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA	G4	<p>120 MPa PP 15 WM 20 WUP 25 WUP 40 25 MPa</p>	<p>120 MPa PP 20 WUP 40 25 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 WM 25 WUP 25 25 MPa</p>	<p>120 MPa PP 35 WUP 40 25 MPa</p>
	G3	<p>120 MPa PP 15 WM 20 WUP 20 35 MPa</p>	<p>120 MPa PP 20 WUP 25 35 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 WM 25 WUP 20 35 MPa</p>	<p>120 MPa PP 35 WUP 25 35 MPa</p>
	G2	<p>120 MPa PP 15 WM 20 WUP 20 50 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 WUP 20 50 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 WM 25 WUP 25 50 MPa</p>	<p>120 MPa PP 25 WUP 20 50 MPa</p>
	G1	<p>120 MPa PP 15 80 MPa</p>	<p>120 MPa PP 15 80 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 80 MPa</p>	<p>120 MPa PP 17 80 MPa</p>
LEGENDA:		<p> podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym (MZSH) wykonana wg p. 9.17-9.18, wymagania materiałowe wg p. 7.17-7.19 podbudowa pomocnicza z mieszanki niezwiązanej (MN) o CBR\geq60%, wykonana wg p. 9.17-9.18, wymagania materiałowe wg p. 7.16 i 7.19 warstwa mrozochronna z mieszanki niezwiązanej (MN) lub gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR\geq35% oraz k\geq5m/dobę wykonana wg p. 9.13-9.16, wymagania materiałowe wg p. 7.21 i 7.24; - w przypadku złych warunków wodnych warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o k \geq 28m/dobę warstwa ulepszona podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH) wykonana wg p. 9.10-9.12, wymagania materiałowe wg p. 7.26 warstwa ulepszona podłoża z gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR\geq20% pełniąc również rolę warstwy mrozochronnej o k\geq5m/dobę wykonana wg p. 9.10-9.12, wymagania materiałowe wg p. 7.27 - w przypadku złych warunków wodnych warstwa ulepszona podłoża pełni funkcję warstwy odsączającej o k \geq 28m/dobę </p>			

Tab. 6.7 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonych podłoża dla kategorii ruchu KR 3-4 ($E_2 \geq 100 \text{ MPa}$)

GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA		TYP 5	TYP 6	TYP 7 (nie dopuszcza się w złych warunkach wodnych)	TYP 8	TYP 9
G4	<p>100 MPa PP 15 50 MPa WM 20 25 MPa WUP 25</p>	<p>100 MPa PP 18 50 MPa WUP 40</p>	<p>100 MPa WM 22 50 MPa WUP 25</p>	<p>100 MPa WM 28 50 MPa WUP 25</p>	<p>100 MPa PP 24 50 MPa WUP 40 25 MPa</p>	
G3	<p>100 MPa PP 15 50 MPa WM 20 35 MPa WUP 20</p>	<p>100 MPa PP 18 50 MPa WUP 25 35 MPa</p>	<p>100 MPa WM 22 50 MPa WUP 20 35 MPa</p>	<p>100 MPa WM 28 50 MPa WUP 20 35 MPa</p>	<p>100 MPa PP 24 50 MPa WUP 25 35 MPa</p>	
G2	<p>100 MPa PP 15 50 MPa WM 20</p>	<p>100 MPa PP 18 50 MPa</p>	<p>100 MPa WM 22 50 MPa</p>	<p>100 MPa WM 28 50 MPa</p>	<p>100 MPa PP 24 50 MPa</p>	
G1	<p>100 MPa PP 15 80 MPa</p>	<p>100 MPa PP 15 80 MPa</p>	<p>100 MPa WM 18 80 MPa</p>	<p>100 MPa WM 22 60 MPa</p>	<p>100 MPa PP 15 80 MPa</p>	
LEGENDA:		<p> - podbudowa pomocnicza - warstwa mrozoodporna - warstwa ulepszona - podłoża - wymagany wlotowy moduł odkształcenia E_s </p> <p> podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym (MZSH) wykonana wg p. 9.17-9.18, wymagania materiałowe wg p. 7.17-7.19 podbudowa pomocnicza z mieszanki niezwiązanej (MN) o CBR $\geq 60\%$ wykonana wg p. 9.17-9.18, wymagania materiałowe wg p. 7.16 i 7.19 warstwa mrozoodporna z mieszanki niezwiązanej (MN) lub gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR $\geq 35\%$ oraz $k \geq 5 \text{ m/dobę}$ wykonana wg p. 9.13-9.16, wymagania materiałowe wg p. 7.21 i 7.24; - w przypadku złych warunków warstwa mrozoodporną pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$ warstwa mrozoodporną z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym (MZSH) lub gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH) wykonana wg p. 9.13-9.15, wymagania materiałowe wg p. 7.22-7.24 warstwa ulepszona podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH) wykonana wg p. 9.10-9.11, wymagania materiałowe wg p. 7.26 warstwa ulepszona podłoża z gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR $\geq 20\%$ wykonana wg p. 9.10-9.12, wymagania materiałowe wg p. 7.27 - w przypadku złych warunków warstwa mrozoodporną pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$ </p>				

Tab. 6.8 Typowe rozwiązania konstrukcji warstw dolnych i ulepszonego podłoża dla kategorii ruchu KR 1-2 ($E_2 \geq 80 \text{ MPa}$)

GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA		TYP 10	TYP 11	TYP 12	TYP 13	TYP 14
G4	(nie dopuszcza się w złych warunkach wodnych)	<p>WM 30 80 MPa WUP 25 MPa</p>	<p>WM 20 80 MPa WUP 25 25 MPa</p>	<p>WM 22 80 MPa WUP 24 25 MPa</p>	<p>WM 55 80 MPa WUP 25 MPa</p>	<p>WUP 65 80 MPa WUP 25 MPa</p>
G3		<p>WM 22 80 MPa WUP 35 MPa</p>	<p>WM 15 80 MPa WUP 22 35 MPa</p>	<p>WM 22 80 MPa WUP 15 35 MPa</p>	<p>WM 40 80 MPa WUP 25 MPa</p>	<p>WUP 45 80 MPa WUP 25 MPa</p>
G2		<p>WM 15 80 MPa WUP 50 MPa</p>	<p>WM 15 80 MPa WUP 50 MPa</p>	<p>WM 22 80 MPa WUP 50 MPa</p>	<p>WM 22 80 MPa WUP 50 MPa</p>	<p>WUP 25 80 MPa WUP 50 MPa</p>
G1		nie stosuje się	nie stosuje się	nie stosuje się	nie stosuje się	nie stosuje się

LEGENDA:

- PP - podbudowa pomocnicza
- WM - warstwa mrozochronna
- WUP - warstwa ulepszonego podłoża
- - wymagany wórnny modul odkształcenia E_2

warstwa mrozochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym (MZSH) lub gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH) wykonana wg p. 9.13-9.15, wymagania materiałowe wg p. 7.22-7.24
 warstwa mrozochronna z gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR $\geq 25\%$ i $k \geq 5 \text{ m/dobę}$ wykonana wg p. 9.13-9.16, wymagania materiałowe wg p. 7.25;
 - w przypadku złych warunków warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$
 warstwa ulepszonego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym (GSSH) wykonana wg p. 9.10-9.11, wymagania materiałowe wg p. 7.26
 warstwa ulepszonego podłoża z gruntu niewysadzinowego (GN) o CBR $\geq 20\%$ i $k \geq 5 \text{ m/dobę}$ wykonana wg p. 9.10-9.12, wymagania materiałowe wg p. 7.27
 - w przypadku złych warunków warstwa mrozochronna pełni funkcję warstwy odsączającej o $k \geq 8 \text{ m/dobę}$

6.2.9 WZMOCNIENIE GEOSYNTETYKAMI

W przypadku tych typów konstrukcji, w których warstwa lub warstwy z mieszanki niezwiązanej (MN) lub gruntu niewysadzinowego (GN) nie spoczywają na warstwie związanej spoiwem hydraulicznym można zastosować wzmocnienie geosyntetykami w celu zmniejszenia grubości tych warstw. Zastosowanie geosyntetyków może okazać się ekonomiczne w przypadku grubych warstw wykonanych z mieszanki niezwiązanej lub z gruntu niewysadzinowego oraz podłoża gruntowego grupy nośności G3 i G4.

Wzmocnienie geosyntetykami i wynikającą z niego redukcję grubości warstwy (warstw) z mieszanki niezwiązanej lub z gruntu niewysadzinowego należy projektować indywidualnie z zastosowaniem metod przeznaczonych do analizy przy założeniu małych odkształceń warstw dolnych konstrukcji nawierzchni. Nie dopuszcza się stosowania metod opracowanych i przeznaczonych dla sytuacji, w których zakłada się powstanie znacznego odkształcenia (koleiny) na powierzchni warstwy wzmocnianej geosyntetykiem.

6.2.10 SPRAWDZENIE WYMAGANEJ MROZODPORNOŚCI NAWIERZCHNI

W przypadku występowania w podłożu gruntów wysadzinowych lub wątpliwych należy sprawdzić, czy rzeczywista łączna grubość wszystkich warstw nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża wynikająca z rozwiązań konstrukcyjnych nie jest mniejsza od określonej z zastosowaniem Tab. 6.9. W tabelicy tej h_z oznacza głębokość przemarzania gruntów w rejonie projektowanej drogi. Głębokość przemarzania gruntu h_z w rejonie projektowanej drogi należy przyjmować na podstawie mapy Polski przedstawionej na Rys. 6.3.

Tab. 6.9 Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i ulepszonego podłoża ze względu na mrozoodporność

Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych		
	G1 i 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
KR6i KR7	0,65 h_z	0,75 h_z	0,85 h_z

Jeżeli rzeczywista łączna grubość wszystkich warstw nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża jest mniejsza od grubości ustalonej z zastosowaniem Tab. 6.9, to należy pogrubić najniższą warstwę konstrukcji nawierzchni lub warstwę ulepszonego podłoża tak, aby warunek został spełniony. Jeżeli najniższą warstwą jest podbudowa pomocnicza należy rozważyć wprowadzenie warstwy mrozoochronnej. Dodatkowo wprowadzona warstwa mrozoochronna nie powinna jednak mieć grubości mniejszej od 15 cm.



Rys. 6.3 Głębokość przemarzania gruntu h_z wg PN-81/B-03020

6.2.11 POSTĘPOWANIE W PRZYPADKU PODŁOŻA GRUNTOWEGO Z GRUNTÓW NIEŚCIŚLIWYCH O CBR < 2%

W przypadku występowania w podłożu nawierzchni gruntów nieściśliwych o wskaźniku CBR < 2% ($E_2 < 25$ MPa) wzmocnienie podłoża i nawierzchnię należy projektować indywidualnie. Wynika to z dużego wpływu rodzaju słabego gruntu i jego miąższości oraz umiejscowienia słabej warstwy w podłożu na nośność podłoża oraz zagrożenie ewentualnymi osiadaniem nawierzchni.

W takim przypadku w indywidualnej ocenie można rozważyć następujące rozwiązania:

- wymianę gruntu podłoża na grunt (materiał) niewysadzinowy o większej nośności,
- głęboką stabilizację gruntu podłoża spoiwem hydraulicznym,
- wzmocnienie podłoża poprzez ułożenie warstwy z mieszanki niezwiązanej zbrojonej warstwą lub warstwami geosyntetyków,
- wzmocnienie głębokie poprzez stosowanie kolumn, pali itp.

6.2.12 POSTĘPOWANIE W PRZYPADKU GRUNTÓW ORGANICZNYCH I ŚCIŚLIWYCH W PODŁOŻU

W przypadku występowania w podłożu gruntów organicznych lub ściśliwych, w celu zapewnienia wymaganych warunków pracy konstrukcji nawierzchni, przeciwdziałania jej spękanom i deformacjom, należy w zależności od warunków miejscowych wykonać wzmocnienie wgłębne słabego podłoża (na przykład zastosowanie kolumn, pali, wymiana gruntu i inne metody) albo wzmocnienie powierzchniowe przy użyciu geomateracy.

Podstawowym kryterium oceny efektywności projektowanego wzmocnienia wgłębne lub powierzchniowe przy użyciu geomateracy z uwzględnieniem mechaniki pracy konstrukcji nawierzchni jest przeciwdziałanie nierównomiernym osiadaniom podłoża pod konstrukcją nawierzchni w przekroju poprzecznym i podłużnym. Nierównomierność osiadań podłoża nawierzchni na odcinkach niezabudowanych, poza skrzyżowaniami i pomiędzy obiektami mostowymi nie może przekroczyć 0,3%, czyli 3 cm na 10 m w kierunku poprzecznym i podłużnym. Bezpośrednio przy przyczółkach osiadanie podłoża pod konstrukcją nawierzchni powinno być równe przewidywanemu osiadaniu przyczółka obiektu.

Oprócz nierównomierności osiadań należy sprawdzić wielkość osiadań całkowitych. Na odcinkach zamiejskich, poza skrzyżowaniami wielkość osiadań całkowitych nawierzchni w okresie 5 lat po wykonaniu nasypu nie powinna przekraczać 20 cm. W indywidualnych przypadkach wartość ta może być zmniejszona lub zwiększona przez Projektanta z uwzględnieniem uwarunkowań miejscowych.

Na drogach i ulicach w terenie zabudowanym należy przeprowadzić indywidualne analizy efektywności projektowanego wzmocnienia wgłębne lub powierzchniowe przy użyciu geomateracy.

6.2.13 KONTROLA W CZASIE ROBÓT

W czasie robót oraz po ich wykonaniu należy przeprowadzić badania kontrolne potwierdzające uzyskanie zakładanej nośności na powierzchni warstw dolnych konstrukcji nawierzchni.

Materiały użyte do wykonania warstw dolnych konstrukcji nawierzchni i ulepszonych podłoża muszą spełniać minimalne wymagania materiałowe określone w pkt. 5.5

W przypadku kiedy warstwa, na której będzie spoczywać podbudowa zasadnicza jest wykonana z mieszanki niezwiązanej, z gruntu niewysadzinowego lub z materiałów z recyklingu niezwiązanych spoiwem hydraulicznym, na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni należy określić wtórny moduł odkształcenia E_2 z badania płytą statyczną. Dopuszcza się również inne metody określania nośności np. badanie ugięciomierzem FWD lub badanie lekką płytą dynamiczną pod warunkiem wcześniejszego skalibrowania uzyskiwanych wyników z badaniem płytą statyczną.

W przypadku kiedy najwyższa spośród warstw dolnych nawierzchni jest wykonana z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym akceptacja warstw dolnych konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża pod względem nośności odbywa się na podstawie wyników badań, potwierdzających spełnienie minimalnych wymagań materiałowych. W takim przypadku najważniejszymi kryteriami oceny jest zgodność wytrzymałości warstwy na ściskanie i grubości warstwy z określonymi w projekcie.

7 DOSTOSOWANIE KONSTRUKCJI KATALOGOWYCH DO ZWIĘKSZONEGO OBCIĄŻENIA RUCHEM. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW WAŻENIA POJAZDÓW NA STACJACH ZAINSTALOWANYCH NA NAWIERZCHNIACH BETONOWYCH.

7.1 KLASYFIKACJA POJAZDÓW CIĘŻKICH

Już w 1970 roku ukazała się dyrektywa Rady 70/156/EWG [11][11] w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich, odnosząca się do homologacji pojazdów silnikowych i ich przyczep. Była ona wielokrotnie nowelizowana, by przyjąć ostatecznie postać opublikowaną w grudniu 2001 roku w dyrektywie 2001/116/WE [10]. W dyrektywie tej, rozróżnia się następujące podstawowe kategorie pojazdów:

- I. Kategoria M: Pojazdy silnikowe mające co najmniej cztery koła oraz zaprojektowane i zbudowane do przewozu pasażerów:
 - I.1. Kat. M1: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu pasażerów, mające nie więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy.
 - I.2. Kat. M2: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu pasażerów, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy, i których maksymalna masa nie przekracza 5 ton.
 - I.3. Kat. M3: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu pasażerów, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy i których maksymalna masa wynosi ponad 5 ton.
- II. Kategoria N: Pojazdy silnikowe mające przynajmniej cztery koła, zaprojektowane i zbudowane do przewozu towarów.
 - II.1. Kat. N1: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu towarów, których maksymalna masa nie przekracza 3,5 tony.
 - II.2. Kat. N2: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu towarów, których maksymalna masa wynosi ponad 3,5 tony, ale jest mniejsza niż 12 t.
 - II.3. Kat. N3: Pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu towarów, których maksymalna masa wynosi ponad 12 ton.
- III. Kategoria O: Przyczepy (w tym naczepy).
 - III.1. Kat. O1: Przyczepy o masie maksymalnej nieprzekraczającej 0,75 tony
 - III.2. Kat. O2: Przyczepy o masie maksymalnej wynoszącej ponad 0,75 tony, ale nieprzekraczającej 3,5 tony.
 - III.3. Kat. O3: Przyczepy o masie maksymalnej wynoszącej ponad 3,5 tony, ale nieprzekraczającej 10 ton.
 - III.4. Kat. O4: Przyczepy o masie maksymalnej ponad 10 ton.

Klasyfikacja pojazdów podana w obowiązujących PN obejmuje następujące kategorie pojazdów:

- I. Kategoria L: Pojazdy jednośladowe i trójkołowe:
- II. Kategoria M: pojazdy samochodowe przeznaczone do przewozu osób (samochody osobowe, mikrobusy i autobusy); autobusy dzielą się z kolei na:
 - II.1. Kat. M2: autobusy o całkowitej masie maks. nieprzekraczającej 5 ton:
 - II.1.1. M2(0) – mikrobusy,
 - II.1.2. M2(I) – autobusy miejskie,
 - II.1.3. M2(II) – autobusy międzymiastowe,

II.1.4. M2(III) – autobusy turystyczne.

II.2. Kat. M3: autobusy o całkowitej masie maks. powyżej 5 ton:

II.2.1. M3(I) – autobusy miejskie,

II.2.2. M3(II) – autobusy międzymiastowe,

II.2.3. M3(III) – autobusy turystyczne.

III. Kategoria N: pojazdy samochodowe ciężarowe, zespoły pojazdów i ciągniki siodłowe, które dzielą się z kolei na:

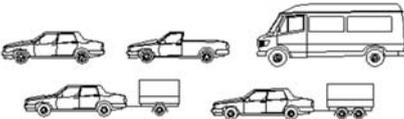
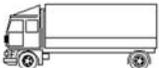
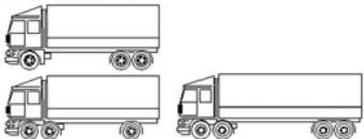
III.1. Kat. N1: pojazdy ciężarowe o całkowitej masie maks. nieprzekraczającej 3,5 tony,

III.2. Kat. N1: pojazdy ciężarowe o całkowitej masie maks. większej niż 3,5 tony, ale nie przekraczającej 12 ton,

III.3. Kat. N3: pojazdy ciężarowe o całkowitej masie maks. większej niż 12 ton.

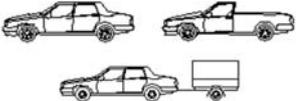
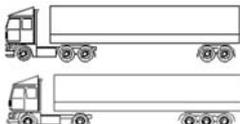
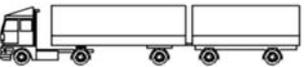
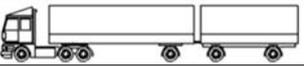
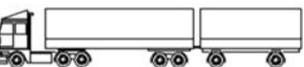
Z kolei europejska specyfikacja dotycząca pomiarów pojazdów w ruchu (COST 323, [1]), podaje klasyfikację pojazdów obejmującą 8 kategorii, wśród których można wyróżnić 5 kategorii pojazdów ciężarowych i jedną autobusów (Tab. 7.1).

Tab. 7.1. Klasyfikacja pojazdów zgodna z COST 323 [1].

Kategoria	Sylwetka pojazdu	Opis
1		samochody osobowe, sam. osobowe z lekkimi przyczepami i samochody dostawcze o masie <3,5 t
2		samochody ciężarowe 2-osiowe
3		samochody ciężarowe 3-osiowe samochody ciężarowe 4-osiowe
4		ciągniki siodłowe 2 i 3-osiowe z naczepami 1 i 2-osiowymi
5		ciągniki siodłowe z naczepami 3-osiowymi
6		samochody ciężarowe z przyczepami
7		autobusy
8		inne pojazdy

Klasyfikację pojazdów zgodną z zaleceniami FHWA (Federal Highway Administration) przedstawiono w Tab. 7.2. W klasyfikacji tej rozróżnia się pojazdy ciężarowe o różnej liczbie osi i konfiguracji kół, lecz obejmuje również pojazdy nie spotykane na drogach w Polsce i Europie (klasa 11-13), z uwagi na brak możliwości uzyskania ich homologacji [10].

Tab. 7.2. Klasyfikacja pojazdów zgodna z FHWA

Klasa	Sylwetka	Opis
1		Motocykle
2		Samochody osobowe, samochody osobowe z przyczepami
3		Pozostałe samochody osobowe i dostawcze, dwuosiove z kołami pojedynczymi
4		Autobusy
5		Samochody ciężarowe 2-osiowe z osią o kołach bliźniaczych
6		Samochody ciężarowe 3-osiowe
7		Samochody ciężarowe 4-osiowe, lub o większej liczbie osi
8		Pojazdy członowe 3 i 4-osiowe
9		Pojazdy członowe 5-osiowe
10		Pojazdy członowe 6-osiowe, lub o większej liczbie osi
11		Pojazdy członowe o 3 lub większej liczbie jednostek, 4 lub 5-osiowe
12		Pojazdy członowe o 3 lub większej liczbie jednostek, 6-osiowe
13		Pojazdy członowe o 3 lub większej liczbie jednostek, 7-osiowe lub o większej liczbie osi

Klasyfikacja pojazdów stosowana w Polsce przy pomiarach ruchu obejmuje siedem kategorii (GPR):

- motocykle,
- samochody osobowe,
- lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze),
- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami,
- autobusy,
- ciągniki rolnicze.

Przy wymiarowaniu konstrukcji nawierzchni, z tej klasyfikacji uwzględnia się tylko trzy kategorie pojazdów: samochody ciężarowe bez przyczep, samochody ciężarowe z przyczepami, autobusy (tab. 7.3).

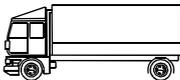
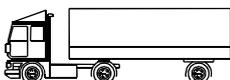
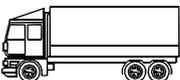
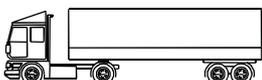
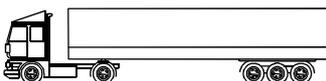
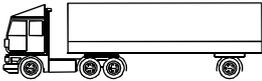
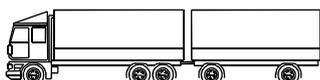
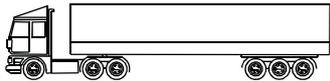
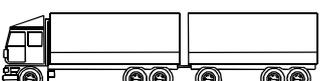
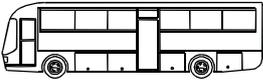
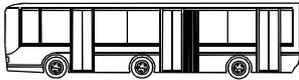
Podane powyżej klasyfikacje pojazdów oparte są głównie na cechach użytkowych pojazdów lub masie całkowitej, które to cechy nie są jednak decydujące przy ocenie oddziaływania pojazdów na nawierzchnie. O agresywności oddziaływania pojazdu, decyduje głównie konfiguracja osi w pojeździe oraz wielkość i rozkład występujących nacisków osi.

Tab. 7.3. Klasyfikacja pojazdów zgodna z obowiązującymi w Polsce Katalogami.

Opis	Sylwetka pojazdu
Samochody ciężarowe bez przyczep	
Samochody ciężarowe z przyczepami	
Autobusy	

Dlatego też ważne jest, aby w wymiarowaniu konstrukcji nawierzchni posługiwać się klasyfikacją opartą właśnie o te cechy. Klasyfikacja, w której podstawą podziału pojazdów na kategorię jest liczba osi w pojeździe i ich konfiguracja, została przedstawiona w Tab. 7.4 i obejmuje ona praktycznie wszystkie typowe sylwetki pojazdów ciężkich występujące na drogach w Polsce (w klasyfikacji tej nie ujęto pojazdów specjalnych, lecz ich udział w ruchu jest marginalny).

Tab. 7.4. Klasyfikacja sylwetek pojazdów ciężarowych.

Rodzaj pojazdu	Symbol	Sylwetka	Rodzaj pojazdu	Symbol	Sylwetka
Pojazdy pojedyncze	2P		Pojazdy członowe (ciągniki siodłowe)	2C+1N	
	3P			2C+2N	
	4P			2C+3N	
Zespoły pojazdów (pojazd silnikowy + przyczepa)	2P+2P			3C+1N	
	2P+3P			3C+2N	
	3P+2P			3C+3N	
	3P+3P				
Autobusy	2A		Autobusy	3A	

W trakcie prowadzonych prac nad aktualizacją Katalogu Typowych Konstrukcji [18] nawierzchni zaproponowano również klasyfikację pojazdów zbliżoną do zaproponowanej powyżej i obejmującą kategorie:

- samochody ciężarowe pojedyncze,
- samochody ciężarowe z przyczepą,
- ciągniki siodłowe z naczepą,
- autobusy,

oraz typy:

- 11, 12, 22 - samochody ciężarowy pojedyncze,
- 111, 112, 1111, 1112, 122, 1211, 1212 - samochody ciężarowe z przyczepą,
- 111, 112, 113, 121, 122, 123 - ciągniki siodłowe z naczepą,
- 11, 12, 111 - autobusy.

Klasyfikacja ta, wyszczególnia praktycznie te same sylwetki pojazdów, co klasyfikacja przedstawiona w Tab. 7.4, (dodatkowo wśród samochodów ciężarowych z przyczepą sklasyfikowano sylwetkę 111, a wśród autobusów sylwetkę 12), jednak przyjęte oznaczenia utrudniają jednoznaczne określenie sylwetki - np. 111, czy 112 występuje zarówno w przypadku samochodów ciężarowych z przyczepą, jak i ciągników siodłowych z naczepą.

7.2 STRUKTURA RODZAJOWA POJAZDÓW CIĘŻKICH

Obecnie, najwięcej informacji nt. występującej struktury rodzajowej pojazdów można uzyskać z Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR). Generalny Pomiar Ruchu w 2010 roku (GPR 2010) został wykonany na istniejącej sieci dróg krajowych (z wyjątkiem tych odcinków, dla których zarządcami są prezydenci miast na prawach powiatu) w 1793 punktach pomiarowych. W czasie pomiaru rejestracji podlegają wszystkie pojazdy silnikowe korzystające z dróg publicznych (w podziale na 7 kategorii):

- motocykle,
- samochody osobowe,
- lekkie samochody ciężarowe (dostawcze)
- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami,
- autobusy,
- ciągniki rolnicze,
- rowery.

Jednak manualny sposób prowadzenia rejestracji i ocena wizualna sylwetek pojazdów sprawia, że wyniki GPR wymagają weryfikacji i uzupełnienia poprzez wykorzystanie informacji uzyskiwanych ze stacji ważenia pojazdów. W opracowaniu wykorzystano wyniki pomiarów mas całkowitych i nacisków osi pojazdów ciężkich, prowadzonych na drogach krajowych w Polsce, w latach 2000-2012, w następujących punktach pomiarowych:

- droga nr 11, miejscowość: Byczyna,
- A-2, Węzeł Emilia,
- Wrocław, al. Karkonoska,
- Wrocław, al. Sobieskiego
- droga nr 3, miejscowości: Kłobuczyn, Kochlice, Paszowice,
- droga nr 8, miejscowości: Smardzów, Cieszyce, Jordanów,
- droga nr 35, miejscowość: Tworzyjanów,
- droga nr 46, miejscowości: Kłodzko, Złoty Stok,
- A-4, miejscowości: Nowa Wieś Legnicka, Kąty Wrocławskie, Bielany Wrocławskie.

7.2.1 GENERALNY POMIAR RUCHU

Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich zarejestrowana w trakcie pomiarów GPR na drogach krajowych została przedstawiona w Tab. 7.5.

Tab. 7.5. Struktura ruchu na drogach krajowych – GPR 1990 – 2010.

Kategorie pojazdów	Struktura rodzajowa, [%]				
	1990	1995	2000	2005	2010
Motocykle	2,9	0,5	0,2	0,2	0,4
Samochody osobowe	55,8	71,2	70,4	70,2	69,9
Samochody dostawcze	14,3	10,5	11,4	10	9,5
Samochody ciężarowe bez przyczep	11,2	6,9	6,1	5,4	4,3
Samochody ciężarowe z przyczepami	8,9	7,8	10	12,7	14,8
Autobusy	4,3	2,5	1,7	1,4	0,9
Ciągniki rolnicze	2,6	0,6	0,3	0,2	0,1
Ogółem	100	100	100	100	100

7.2.2 BADANIA RUCHU – PRACE NAD AKTUALIZACJĄ KTKNPIP

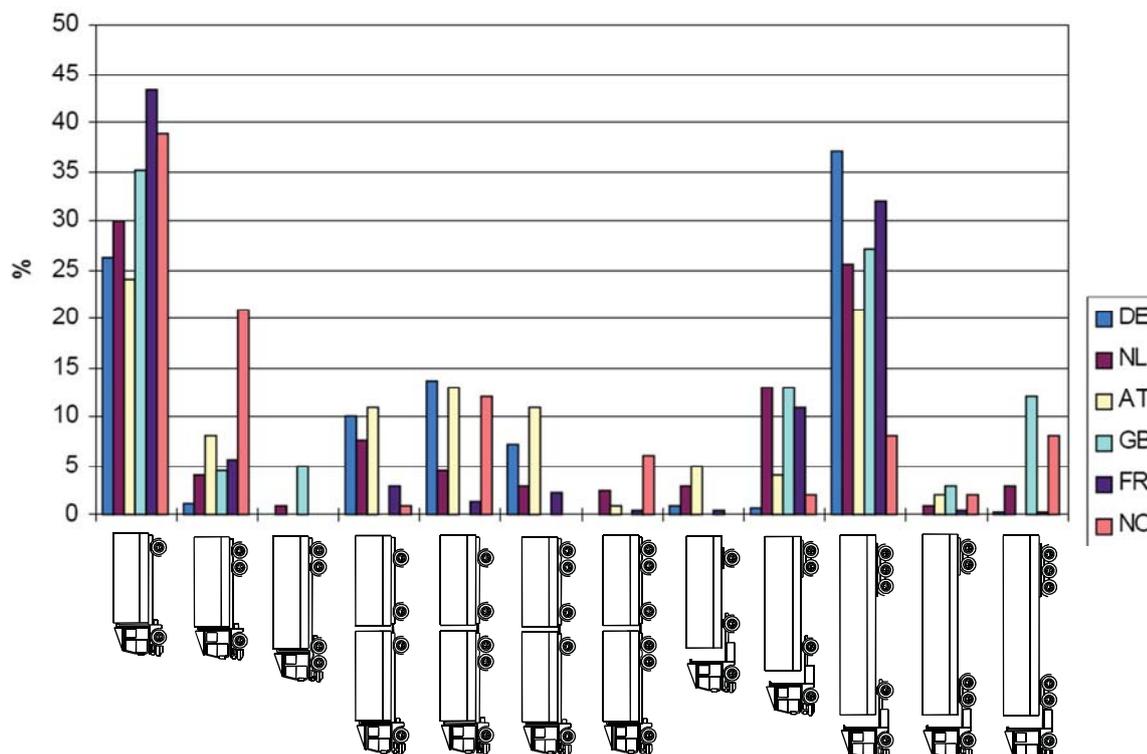
Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich zarejestrowana na stacjach kontroli pomiarów [18] została przedstawiona w Tab. 7.6.

Tab. 7.6. Struktura ruchu na drogach krajowych.

Kategorie pojazdów	Struktura rodzajowa, [%]				
	DK4 Wola Dębińska	DK46 Grodzic	DK1 Włocławek	DK11 Byczyna	A2 Emilia
Motocykle	-	-	-	-	-
Samochody osobowe	66,0	57,0	68,0	62,6	57,5
Samochody dostawcze	11,0	11,0	10,0		
Samochody ciężarowe bez przyczep	8,0	4,0	4,0	7,4	5,2
Samochody ciężarowe z przyczepami	14,0	27,0	17,0	29,4	36,1
Autobusy	1,0	1,0	1,0	0,6	1,2
Ciągniki rolnicze	-	-	-	-	-
Ogółem	100	100	100	100	100

7.2.3 KRAJE EUROPEJSKIE

W krajach europejskich obserwuje się zróżnicowaną strukturę rodzajową pojazdów, a w strumieniu ruchu przeważają głównie sylwetki 2P, 2P+2P, 2P+3P, 3P+2P, 2C+2N i 2C+3N. Największe różnice w strukturze rodzajowej widoczne są w Norwegii, gdzie obserwuje się ponad 20 % udział samochodów trójosiowych (3P), a stosunkowo nieliczna jest reprezentacja ciągników siodłowych pięcioosiowych (2C+3N), gdyż udział tych pojazdów w strumieniu ruchu wynosi jedynie ok. 7,5%. Bardzo dobrze strukturę rodzajową pojazdów w Polsce odzwierciedla struktura rodzajowa pojazdów występująca we Francji.



Rys. 7.1. Występowanie pojazdów wg typów w różnych krajach europejskich [2]:
DE – Niemcy, NL – Holandia, AT – Austria, GB – Wielka Brytania, FR – Francja, NO - Norwegia.

7.2.4 BADANIA RUCHU – PRACE NAD AKTUALIZACJĄ KTKS

Od wielu lat, stale wzrasta w Polsce liczba zainstalowanych wag systemów WIM. Jednak możliwości ich wykorzystania są częstokroć mocno ograniczone - występujące częste awarie systemów sprawiają, że gromadzone informacje (wyniki pomiarów) nie obejmują pełnych okresów lub rejestrowane wyniki są niekompletne. Może to prowadzić do sytuacji, w których za wyniki z np. okresu 1 -go roku bądź miesiąca będą brane rejestry ze znacznie krótszego czasu, co będzie przyczyną znacznych błędów w ocenie występujących obciążeń ruchem pojazdów. Dlatego też, do analiz można wykorzystać te okresy pomiarowe, które zostały zweryfikowane pod kątem kompletności i poprawności zawartych danych.

Celem ustalenia procentowego udziału sklasyfikowanych sylwetek pojazdów ciężkich, niezbędne jest uwzględnienie w prowadzonych analizach indywidualnych cech wyszczególnionych pojazdów takich jak masa całkowita, liczba osi, czy też ich indywidualna konfiguracja. Zidentyfikowane i sklasyfikowane uprzednio sylwetki można opisać następująco:

- sylwetka 2P:
 - l jeżeli liczba osi = 2 → 1

- II jeżeli masa całkowita $\geq 35 \text{ kN} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2P
- sylwetka 3P:
 - I jeżeli liczba osi = 3 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 2 i 3 $\leq 1.4 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3P
- sylwetka 4P:
 - I jeżeli liczba osi = 4 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 1 i 2 \cup rozstaw osi 2 i 3 \cup rozstaw osi 3 i 4 $\leq 11.0 \text{ m} \rightarrow 1$
 - III jeżeli rozstaw osi 1 i 2 $\leq 1.7 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II \cup III = 3$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 4P
- sylwetka 2P+2P:
 - I jeżeli liczba osi = 4 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 1 i 2 \cup rozstaw osi 2 i 3 \cup rozstaw osi 3 i 4 $> 11.0 \text{ m} \rightarrow 1$
 - III jeżeli rozstaw osi 3 i 4 $> 1.4 \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II \cup III = 3$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2P+2P
- sylwetka 2P+3P:
 - I jeżeli liczba osi = 5 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli jest to sylwetka 3P+2P $\rightarrow 1$
 - III jeżeli jest to sylwetka 2C+3N $\rightarrow 1$
 - IV jeżeli jest to sylwetka 3C+2N $\rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II \cup III \cup IV = 1$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2P+3P
- sylwetka 3P+2P:
 - I jeżeli liczba osi = 5 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 4 i 5 $> 1.4 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3P+2P
- sylwetka 3P+3P:
 - I jeżeli liczba osi = 6 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 4 i 5 $> 1.4 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3P+3P
- sylwetka 2C+1N:
 - I jeżeli liczba osi = 3 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 2 i 3 $> 1.4 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2C+1N
- sylwetka 2C+2N:
 - I jeżeli liczba osi = 4 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli jest to sylwetka 4P $\rightarrow 1$
 - III jeżeli jest to sylwetka 2P+2P $\rightarrow 1$
 - IV jeżeli jest to sylwetka 3C+1N $\rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II \cup III \cup IV = 1$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2C+2N
- sylwetka 2C+3N:
 - I jeżeli liczba osi = 5 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 3 i 4 \cup rozstaw osi 4 i 5 $\leq 2.8 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 2C+3N
- sylwetka 3C+1N:
 - I jeżeli liczba osi = 4 $\rightarrow 1$
 - II jeżeli rozstaw osi 2 i 3 $\leq 1.4 \text{ m} \rightarrow 1$
 - jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3C+1N
- sylwetka 3C+2N:
 - I jeżeli liczba osi = 5 $\rightarrow 1$

II jeżeli rozstaw osi 2 i 3 \cup rozstaw osi 4 i 5 ≤ 2.8 m $\rightarrow 1$

jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3C+2N

- sylwetka 3C+3N:

I jeżeli liczba osi = 6 $\rightarrow 1$

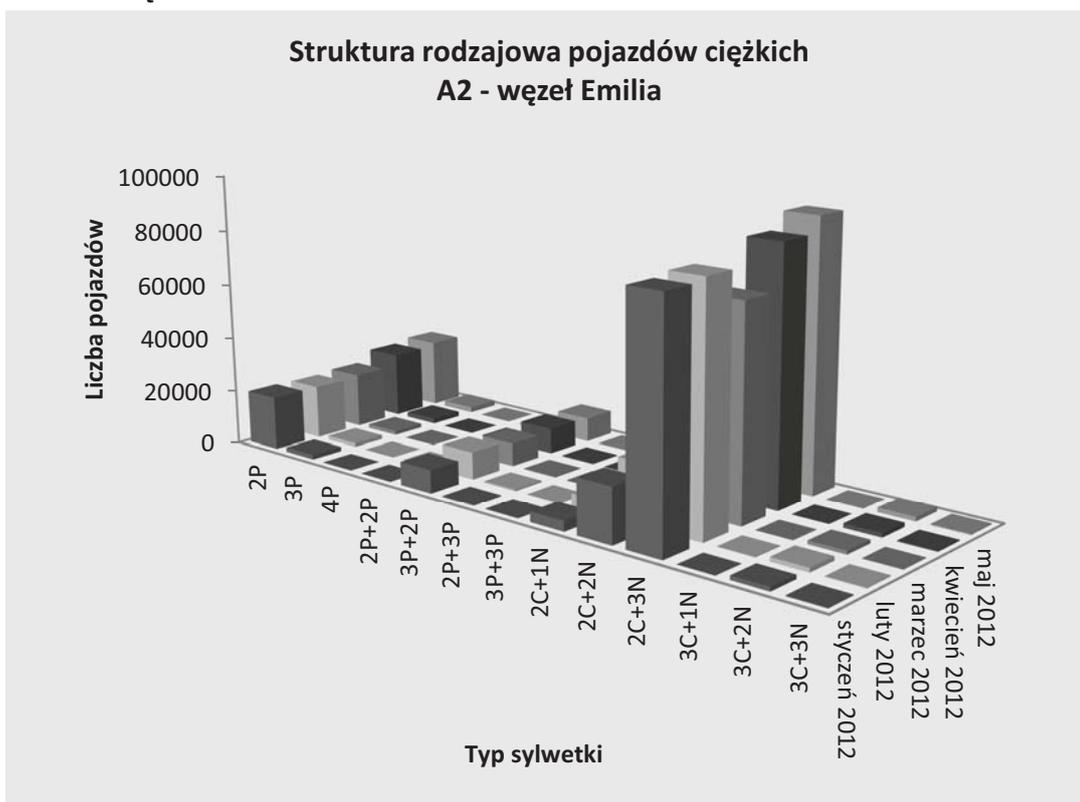
II jeżeli rozstaw osi 4 i 5 ≤ 1.4 m $\rightarrow 1$

jeżeli $I \cup II = 2$, to analizowany pojazd można zaliczyć do grupy 3C+3N

W latach 2000-2005 pomiary mas pojazdów prowadzone były na drogach krajowych w Polsce za pomocą wag przenośnych (3, 8, 35, 46 i A4) i wykonywane były w grupie pojazdów przeciążonych, zatrzymywanych do kontroli w sposób wyrywkowy, przez upoważnione do tego służby (jedyną stałą stacją kontroli pojazdów, była stacja zainstalowana na drodze krajowej nr 11 w miejscowości Byczyna). Dlatego też, w większości przypadków struktura rodzajowa pojazdów, określana może być jedynie na podstawie GPR (wyniki pomiarów z systemów WIM mogą być wykorzystywane jedynie pomocniczo z uwagi na brak stałego nadzoru nad zainstalowanymi i funkcjonującymi wagami - brak jest wiarygodnych informacji nt. okresów prawidłowego funkcjonowania wag).

Przykładowe struktury rodzajowe pojazdów ciężarowych wyznaczone w oparciu o pracujące pod ruchem systemy WIM przedstawiono na kolejnych wykresach i tabelach.

➤ A2 – węzeł Emilia

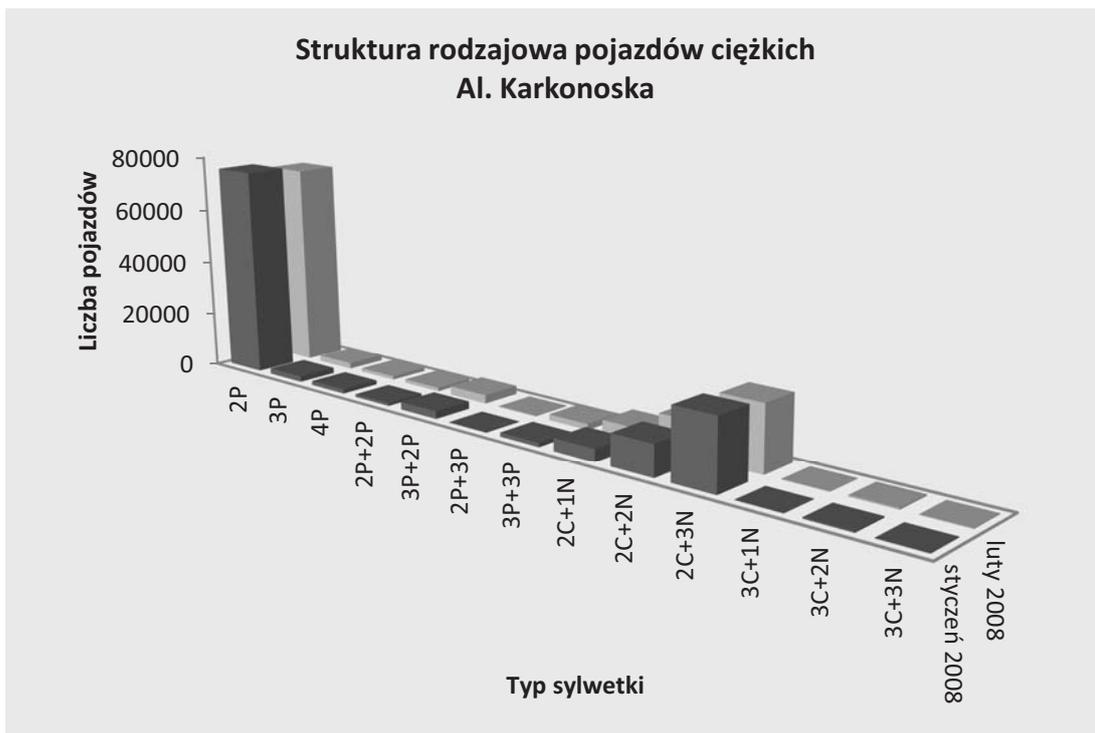


Rys. 7.2. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.

Tab. 7.7. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.

A2 - węzeł Emilia														
sty-12		lut-12				mar-12				kwi-12		maj-12		
Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	
2P	19350	13.83%	2P	19257	13.18%	2P	19979	15.55%	2P	24055	15.45%	2P	25269	15.42%
3P	1634	1.17%	3P	1449	0.99%	3P	1379	1.07%	3P	1729	1.11%	3P	1949	1.19%
4P	67	0.05%	4P	49	0.03%	4P	18	0.01%	4P	50	0.03%	4P	52	0.03%
2P+2P	108	0.08%	2P+2P	216	0.15%	2P+2P	126	0.10%	2P+2P	126	0.08%	2P+2P	143	0.09%
3P+2P	8374	5.98%	3P+2P	9793	6.70%	3P+2P	8335	6.49%	3P+2P	9234	5.93%	3P+2P	8712	5.32%
2P+3P	347	0.25%	2P+3P	579	0.40%	2P+3P	323	0.25%	2P+3P	289	0.19%	2P+3P	237	0.14%
3P+3P	177	0.13%	3P+3P	136	0.09%	3P+3P	187	0.15%	3P+3P	221	0.14%	3P+3P	255	0.16%
2C+1N	3670	2.62%	2C+1N	4825	3.30%	2C+1N	3977	3.10%	2C+1N	5214	3.35%	2C+1N	5473	3.34%
2C+2N	19674	14.06%	2C+2N	21634	14.81%	2C+2N	17476	13.61%	2C+2N	21520	13.82%	2C+2N	22710	13.86%
2C+3N	84696	60.52%	2C+3N	86047	58.91%	2C+3N	75098	58.47%	2C+3N	91273	58.63%	2C+3N	96994	59.18%
3C+1N	84	0.06%	3C+1N	226	0.15%	3C+1N	75	0.06%	3C+1N	74	0.05%	3C+1N	88	0.05%
3C+2N	1473	1.05%	3C+2N	1555	1.06%	3C+2N	1279	1.00%	3C+2N	1531	0.98%	3C+2N	1604	0.98%
3C+3N	297	0.21%	3C+3N	300	0.21%	3C+3N	197	0.15%	3C+3N	347	0.22%	3C+3N	397	0.24%
Razem	139951	100%	Razem	146066	100%	Razem	128449	100%	Razem	155663	100%	Razem	163883	100%

➤ Wrocław - Al. Karkonoska

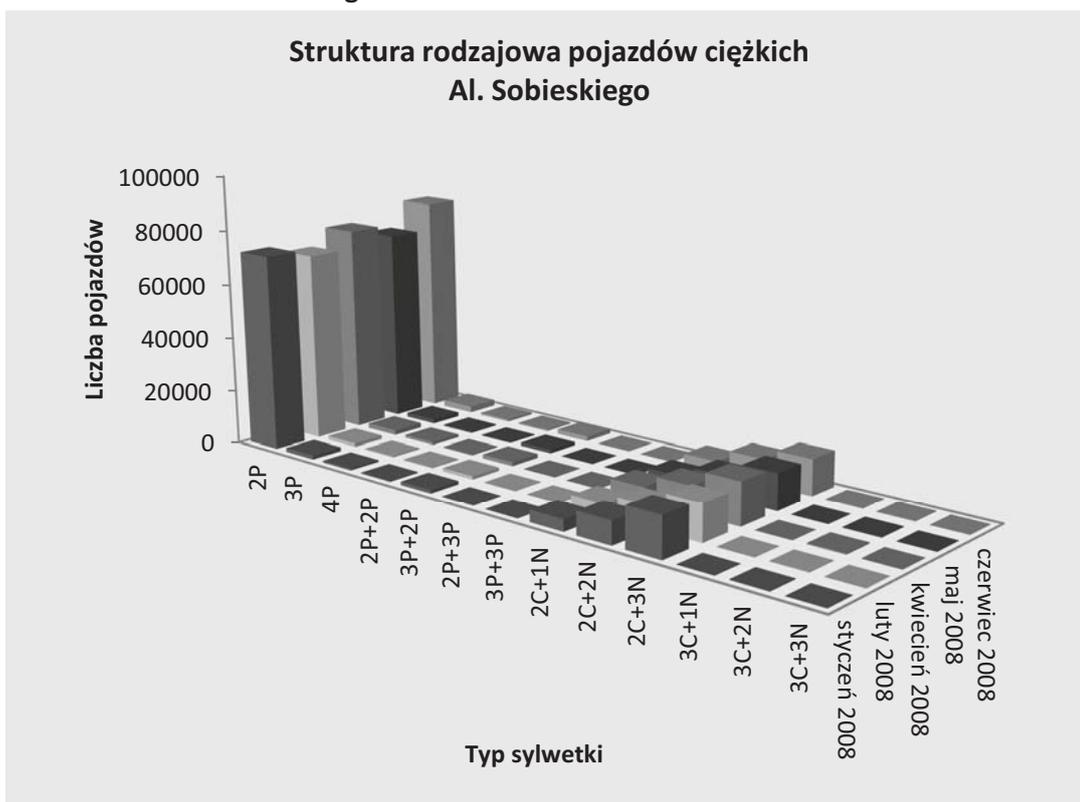


Rys. 7.3. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.

Tab. 7.8. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.

Al. Karkonoska					
sty-08			lut-08		
Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	
2P	75763	60.03%	2P	73650	59.00%
3P	2034	1.61%	3P	2095	1.68%
4P	1500	1.19%	4P	1264	1.01%
2P+2P	976	0.77%	2P+2P	1266	1.01%
3P+2P	2698	2.14%	3P+2P	3040	2.44%
2P+3P	259	0.21%	2P+3P	322	0.26%
3P+3P	1405	1.11%	3P+3P	2067	1.66%
2C+1N	4491	3.56%	2C+1N	4877	3.91%
2C+2N	11170	8.85%	2C+2N	11975	9.59%
2C+3N	24995	19.81%	2C+3N	23305	18.67%
3C+1N	192	0.15%	3C+1N	197	0.16%
3C+2N	473	0.37%	3C+2N	513	0.41%
3C+3N	246	0.19%	3C+3N	261	0.21%
Razem	126202	100%	Razem	124832	100%

➤ Wrocław - Al. Sobieskiego

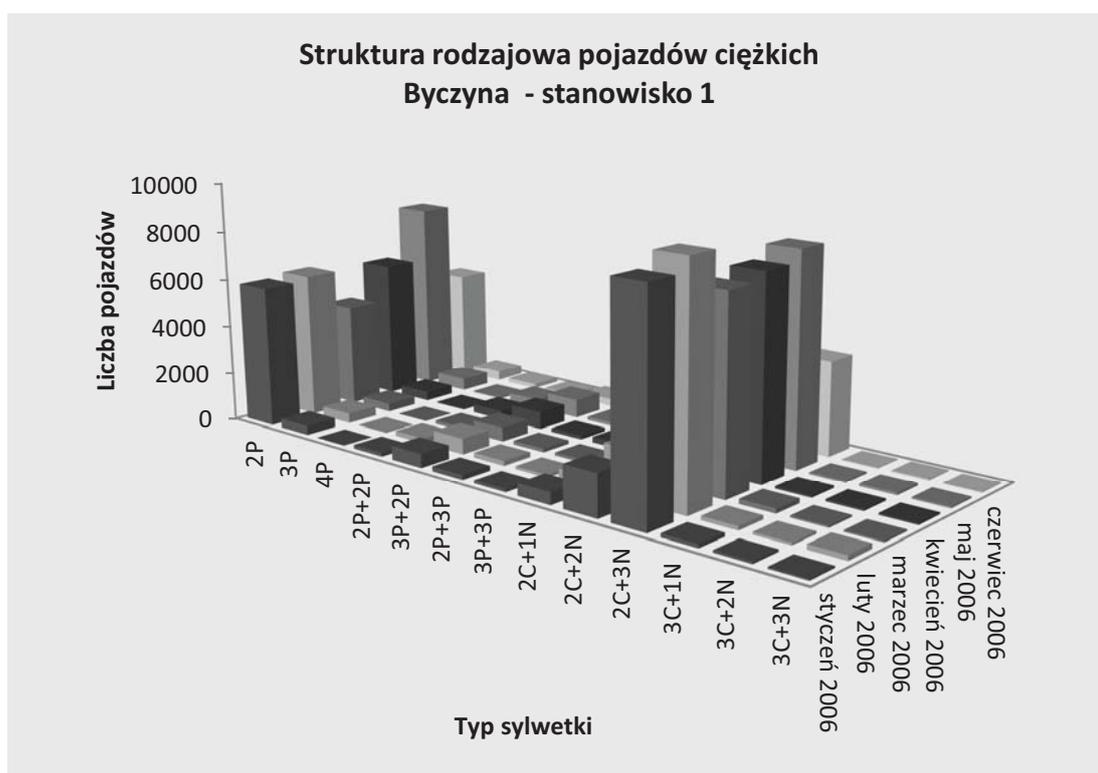


Rys. 7.4. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.

Tab. 7.9. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.

Al. Sobieskiego														
sty-08			lut-08			kwi-08			maj-08			cze-08		
Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	
2P	72460	69.36%	2P	69708	70.48%	2P	76020	68.27%	2P	71378	71.08%	2P	81092	71.27%
3P	1475	1.41%	3P	1374	1.39%	3P	1707	1.53%	3P	1470	1.46%	3P	2231	1.96%
4P	684	0.65%	4P	439	0.44%	4P	1016	0.91%	4P	481	0.48%	4P	742	0.65%
2P+2P	390	0.37%	2P+2P	322	0.33%	2P+2P	330	0.30%	2P+2P	300	0.30%	2P+2P	515	0.45%
3P+2P	1239	1.19%	3P+2P	1234	1.25%	3P+2P	1454	1.31%	3P+2P	1284	1.28%	3P+2P	1710	1.50%
2P+3P	211	0.20%	2P+3P	145	0.15%	2P+3P	164	0.15%	2P+3P	150	0.15%	2P+3P	176	0.15%
3P+3P	78	0.07%	3P+3P	79	0.08%	3P+3P	100	0.09%	3P+3P	95	0.09%	3P+3P	114	0.10%
2C+1N	4271	4.09%	2C+1N	4163	4.21%	2C+1N	4935	4.43%	2C+1N	3703	3.69%	2C+1N	4260	3.74%
2C+2N	8443	8.08%	2C+2N	7762	7.85%	2C+2N	9641	8.66%	2C+2N	7822	7.79%	2C+2N	9092	7.99%
2C+3N	14778	14.15%	2C+3N	13282	13.43%	2C+3N	15390	13.82%	2C+3N	13258	13.20%	2C+3N	13189	11.59%
3C+1N	51	0.05%	3C+1N	46	0.05%	3C+1N	58	0.05%	3C+1N	52	0.05%	3C+1N	236	0.21%
3C+2N	278	0.27%	3C+2N	240	0.24%	3C+2N	395	0.35%	3C+2N	289	0.29%	3C+2N	271	0.24%
3C+3N	107	0.10%	3C+3N	115	0.12%	3C+3N	139	0.12%	3C+3N	131	0.13%	3C+3N	150	0.13%
Razem	104465	100%	Razem	98909	100%	Razem	111349	100%	Razem	100413	100%	Razem	113778	100%

➤ Byczyna – stanowisko 1

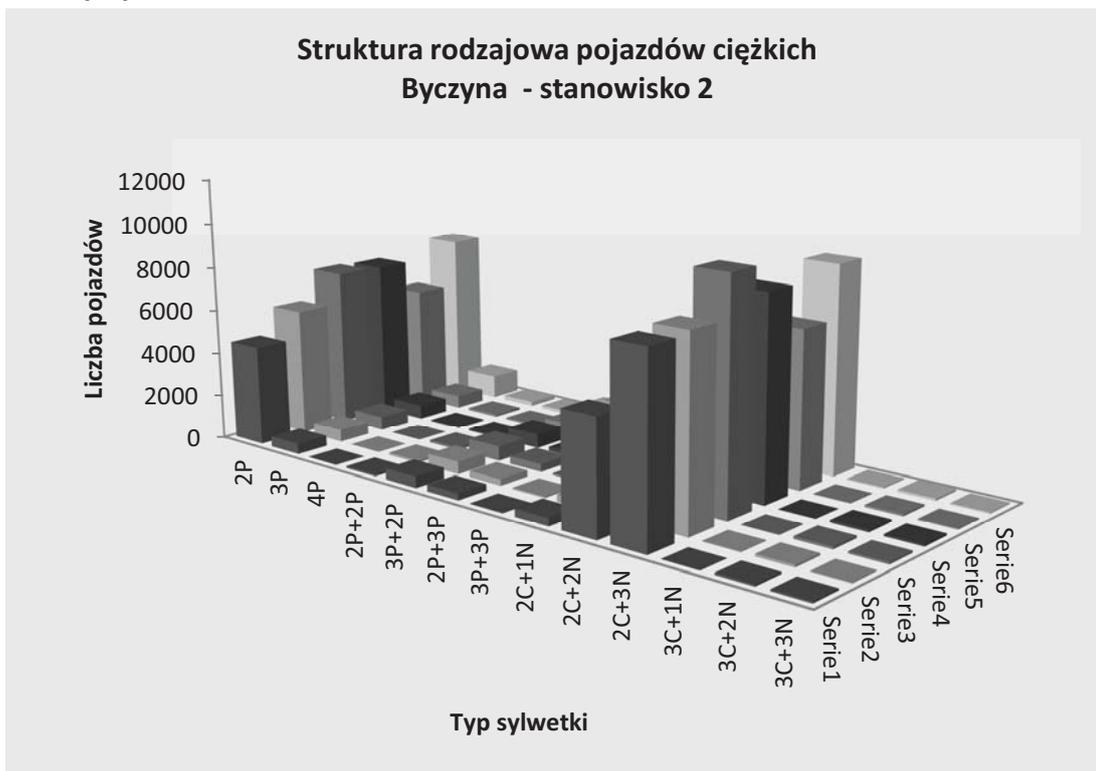


Rys. 7.5. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.

Tab. 7.10. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.

Byczyna - stanowisko 1																	
sty-06			lut-06			mar-06			kwi-06			maj-06			cze-06		
Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów		Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	
2P	5808	31.17 %	2P	5955	29.88 %	2P	4221	26.71 %	2P	5680	30.08 %	2P	7873	35.62 %	2P	4501	40.07 %
3P	383	2.06%	3P	400	2.01%	3P	332	2.10%	3P	367	1.94%	3P	497	2.25%	3P	389	3.46%
4P	10	0.05%	4P	36	0.18%	4P	10	0.06%	4P	42	0.22%	4P	51	0.23%	4P	180	1.60%
2P+2P	152	0.82%	2P+2P	203	1.02%	2P+2P	142	0.90%	2P+2P	350	1.85%	2P+2P	354	1.60%	2P+2P	119	1.06%
3P+2P	569	3.05%	3P+2P	647	3.25%	3P+2P	573	3.63%	3P+2P	724	3.83%	3P+2P	746	3.38%	3P+2P	293	2.61%
2P+3P	199	1.07%	2P+3P	199	1.00%	2P+3P	152	0.96%	2P+3P	150	0.79%	2P+3P	137	0.62%	2P+3P	71	0.63%
3P+3P	121	0.65%	3P+3P	116	0.58%	3P+3P	120	0.76%	3P+3P	228	1.21%	3P+3P	247	1.12%	3P+3P	85	0.76%
2C+1N	504	2.70%	2C+1N	502	2.52%	2C+1N	458	2.90%	2C+1N	758	4.01%	2C+1N	975	4.41%	2C+1N	546	4.86%
2C+2N	1714	9.20%	2C+2N	1962	9.84%	2C+2N	1626	10.29 %	2C+2N	2162	11.45 %	2C+2N	2303	10.42 %	2C+2N	1044	9.29%
2C+3N	8867	47.58 %	2C+3N	9447	47.40 %	2C+3N	7844	49.63 %	2C+3N	8177	43.30 %	2C+3N	8680	39.27 %	2C+3N	3886	34.59 %
3C+1N	151	0.81%	3C+1N	161	0.81%	3C+1N	192	1.21%	3C+1N	90	0.48%	3C+1N	75	0.34%	3C+1N	33	0.29%
3C+2N	90	0.48%	3C+2N	99	0.50%	3C+2N	74	0.47%	3C+2N	86	0.46%	3C+2N	97	0.44%	3C+2N	55	0.49%
3C+3N	67	0.36%	3C+3N	202	1.01%	3C+3N	62	0.39%	3C+3N	70	0.37%	3C+3N	67	0.30%	3C+3N	32	0.28%
Razem	18635	100%	Razem	19929	100%	Razem	15806	100%	Razem	18884	100%	Razem	22102	100%	Razem	11234	100%

➤ **Byczyna – stanowisko 2**



Rys. 7.6. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.

Tab. 7.11. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 2.

Byczyna - stanowisko 2																	
sty-06		lut-06		mar-06		kwi-06		maj-06		cze-06							
Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów	Rodzaj sylwetki	Liczba pojazdów						
2P	4503	22.82 %	2P	5741	27.25 %	2P	7130	28.08 %	2P	7048	31.30 %	2P	5408	30.53 %	2P	7555	30.45 %
3P	478	2.42%	3P	554	2.63%	3P	618	2.43%	3P	634	2.82%	3P	567	3.20%	3P	1051	4.24%
4P	2	0.01%	4P	4	0.02%	4P	8	0.03%	4P	58	0.26%	4P	100	0.56%	4P	199	0.80%
2P+2P	87	0.44%	2P+2P	101	0.48%	2P+2P	106	0.42%	2P+2P	81	0.36%	2P+2P	84	0.47%	2P+2P	146	0.59%
3P+2P	509	2.58%	3P+2P	556	2.64%	3P+2P	660	2.60%	3P+2P	638	2.83%	3P+2P	507	2.86%	3P+2P	676	2.72%
2P+3P	302	1.53%	2P+3P	289	1.37%	2P+3P	353	1.39%	2P+3P	189	0.84%	2P+3P	127	0.72%	2P+3P	195	0.79%
3P+3P	32	0.16%	3P+3P	65	0.31%	3P+3P	87	0.34%	3P+3P	83	0.37%	3P+3P	80	0.45%	3P+3P	129	0.52%
2C+1N	359	1.82%	2C+1N	318	1.51%	2C+1N	448	1.76%	2C+1N	484	2.15%	2C+1N	523	2.95%	2C+1N	805	3.24%
2C+2N	5060	25.64 %	2C+2N	4864	23.09 %	2C+2N	5540	21.82 %	2C+2N	4071	18.08 %	2C+2N	3116	17.59 %	2C+2N	4455	17.96 %
2C+3N	8211	41.60 %	2C+3N	8389	39.82 %	2C+3N	10219	40.24 %	2C+3N	9025	40.08 %	2C+3N	7033	39.70 %	2C+3N	9379	37.80 %
3C+1N	22	0.11%	3C+1N	37	0.18%	3C+1N	24	0.09%	3C+1N	11	0.05%	3C+1N	28	0.16%	3C+1N	54	0.22%
3C+2N	91	0.46%	3C+2N	106	0.50%	3C+2N	112	0.44%	3C+2N	109	0.48%	3C+2N	88	0.50%	3C+2N	106	0.43%
3C+3N	80	0.41%	3C+3N	44	0.21%	3C+3N	89	0.35%	3C+3N	88	0.39%	3C+3N	54	0.30%	3C+3N	62	0.25%
Razem	19736	100%	Razem	21068	100%	Razem	25394	100%	Razem	22519	100%	Razem	17715	100%	Razem	24812	100%

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można stwierdzić, że struktura rodzajowa pojazdów ciężarowych na drogach krajowych zlokalizowanych poza obszarami zabudowanymi jest zbliżona i może być ujednoczona (Tab. 7.12; zwraca uwagę znaczny udział w ruchu pojazdów 2C+2N - pojazdy te są jednak głównie pojazdami 2C+3N, które w trakcie przejazdu mają podniesioną jedną z osi naczepy). Struktura ta, jest jednak zależna od lokalizacji drogi. Na drogach położonych na obszarach zabudowanych – zwłaszcza tam gdzie występują drogowe obejścia miast

– widoczny jest znaczny wzrost liczebności pojazdów dwuosiowych (wykorzystywanych przede wszystkim w transporcie lokalnym), a zmniejszenie liczby pojazdów wieloosiowych - członowych wykorzystywanych w transporcie dalekobieżnym.

Ze względu na to, że wagi systemów HS-WIM są obecnie instalowane praktycznie tylko na drogach krajowych, GPR wykonywany jest również tylko na drogach krajowych, to informacje nt. występującej struktury rodzajowej pojazdów ciężkich na drogach wojewódzkich, powiatowych i gminnych są obecnie niedostępne. Należy jednak zaznaczyć, że drogami krajowymi prowadzony jest głównie ruch tranzytowy pojazdów (a w transporcie tym powszechnie stosowane są głównie ciągniki siodłowe), a drogami niższych kategorii (drogi wojewódzkie, powiatowe i gminne) ruch lokalny (z głównym udziałem w ruchu pojedynczych pojazdów ciężarowych). Dlatego też należy się spodziewać, że struktura rodzajowa pojazdów jest zależna od kategorii drogi i jej lokalizacji (obszar zabudowany, obszar nie zabudowany). Jednak w chwili obecnej nie ma żadnych narzędzi pozwalających na precyzyjną identyfikację struktury rodzajowej pojazdów na drogach innych niż krajowe (poza pomiarami manualnymi).

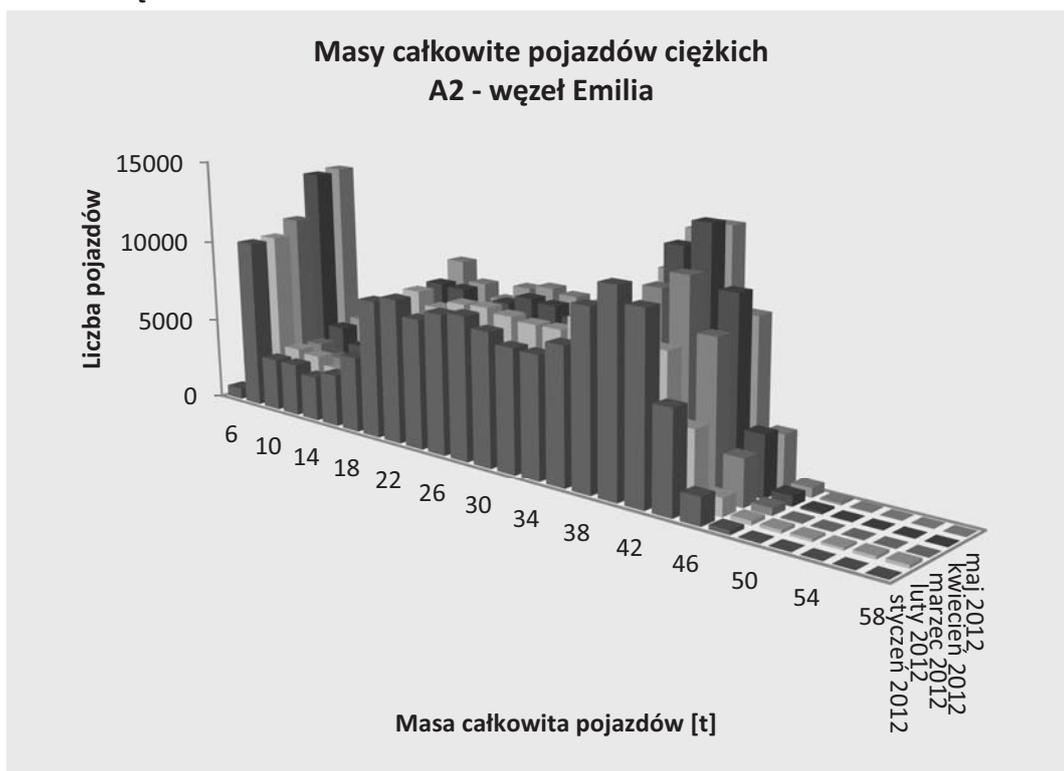
Tab. 7.12. Struktura rodzajowa pojazdów ciężkich na drogach krajowych zalecana do przyjmowania w wymiarowaniu nawierzchni.

	Drogi krajowe
Typ pojazdu	[%]
2P	30,3
3P	2,6
4P	0,3
2P+2P	0,8
2P+3P	3
3P+2P	1
3P+3P	0,6
2C+1N	2,9
2C+2N	15,4
2C+3N	41,8
3C+1N	0,4
3C+2N	0,5
3C+3N	0,4

7.3 MASY POJAZDÓW CIĘŻKICH

Przykładowe rozkłady mas pojazdów ciężkich przedstawiono na kolejnych wykresach oraz w kolejnych tabelach. Widoczne są istotne różnice w zarejestrowanych rozkładach mas w zależności od lokalizacji wagi (obszar zabudowany, obszar niezabudowany). Na A2 w węźle Emilia, tam gdzie obserwowany jest znaczny udział w ruchu ciągników siodłowych o dopuszczalnych masach całkowitych rzędu 40/44 t, obserwowany jest duży udział w ruchu pojazdów o takich właśnie masach. Na drogach zlokalizowanych w obrębie obszarów zabudowanych, gdzie częstokroć udział takich pojazdów w strumieniu ruchu spada, zmienia się również rozkład mas całkowitych pojazdów (np. Wrocław al. Karkonoska, czy też al. Sobieskiego).

➤ A2 – węzeł Emilia

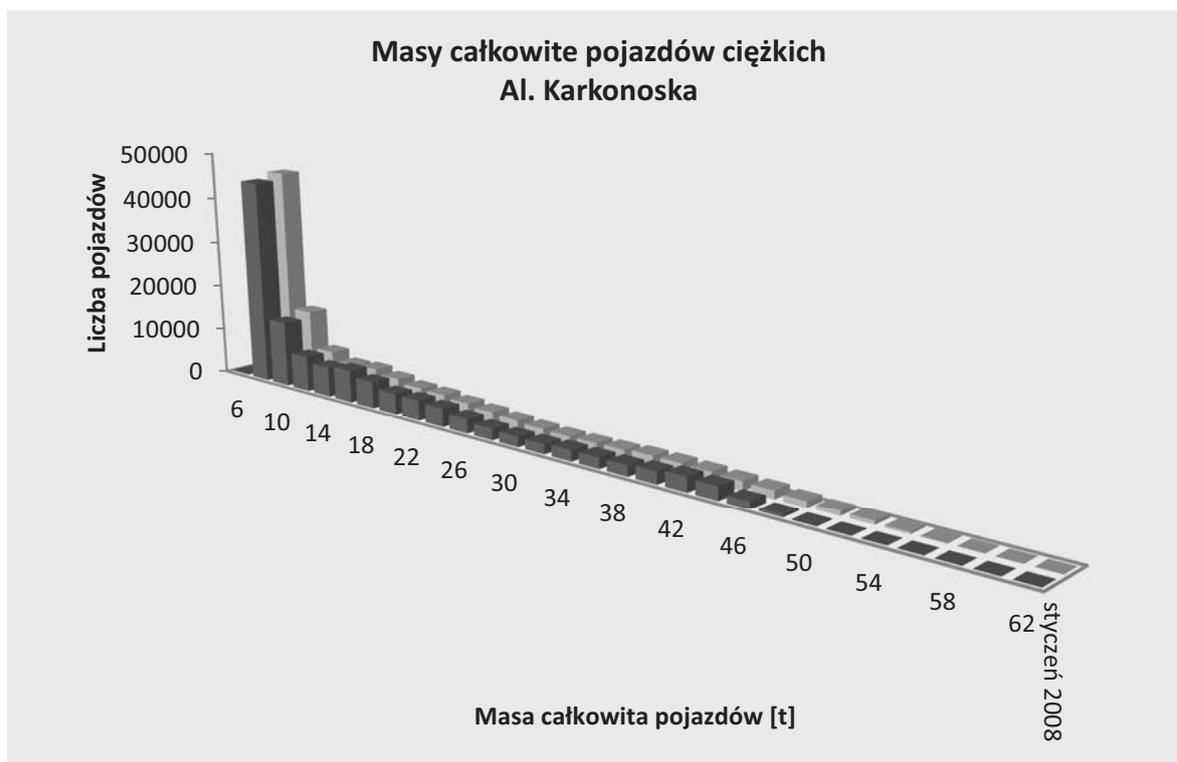


Rys. 7.7. Masy całkowite pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.

Tab. 7.13. Masy całkowite pojazdów ciężkich – A2 – węzeł Emilia.

A2- węzeł Emilia														
sty-12			lut-12			mar-12			kwi-12			maj-12		
Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów	
6	664	0.47%	6	595	0.42%	6	574	0.45%	6	911	0.59%	6	1017	0.62%
8	10269	7.34%	8	10370	7.39%	8	11232	8.74%	8	13842	8.89%	8	14015	8.55%
10	3218	2.30%	10	3534	2.52%	10	3524	2.74%	10	4234	2.72%	10	4447	2.71%
12	3203	2.29%	12	3372	2.40%	12	2910	2.27%	12	3304	2.12%	12	3993	2.44%
14	2640	1.89%	14	2835	2.02%	14	2317	1.80%	14	2770	1.78%	14	2988	1.82%
16	3072	2.20%	16	3404	2.43%	16	2540	1.98%	16	3121	2.00%	16	3442	2.10%
18	4571	3.27%	18	4860	3.46%	18	3416	2.66%	18	4433	2.85%	18	6430	3.92%
20	8189	5.85%	20	8016	5.71%	20	6078	4.73%	20	8329	5.35%	20	9411	5.74%
22	8565	6.12%	22	8738	6.23%	22	6697	5.21%	22	8251	5.30%	22	8284	5.05%
24	7714	5.51%	24	8023	5.72%	24	5882	4.58%	24	6972	4.48%	24	7563	4.61%
26	8275	5.91%	26	8506	6.06%	26	6885	5.36%	26	7942	5.10%	26	8516	5.20%
28	8470	6.05%	28	8586	6.12%	28	7283	5.67%	28	8463	5.44%	28	8778	5.36%
30	7873	5.63%	30	8390	5.98%	30	7288	5.67%	30	8322	5.35%	30	8542	5.21%
32	7259	5.19%	32	8222	5.86%	32	6556	5.10%	32	7843	5.04%	32	7950	4.85%
34	7196	5.14%	34	8229	5.86%	34	6147	4.79%	34	7257	4.66%	34	7826	4.78%
36	8018	5.73%	36	9080	6.47%	36	6229	4.85%	36	7518	4.83%	36	8729	5.33%
38	10354	7.40%	38	10189	7.26%	38	7768	6.05%	38	9509	6.11%	38	11092	6.77%
40	11735	8.39%	40	10101	7.20%	40	10958	8.53%	40	12969	8.33%	40	13553	8.27%
42	10829	7.74%	42	8279	5.90%	42	11899	9.26%	42	14397	9.25%	42	14022	8.56%
44	5916	4.23%	44	4390	3.13%	44	8946	6.96%	44	10911	7.01%	44	9380	5.72%
46	1590	1.14%	46	1054	0.75%	46	2744	2.14%	46	3583	2.30%	46	3160	1.93%
48	248	0.18%	48	249	0.18%	48	430	0.33%	48	591	0.38%	48	551	0.34%
50	46	0.03%	50	188	0.13%	50	65	0.05%	50	125	0.08%	50	116	0.07%
52	25	0.02%	52	157	0.11%	52	34	0.03%	52	31	0.02%	52	39	0.02%
54	5	0.00%	54	143	0.10%	54	16	0.01%	54	12	0.01%	54	15	0.01%
56	4	0.00%	56	179	0.13%	56	13	0.01%	56	9	0.01%	56	10	0.01%
58	1	0.00%	58	192	0.14%	58	8	0.01%	58	6	0.00%	58	5	0.00%
Razem	139951	100%	Razem	140355	100%	Razem	128446	100%	Razem	128446	100%	Razem	163882	100%

➤ Wrocław - Al. Karkonoska

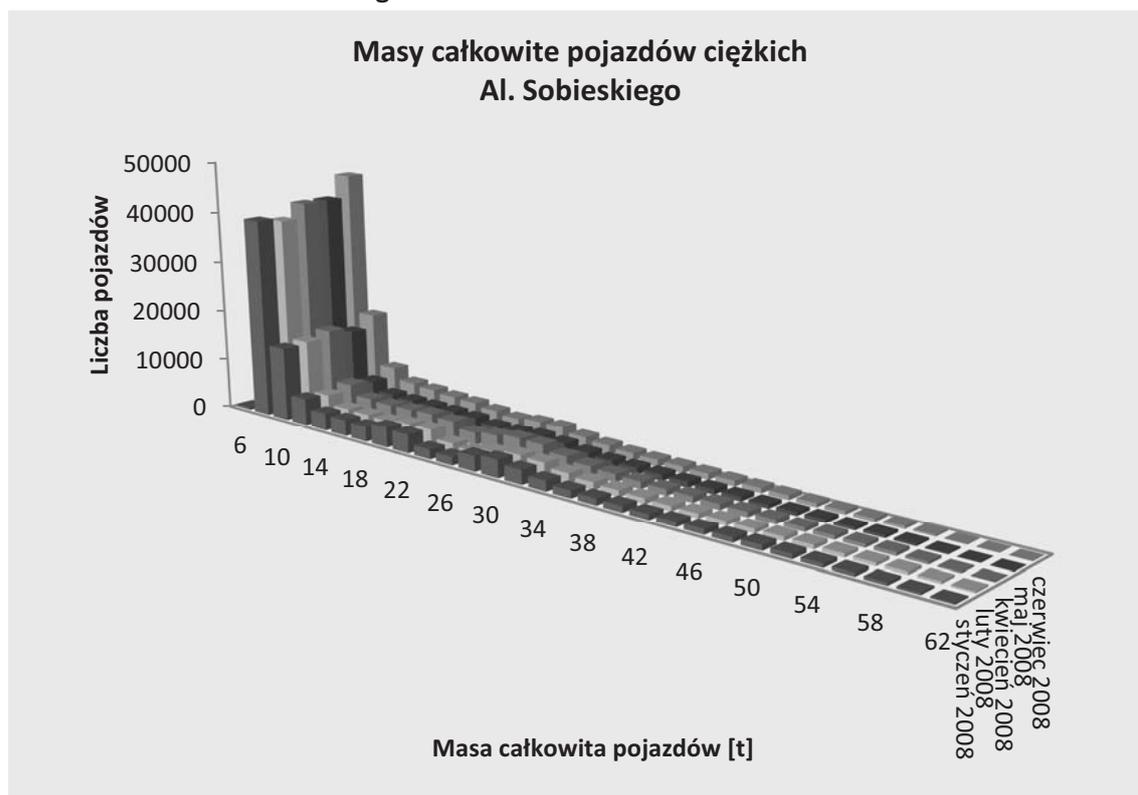


Rys. 7.8. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.

Tab. 7.14. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Karkonoska.

Al. Karkonoska					
sty-08			lut-08		
Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów	
6	321	0.25%	6	405	0.32%
8	44580	35.33%	8	45853	36.73%
10	14300	11.33%	10	15494	12.41%
12	7637	6.05%	12	7337	5.88%
14	6443	5.11%	14	5603	4.49%
16	7007	5.55%	16	5835	4.67%
18	5742	4.55%	18	4980	3.99%
20	4430	3.51%	20	4151	3.33%
22	4345	3.44%	22	3971	3.18%
24	3935	3.12%	24	3426	2.74%
26	3072	2.43%	26	2893	2.32%
28	2403	1.90%	28	2465	1.97%
30	2141	1.70%	30	2099	1.68%
32	2083	1.65%	32	1946	1.56%
34	2322	1.84%	34	1973	1.58%
36	2275	1.80%	36	2082	1.67%
38	2250	1.78%	38	2348	1.88%
40	2562	2.03%	40	2364	1.89%
42	3038	2.41%	42	2221	1.78%
44	2783	2.21%	44	1961	1.57%
46	1520	1.20%	46	1734	1.39%
48	589	0.47%	48	1287	1.03%
50	187	0.15%	50	961	0.77%
52	88	0.07%	52	732	0.59%
54	45	0.04%	54	382	0.31%
56	51	0.04%	56	181	0.14%
58	40	0.03%	58	99	0.08%
60	10	0.01%	60	37	0.03%
62	0	0.00%	62	7	0.01%
Razem	126199	100%	Razem	124828	100%

➤ Wrocław - Al. Sobieskiego



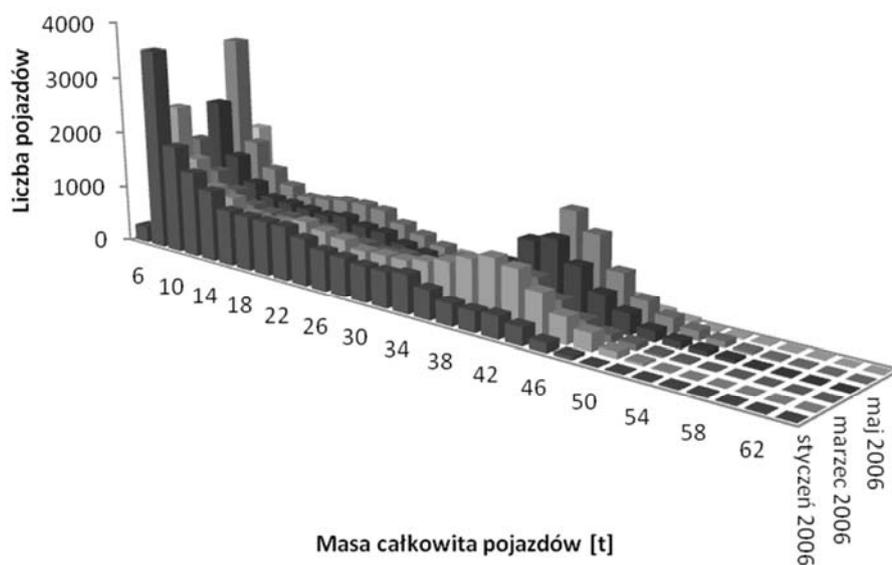
Rys. 7.9. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.

Tab. 7.15. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Al. Sobieskiego.

Al. Sobieskiego														
sty-08			lut-08			kwi-08			maj-08			cze-08		
Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów	
6	459	0.44%	6	459	0.47%	6	621	0.56%	6	565	0.56%	6	504	0.44%
8	39496	37.8	8	38700	39.23%	8	41371	37.18	8	41346	41.19	8	45586	40.07
10	14473	13.88	10	14770	14.97%	10	16011	14.39	10	14764	14.71	10	17224	15.14
12	5309	5.09%	12	4860	4.93%	12	5774	5.19%	12	5184	5.16%	12	6838	6.01%
14	3419	3.28%	14	3059	3.10%	14	3897	3.50%	14	3580	3.57%	14	4675	4.11%
16	3176	3.05%	16	2937	2.98%	16	3646	3.28%	16	3312	3.30%	16	4337	3.81%
18	2945	2.82%	18	2793	2.83%	18	3752	3.37%	18	3232	3.22%	18	3914	3.44%
20	3910	3.75%	20	3273	3.32%	20	3967	3.56%	20	3140	3.13%	20	3704	3.26%
22	3656	3.51%	22	3298	3.34%	22	3588	3.22%	22	2953	2.94%	22	3132	2.75%
24	1896	1.82%	24	1685	1.71%	24	2410	2.17%	24	2375	2.37%	24	2601	2.29%
26	1589	1.52%	26	1277	1.29%	26	2989	2.69%	26	2428	2.42%	26	3029	2.66%
28	2969	2.85%	28	2260	2.29%	28	3614	3.25%	28	2697	2.69%	28	3074	2.70%
30	3507	3.36%	30	2898	2.94%	30	3514	3.16%	30	2324	2.32%	30	2243	1.97%
32	2809	2.69%	32	2706	2.74%	32	2454	2.21%	32	1716	1.71%	32	1782	1.57%
34	2011	1.93%	34	1936	1.96%	34	1780	1.60%	34	1394	1.39%	34	1437	1.26%
36	1483	1.42%	36	1472	1.49%	36	1536	1.38%	36	1281	1.28%	36	1325	1.16%
38	1265	1.21%	38	1243	1.26%	38	1359	1.22%	38	1188	1.18%	38	1269	1.12%
40	1212	1.16%	40	1090	1.10%	40	1183	1.06%	40	1083	1.08%	40	1153	1.01%
42	1072	1.03%	42	974	0.99%	42	1159	1.04%	42	964	0.96%	42	1049	0.92%
44	1061	1.02%	44	919	0.93%	44	1082	0.97%	44	884	0.88%	44	977	0.86%
46	1016	0.97%	46	932	0.94%	46	992	0.89%	46	720	0.72%	46	877	0.77%
48	937	0.90%	48	806	0.82%	48	906	0.81%	48	678	0.68%	48	742	0.65%
50	1003	0.96%	50	806	0.82%	50	776	0.70%	50	683	0.68%	50	660	0.58%
52	911	0.87%	52	772	0.78%	52	745	0.67%	52	553	0.55%	52	587	0.52%
54	758	0.73%	54	690	0.70%	54	674	0.61%	54	515	0.51%	54	496	0.44%
56	665	0.64%	56	608	0.62%	56	649	0.58%	56	413	0.41%	56	336	0.30%
58	524	0.50%	58	557	0.56%	58	452	0.41%	58	246	0.25%	58	137	0.12%
60	391	0.37%	60	447	0.45%	60	253	0.23%	60	98	0.10%	60	62	0.05%
62	254	0.24%	62	310	0.31%	62	102	0.09%	62	52	0.05%	62	21	0.02%
64	105	0.10%	64	113	0.11%	64	27	0.02%	64	12	0.01%	64	4	0.00%
Razem	104281	100%	Razem	98650	100%	Razem	111283	100%	Razem	100380	100%	Razem	113775	100%

➤ Byczyna – stanowisko 1

Masy całkowite pojazdów ciężkich
Byczyna - stanowisko 1



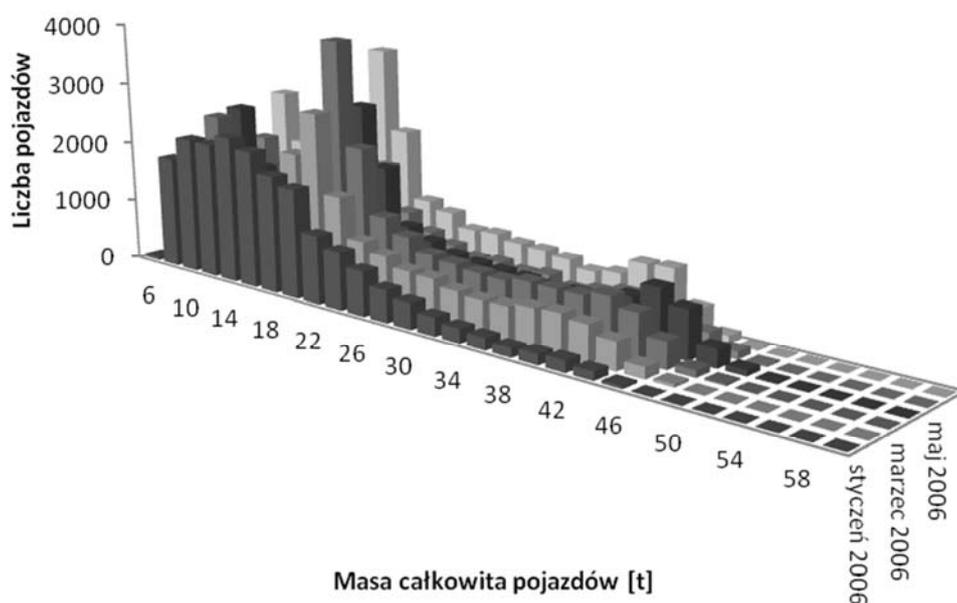
Rys. 7.10. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.

Tab. 7.16. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Byczyna – stanowisko 1.

Byczyna - stanowisko 1																	
sty-06			lut-06			mar-06			kwi-06			maj-06			cze-06		
Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów	
6	283	1.52%	6	179	0.90%	6	268	1.70%	6	410	2.17%	6	395	1.79%	6	182	1.62%
8	3575	19.21%	8	2486	12.47%	8	1828	11.57%	8	2433	12.89%	8	3529	15.97%	8	1813	16.15%
10	1901	10.21%	10	1612	8.09%	10	1304	8.25%	10	1501	7.95%	10	1667	7.54%	10	832	7.41%
12	1507	8.10%	12	1170	5.87%	12	1028	6.51%	12	1064	5.64%	12	1242	5.62%	12	633	5.64%
14	1251	6.72%	14	1035	5.19%	14	817	5.17%	14	856	4.53%	14	997	4.51%	14	542	4.83%
16	966	5.19%	16	831	4.17%	16	755	4.78%	16	819	4.34%	16	848	3.84%	16	521	4.64%
18	943	5.07%	18	777	3.90%	18	761	4.82%	18	788	4.17%	18	876	3.96%	18	553	4.92%
20	943	5.07%	20	833	4.18%	20	703	4.45%	20	763	4.04%	20	931	4.21%	20	638	5.68%
22	937	5.03%	22	928	4.66%	22	716	4.53%	22	814	4.31%	22	947	4.29%	22	513	4.57%
24	814	4.37%	24	846	4.25%	24	632	4.00%	24	722	3.82%	24	916	4.15%	24	468	4.17%
26	693	3.72%	26	785	3.94%	26	616	3.90%	26	698	3.70%	26	751	3.40%	26	367	3.27%
28	663	3.56%	28	676	3.39%	28	565	3.58%	28	576	3.05%	28	638	2.89%	28	307	2.73%
30	615	3.30%	30	694	3.48%	30	601	3.80%	30	507	2.69%	30	524	2.37%	30	276	2.46%
32	615	3.30%	32	701	3.52%	32	553	3.50%	32	470	2.49%	32	424	1.92%	32	236	2.10%
34	663	3.56%	34	767	3.85%	34	568	3.59%	34	476	2.52%	34	468	2.12%	34	260	2.32%
36	504	2.71%	36	856	4.30%	36	644	4.08%	36	511	2.71%	36	479	2.17%	36	260	2.32%
38	372	2.00%	38	993	4.98%	38	785	4.97%	38	716	3.79%	38	547	2.48%	38	319	2.84%
40	351	1.89%	40	1101	5.52%	40	817	5.17%	40	1167	6.18%	40	1082	4.90%	40	629	5.60%
42	374	2.01%	42	1017	5.10%	42	768	4.86%	42	1276	6.76%	42	1632	7.39%	42	793	7.06%
44	300	1.61%	44	732	3.67%	44	483	3.06%	44	927	4.91%	44	1332	6.03%	44	510	4.54%
46	158	0.85%	46	442	2.22%	46	262	1.66%	46	569	3.01%	46	804	3.64%	46	262	2.33%
48	59	0.32%	48	291	1.46%	48	137	0.87%	48	357	1.89%	48	444	2.01%	48	140	1.25%
50	16	0.09%	50	113	0.57%	50	98	0.62%	50	179	0.95%	50	266	1.20%	50	84	0.75%
52	18	0.10%	52	41	0.21%	52	35	0.22%	52	113	0.60%	52	158	0.72%	52	24	0.21%
54	17	0.09%	54	13	0.07%	54	27	0.17%	54	73	0.39%	54	98	0.44%	54	27	0.24%
56	19	0.10%	56	5	0.03%	56	9	0.06%	56	52	0.28%	56	39	0.18%	56	20	0.18%
58	24	0.13%	58	1	0.01%	58	12	0.08%	58	19	0.10%	58	29	0.13%	58	9	0.08%
60	15	0.08%	60	1	0.01%	60	6	0.04%	60	16	0.08%	60	20	0.09%	60	9	0.08%
62	14	0.08%	62	1	0.01%	62	4	0.03%	62	8	0.04%	62	11	0.05%	62	0	
64	3	0.02%	64	1	0.01%	64	0		64	0		64	3	0.01%	64	2	0.02%
Razem	18613	100%	Razem	19928	100%	Razem	15802	100%	Razem	18880	100%	Razem	22097	100%	Razem	11229	100%

➤ Buczyna – stanowisko 2

Masy całkowite pojazdów ciężkich
Buczyna - stanowisko 2



Rys. 7.11. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Buczyna – stanowisko 2.

Tab. 7.17. Masy całkowite pojazdów ciężkich – Buczyna – stanowisko 2.

Buczyna - stanowisko 2																	
sty-06			lut-06			mar-06			kwi-06			maj-06			cze-06		
Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów		Masa całkowita [t]	Liczba pojazdów	
6	54	0.27%	6	50	0.24%	6	70	0.28%	6	90	0.40%	6	212	1.20%	6	401	1.62%
8	1822	9.23%	8	1775	8.43%	8	2385	9.39%	8	2461	10.93%	8	1867	10.54%	8	2581	10.40%
10	2220	11.25%	10	1452	6.89%	10	1610	6.34%	10	1490	6.62%	10	1219	6.88%	10	1771	7.14%
12	2209	11.19%	12	1243	5.90%	12	1409	5.55%	12	1294	5.75%	12	998	5.63%	12	1457	5.87%
14	2387	12.09%	14	1142	5.42%	14	1068	4.21%	14	990	4.40%	14	772	4.36%	14	1084	4.37%
16	2229	11.29%	16	1221	5.80%	16	813	3.20%	16	751	3.34%	16	806	4.55%	16	1486	5.99%
18	1896	9.61%	18	2177	10.33%	18	1619	6.38%	18	1167	5.18%	18	1791	10.11%	18	3597	14.50%
20	1768	8.96%	20	2896	13.75%	20	3986	15.70%	20	2867	12.73%	20	1795	10.13%	20	2287	9.22%
22	1108	5.61%	22	1627	7.72%	22	2323	9.15%	22	1910	8.48%	22	1086	6.13%	22	1182	4.76%
24	936	4.74%	24	996	4.73%	24	1278	5.03%	24	1031	4.58%	24	836	4.72%	24	1065	4.29%
26	729	3.69%	26	856	4.06%	26	1055	4.15%	26	874	3.88%	26	707	3.99%	26	858	3.46%
28	526	2.67%	28	709	3.37%	28	859	3.38%	28	745	3.31%	28	588	3.32%	28	880	3.55%
30	424	2.15%	30	687	3.26%	30	807	3.18%	30	692	3.07%	30	614	3.47%	30	807	3.25%
32	300	1.52%	32	588	2.79%	32	756	2.98%	32	669	2.97%	32	550	3.10%	32	788	3.18%
34	232	1.18%	34	543	2.58%	34	739	2.91%	34	649	2.88%	34	595	3.36%	34	737	2.97%
36	199	1.01%	36	552	2.62%	36	807	3.18%	36	610	2.71%	36	467	2.64%	36	629	2.54%
38	149	0.75%	38	624	2.96%	38	801	3.15%	38	623	2.77%	38	535	3.02%	38	695	2.80%
40	169	0.86%	40	651	3.09%	40	801	3.15%	40	650	2.89%	40	610	3.44%	40	940	3.79%
42	185	0.94%	42	592	2.81%	42	884	3.48%	42	763	3.39%	42	686	3.87%	42	963	3.88%
44	137	0.69%	44	447	2.12%	44	745	2.93%	44	995	4.42%	44	521	2.94%	44	449	1.81%
46	43	0.22%	46	180	0.85%	46	424	1.67%	46	776	3.45%	46	299	1.69%	46	126	0.51%
48	6	0.03%	48	45	0.21%	48	111	0.44%	48	295	1.31%	48	122	0.69%	48	17	0.07%
50	6	0.03%	50	9	0.04%	50	31	0.12%	50	88	0.39%	50	25	0.14%	50	6	0.02%
52	0		52	5	0.02%	52	5	0.02%	52	21	0.09%	52	6	0.03%	52	5	0.02%
54	1	0.01%	54	1	0.00%	54	5	0.02%	54	9	0.04%	54	3	0.02%	54	0	
56	1	0.01%	56	0		56	1	0.00%	56	3	0.01%	56	3	0.02%	56	0	
58	0		58	0		58	1	0.00%	58	3	0.01%	58	1	0.01%	58	0	
60	0		60	0		60	1	0.00%	60	0	0%	60	1	0.01%	60	0	

Ze względu na obserwowane różnice w rejestrowanych strukturach rodzajowych pojazdów ciężkich i rozkładach mas całkowitych pojazdów (obszar niezabudowany - dominacja transportu dalekobieżnego, obszar zabudowany - dominacja transportu lokalnego), można stwierdzić że:

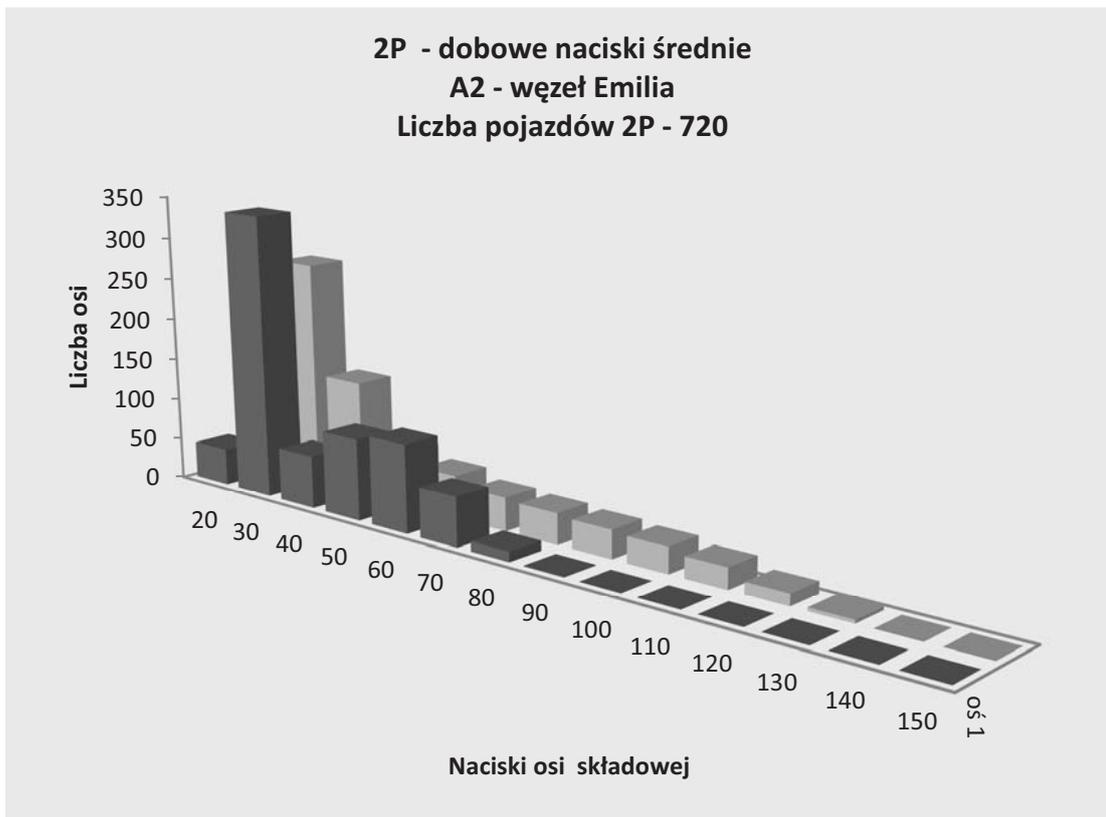
- w chwili obecnej dysponujemy jedynie rozpoznaną strukturą rodzajową pojazdów ciężkich na drogach krajowych,
- na drogach innych kategorii niż krajowe (a więc drogi wojewódzkie, powiatowe i gminne) można się spodziewać występowania różnej struktury rodzajowej pojazdów - decyduje o niej udział w ruchu pojazdów wykorzystywanych w transporcie dalekobieżnym (pojazdy członowe) i lokalnym (pojazdy pojedyncze),
- na drogach położonych na obszarach zabudowanych miast występują różne liczebności pojazdów ciężkich w stosunku do dróg zlokalizowanych poza obszarami zabudowanymi - wynika to zarówno z polityki transportowej miasta, jak i obecności (bądź też nie) drogowych obejść miast,
- w strumieniu pojazdów ciężkich dominują sylwetki pojazdów, które decydować będą o agresywności strumienia ruchu bądź też grupy pojazdów (są to sylwetki 2P, 2C+2N oraz 2C+3N),
- w strumieniu pojazdów ciężkich występują sylwetki, których udział w ruchu jest na tyle mały, że ich wpływ na agresywność strumienia ruchu bądź też grupy pojazdów będzie znikomo mały i może być pomijany (np. sylwetki 4P lub też 3C+1N, 3C+2N, 3C+3N).

7.4 OBCIĄŻENIA OSI POJAZDÓW

Dla dominujących sylwetek pojazdów, przeanalizowano występujące naciski osi. Widoczne histogramy nacisków osi oraz prowadzone w okresie wcześniejszym prace [27], wskazują na występowanie charakterystycznych rozkładów, opisujących naciski poszczególnych osi w sylwetce.

7.4.1 ROZKŁAD OBCIĄŻEŃ OSI W POJAZDACH – 2P

- A2 – węzeł Emilia

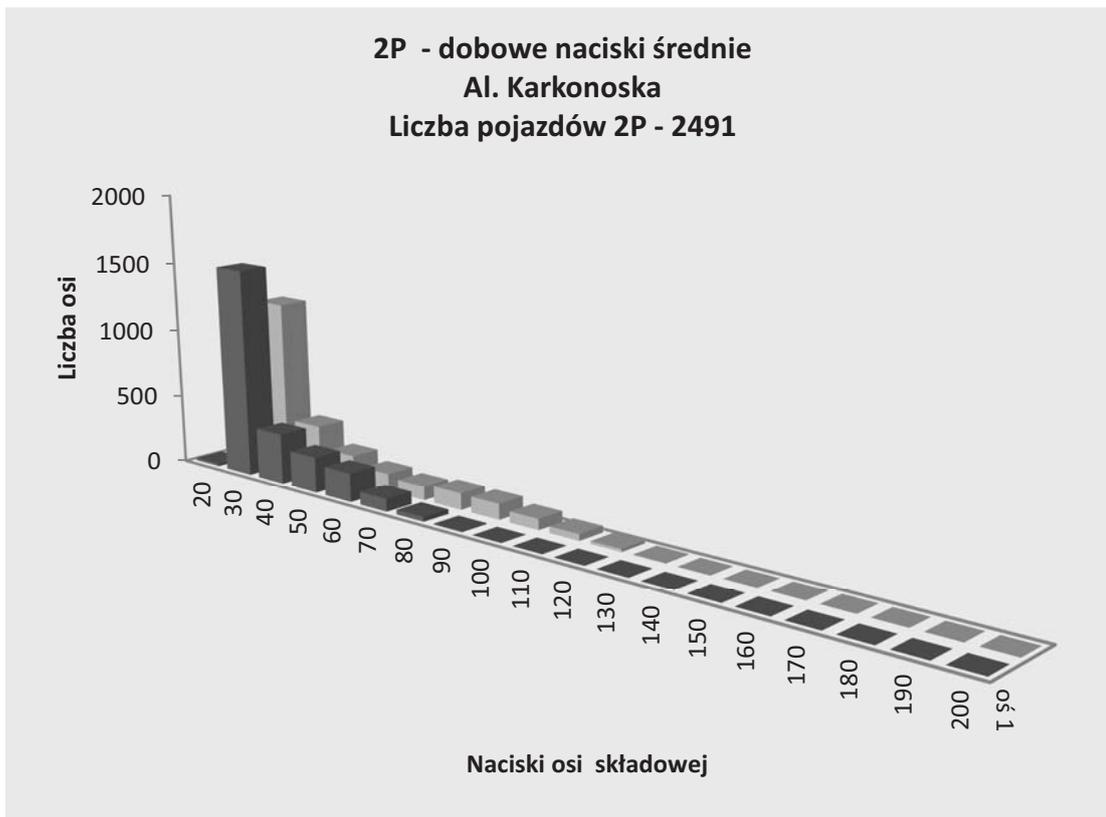


Rys. 7.12. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – A2 – węzeł Emilia.

Tab. 7.18. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – A2 – węzeł Emilia.

A2- węzeł Emilia			
oś 1		oś 2	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi
20	44	20	8
30	339	30	271
40	63	40	138
50	97	50	66
60	105	60	51
70	59	70	40
80	12	80	37
90	1	90	34
100	0	100	31
110	0	110	25
120	0	120	14
130	0	130	4
140	0	140	0
150	0	150	0
160		160	
170		170	
180		180	
190		190	
200		200	

- Wrocław - Al. Karkonoska

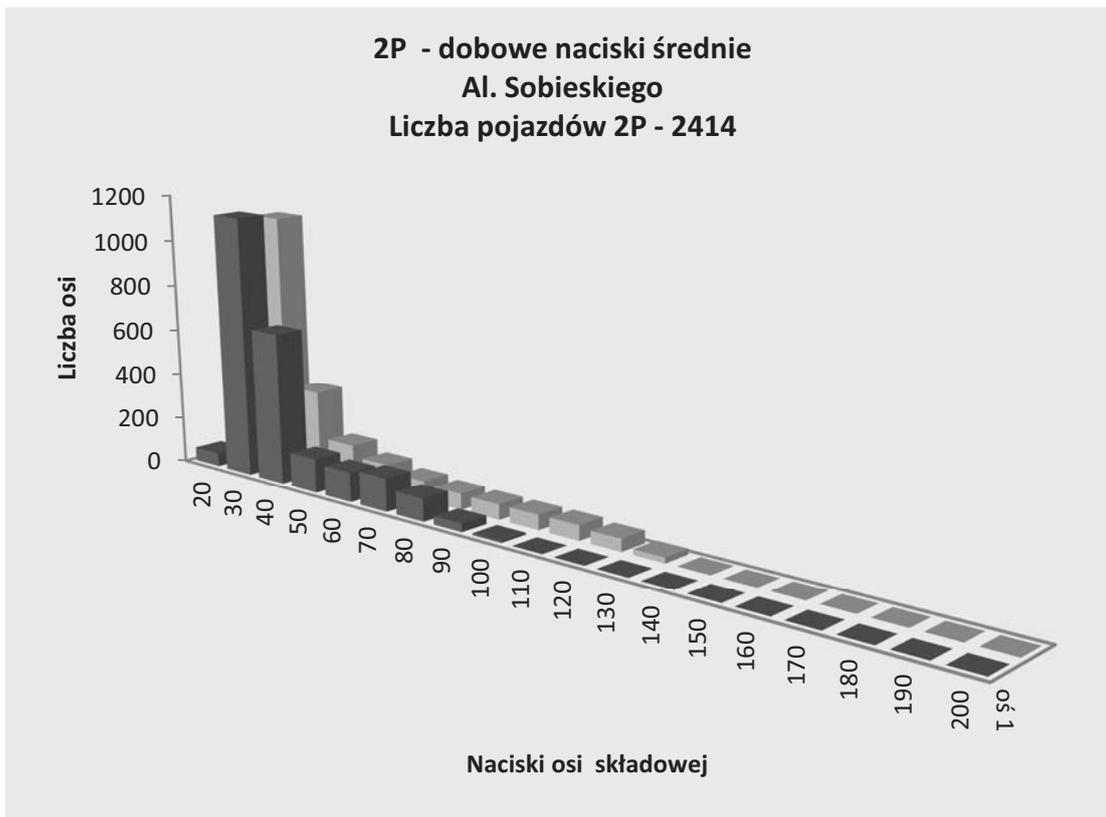


Rys. 7.13. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Karkonoska.

Tab. 7.19. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Karkonoska.

Al. Karkonoska			
oś 1		oś 2	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi
20	17	20	134
30	1514	30	1208
40	362	40	348
50	257	50	192
60	208	60	125
70	92	70	100
80	33	80	119
90	7	90	114
100	1	100	79
110	0	110	47
120	0	120	20
130	0	130	5
140	0	140	0
150	0	150	0
160	0	160	0
170	0	170	0
180	0	180	0
190	0	190	0
200	0	200	0

- Wrocław - Al. Sobieskiego

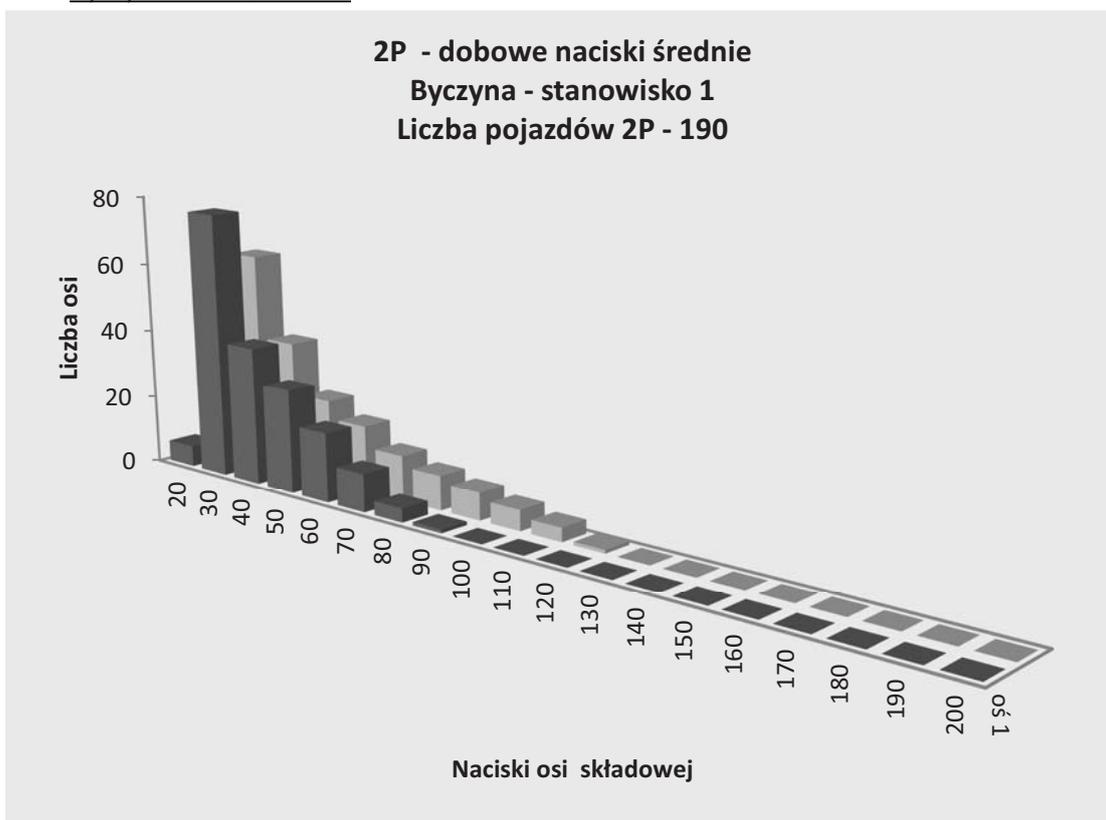


Rys. 7.14. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Sobieskiego.

Tab. 7.20. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Al. Sobieskiego.

Al. Sobieskiego			
oś 1		oś 2	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi
20	59	20	238
30	1135	30	1108
40	658	40	362
50	147	50	162
60	128	60	114
70	143	70	83
80	99	80	70
90	36	90	66
100	8	100	65
110	1	110	65
120	0	120	54
130	0	130	24
140	0	140	2
150	0	150	0
160	0	160	0
170	0	170	0
180	0	180	0
190	0	190	0
200	0	200	0

- Byczyna – stanowisko 1

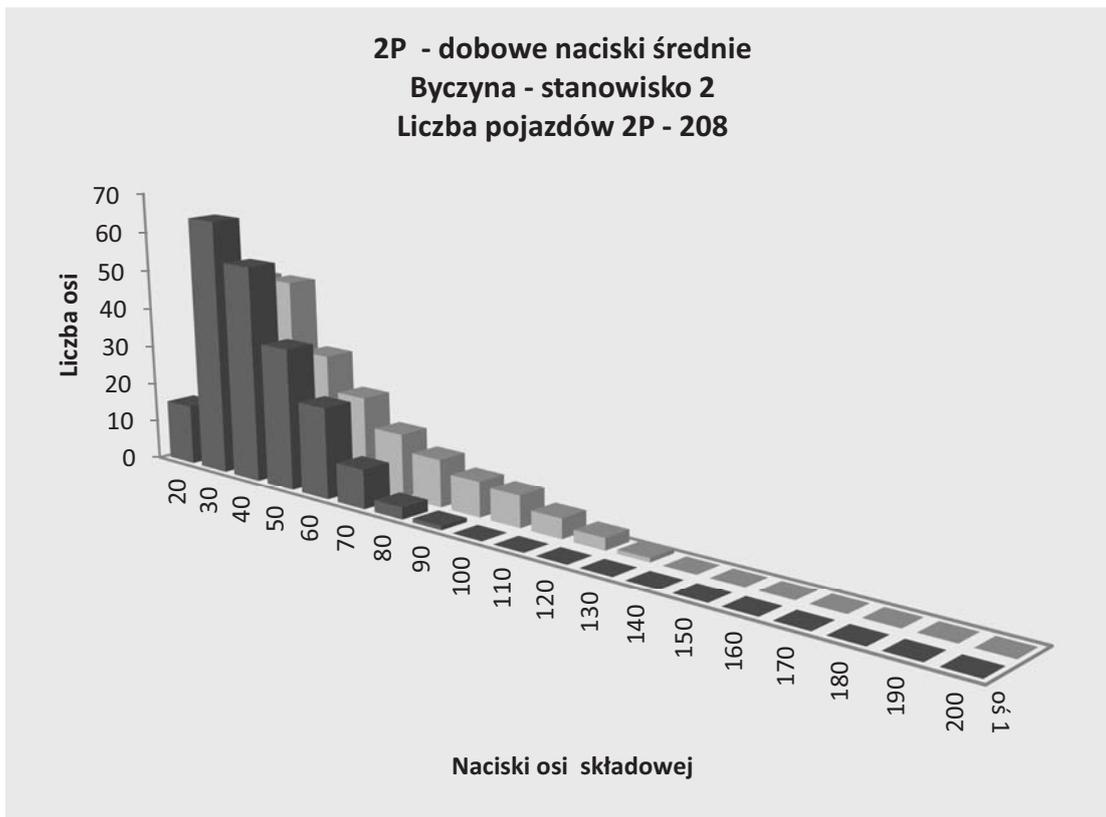


Rys. 7.15. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 1.

Tab. 7.21. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 1.

Byczyna - stanowisko 1			
Oś 1		Oś 2	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi
20	6	20	3
30	77	30	63
40	40	40	39
50	30	50	24
60	20	60	19
70	11	70	13
80	4	80	10
90	1	90	8
100	0	100	6
110	0	110	4
120	0	120	1
130	0	130	0
140	0	140	0
150	0	150	0
160	0	160	0
170	0	170	0
180	0	180	0
190	0	190	0
200	0	200	0

- Byczyna – stanowisko 2



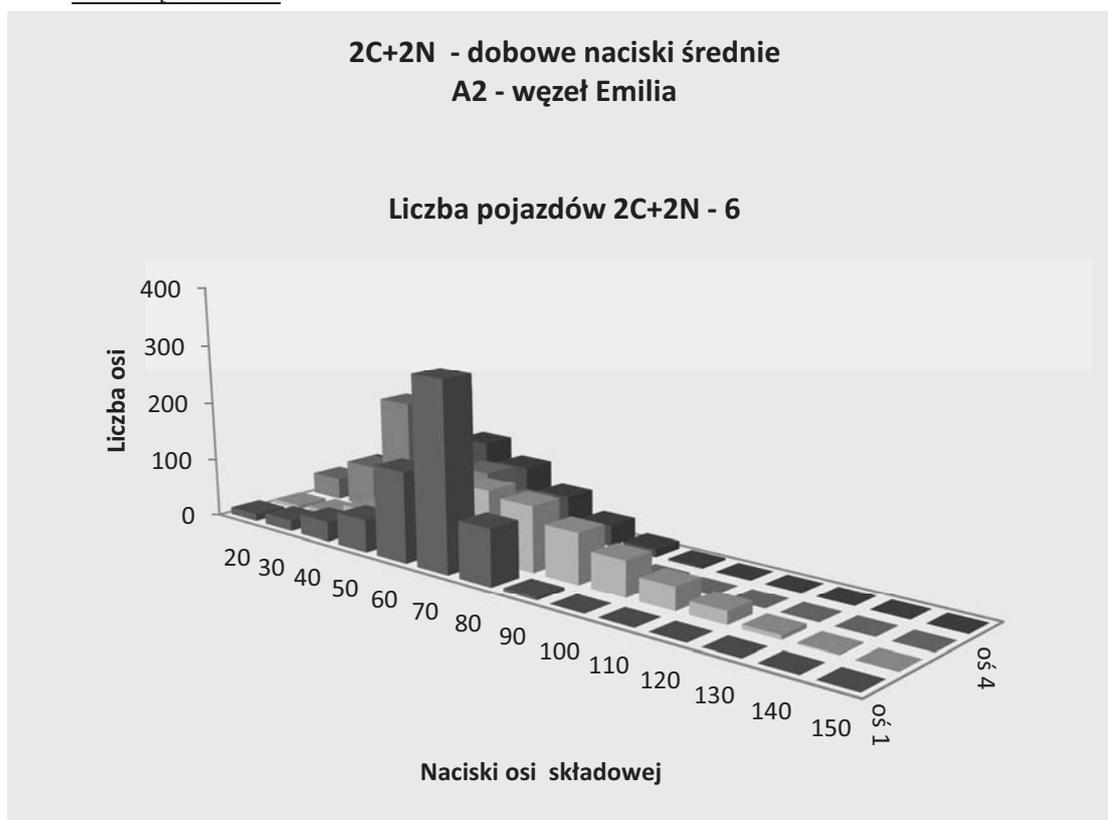
Rys. 7.16. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 2.

Tab. 7.22. Dobowe naciski średnie pojazdów 2P – Byczyna – stanowisko 2.

Byczyna - stanowisko 2			
Oś 1		Oś 2	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi
20	15	20	1
30	65	30	49
40	55	40	49
50	36	50	32
60	23	60	23
70	10	70	16
80	3	80	12
90	1	90	9
100	0	100	8
110	0	110	5
120	0	120	3
130	0	130	1
140	0	140	0
150	0	150	0
160	0	160	0
170	0	170	0
180	0	180	0
190	0	190	0
200	0	200	0

7.4.2 ROZKŁAD OBCIĄŻEŃ OSI W POJAZDACH – 2C+2N

- A2 – węzeł Emilia

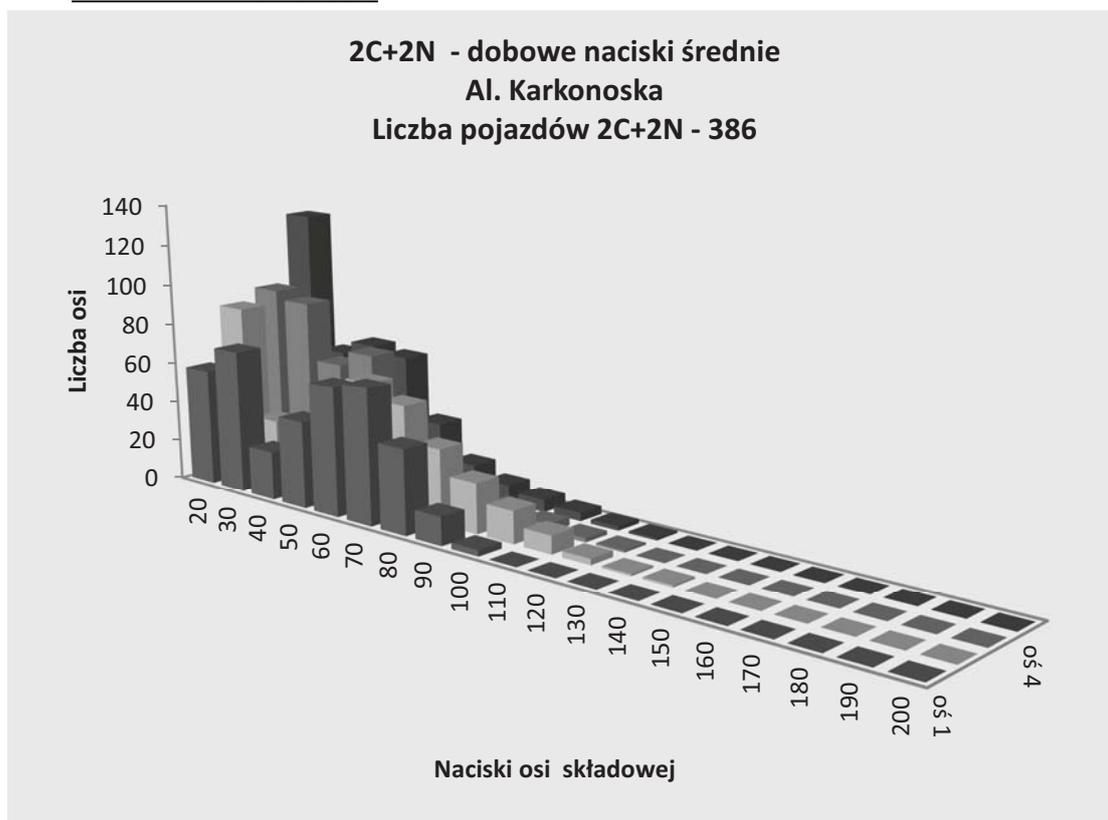


Rys. 7.17. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – A2 – węzeł Emilia.

Tab. 7.23. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – A2 – węzeł Emilia.

A2- węzeł Emilia							
OŚ 1		OŚ 2		OŚ 3		OŚ 4	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi
20	12	20	7	20	38	20	44
30	18	30	11	30	75	30	83
40	33	40	30	40	201	40	207
50	54	50	78	50	132	50	130
60	151	60	118	60	111	60	102
70	311	70	116	70	76	70	66
80	93	80	108	80	35	80	34
90	5	90	83	90	10	90	13
100	0	100	59	100	2	100	3
110	0	110	38	110	0	110	0
120	0	120	21	120	0	120	0
130	0	130	7	130	0	130	0
140	0	140	2	140	0	140	0
150	0	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0

- Wrocław - Al. Karkonoska

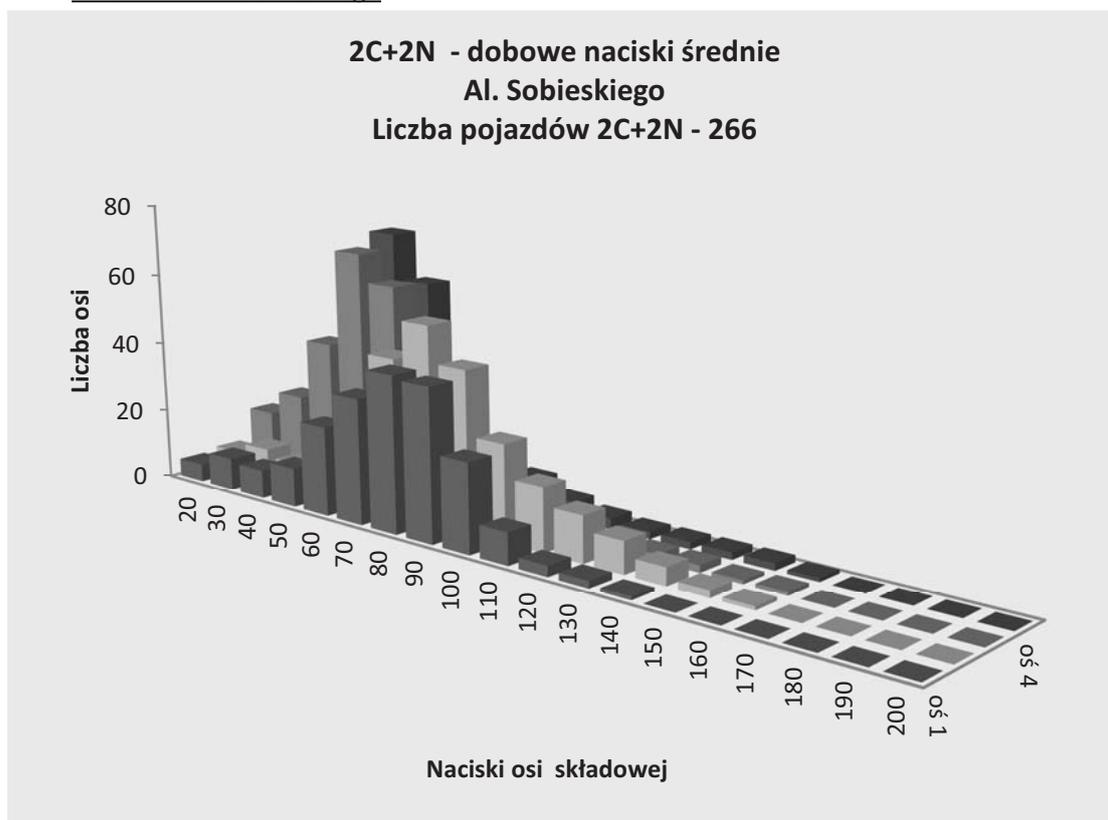


Rys. 7.18. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Karkonoska.

Tab. 7.24. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Karkonoska.

Al. Karkonoska							
oś 1		oś 2		oś 3		oś 4	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi
20	58	20	86	20	92	20	128
30	71	30	31	30	88	30	59
40	24	40	19	40	60	40	66
50	43	50	42	50	68	50	63
60	64	60	62	60	38	60	32
70	67	70	54	70	17	70	15
80	42	80	37	80	10	80	9
90	14	90	25	90	7	90	6
100	3	100	16	100	4	100	4
110	0	110	9	110	2	110	2
120	0	120	3	120	1	120	1
130	0	130	1	130	0	130	0
140	0	140	1	140	0	140	0
150	0	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0

- Wrocław - Al. Sobieskiego

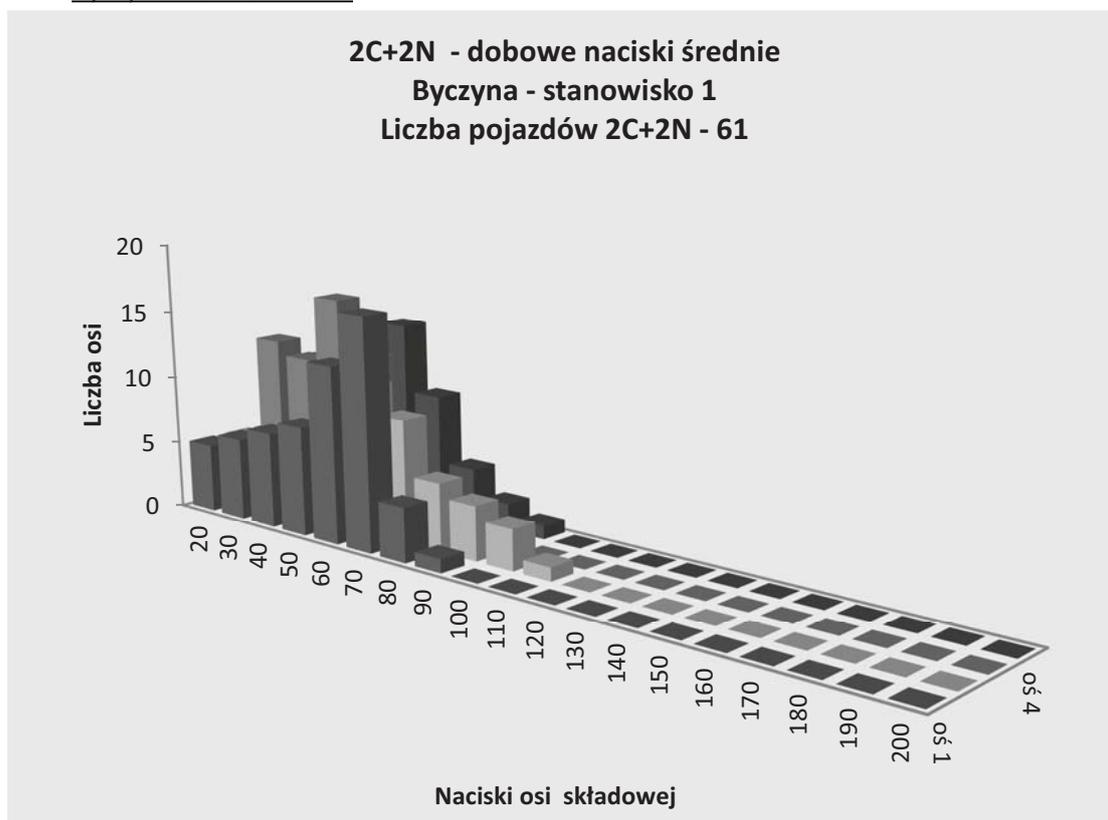


Rys. 7.19. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Sobieskiego.

Tab. 7.25. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Al. Sobieskiego.

Al. Sobieskiego							
Oś 1		Oś 2		Oś 3		Oś 4	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi
20	5	20	6	20	15	20	17
30	9	30	9	30	22	30	21
40	8	40	7	40	40	40	40
50	11	50	14	50	68	50	72
60	25	60	26	60	60	60	59
70	35	70	44	70	33	70	32
80	44	80	55	80	18	80	16
90	43	90	45	90	9	90	9
100	25	100	27	100	5	100	5
110	9	110	18	110	2	110	3
120	3	120	13	120	2	120	2
130	2	130	9	130	2	130	2
140	1	140	5	140	2	140	2
150	0	150	2	150	1	150	2
160	0	160	1	160	1	160	1
170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0

- Byczyna – stanowisko 1

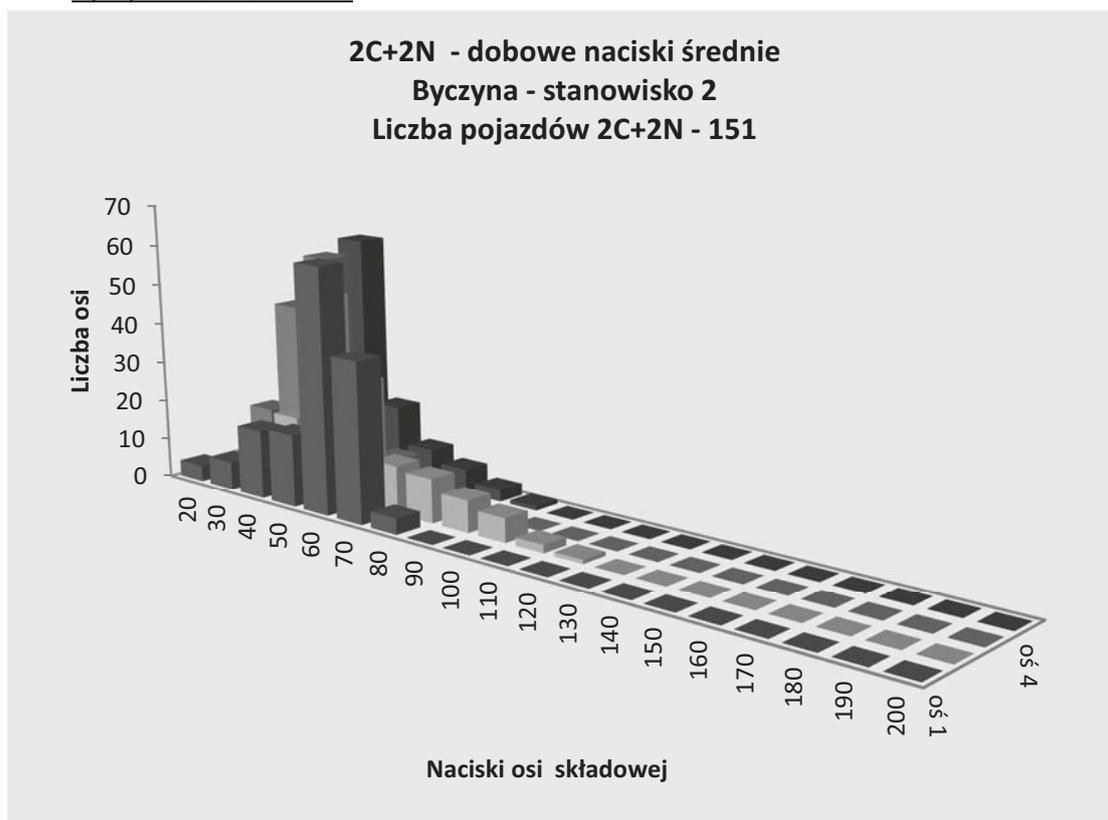


Rys. 7.20. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 1.

Tab. 7.26. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 1.

Byczyna - stanowisko 1							
Oś 1		Oś 2		Oś 3		Oś 4	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi
20	5	20	5	20	12	20	10
30	6	30	6	30	11	30	9
40	7	40	6	40	16	40	13
50	8	50	9	50	12	50	14
60	13	60	11	60	6	60	9
70	17	70	9	70	2	70	4
80	4	80	5	80	1	80	2
90	1	90	4	90	0	90	1
100	0	100	3	100	0	100	0
110	0	110	1	110	0	110	0
120	0	120	0	120	0	120	0
130	0	130	0	130	0	130	0
140	0	140	0	140	0	140	0
150	0	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0

- Byczyna – stanowisko 2



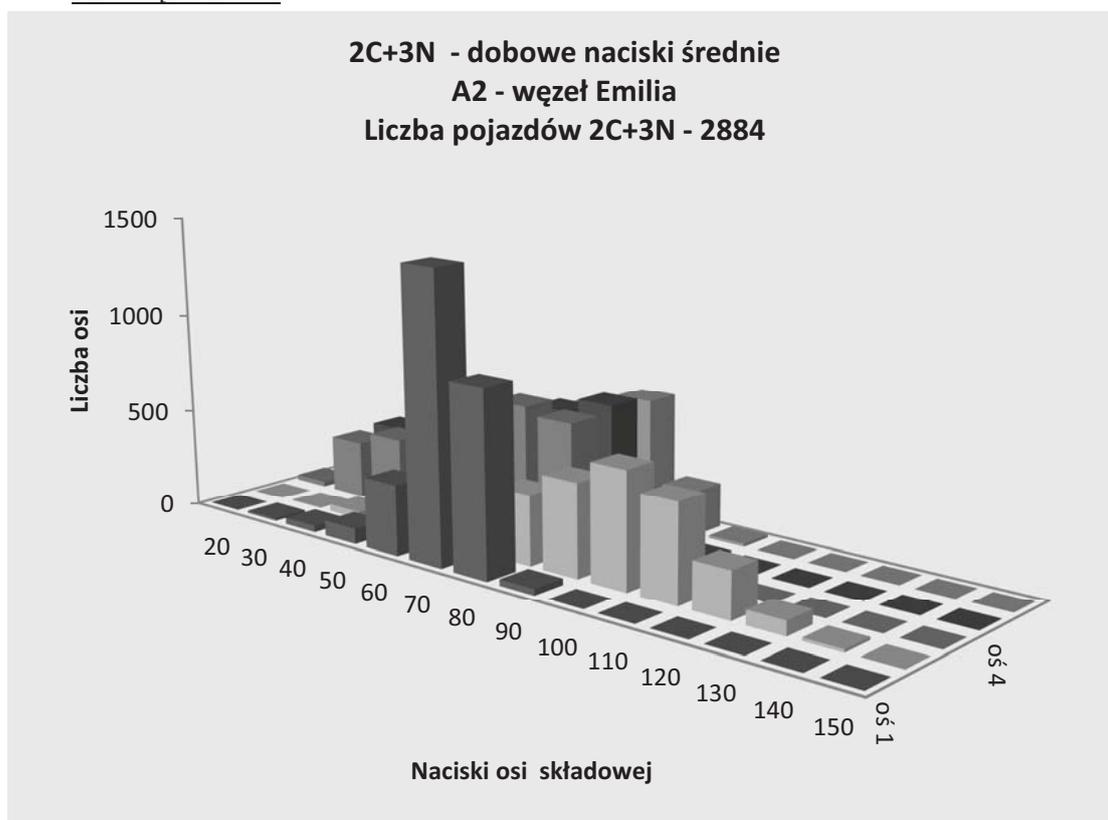
Rys. 7.21. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 2.

Tab. 7.27. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+2N – Byczyna – stanowisko 2.

Byczyna - stanowisko 2							
oś 1		oś 2		oś 3		oś 4	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi
20	4	20	3	20	14	20	14
30	7	30	8	30	43	30	40
40	17	40	18	40	57	40	60
50	18	50	50	50	18	50	18
60	61	60	31	60	9	60	9
70	40	70	12	70	6	70	6
80	4	80	11	80	2	80	3
90	0	90	8	90	1	90	1
100	0	100	6	100	0	100	0
110	0	110	2	110	0	110	0
120	0	120	1	120	0	120	0
130	0	130	0	130	0	130	0
140	0	140	0	140	0	140	0
150	0	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0

7.4.3 ROZKŁAD OBCIĄŻEŃ OSI W POJAZDACH – 2C+3N

- A2 – węzeł Emilia

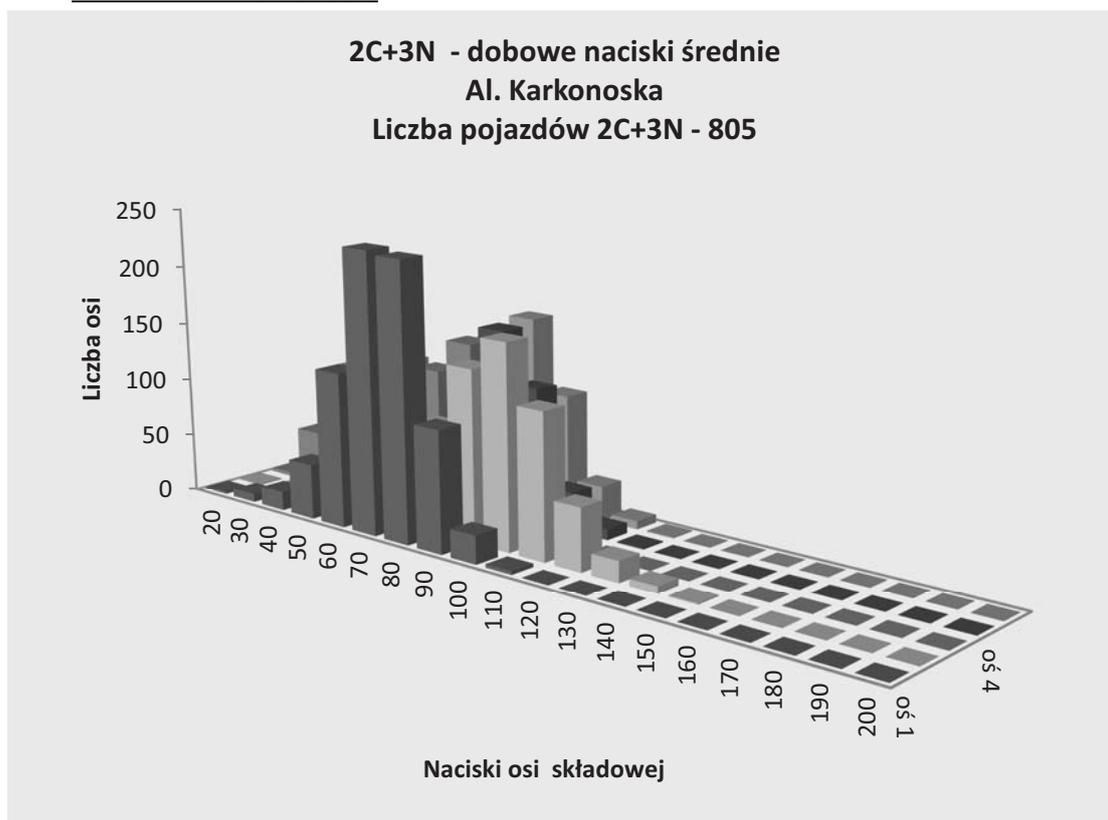


Rys. 7.22. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – A2 – węzeł Emilia.

Tab. 7.28. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – A2 – węzeł Emilia.

A2- węzeł Emilia									
Oś 1		Oś 2		Oś 3		Oś 4		Oś 5	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś piątą [kN]	Liczba osi
20	0	20	0	20	25	20	22	20	21
30	11	30	4	30	285	30	303	30	328
40	32	40	36	40	351	40	353	40	373
50	76	50	150	50	410	50	385	50	371
60	355	60	208	60	409	60	382	60	366
70	1440	70	267	70	672	70	591	70	556
80	926	80	351	80	636	80	668	80	636
90	32	90	466	90	97	90	179	90	226
100	0	100	581	100	3	100	7	100	14
110	0	110	488	110	0	110	0	110	1
120	0	120	236	120	0	120	0	120	0
130	0	130	72	130	0	130	0	130	0
140	0	140	15	140	0	140	0	140	0
150	0	150	2	150	0	150	0	150	0
160		160		160		160		160	
170		170		170		170		170	
180		180		180		180		180	
190		190		190		190		190	
200		200		200		200		200	

- Wrocław - Al. Karkonoska

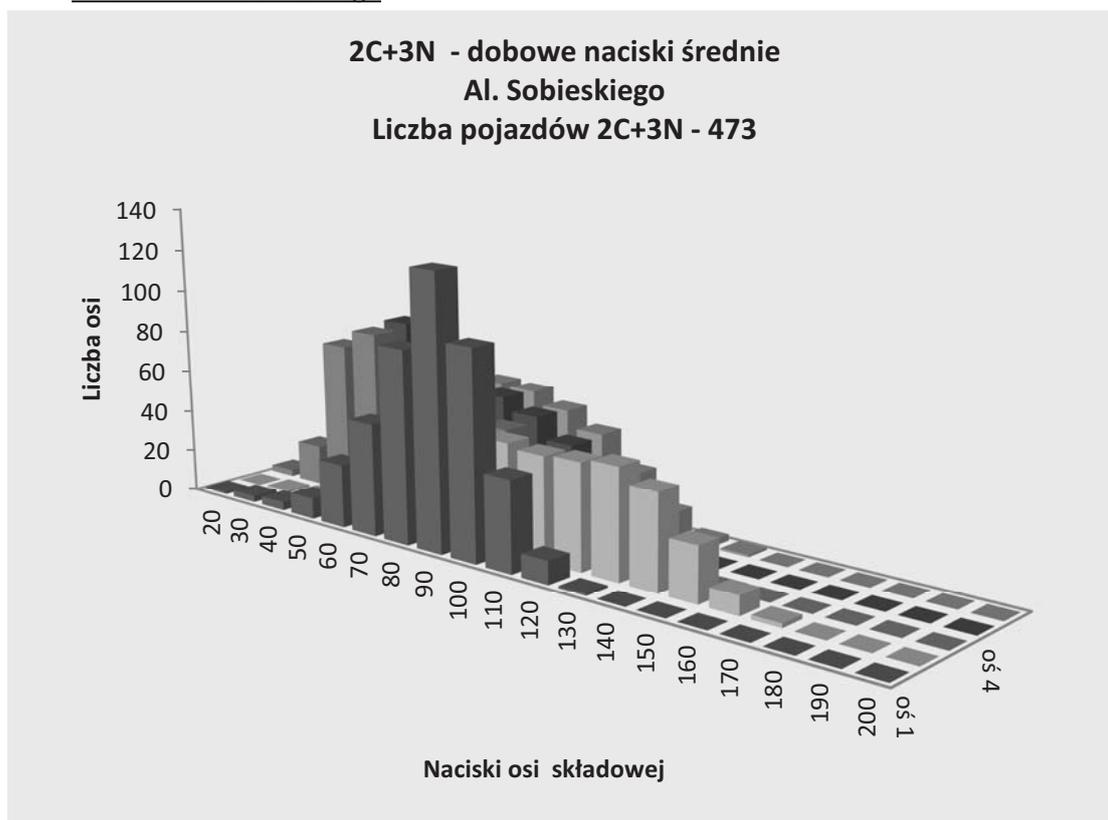


Rys. 7.23. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Karkonoska.

Tab. 7.29. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Karkonoska.

Al. Karkonoska									
oś 1		oś 2		oś 3		oś 4		oś 5	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś piątą [kN]	Liczba osi
20	2	20	1	20	3	20	3	20	5
30	7	30	1	30	46	30	53	30	67
40	16	40	6	40	109	40	110	40	105
50	47	50	41	50	90	50	88	50	87
60	132	60	70	60	98	60	99	60	99
70	238	70	74	70	126	70	135	70	140
80	235	80	92	80	154	80	159	80	163
90	103	90	146	90	125	90	115	90	101
100	24	100	173	100	41	100	33	100	30
110	3	110	123	110	12	110	9	110	7
120	0	120	53	120	1	120	1	120	1
130	0	130	18	130	0	130	0	130	0
140	0	140	6	140	0	140	0	140	0
150	0	150	1	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0	200	0

- Wrocław - Al. Sobieskiego

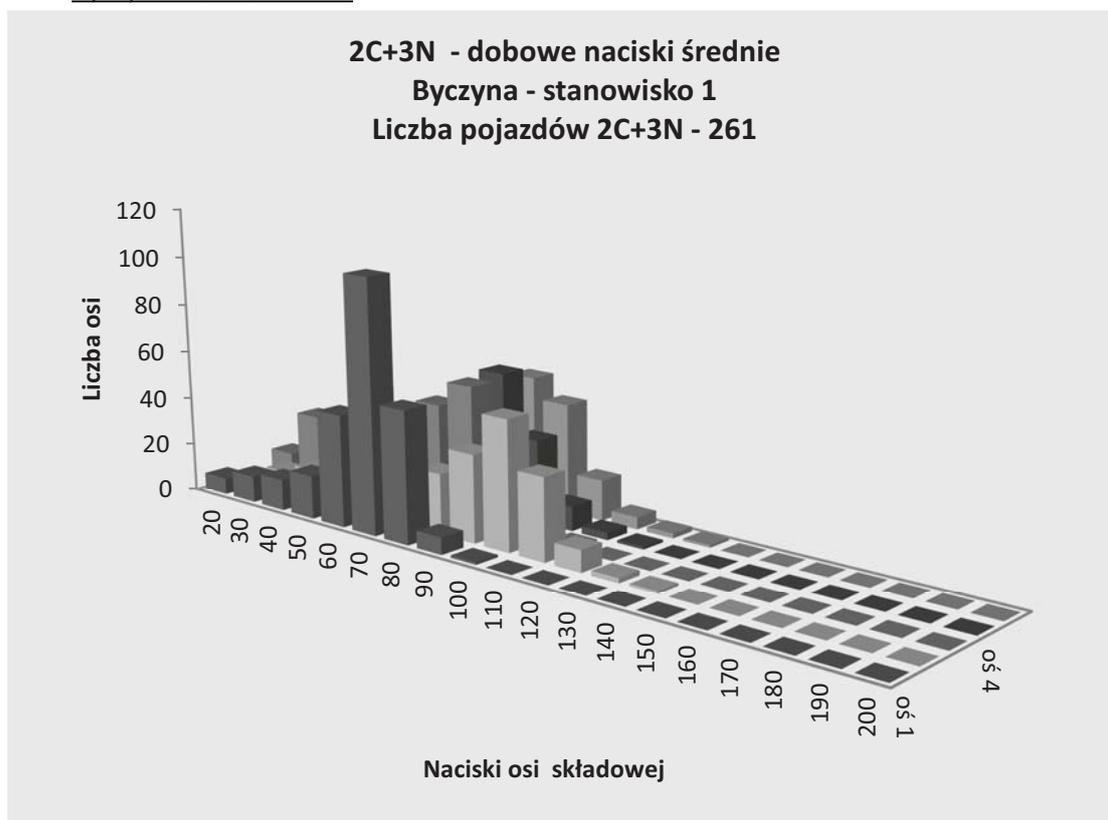


Rys. 7.24. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Sobieskiego.

Tab. 7.30. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Al. Sobieskiego.

Al. Sobieskiego									
OŚ 1		OŚ 2		OŚ 3		OŚ 4		OŚ 5	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś piątą [kN]	Liczba osi
20	1	20	0	20	3	20	2	20	3
30	3	30	1	30	19	30	14	30	21
40	4	40	2	40	73	40	62	40	74
50	10	50	9	50	82	50	84	50	70
60	30	60	25	60	65	60	66	60	59
70	53	70	48	70	57	70	58	70	57
80	91	80	53	80	55	80	57	80	56
90	129	90	51	90	49	90	51	90	50
100	98	100	51	100	38	100	41	100	42
110	43	110	49	110	22	110	24	110	27
120	11	120	50	120	7	120	10	120	12
130	1	130	52	130	1	130	2	130	3
140	0	140	45	140	0	140	0	140	1
150	0	150	26	150	0	150	0	150	0
160	0	160	9	160	0	160	0	160	0
170	0	170	2	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0	200	0

- Byczyna – stanowisko 1



Rys. 7.25. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Byczyna – stanowisko 1.

Tab. 7.31. Dobowe naciski średnie pojazdów 2C+3N – Byczyna – stanowisko 1.

Byczyna - stanowisko 1									
OŚ 1		OŚ 2		OŚ 3		OŚ 4		OŚ 5	
Nacisk na oś pierwszą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś drugą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś trzecią [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś czwartą [kN]	Liczba osi	Nacisk na oś piątą [kN]	Liczba osi
20	7	20	3	20	10	20	8	20	6
30	11	30	9	30	29	30	24	30	20
40	13	40	13	40	28	40	29	40	28
50	18	50	22	50	25	50	25	50	25
60	46	60	28	60	31	60	28	60	25
70	104	70	26	70	46	70	39	70	33
80	54	80	25	80	57	80	59	80	54
90	7	90	36	90	25	90	34	90	45
100	1	100	53	100	7	100	10	100	17
110	0	110	34	110	2	110	3	110	5
120	0	120	9	120	0	120	1	120	2
130	0	130	2	130	0	130	0	130	1
140	0	140	1	140	0	140	0	140	0
150	0	150	0	150	0	150	0	150	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
170	0	170	0	170	0	170	0	170	0
180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
190	0	190	0	190	0	190	0	190	0
200	0	200	0	200	0	200	0	200	0

7.5 AGRESYWNOŚCI OSI POJAZDÓW

Dla sprawdzenia agresywności sklasyfikowanych uprzednio sylwetek pojazdów oraz odpowiadających im nacisków osi, przeanalizowano ich agresywności, wykorzystując metody:

- "katalogową" - przeliczając liczbę zidentyfikowanych sylwetek pojazdów i aktualnie obowiązujących odpowiadających im współczynników przeliczeniowych - współczynników agresywności (współczynniki przeliczeniowe osi na osie obliczeniowej 100 kN),
- "oś po osi" - przeliczając liczbę poszczególnych nacisków osi o danym obciążeniu i wyliczone indywidualnie współczynniki przeliczeniowe - agresywności (dla założeń: obciążenie osi obliczeniowej $P_o=100$ kN, wykładnik potęgowy $m=8$),
- "średnich nacisków osi" - przeliczając liczbę poszczególnych osi w pojeździe i wyliczone indywidualnie współczynniki przeliczeniowe - agresywności dla wartości średnich nacisków (dla założeń: obciążenie osi obliczeniowej $P_o=100$ kN, wykładnik potęgowy $m=8$).

7.5.1 POJAZDY – 2P

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: A2 – węzeł Emilia

Tab. 7.32. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, A2 – Węzeł Emilia .

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2
20	0	0	0
30	0	0	0
40	0,001	0,063	0,138
50	0,004	0,388	0,264
60	0,017	1,785	0,867
70	0,058	3,422	2,32
80	0,168	2,016	6,216
90	0,43	0,43	14,62
100	1	0	31
110	2,144	0	53,6
120	4,3	0	60,2
130	8,157	0	32,628
140	14,758	0	0
150	25,629	0	0
160	42,95	0	0
170	69,758	0	0
180	110,2	0	0
190	169,836	0	0
200	256	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN:

$$L = 720 \cdot 0,032 = 23,04 \text{ osi } 100\text{kN/dobę}$$

- średnia liczba pojazdów na dobę:

- współczynnik agresywności dla pojazdu 2P:

- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.1.):

23,04

720

0,032

209,96

$$r_i = (P_i/100)^8$$

$$L = \sum r_i$$

- Liczba osi obl. dla wartości średnich **4,32**
 - $L = 720 \cdot 0,006 = 4,32$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 720
 - średni nacisk osi 1: 42 kN
 - średni nacisk osi 2: 52 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,006
- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Karkonoska

Tab. 7.33. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Al. Karkonoska.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	Oś 1	Oś 2
20	0	0	0
30	0	0	0
40	0,001	0,362	0,348
50	0,004	1,028	0,768
60	0,017	3,536	2,125
70	0,058	5,336	5,8
80	0,168	5,544	19,992
90	0,43	3,01	49,02
100	1	1	79
110	2,144	0	100,768
120	4,3	0	86
130	8,157	0	40,785
140	14,758	0	0
150	25,629	0	0
160	42,95	0	0
170	69,758	0	0
180	110,2	0	0
190	169,836	0	0
200	256	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **79,71**
 - $L = 2491 \cdot 0,032 = 79,71$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2491
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2P: 0,032
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.2.) **404,42**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **4,98**
 - $L = 2491 \cdot 0,002 = 4,98$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2491
 - średni nacisk osi 1: 38 kN
 - średni nacisk osi 2: 45 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,002

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Sobieskiego

Tab. 7.34. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Al. Sobieskiego.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	Oś 1	Oś 2
20	0	0	0
30	0	0	0
40	0,001	0,658	0,362
50	0,004	0,588	0,648
60	0,017	2,176	1,938
70	0,058	8,294	4,814
80	0,168	16,632	11,76
90	0,43	15,48	28,38
100	1	8	65
110	2,144	2,144	139,36
120	4,3	0	232,2
130	8,157	0	195,768
140	14,758	0	29,516
150	25,629	0	0
160	42,95	0	0
170	69,758	0	0
180	110,2	0	0
190	169,836	0	0
200	256	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **77,25**
 - $L = 2414 \cdot 0,032 = 77,25$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2414
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2P: 0,032
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.3.) **763,72**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **4,83**
 - $L = 2414 \cdot 0,002 = 4,83$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2414
 - średni nacisk osi 1: 41 kN
 - średni nacisk osi 2: 45 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,002

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 1
-

Tab. 7.35. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Byczyna – stanowisko 1.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	Oś 1	Oś 2
20	0	0	0
30	0	0	0
40	0,001	0,04	0,039
50	0,004	0,12	0,096
60	0,017	0,34	0,323
70	0,058	0,638	0,754
80	0,168	0,672	1,68
90	0,43	0,43	3,44
100	1	0	6
110	2,144	0	8,576
120	4,3	0	4,3
130	8,157	0	0
140	14,758	0	0
150	25,629	0	0
160	42,95	0	0
170	69,758	0	0
180	110,2	0	0
190	169,836	0	0
200	256	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **6,08**
 - $L = 190 \cdot 0,032 = 6,08$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 190
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2P: 0,032
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.4.) **27,45**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **0,95**
 - $L = 190 \cdot 0,005 = 0,95$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 190
 - średni nacisk osi 1: 42 kN
 - średni nacisk osi 2: 50 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,005

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 2

Tab. 7.36. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2P, Byczyna – stanowisko 2 .

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2
20	0	0	0
30	0	0	0
40	0,001	0,055	0,049
50	0,004	0,144	0,128
60	0,017	0,391	0,391
70	0,058	0,58	0,928
80	0,168	0,504	2,016
90	0,43	0,43	3,87
100	1	0	8
110	2,144	0	10,72
120	4,3	0	12,9
130	8,157	0	8,157
140	14,758	0	0
150	25,629	0	0
160	42,95	0	0
170	69,758	0	0
180	110,2	0	0
190	169,836	0	0
200	256	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **6,66**
 - $L = 208 \cdot 0,032 = 6,66$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 208
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2P: 0,032
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.5.) **49,26**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **1,66**
 - $L = 208 \cdot 0,008 = 1,66$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 208
 - średni nacisk osi 1: 42 kN
 - średni nacisk osi 2: 54 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,008

7.5.2 POJAZDY – 2C+2N

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: A2 – węzeł Emilia

Tab. 7.37. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, A2 – węzeł Emilia.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
40	0,001	0,033	0,03	0,201	0,207
50	0,004	0,216	0,312	0,528	0,52
60	0,017	2,567	2,006	1,887	1,734
70	0,058	18,038	6,728	4,408	3,828
80	0,168	15,624	18,144	5,88	5,712
90	0,43	2,15	35,69	4,3	5,59
100	1	0	59	2	3
110	2,144	0	81,472	0	0
120	4,3	0	90,3	0	0
130	8,157	0	57,099	0	0
140	14,758	0	29,516	0	0
150	25,629	0	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **1002,88**
 - $L = 679 \cdot 1,477 = 1002,88$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 679
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+2N: 1,477
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.6.) **458,72**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **91,67**
 - $L = 679 \cdot 0,135 = 91,67$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 679
 - średni nacisk osi 1: 64 kN
 - średni nacisk osi 2: 75 kN
 - średni nacisk osi 3: 49 kN
 - średni nacisk osi 4: 49 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,135

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Karkonoska

Tab. 7.38. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Al. Karkonoska.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
40	0,001	0,024	0,019	0,06	0,066
50	0,004	0,172	0,168	0,272	0,252
60	0,017	1,088	1,054	0,646	0,544
70	0,058	3,886	3,132	0,986	0,87
80	0,168	7,056	6,216	1,68	1,512
90	0,43	6,02	10,75	3,01	2,58
100	1	3	16	4	4
110	2,144	0	19,296	4,288	4,288
120	4,3	0	12,9	4,3	4,3
130	8,157	0	8,157	0	0
140	14,758	0	14,758	0	0
150	25,629	0	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **570,12**
 - $L = 386 \cdot 1,477 = 570,12$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 386
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+2N: 1,477
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.7.) **151,35**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **6,18**
 - $L = 386 \cdot 0,016 = 6,18$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 386
 - średni nacisk osi 1: 51 kN
 - średni nacisk osi 2: 56 kN
 - średni nacisk osi 3: 41 kN
 - średni nacisk osi 4: 39 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,016

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Sobieskiego

Tab. 7.39. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Al. Sobieskiego.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
40	0,001	0,008	0,007	0,04	0,04
50	0,004	0,044	0,056	0,272	0,288
60	0,017	0,425	0,442	1,02	1,003
70	0,058	2,03	2,552	1,914	1,856
80	0,168	7,392	9,24	3,024	2,688
90	0,43	18,49	19,35	3,87	3,87
100	1	25	27	5	5
110	2,144	19,296	38,592	4,288	6,432
120	4,3	12,9	55,9	8,6	8,6
130	8,157	16,314	73,413	16,314	16,314
140	14,758	14,758	73,79	29,516	29,516
150	25,629	0	51,258	25,629	51,258
160	42,95	0	42,95	42,95	42,95
170	69,758	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **392,88**
 $L = 266 \cdot 1,477 = 392,88$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 266
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+2N: 1,477
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.8.) **823,46**
 $r_i = (P_i/100)^8$
 $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **93,10**
 $L = 266 \cdot 0,350 = 93,10$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 266
 - średni nacisk osi 1: 77 kN
 - średni nacisk osi 2: 82 kN
 - średni nacisk osi 3: 57 kN
 - średni nacisk osi 4: 57 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,350

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 1

Tab. 7.40. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Byczyna – stanowisko 1.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
40	0,001	0,007	0,006	0,016	0,013
50	0,004	0,032	0,036	0,048	0,056
60	0,017	0,221	0,187	0,102	0,153
70	0,058	0,986	0,522	0,116	0,232
80	0,168	0,672	0,84	0,168	0,336
90	0,43	0,43	1,72	0	0,43
100	1	0	3	0	0
110	2,144	0	2,144	0	0
120	4,3	0	0	0	0
130	8,157	0	0	0	0
140	14,758	0	0	0	0
150	25,629	0	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **90,10**
 - $L = 61 \cdot 1,477 = 90,10$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 61
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+2N: 1,477
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.9.) **12,47**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **1,46**
 - $L = 61 \cdot 0,024 = 1,46$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 61
 - średni nacisk osi 1: 55 kN
 - średni nacisk osi 2: 58 kN
 - średni nacisk osi 3: 40 kN
 - średni nacisk osi 4: 45 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,024

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 2

Tab. 7.41. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+2N, Byczyna – stanowisko 2.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
40	0,017	0,018	0,057	0,06	0,017
50	0,072	0,2	0,072	0,072	0,072
60	1,037	0,527	0,153	0,153	1,037
70	2,32	0,696	0,348	0,348	2,32
80	0,672	1,848	0,336	0,504	0,672
90	0	3,44	0,43	0,43	0
100	0	6	0	0	0
110	0	4,288	0	0	0
120	0	4,3	0	0	0
130	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **223,03**
 - $L = 151 \cdot 1,477 = 223,03$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 151
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+2N: 1,477
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.10.) **28,40**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **3,78**
 - $L = 151 \cdot 0,025 = 3,78$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 151
 - średni nacisk osi 1: 57 kN
 - średni nacisk osi 2: 58 kN
 - średni nacisk osi 3: 40 kN
 - średni nacisk osi 4: 40 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,025

7.5.3 POJAZDY – 2C+3N

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: A2 – węzeł Emilia

Tab. 7.42. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, A2 – węzeł Emilia.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4	OŚ 5
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
40	0,001	0,032	0,036	0,351	0,353	0,373
50	0,004	0,304	0,6	1,64	1,54	1,484
60	0,017	6,035	3,536	6,953	6,494	6,222
70	0,058	83,52	15,486	38,976	34,278	32,248
80	0,168	155,568	58,968	106,848	112,224	106,848
90	0,43	13,76	200,38	41,71	76,97	97,18
100	1	0	581	3	7	14
110	2,144	0	1046,27	0	0	2,144
120	4,3	0	1014,8	0	0	0
130	8,157	0	587,304	0	0	0
140	14,758	0	221,37	0	0	0
150	25,629	0	51,258	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **10843,84**
 - $L = 2884 \cdot 3,760 = 10843,84$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2884
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+3N: 3,760
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.11.) **4739,06**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **1707,33**
 - $L = 2884 \cdot 0,592 = 1707,33$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 2884
 - średni nacisk osi 1: 71 kN
 - średni nacisk osi 2: 91 kN
 - średni nacisk osi 3: 61 kN
 - średni nacisk osi 4: 61 kN
 - średni nacisk osi 5: 61 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,592

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Karkonoska

Tab. 7.43. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Al. Karkonoska.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4	OŚ 5
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
40	0,001	0,016	0,006	0,109	0,11	0,105
50	0,004	0,188	0,164	0,36	0,352	0,348
60	0,017	2,244	1,19	1,666	1,683	1,683
70	0,058	13,804	4,292	7,308	7,83	8,12
80	0,168	39,48	15,456	25,872	26,712	27,384
90	0,43	44,29	62,78	53,75	49,45	43,43
100	1	24	173	41	33	30
110	2,144	6,432	263,712	25,728	19,296	15,008
120	4,3	0	227,9	4,3	4,3	4,3
130	8,157	0	146,826	0	0	0
140	14,758	0	88,548	0	0	0
150	25,629	0	25,629	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **3026,80**
 $L = 805 \cdot 3,760 = 3026,80$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 805
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+3N: 3,760
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.12.) **1573,16**
 $r_i = (P_i/100)^8$
 $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **499,10**
 $L = 805 \cdot 0,620 = 499,10$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 805
 - średni nacisk osi 1: 73 kN
 - średni nacisk osi 2: 90 kN
 - średni nacisk osi 3: 67 kN
 - średni nacisk osi 4: 66 kN
 - średni nacisk osi 5: 65 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,620

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Wrocław - Al. Sobieskiego

Tab. 7.44. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Al. Sobieskiego.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4	OŚ 5
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
40	0,001	0,004	0,002	0,073	0,062	0,074
50	0,004	0,04	0,036	0,328	0,336	0,28
60	0,017	0,51	0,425	1,105	1,122	1,003
70	0,058	3,074	2,784	3,306	3,364	3,306
80	0,168	15,288	8,904	9,24	9,576	9,408
90	0,43	55,47	21,93	21,07	21,93	21,5
100	1	98	51	38	41	42
110	2,144	92,192	105,056	47,168	51,456	57,888
120	4,3	47,3	215	30,1	43	51,6
130	8,157	8,157	424,164	8,157	16,314	24,471
140	14,758	0	664,11	0	0	14,758
150	25,629	0	666,354	0	0	0
160	42,95	0	386,55	0	0	0
170	69,758	0	139,516	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **1778,48**
 - $L = 473 \cdot 3,760 = 1778,48$ osi 100kN/dob
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 473
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+3N: 3,760
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.13.) **3578,86**
 - $r_i = (P_i/100)^8$
 - $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **921,88**
 - $L = 473 \cdot 1,949 = 921,88$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 473
 - średni nacisk osi 1: 87 kN
 - średni nacisk osi 2: 105 kN
 - średni nacisk osi 3: 67 kN
 - średni nacisk osi 4: 69 kN
 - średni nacisk osi 5: 69 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 1,949

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 1

Tab. 7.45. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Byczyna – st. 1.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4	OŚ 5
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
40	0,001	0,013	0,013	0,028	0,029	0,028
50	0,004	0,072	0,088	0,1	0,1	0,1
60	0,017	0,782	0,476	0,527	0,476	0,425
70	0,058	6,032	1,508	2,668	2,262	1,914
80	0,168	9,072	4,2	9,576	9,912	9,072
90	0,43	3,01	15,48	10,75	14,62	19,35
100	1	1	53	7	10	17
110	2,144	0	72,896	4,288	6,432	10,72
120	4,3	0	38,7	0	4,3	8,6
130	8,157	0	16,314	0	0	8,157
140	14,758	0	14,758	0	0	0
150	25,629	0	0	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **981,36**
 $L = 261 \cdot 3,760 = 981,36$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 261
 - współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+3N: 3,760
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.14.) **395,85**
 $r_i = (P_i/100)^8$
 $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **84,83**
 $L = 261 \cdot 0,325 = 84,83$ osi 100kN/dobę
 - średnia liczba pojazdów na dobę: 261
 - średni nacisk osi 1: 65 kN
 - średni nacisk osi 2: 81 kN
 - średni nacisk osi 3: 63 kN
 - średni nacisk osi 4: 65 kN
 - średni nacisk osi 5: 69 kN
 - agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,325

- Obciążenie jak na stanowisku pomiarowym: Byczyna – stanowisko 2

Tab. 7.46. Wsp. agresywności oraz liczby osi obl. 100 kN/dobę – pojazd 2C+3N, Byczyna – st. 2.

Nacisk na oś [kN]	r_i [kN] 100 kN	OŚ 1	OŚ 2	OŚ 3	OŚ 4	OŚ 5
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
40	0,001	0,015	0,027	0,048	0,045	0,051
50	0,004	0,084	0,2	0,148	0,148	0,148
60	0,017	1,513	0,527	0,595	0,578	0,561
70	0,058	6,902	1,566	2,03	2,03	1,972
80	0,168	6,552	4,704	6,384	6,552	6,552
90	0,43	0,86	14,19	7,74	8,17	9,03
100	1	39	37	3	3	4
110	2,144	0	64,32	0	0	2,144
120	4,3	0	64,5	0	0	0
130	8,157	0	40,785	0	0	0
140	14,758	0	14,758	0	0	0
150	25,629	0	0	0	0	0
160	42,95	0	0	0	0	0
170	69,758	0	0	0	0	0
180	110,2	0	0	0	0	0
190	169,836	0	0	0	0	0
200	256	0	0	0	0	0

- Liczba osi obl. wg KTKN: **1120,48**
 $L = 298 \cdot 3,760 = 1128,48$ osi 100kN/dobę
 – średnia liczba pojazdów na dobę: 298
 – współczynnik agresywności dla pojazdu 2C+3N: 3,760
- Liczba osi obl. - oś po osi (zgodnie z tab. 5.15.) **362,43**
 $r_i = (P_i/100)^8$
 $L = \sum r_i$
- Liczba osi obl. dla wartości średnich **58,11**
 $L = 298 \cdot 0,1951 = 58,11$ osi 100kN/dobę
 – średnia liczba pojazdów na dobę: 298
 – średni nacisk osi 1: 69 kN
 – średni nacisk osi 2: 77 kN
 – średni nacisk osi 3: 53 kN
 – średni nacisk osi 4: 53 kN
 – średni nacisk osi 5: 54 kN
 – agresywność jednego pojazdu - dla średnich nacisków osi: 0,195

7.5.4 PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Po przeprowadzeniu powyższych przeliczeń zidentyfikowanych sylwetek pojazdów, ich osi oraz wyliczonych współczynników przeliczeniowych, można stwierdzić, że:

- widoczne są znaczące różnice pomiędzy uzyskanymi wartościami agresywności pojazdów w zależności od przyjętego sposobu postępowania,
- w sylwetce pojazdu 2P (gdzie nie występuje oś wielokrotna), uzyskane wartości agresywności pojazdów liczone "oś po osi" są zdecydowanie większe od wartości uzyskanych dla aktualnie obowiązujących współczynników przeliczeniowych; wskazuje to na niedoszacowanie aktualnie obowiązującego współczynnika przeliczeniowego dla tej grupy pojazdów,
- w sylwetce pojazdu 2P wartości agresywności pojazdów obliczone dla średnich nacisków osi są zdecydowanie mniejsze od wartości agresywności pojazdów uzyskanych dla metody "oś po osi"; wskazuje to na niemożność wykorzystywania w obliczeniach średnich wartości nacisków osi,
- w sylwetkach pojazdów gdzie występuje oś wielokrotna (2C+2N, 2C+3N) agresywności pojazdów obliczone dla aktualnie obowiązujących współczynników przeliczeniowych dla nawierzchni sztywnych, są dużo większe od wartości agresywności uzyskanych dla metody "oś po osi"; wynika to z nieuwzględnienia w metodzie "oś po osi" współczynników typu osi, które mają istotny wpływ na wartości obliczanych agresywności,
- mniejsze wartości agresywności pojazdów uzyskiwane dla średnich nacisków osi w stosunku do agresywności obliczanej "oś po osi" w każdej grupie pojazdów wskazują na konieczność znalezienia nacisków osi dla danej sylwetki - o wartościach przeciętnych (średkowych).

7.6 PRZECIĘTNE NACISKI OSI POJAZDÓW

Obserwacja powyższych wyników oraz prowadzone prace badawcze [27] pozwala sformułować hipotezę, o występowaniu trzech typów krzywych opisujących naciski osi pojazdów: krzywej typu normalnego, wykładniczego i gamma.

- Funkcja gęstości rozkładu normalnego jest opisana wzorem:

$$f(P) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

gdzie: P – obciążenie osi pojazdu.

μ – wartość średnia,

σ^2 - wariancja.

- Funkcja gęstości rozkładu wykładniczego określona jest wzorem:

$$f(P) = \lambda e^{-\lambda P} \text{ dla } P > 0$$

gdzie: P – obciążenie osi pojazdu.

a wartość średnią i wariancję można zapisać jako:

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

gdzie: μ – wartość średnia,
 σ^2 - wariancja.

- Funkcja gęstości rozkładu gamma jest opisana wzorem:

$$f(P) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \cdot \beta^\alpha} P^{\alpha-1} \cdot e^{-P/\beta} \text{ dla } P > 0$$

gdzie: P – obciążenie osi pojazdu.

, a wartość średnią i wariancję rozkładu gamma określają wzory:

$$\mu = \alpha \cdot \beta$$

$$\sigma^2 = \alpha \cdot \beta^2$$

gdzie: α – parametr kształtu,
 β - parametr skali.

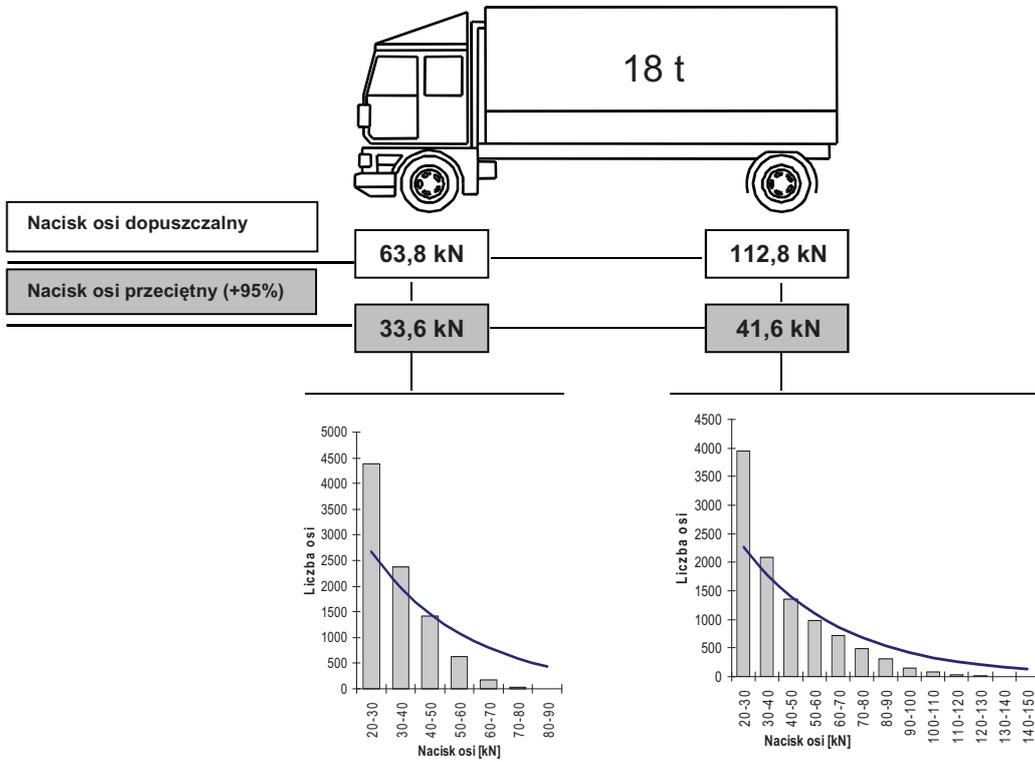
Dla dominujących sylwetek pojazdów w strumieniu ruchu odpowiadających za wielkość oddziaływań samochodów ciężarowych bez przyczep (2P), samochodów ciężarowych z przyczepami i pojazdów członowych (2C+2N i 2C+3N), funkcje gęstości prawdopodobieństwa przyjmują postać:

- 2P
 - oś 1: $f(P_{2P-os1}) = 0,030e^{-0,030P}$
 - oś 2: $f(P_{2P-os2}) = 0,024e^{-0,024P}$
- 2P+2P
 - oś 1: $f(P_{2P+2P-os1}) = \frac{1}{11,20 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-44,59)^2}{2 \cdot 125,38}}$
 - oś 2: $f(P_{2P+2P-os2}) = \frac{1}{20,93 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-64,11)^2}{2 \cdot 437,95}}$
 - oś 3: $f(P_{2P+2P-os3}) = \frac{1}{\Gamma(5,1311) \cdot 6,8212^{5,1311}} P^{4,1311} \cdot e^{-P/6,8212}$
 - oś 4: $f(P_{2P+2P-os4}) = \frac{1}{\Gamma(5,1169) \cdot 6,6447^{5,1169}} P^{4,1169} \cdot e^{-P/6,6447}$
- 2C+2N
 - oś 1: $f(P_{2C+2N-os1}) = \frac{1}{9,95 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-47,05)^2}{2 \cdot 99,09}} \quad (6.14)$
 - oś 2: $f(P_{2C+2N-os2}) = \frac{1}{\Gamma(7,2830) \cdot 6,3161^{7,2830}} P^{6,2830} \cdot e^{-P/6,3161}$
 - oś 3: $f(P_{2C+2N-os3}) = 0,031e^{-0,031P}$
 - oś 4: $f(P_{2C+2N-os4}) = 0,030e^{-0,030P}$
- 2C+3N
 - oś 1: $f(P_{2C+3N-os1}) = \frac{1}{10,66 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-53,97)^2}{2 \cdot 113,72}}$
 - oś 2: $f(P_{2C+3N-os2}) = \frac{1}{23,77 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-71,92)^2}{2 \cdot 565,10}}$
 - oś 3: $f(P_{2C+3N-os3}) = \frac{1}{18,62 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-51,19)^2}{2 \cdot 346,76}}$

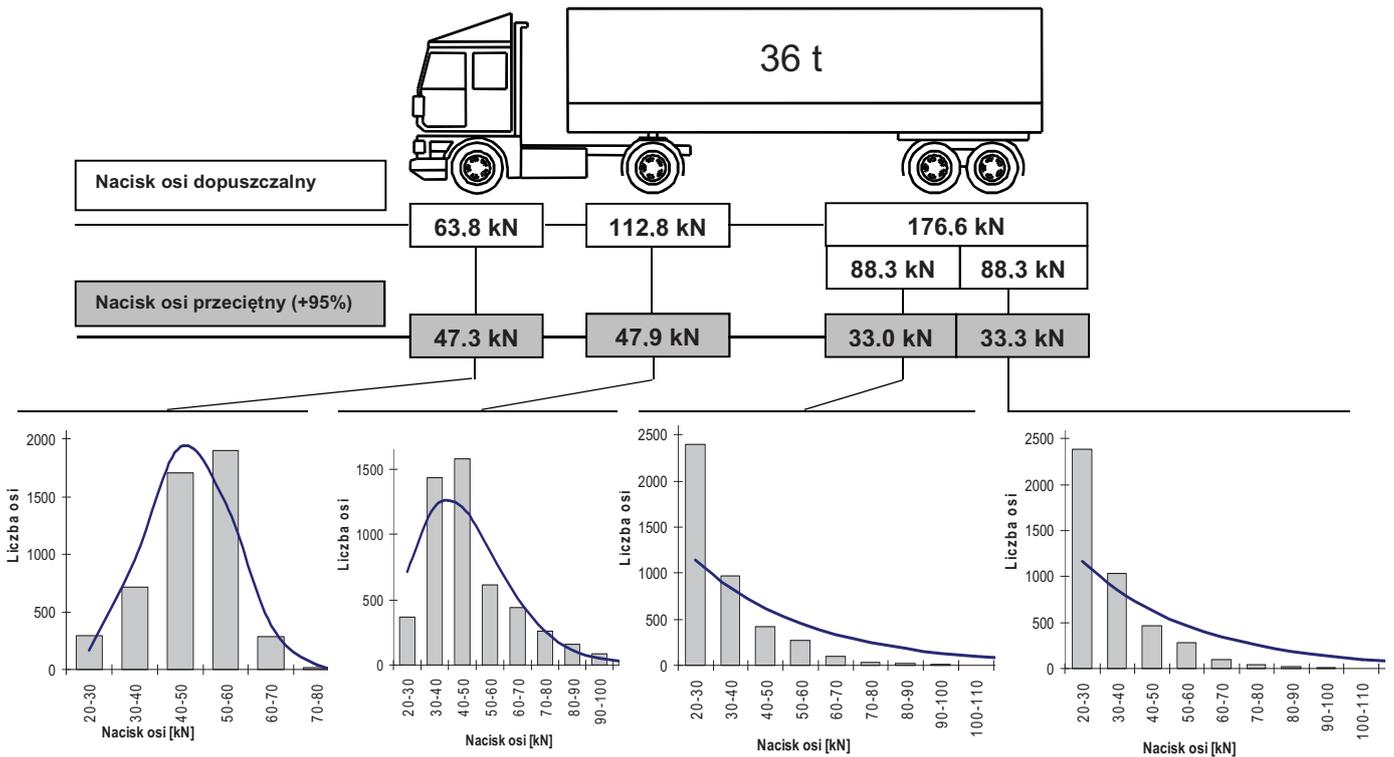
$$\begin{aligned}
 - \text{ oś 4: } f(P_{2C+3N-\text{oś4}}) &= \frac{1}{18,87 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-51,85)^2}{2 \cdot 356,15}} \\
 - \text{ oś 5: } f(P_{2C+3N-\text{oś4}}) &= \frac{1}{19,05 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-51,82)^2}{2 \cdot 362,96}}
 \end{aligned}$$

Zgodność empirycznych wyników pomiarów z rozkładami teoretycznymi sprawdzono za pomocą testu zgodności χ -Pearsona. Wykresy powyższych rozkładów teoretycznych dla lepszego zobrazowania przedstawiono również graficznie. Jak widać, rozkład nacisków osi samochodu ciężarowego dwuosowego (2P) dobrze przybliża rozkład wykładniczy, co jest wynikiem zaliczania do tej grupy pojazdów samochodów dostawczych o masie przekraczającej 3,5 t (dopuszczalna masa całkowita tego typu pojazdów wynosi ok. 6,5 t) i o naciskach osi z reguły nie przekraczających 35 kN. W przeciwieństwie do samochodów ciężarowych dwuosowych (2P), naciski osi kierowanej i napędowej samochodów ciężarowych wchodzących w skład zespołów pojazdów opisane są już rozkładami normalnymi, a spowodowane jest to dominacją w tej grupie pojazdów samochodów ciężarowych, w których naciski osi od masy własnej pojazdu przekraczają już 20 ÷ 30 kN. Rozkłady nacisków osi przyczep zgodne są natomiast z rozkładami gamma. Rozkłady nacisków osi ciągników siodłowych charakteryzują najlepiej rozkłady normalne (za wyjątkiem osi napędowej ciągnika siodłowego dwuosowego z dwuosową naczepą, która zgodna jest z rozkładem gamma), a osi naczep rozkłady wykładnicze (pojazd członowy czterosiowy 2C+2N), lub normalne (pojazd członowy pięciosiowy 2C+3N). W tym ostatnim przypadku, przeciętny nacisk osi wynosi ok. 52,0 kN, co odpowiada wartości przeciętnej nacisków osi występujących na drogach w Niemczech (53,0 kN).

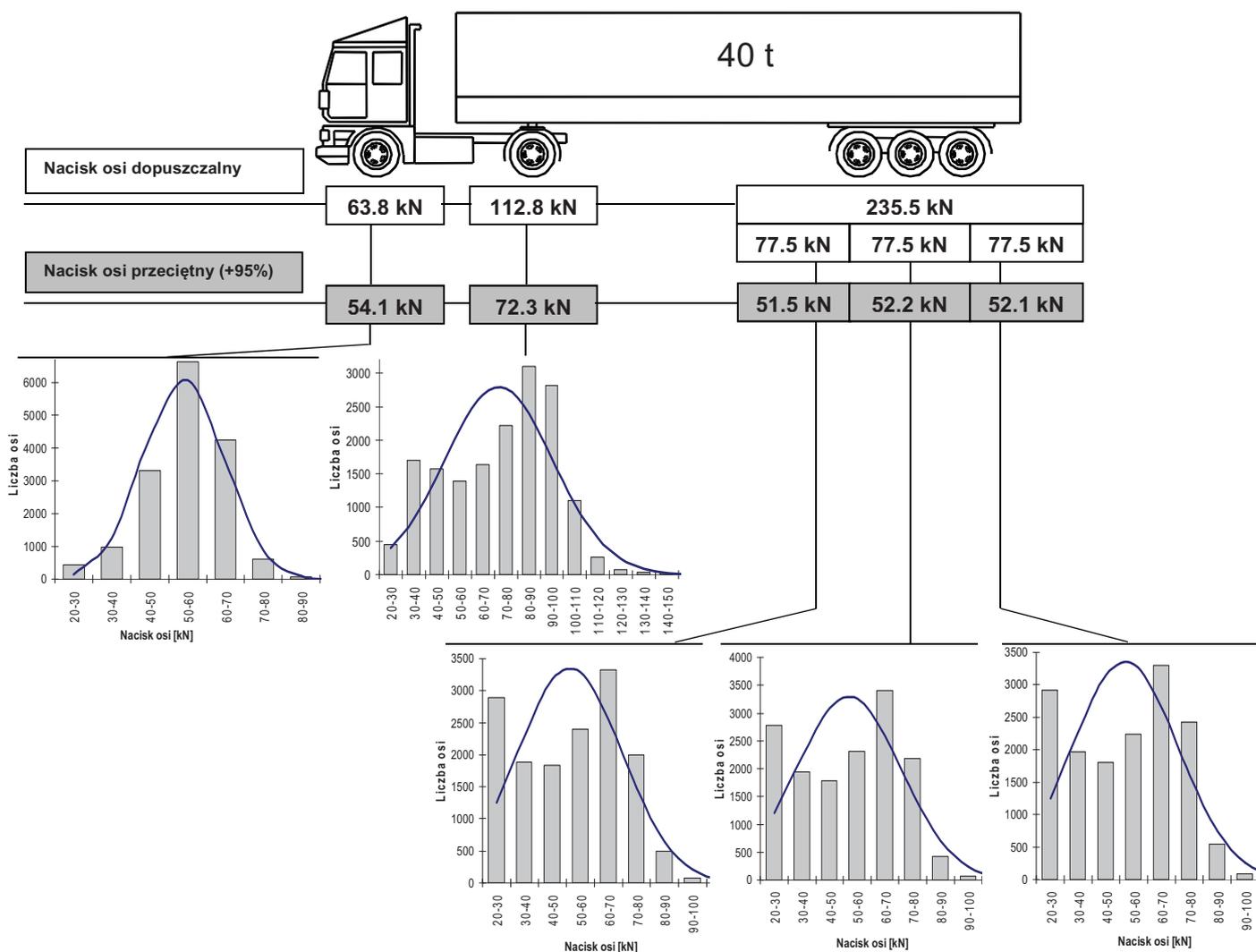
Z powyższych analiz wynika, że dla górnej granicy przedziału ufności średniej na poziomie 95% oddziaływanie samochodu ciężarowego 2P jest równe 75,2 kN (33,6 kN – oś 1 i 41,6 kN – oś 2), dwuosowego ciągnika siodłowego z dwuosową naczepą 2C+2N 161,5 kN (47,3 kN – oś 1, 47,9 kN – oś 2, 33,0 kN – oś 3 i 33,3 kN – oś 4), a dwuosowego ciągnika siodłowego z trójosiową naczepą 2C+3N 282,2 kN (54,1 kN – oś 1, 72,3 kN – oś 2, 51,5 kN – oś 3, 52,2 kN – oś 4 i 52,1 kN – oś 5). Obecnie w Polsce przyjmuje się, że oddziaływanie samochodów ciężarowych bez przyczep jest równoważne 65 kN, a samochodów ciężarowym z przyczepami od 105 do 118 kN [19]. Jak widać są to wartości znacznie mniejsze od wyznaczonych wartości przeciętnych dla poszczególnych sylwetek pojazdów.



Rys. 7.26. Rozkłady nacisków osi samochodu ciężarowego dwuosioowego (2P).



Rys. 7.27. Rozkłady nacisków osi pojazdu członowego czterosioowego (ciągnik siodłowy dwuosioowy wraz z dwuosiową naczepą – 2C+2N).



Rys. 7.28. Rozkłady nacisków osi pojazdu członowego pięćosiowego (ciągnik siodłowy dwuosiowy wraz z trójosiową naczepą – 2C+3N).

7.7 PODSUMOWANIE

W oparciu o przeprowadzone pomiary, można stwierdzić, że w strukturze rodzajowej pojazdów ciężarowych, na przestrzeni ostatnich kilku lat zaszły istotne zmiany. Przede wszystkim zauważalny jest systematyczne zmniejszanie się liczby samochodów ciężarowych dwuosiowych (sylwetka 2P) oraz zdecydowany wzrost liczby ciągników siodłowych dwuosiowych z dwu- i trzyosiową naczepą (sylwetki 2C+2N i 2C+3N). Obecnie udział ciągników siodłowych pięćosiowych (2C+3N) sięga już 30 %.

Dla przyjętej w pkt. 7.1. klasyfikacji pojazdów, zaobserwowano występowanie czterech typowych sylwetek pojazdów ciężarowych:

- samochody ciężarowe dwuosiowe (2P),
- samochody ciężarowe dwuosiowe z dwuosiową przyczepą (2P+2P),
- ciągniki siodłowe dwuosiowe z dwuosiową naczepą (2P+2C),
- ciągniki siodłowe dwuosiowe z trzyosiową naczepą (2P+3C),

których naciski poszczególnych osi składowych opisano przy pomocy rozkładów statystycznych. W przypadku sylwetki 2P, na osi kierowanej i napędowej stwierdzono występowanie rozkładów wykładniczych nacisków osi. W sylwetce 2P+2P naciski osi kierowanej i napędowej pojazdu odpowiadają rozkładom normalnym, a rozkłady osi ciągnionych przyczepy – rozkładom gamma. W przypadku sylwetki 2C+2N naciski osi kierowanej dobrze

opisuje rozkład normalny, napędowej – gamma, ciągnionych osi naczepy - rozkłady wykładnicze. W sylwetce 2C+3N oś kierowaną można opisać za pomocą rozkładu normalnego, a empiryczne rozkłady pozostałych nacisków osi w tej sylwetce (osi napędowej i potrójnej osi ciągnionej) są rozkładami typu dwumodalnego, co jest wynikiem rejestracji również nieobciążonych przejazdów tych sylwetek. Należy tutaj zaznaczyć, że podobny charakter nacisków osi w sylwetkach tego typu, obserwowany jest również w innych krajach europejskich (m.in. w Niemczech). Można zatem uznać, że rozkłady nacisków dwuwierchołkowe (typu dwumodalnego) są charakterystyczne dla ciągników siodłowych pięcioosiowych.

8 PODSUMOWANIE

W raporcie będącym sprawozdaniem z prac II etapu zamieszczono informacje, które będą wykorzystane przy aktualizacji istniejącego katalogu nawierzchni sztywnych. Zaproponowano nazewnictwo warstw, które powinno obowiązywać przy posługiwaniu się Katalogiem. Nazewnictwo skonfrontowano z nazewnictwem zaproponowanym w aktualizacji Katalogu nawierzchni podatnych.

Dokonano przeglądu stosowanych technologii budowy nawierzchni betonowych. Na podstawie przeglądu stwierdzono, że oprócz typowych nawierzchni betonowych tj. płyt betonowych, dyblowanych i kotwionych dla których opracowany zostanie nowelizacja katalogu, stosuje się nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu. Dla tych nawierzchni są znane doświadczenia krajowe i zagraniczne. Autorzy uważają, że możliwe jest wprowadzenie tego typu nawierzchni do Katalogu np. między innymi dla najwyższej kategorii obciążenia ruchem.

Ponadto możliwe są różnorodne technologie wykańczania powierzchni nawierzchni, które wprawdzie nie mają znaczenia dla grubości warstw katalogowych, jednak mają istotne znaczenie eksploatacyjne np. w zakresie redukcji hałasu. Dokonano analizy stosowanych rodzajów podbudów w nawierzchniach betonowych. Stwierdzono trzy rodzaje materiałów jakie stosowane są podbudowy zasadnicze: betony cementowe, mieszanki mineralno-asfaltowe oraz kruszywa. Przeanalizowane rodzaje stosowanych warstw poślizgowych, które de facto pełnią także funkcje warstw ochronnych podbudów cementowych przed erozją. Zamieszczono informacje o nawierzchniach z elementów drobnowymiarowych betonowych. Jest problem do ustalenia czy tego rodzaju nawierzchnie mogą znaleźć się w opracowywanym katalogu. W zakresie podłoża zaadoptowano wymagania sformułowane w aktualizowanym katalogu nawierzchni podatnych. Wprowadzono jedynie zmiany odnośnie klasyfikacji gruntów zgodne z normami europejskimi oraz wprowadzono parametry podłoża opisujące modele nawierzchnie betonowe. W zakresie obciążenia ruchem przeanalizowano wyniki ważenia pojazdów w ruchu za pomocą wag typu WIM. Stwierdzono, że stosowane aktualnie współczynniki przeliczeniowe w katalogu nawierzchni sztywnych są nieodpowiednie i należy je zweryfikować i zmienić. Stwierdzono występowanie większych oddziaływań pojazdów poszczególnych grup na nawierzchnie drogowe niż przyjmowane są obecnie w wymiarowaniu. Ustalono strukturę rodzajową pojazdów ciężkich na drogach krajowych w Polsce. Ze względu na zaobserwowane różnice w charakterystyce obciążeniowej pojazdów różnych grup i różny ich udział w strumieniu ruchu w zależności od charakteru ruchu i kategorii drogi (na drogach krajowych dominują w strumieniu ruchu ciągniki siodłowe wykorzystywane w transporcie dalekobieżnym, a na drogach niższych kategorii – szczególnie na drogach gminnych i powiatowych o niedużym obciążeniu ruchem KR1-KR2 – pojedyncze samochody ciężarowe będące częstokroć pojazdami dostawczymi o masie całkowitej >3.5 t). W kolejnym etapie prac zostaną podane nowe współczynniki przeliczeniowe sylwetek pojazdów na osie obliczeniowe dla dróg różnych kategorii.

9 LITERATURA

- [1] „COST 323, Weigh in Motion of Road Vehicles. Final Report, Appendix 1 – European WIM Specification”, 1999 r.
- [2] „COST 323”, Second European Conference on Weigh in Motion of Road Vehicles, Lisbon, 1998 r.
- [3] Brylicki W., Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego, Polski Cement 1998
- [4] Catalogo delle Pavimentazioni Stradali. AISCAT, 1993
- [5] Catalogue des Structures Types de Chaussees Neuves. SETRA, LCPC, Paris 1998
- [6] Chaussees en beton. Guide technique. LCPC, SETRA, 2000
- [7] Chih-Ta Tsai a., Grodon Tung-Chin Kung a, Chao-Lung Hwang. Use of high performance concrete on rigid pavement construction for exclusive bus lanes. Construction and Building Materials 24 (2010) 732–740
- [8] Design Manual for Roads and Bridges. Volume 7: Pavement Design and Maitenance, 1999
- [9] Design of Pavement Structures. Part II. Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design. AASHTO 1998
- [10] Dyrektywa Komisji 2001/116/WE z dnia 20 grudnia 2001 r. Dostosowująca do postępu technicznego dyrektywę Rady 70/156/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do homologacji typu pojazdów silnikowych i ich przyczep.
- [11] Dyrektywa Rady 70/156/EWG z dnia 6 lutego 1970 r. W sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich w odniesieniu do homologacji typu pojazdów silnikowych i ich przyczep.
- [12] Dyrektywa Rady UE nr 96/53/EC W sprawie określenia maksymalnych wymiarów poszczególnych pojazdów kołowych w ruchu krajowym i ponadgranicznym na obszarze Wspólnoty oraz określenia maksymalnych ciężarów w ruchu ponadgranicznym.
- [13] Dz.U. RP Nr 103, poz. 1085, 2004 r. „Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia”.
- [14] Dz.U. RP Nr 43, poz. 430, 1999 r. „Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.
- [15] Hydraulisch Gebundene Tragschichten – HGT
- [16] Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Diagnostyki Nawierzchni, Sprawozdanie z realizacji pracy TD-73 pt.: Aktualizacja wartości współczynników przeliczeniowych na osie 100 kN i 115 kN na podstawie analizy aktualnej wielkości i struktury ruchu drogowego. Zleceniodawca: GDDKiA, umowa nr 1228/2005. Oprac.: Mechowski T., Hrasim P.
- [17] Jasierski A., Drogi z betonu cementowego - przykłady obecnych zastosowań na terenie Belgii. Konferencja pt. "Dni Betonu", 2002
- [18] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDKiA. Politechnika Gdańska, Katedra Inżynierii Lądowej. Gdańsk 2012 (wersja robocza z dnia 04.09.2012 r.)
- [19] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych. GDDP. Warszawa 2001
- [20] PN-75/S-96015. Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego
- [21] PN-89/S-02007 Pojazdy samochodowe, Przyczepy, naczepy i zespoły pojazdów. Klasyfikacja i terminologia.
- [22] PN-94/S-02014 Pojazdy samochodowe i przyczepy. Masy i obciążenia. Nazwy, określenia i oznaczenia kodowe.
- [23] PN-EN 1338:2005/AC:2007. Betonowe kostki brukowe. Wymagania i metody badań.
- [24] PN-ISO 612:2006 Pojazdy drogowe -- Wymiary pojazdów samochodowych i pojazdów ciągniętych -- Terminy i definicje

- [25] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 01, Ausgabe 2001
- [26] Road Pavements - Concrete and Cement Bound Materials. Volume 1. Specification for Highway Works, 1998
- [27] Wardega R.: „Wpływ struktury ruchu na nośność nawierzchni drogowych”, Raport serii PRE 2/2006. Praca Doktorska. Inst. Inżynierii Lądowej, Politechnika Wroclawska 2006.
- [28] ZTV Beton - StB01. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, 2001

Zespół badawczy:

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło – Kierownik Katedry Dróg i Lotniska

Dr inż. Piotr Mackiewicz

Dr inż. Robert Wardęga

Dr inż. Bartłomiej Krawczyk

Instytut Inżynierii Lądowej

Politechniki Wrocławskiej

Katedra Dróg i Lotnisk

50-370 Wrocław

ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

tel. 320 23 54

fax 328 18 89

Raport wpłynął do Redakcji Wydawnictw Instytutu w listopadzie 2012 r.

Lista odbiorców:

- | | |
|---|--------|
| 1. Zleceniodawca | 3 egz. |
| 2. Biblioteka i Ośrodek Informacji I-14 | 1 egz. |
| 3. Autor | 1 egz. |