

Przykład:

Przeznaczenie: beton asfaltowy warstwa wiążąca, AC 16 W

Rodzaj MMA: beton asfaltowy do warstwy wiążącej i wyrównawczej, AC 16 W,
KR 3-4

Rodzaj asfaltu: asfalt 35/50

Norma: PN-EN 13108-1

Dokument aplikacyjny: Wymagania techniczne WT-2 2014

1.1. Dobór rodzaju kruszywa wchodzącego w skład mieszanki mineralnej

Na podstawie orzeczeń o jakości kruszywa zestawiono analizy sitowe materiałów kamiennych

Tab. 5: Analiza sitowa kruszyw

Wymiar sita [mm]	mączka wapienna	kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	Kruszywo grube 4/8	Kruszywo grube 11/16	Kruszywo grube 16/22
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
31,50				0,00	0,00
22,40				0,00	0,00
16,00				12,00	86,00
11,20			0,00	75,00	12,00
8,00		0,00	13,00	13,00	2,00
5,60		0,00	62,00	0,00	0,00
4,00		1,00	22,00	0,00	0,00
2,00		17,00	3,00	0,00	0,00
1,00		30,00	0,00	0,00	0,00
0,50		18,00	0,00	0,00	0,00
0,25		11,00	0,00	0,00	0,00
0,125	3,00	7,00	0,00	0,00	0,00
0,063	14,00	4,00	0,00	0,00	0,00
<0,063	83,00	12,00	0,00	0,00	0,00
Suma	100	100	100	100	100
% ubytków # <0,063	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Obliczenie procentowego składu ilości materiałów po odpyleniu

Kruszywa znajdujące się na placu Wytwórni Mas Bitumicznych (WMB) są materiałami zapyłonymi. Pyły te negatywnie wpływają na właściwości produkowanej MMA, dlatego WMB posiadają tzw. „zestawy odpylające” pozwalające częściowo usunąć pyły z kruszyw. Odpyleniu podlegają wszystkie kruszywa poza mączką wapienną, która podawana jest

bezpośrednio do mieszalnika WMB, z ominięciem systemu odpylania. Ilość usuwanych pyłów jest zależna od rodzaju WMB a także od właściwości samych kruszyw jak np. od wilgotności. Proces odpylania powoduje zmianę uziarnienia materiału, co trzeba uwzględnić na etapie projektowania. W przykładzie przyjęto odpylanie kruszywa na poziomie 50%. Oznacza to, że po odpyleniu pyłów w kruszywie o ciągłym uziarnieniu 0/4 będzie o 50% mniej czyli 6%, a suma odsiewu będzie wynosić 94%. Ponieważ zmniejszyła się ilość materiału, przesiewy na każdym sicie należy ponownie przeliczyć. Przykładowe obliczenia przesiewu po odpyleniu dla kruszywa o ciągłym uziarnieniu 0/4, na sicie 0,063 przedstawia poniższy schemat:

$$\frac{4 \times 100}{100 - 6^*} = 4,3\%$$

* % ilość materiału usuniętego w procesie odpylania.

Ustalenie wstępnego składu mieszanki mineralnej

Ustalając udział poszczególnych kruszyw w mieszance mineralnej należy tak dobierać proporcje aby krzywa uziarnienia mieściła się między krzywymi granicznymi z Wymagań Technicznych WT2 2014.

Tab. 6 Lista składników mieszanki mineralno-asfaltowej

Nazwa materiału	Gęstość [g/cm ³]	% udział w MM
mączka wapienna	2,61	5
kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	2,63	35
Kruszywo grube 4/8	2,67	20
Kruszywo grube 11/16	2,62	30
Kruszywo grube 16/22	2,65	10

Aby obliczyć procentową zawartość materiałów na poszczególnych sitach należy wartość odsiewu na każdym sicie pomnożyć przez przyjętą ilość danego materiału, zgodnie z poniższym przykładem:

dla kruszywa grubego 4/8 odsiew na sicie # 5,6 mm wynosi 62,0%,

udział tego materiału w mieszance mineralnej wstępnie zaprojektowano na poziomie 20,0%,

wobec czego: $\frac{62 \times 20}{100} = 12,4\%$

Sumując odsiewy na sitach wszystkich materiałów w zaprojektowanych proporcjach, powstaje odsiew zaprojektowanej mieszanki mineralnej.

Tab. 7 Uziarnienie zaprojektowanej mieszanki mineralnej.

sito #	Numer materiału z listy					odsiew	przesiew	Krzywe graniczne		
	1	2	3	4	5			Odsiew skrócony	dolna	górna
31,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0		100	0
22,40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0		90	100
16,00	0,0	0,0	0,0	12,0	86,0	12,2	87,8		65	90
11,20	0,0	0,0	0,0	75,0	12,0	23,7	64,1		0	0
8,00	0,0	0,0	13,0	13,0	2,0	6,7	57,4		45	70
5,60	0,0	0,0	62,0	0,0	0,0	12,4	45,0	66,7	0	0
4,00	0,0	1,0	22,0	0,0	0,0	4,8	40,3		0	0
2,00	0,0	18,1	3,0	0,0	0,0	6,9	33,3		20	45
1,00	0,0	31,8	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2		0	0
0,50	0,0	19,2	0,0	0,0	0,0	6,7	15,5	26,9	0	0
0,25	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	4,1	11,4		0	0
0,125	3,0	7,5	0,0	0,0	0,0	2,8	8,6		4	12
0,063	14,0	4,3	0,0	0,0	0,0	2,2	6,4		4	10
<0,063	83,0	6,4	0,0	0,0	0,0	6,4		6,4		
suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0		

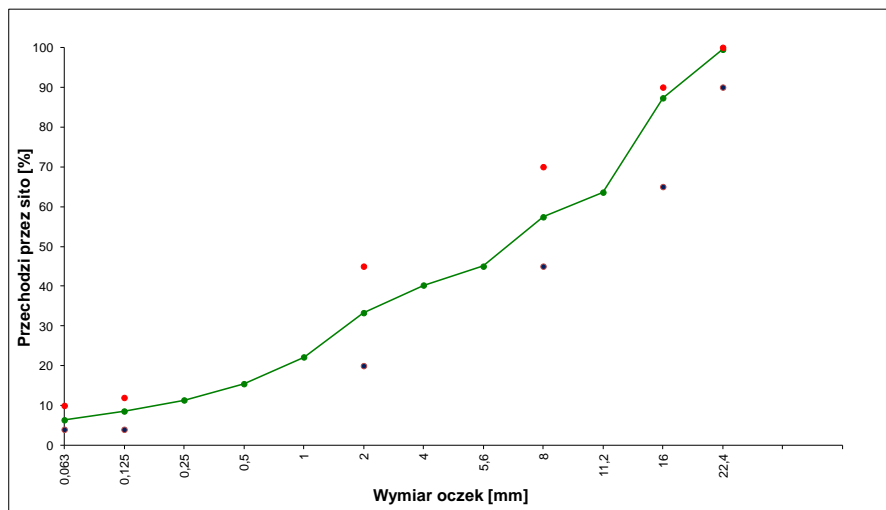
Przykład obliczenia procentowej zawartości odsiewu na sicie # 0,063

$$\frac{5 \times 14}{100} + \frac{35 \times 4,3}{100} = 0,7 + 1,5 = 2,2$$

Zaprojektowana krzywa uziarnienia mieści się w krzywych granicznych. W przypadku gdy przy zaproponowanym składzie krzywa uziarnienia nie mieści się w krzywych granicznych należy dokonać zmiany udziału poszczególnych składników w mieszance mineralnej lub zmiany składników tej mieszanki.

Należy pamiętać, że nie każda krzywa mieszcząca się w krzywych granicznych zapewni uzyskanie wymaganych parametrów i jedyną właściwą formą sprawdzenia są badania laboratoryjne.

Po położeniu krzywej uziarnienia można jednak wnioskować o niektórych cechach zaprojektowanej MMA. Krzywa graniczna blisko dolnej krzywej granicznej oznacza dużą zawartość frakcji grysowych, a więc małą powierzchnię właściwą MM i mniejszą ilość asfaltu potrzebną do otoczenia kruszyw. MMA będzie bardziej odporna na koleinowanie a mniej na zmęczenie. W przypadku przebiegu krzywej uziarnienia blisko górnej krzywej sytuacja jest odwrotna MMA powinna być bardziej odporna na zmęczenie a mniej na deformacje trwałe.



Rys. 5 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej

1.2. Ustalenie dodatku asfaltu

Właściwą zawartość asfaltu w MMA można określić metodami obliczeniowymi, doświadczalnymi lub obliczeniowo-doświadczalnymi. Należy także pamiętać, o wymaganiach opisanych w krajowych dokumentach aplikacyjnych (WT 2 2014). Jedną z metod obliczeniowych jest dobór ilości asfaltu w zależności od powierzchni właściwej mieszanki mineralnej oraz grubości otoczki asfaltowej. W produkcji mieszanek mineralno asfaltowych istotną kwestią jest otoczenie wszystkich ziaren błoną lepiszcza asfaltowego o odpowiedniej grubości. Efektem zbyt małej grubości błonki asfaltowej może być rozsegregowanie MMA i utrata cech użytkowych. Grubość otoczki asfaltowej zależy od rodzaju lepiszcza oraz powierzchni właściwej mieszanki mineralnej, obliczanej zgodnie z wzorem:

$$F = (0,04g + 0,06z + 0,10s + 1,5f) \times 2,65 / \rho^{m-m}$$

gdzie:

F - powierzchnia właściwa zaprojektowanej mieszanki [m^2/kg]

g - zawartość frakcji powyżej 4 mm [% (m/m)],

z - zawartość frakcji 0,3 do 4 mm [% (m/m)],

s - zawartość frakcji 0,075 do 0,3 mm [% (m/m)],

ρ^{m-m} - gęstość mieszanki mineralnej [g/cm^3].

Gęstość mieszanki mineralnej należy obliczyć ze średniej ważonej na podstawie gęstości kruszyw oznaczonych laboratoryjnie, zgodnie z wzorem:

$$\rho^{m-m} = \frac{100}{\frac{k1}{\rho1} + \frac{k2}{\rho2} + \frac{k3}{\rho3} \dots}$$

gdzie:

k1 – procentowa zawartość kruszywa k1 w mieszance mineralnej

$\rho1$ – gęstość kruszywa k1

$$\rho^{m-m} = \frac{100}{\frac{5}{2,61} + \frac{35}{2,63} + \frac{20}{2,67} + \frac{30}{2,62} + \frac{10}{2,65}} = 2,636 \text{ g/cm}^3$$

$$F = (0,04 \times 59,8 + 0,06 \times 28,8 + 0,10 \times 5,0 + 1,5 \times 6,4) \times 2,65 / 2,636 = 14,28 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Znając powierzchnię właściwą można określić potrzebną zawartość asfaltu z mieszance mineralnej:

$$A_k = \frac{F \times b \times \rho^a}{10}$$

gdzie:

A_k – zawartość asfaltu [%],

F – powierzchnia właściwa [m^2/kg],

ρ_a – gęstość asfaltu [Mg/m^3],

b – grubość otoczki asfaltowej [μm].

Grubość otoczki asfaltowej należy przyjąć uwzględniając rodzaj stosowanego asfaltu oraz powierzchnię właściwą mieszanki mineralnej.

Grubość otoczki asfaltowej w zależności od rodzaju stosowanego asfaltu:

- dla asfaltu 35/50 – od 3,2 do 2,7 μm ,

- dla asfaltu 50/70 – od 2,8 do 2,4 μm ,

- dla asfaltu 70/100 – od 2,6 do 2,2 μm ,

Grubość otoczki asfaltowej w zależności od powierzchni właściwej mieszanki mineralnej:

Tab. 8 Grubość otoczki asfaltowej w zależności od powierzchni właściwej

Powierzchni właściwej mieszanki mineralnej F [m^2/kg]	grubość otoczki asfaltowej b [μm]
0,023-1	40-80
1-3	15-40
3-5	6-15
5-10	4-10
10-25	2-8
25-50	1,5-4

Przyjęto:

grubość otoczki asfaltowej $b=3,1 \mu\text{m}$

ρ_a – gęstość asfaltu $1,026 \text{ Mg/m}^3$

$$A_k = \frac{14,28 \times 3,0 \times 1,026}{10} = 4,54\%$$

Ilość asfaltu w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej oblicza się zgodnie z wzorem:

$$A_m = \frac{A_k \times 100}{100 + A_k}$$
$$A_m = \frac{3,66 \times 100}{100 + 4,54} = 4,35\%$$

Minimalna ilość asfaltu zgodnie z Wymaganiami Technicznymi WT2 2014:

$$B = B_{\text{min}} \times \alpha$$
$$\alpha = \frac{2,65}{\rho_{\text{m-m}}}$$
$$B = 4,4 \times \frac{2,65}{2,636} = 4,23\%$$

Do dalszym obliczeń przyjmuję wartość większą z A_m i B , wynoszącą 4,4%.

1.5 Skład mieszanki mineralno-asfaltowej

Znając skład mieszanki mineralnej oraz ilość dozowanego do MMA asfaltu można określić ostateczny skład mieszanki mineralno-asfaltowej.

Tab. 9 Skład mieszanki mineralnej oraz mieszanki mineralno-asfaltowej

Nazwa materiału	% MM	%MMA
1. mączka wapienna	5,0	4,80
2. kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	35,00	33,50
3. kruszywo grube 4/8	20,00	19,10
4. kruszywo grube 11/16	30,00	28,70
5. kruszywo grube 16/22	10,00	9,60
Asfalt 35/50		4,40
suma	100,00	100,00

Procentowy udział poszczególnych składników w MMA można przeliczyć zgodnie z poniższym przykładem dla frakcji grysowej 4/8:

$$20 \times \frac{100 - 4,4}{100} = 19,1\%$$

1.3. Recepta robocza

Recepta robocza jest niezbędna na Wytwórni Mas Bitumicznych dla prawidłowego wyprodukowania odpowiedniej ilości zaprojektowanej MMA. Tworzenie recepty roboczej polega na ilościowym przeliczeniu poszczególnych składników w celu ich dozowania i kontroli produkcji.

Przykład

- pojemność mieszaka -1000kg
- wymiary sit w sortowniku: 2mm, 11mm, 22mm

Pojemność mieszaka określa jaka jest wielkość jednego zarobu. Aby obliczyć ile danego materiału potrzeba na jeden zarób należy % udział w MMA pomnożyć przez pojemność mieszaka.

Tab. 11 Ilość składników na jeden zarób

Nazwa materiału	%MMA	Ilość na jeden zarób [kg]
1. mączka wapienna	4,80	48
2. kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	33,50	334
3. kruszywo grube 4/8	19,10	191
4. kruszywo grube 11/16	28,70	287
5. kruszywo grube 16/22	9,60	96
Asfalt 35/50	4,40	44
suma	100,00	1000

Znając wymiary sit w sortowniku można dozator podzielić na komory o różnych frakcjach.

Zgodnie z przykładem komory dozatora to: 0-2, 2-11, 11-22.

Aby obliczyć ile materiału powinno się znajdować w poszczególnych komorach dozatora należy w pierwszym etapie zsumować procentowy udział materiału mineralnego o uziarnieniu odpowiadającym frakcjom w danej komorze.

Tab. 12 Procentowa zawartość poszczególnych frakcji mieszanki mineralnej

Komora	Odsiew [%]
0-2	6,4+2,2+2,8+4,1+6,7+11,1=35,90
2-11	6,9+4,8+12,4+6,7=30,80
11-22	23,7+12,2=33,30
Suma	100,00

Z frakcji 0-2 należy odjąć procentową zawartość mączki wapiennej, ponieważ materiał ten jest podawany do mieszalnika oddzielnie z pominięciem dozatora. Kolejnym etapem jest przeliczenie % zawartości składników mineralnych z uwagi na asfalt.

Tab. 13 Zawartość poszczególnych składników mieszanki mineralno-asfaltowej

Komora	Odsiew [%]	Masa [kg]
0-2	(35,90-5,0) x0,956= 34,30	343
2-11	30,80x0,956=29,40	294
11-22	33,30x0,956=27,10	271
mączka wapienna	5,0x0,956=4,80	48
asfalt	4,40	44
Suma	100,00	

Współczynnik przeliczeniowy uwzględniający asfalt:

$$\frac{100 - 4,4}{100} = 0,956$$

Komora dozatora zamyka się w chwili odnotowania na wadze zaprogramowanej ilości kruszywa. Przy czym w większości WMB wagi ustawiane są rosnąco.

Tab. 14 Ustawienia wagi WMB rosnąco.

Komora	Masa [kg]
0-2	343
2-11	637 (343+294)
11-22	908 (637+271)

Po zaprojektowaniu mieszanki mineralnej, mieszanki mineralno-asfaltowej, przeprowadzeniu Badania Typu i ustaleniu recepty roboczej można przystąpić do produkcji MMA. Aby jakość produkcji była zachowana należy pamiętać o kontroli produkcji na każdym jej etapie.

Obliczenia:

Całkowita zawartość wolnej przestrzeni w zagęszczonej próbce mieszanki mineralno-asfaltowej:

$$p^m = 100 - \frac{\rho_p^m}{\rho^{m-a}} \times 100 \quad (1)$$

p^m - całkowita zawartość wolnej przestrzeni w zagęszczonej próbce mieszanki mineralno-asfaltowej, należy przyjąć na podstawie wymaganej wartości z WT 2 (np. dla AC8S od 2% do 4%)

ρ_p^m - gęstość objętościowa mieszanki mineralno asfaltowej, należy obliczyć z wzoru (1)
[g/cm³]

ρ^{m-a} - gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej [g/cm³]

Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej:

$$\rho^{m-a} = \frac{100}{\frac{A_m}{\rho^a} + \frac{100-A_m}{\rho^{m-m}}} \quad (2)$$

A_m - ilość asfaltu w MMA [%]

ρ^a - gęstość asfaltu [g/cm³]

Całkowita objętość asfaltu w MMA:

$$V_a = \frac{A_m \times \rho_p^m}{\rho^a} \quad (3)$$

Całkowita objętość MM w próbce MMA

$$V_k = \frac{(100-A_m) \times \rho_p^m}{\rho^{m-m}} \quad (4)$$

Wolna przestrzeń w MM:

$$p_{kz} = 100 - V_k \quad (5)$$

Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni w MM:

$$p_w = \frac{V_a}{\rho_{kz}} \times 100 \quad (6)$$