
Spis treści

Spis treści	5
Przedmowa	15
Od autora	16
Idea SMA	19
1.1. Nieco historii	19
1.2. Z Niemiec do... - czyli SMA na świecie	24
1.3. Zalety i wady SMA	28
1.4. Różnice między SMA na świecie	28
1.5. Skład SMA	29
Szkielet grysowy	31
2.1. Określenie szkieletu mineralnego w SMA	31
2.2. Konstrukcja i wytrzymałość szkieletu grysowego	34
2.3. Nieciągłość uziarnienia	36
2.4. Określenie szkieletu grysowego wg metody niemieckiej	37
2.5. Określenie szkieletu grysowego wg metody amerykańskiej	38
2.6. Uwagi do metod niemieckiej i amerykańskiej	41
2.7. Między ziarnami szkieletu	43
2.8. Podsumowanie	44
3. Mastyks	46
3.1. Kruszywo drobne	48
3.2. Wypełniacz	50
3.2.1. Koncepcja powierzchni właściwej	52
3.2.2. Koncepcja zawartości wolnych przestrzeni w zagęszczonym wypełniaczu	56
3.2.3. Wskaźnik W:A	59
3.2.4. Przegląd materiałów stosowanych jako wypełniacze	61
3.2.4.1. Wypełniacze ze skały mielonej – mączki mineralne	61
3.2.4.2. Popioły lotne	61
3.2.4.3. Wapno hydratyzowane	62

3.2.4.4. Pyły z odpylania kruszywa	63
3.2.5. Wypełniacze – podsumowanie	65
3.3. Lepiszczce asfaltowe	66
3.3.1. Rodzaje stosowanych lepiszczy	66
3.3.2. Wybór lepiszcza	67
3.4. Podsumowanie	68
4. Stabilizatory	71
4.1. Zjawisko spływania lepiszcza	71
4.2. Stabilizatory	72
4.2.1. Dodatki pochłaniające lepiszcze	73
4.2.1.1. Włókna celulozowe luzem	75
4.2.1.2. Pellety włókien luzem	76
4.2.1.3. Włókna celulozowe granulowane	77
4.2.1.4. Włókna celulozowe granulowane z dodatkami	79
4.2.1.5. Pakowanie i formy dostawy	80
4.2.1.6. Podsumowanie	81
4.2.2. Dodatki zwiększające lepkość lepiszcza	82
4.3. Dobór ilości stabilizatora w mieszance	83
4.4. Metody badań stabilizatorów	84
4.5. Wyniki badań stabilizatorów	85
4.6. Badanie spływności	87
4.7. Podsumowanie	87
5. Wymagania wobec materiałów do SMA	90
5.1. Wymagania wobec kruszyw	90
5.1.1. Polska	91
5.1.1.1. Krajowy dokument aplikacyjny do normy PN-EN 13043	92
5.1.1.2. Norma PN-S-96025:2000	95
5.1.1.3. Zeszyt IBDiM nr 62 ZW-SMA-2001	99
5.1.2. Stany Zjednoczone	101
5.1.3. Niemcy	102
5.1.4. Finlandia	104
5.1.5. Szwajcaria	106
5.1.6. Słowenia	107
5.1.7. Indie	108
5.1.8. Austria	108
5.1.9. Norma europejska EN 13108-5	110
5.2. Wymagania wobec lepiszczy	110
5.2.1. Polska	111
5.2.2. Stany Zjednoczone	111
5.2.3. Finlandia	111
5.2.4. Niemcy	112
5.2.5. Słowenia	112
5.2.6. Norma europejska EN 13108-5	113
5.3. Wymagania dotyczące stabilizatorów	113
5.3.1. Niemcy	113
5.3.2. Stany Zjednoczone	115
5.3.3. Finlandia	116
5.3.4. Norma Europejska EN 13108-5	116
5.4. Destrukt asfaltowy	116
5.5. Inne materiały	117

5.5.1 Asfalt naturalny	117
5.5.2. Kruszywo sztuczne z żużla	117
6. Projektowanie składu SMA	118
Wprowadzenie	118
6.1. Wybór uziarnienia SMA	119
6.1.1. W której warstwie?	120
6.1.2. Jaka grubość warstwy?	120
6.1.3. Obciążenie ruchem i lokalizacja	123
6.1.4. Norma Europejska PN-EN 13108-5	125
6.1.5. Podsumowanie	125
6.2. Projektowanie mieszanki mineralnej metodą krzywych granicznych uziarnienia	126
6.3. Projektowanie mieszanki mineralnej >2 mm	127
6.3.1. Część I - zawartość frakcji grysowej	128
6.3.1.1. Przykład I – beton asfaltowy	128
6.3.1.2. Przykład II – mieszanka SMA	130
6.3.1.3. Podsumowanie części I o zawartości frakcji grysowej	132
6.3.2. Część II - uziarnienie frakcji grysowej	133
6.3.2.1. Przykład III – zmiany proporcji wewnątrz frakcji grysowej	133
6.3.2.2. Porównanie wyników przykładu III z niemieckimi proporcjami składu SMA	139
6.3.2.3. Porównanie wyników przykładu III z amerykańskimi proporcjami składu SMA	140
6.3.2.4. Podsumowanie przykładu III	141
6.3.2.5. Uziarnienie frakcji grysowej, a rozkład wolnych przestrzeni	142
6.3.2.6. Wpływ określenia wielkości ziaren aktywnych	142
6.3.2.7. Podsumowanie części II o uziarnieniu frakcji grysowej	147
6.3.3. Część III – wpływ kształtu ziaren frakcji grysowej	148
6.3.4. Część IV - wpływ gęstości ziaren	148
6.3.4.1. Relacje objętościowe w mieszance	148
6.3.4.2. Wpływ gęstości kruszywa na ilość asfaltu w mieszance	149
6.3.4.3. Korekty zawartości asfaltu ze względu na gęstość kruszywa	150
6.3.4.4. Podsumowanie części IV	152
6.3.5. Przykład z laboratorium	152
6.3.5.1. Mieszanka E („polsko-amerykańska”)	152
6.3.5.2. Mieszanka F („amerykańska”)	154
6.3.5.3. Porównanie mieszanek E i F	156
6.3.6. Podsumowanie	157
6.4. Projektowanie mieszanki mineralnej <2 mm	161
6.4.1. Zawartość frakcji piaskowej	161
6.4.2. Zawartość wypełniacza	164
6.4.3. Coś na koniec projektowania mieszanki mineralnej	164
6.5. Projektowanie zawartości lepiszcza	165
6.5.1. Stosowanie ramowych zawartości lepiszcza	166
6.5.2. Obliczenia ilości lepiszcza przy pomocy wzorów analitycznych	166
6.5.3. Założenie <i>a priori</i> ilości lepiszcza w mieszance	167
6.6. Wymagania wobec zaprojektowanej mieszanki SMA	167
6.7. Podsumowanie	170
7. Przegląd metod projektowania SMA	173
7.1. Metoda polska	174
7.2. Metoda niemiecka	177
7.2.1. Opis metody	177

7.2.2. Parametry objętościowe	178
7.2.3. Uwagi	180
7.3. Metoda amerykańska	180
7.3.1. Krok 1. Selekcja kruszywa	182
7.3.2. Krok 2. Wybór krzywej uziarnienia	182
7.3.3. Krok 3. Określenie wolnych przestrzeni w zagęszczonym kruszywie grubym	185
7.3.3.1. Metoda dry-rodded	185
7.3.3.2. Procedura określenia gęstości kruszywa grubego w stanie suchym wg AASHTO T 85	190
7.3.4. Krok 4. Określenie wstępnej zawartości asfaltu	192
7.3.5. Krok 5. Badania mieszanki mineralnej i mineralno-asfaltowej	193
7.3.6. Krok 6. Wybór mieszanki mineralnej	195
7.3.7. Krok 7. Wybór optymalnej zawartości asfaltu	196
7.3.8. Nieco porad do projektowania mieszanki mineralnej	197
7.4. Metoda czeska	197
7.4.1. Ogólne zasady	197
7.4.2. Metoda projektowania	198
7.4.3. Podsumowanie	201
7.5. Metoda holenderska	201
7.5.1. Ogólne zasady i nieco teorii	201
7.5.2. Wskazówki do projektowania	208
7.5.3. Metoda projektowania	210
7.5.4. Zastosowanie metody podczas kontroli produkcji	212
7.5.6. Podsumowanie metody	214
7.6. Inne metody projektowania	215
7.6.1. Metoda „Dilation point”	215
7.6.2. Metoda irlandzka	216
7.6.3. Metoda Bailey’a	217
7.6.4. Metoda kolejnych przybliżeń	221
8. Analizy i badania laboratoryjne	223
8.2. Przygotowanie próbek w laboratorium	223
8.2.1. Przygotowanie próbek ubijakiem Marshalla	224
8.2.2. Przygotowanie próbek w prasie żyratorowej	225
8.2.3. Wpływ parametrów badania na wyniki	228
8.2.3.1. Temperatura zagęszczania próbek	230
8.2.3.2. Energia zagęszczania próbek	232
8.2.3.3. Warunki wykonania próbek wg Norm Europejskich	235
8.2.4. Ocena wyglądu próbek laboratoryjnych	237
8.2.5. Inne uwagi o przygotowaniu próbek	239
8.3. Badanie spływności	239
8.3.1. Oryginalna metoda Schellenberga i von der Weppena	240
8.3.2. Metoda AASHTO T 305-97	241
8.3.3. Metody wg PN-EN 12697-18	243
8.3.3.1. Metoda z koszem wg PN-EN 12697-18	243
8.3.3.2. Metoda Schellenberga wg PN-EN 12697-18	246
8.3.4. Metoda opisana w ZW-SMA-2001	248
8.3.5. Podsumowanie i uwagi do badania spływności	249
8.4. Badania wypełniaczy	252
8.4.1. Badanie powierzchni właściwej metodą Blaine’a	252
8.4.2. Metoda Rigdena i Rigdena-Andersona – oznaczenia wolnych przestrzeni zagęszczonego wypełniacza	253

8.4.2.1. Metoda Rigdena wg PN-EN 1097-4.	253
8.4.2.2. Metoda Rigdena zmodyfikowana przez Andersona	254
8.4.2.3. Porównanie metod	256
8.4.3. Badania właściwości usztywniających wypełniacza.	256
8.4.3.1. Metoda różnicy temperatury mięknięcia	257
8.4.3.2. Metoda wzrostu lepkości zaprawy	258
8.4.4. Inne wskaźniki i badania wypełniaczy	259
8.4.4.1. Wskaźniki uziarnienia	259
8.4.4.2. German Filler Test	260
8.4.4.3. Zawartość części ilastych w wypełniaczu – test błękitu metylenowego	261
8.4.4.4. Badanie zapraw wg metod Superpave (USA)	262
8.5 Podsumowanie	262
9. Produkcja mieszanki SMA.	265
9.1. Wymagania dotyczące organizacji WMB	265
9.2. Założenia procesu produkcji SMA.	268
9.3. Proces produkcji.	270
9.3.1. Temperatura produkcji SMA.	270
9.3.2. Mieszanie składników – podstawowe informacje.	273
9.3.3. Sekwencja mieszania składników w otaczarni typu cyklicznego.	275
9.3.4. Mieszanie SMA ze stabilizatorem granulowanym	276
9.3.5. Mieszanie SMA ze stabilizatorem luzem	277
9.3.6. Inne sekwencje dozowania składników	278
9.3.7. Wahania w dozowaniu lepiszcza	279
9.3.8. Wahania w uziarnieniu mieszanki mineralnej.	279
9.3.9. Systemy dozowania stabilizatorów	280
9.4. Składowanie gotowej mieszanki SMA w silosie	282
9.4.1. Czas składowania	282
9.4.2. Inne problemy	283
9.5. Kontrola produkcji mieszanki SMA.	284
9.5.1. Kontrola wg polskich dokumentów	287
9.5.2. Kontrola wg niemieckiego dokumentu ZTV Asphalt StB 01	290
9.5.3. Kontrola wg dokumentów USA czyli QC/QA	293
9.5.4. Zakładowa Kontrola Produkcji wg EN 13108-21.	296
9.5.5. Inne przykłady kontroli produkcji.	296
10. Transport i wbudowywanie mieszanki SMA	299
10.1. Transport mieszanki na miejsce wbudowania	299
10.1.1. Załadunek mieszanki.	299
10.1.2. Transport	301
10.1.3. Rozładowanie	305
10.1.4. Inne techniki rozładunku mieszanki	306
10.2. Warunki wbudowywania	308
10.2.1. Pogoda – temperatury minimalne	308
10.2.2. Podłoże – temperatury maksymalne	312
10.2.3. Przygotowanie podłoża	313
10.2.4. Przygotowanie urządzeń w nawierzchni.	315
10.2.5. Przygotowanie krawędzi warstw.	316
10.3. Rozkładanie	317
10.3.1. Grubość warstwy.	318

10.3.2. Temperatura mieszanki podczas wbudowywania	318
10.3.3. Urabialność mieszanki	321
10.3.4. Rozkładanie mechaniczne	322
10.3.4.1. Typy i budowa rozkładarki	322
10.3.4.2. Prędkość rozkładarki	327
10.3.4.3. Uwagi	329
10.3.3. Rozkładanie ręczne	330
10.4. Zagęszczanie	331
10.4.1. Zagęszczalność SMA	332
10.4.1.1. Definicje i metody badań	332
10.4.1.2. Wyniki badań zagęszczalności SMA	335
10.4.1.3. Środki polepszające zagęszczalność SMA	338
10.4.2. Rodzaje i liczba walców	339
10.4.2.1. Rodzaje walców	339
10.4.2.2. Liczba walców	343
10.4.3. Operowanie walcami	345
10.4.3.1. Zasady ogólne	345
10.4.3.2. Kolejność	345
10.4.3.3. Prędkość walców	347
10.4.3.4. Liczba przejazdów walca	347
10.4.3.5. Czas wałowania	348
10.4.3.6. Uwagi końcowe	350
10.5. Wbudowanie SMA w technologii asfaltowej warstwy kompaktowej	351
10.6. Badania gotowej warstwy	352
10.6.1. Wolne przestrzenie w zagęszczonej warstwie SMA	352
10.6.2. Wskaźnik zagęszczenia	354
10.6.2.1. Wskaźnik zagęszczenia po polsku	354
10.6.2.2. Wskaźnik zagęszczenia w Niemczech	358
10.6.2.3. Wskaźnik zagęszczenia w USA	360
10.6.2.4. Wskaźnik zagęszczenia wg normy PN-EN 13108-20	361
10.6.3. Makrotekstura	361
10.6.4. Inne badania	362
10.7. Prace wykończeniowe	362
10.7.1. Wykonywanie posypki	362
10.7.1.1. Dlaczego stosujemy posypki?	362
10.7.1.2. Materiał na posypki	363
10.7.1.3. Wykonanie	364
10.7.2. Uszczelnienia krawędzi	367
10.9. Podsumowanie	368
10.8. Przekazanie do ruchu	368
11. Problemy	374
11.1. Plamy podłużne	375
11.1.1. Plamy podłużne z mastyksu	375
11.1.2. Plamy podłużne z lepiszcza	377
11.1.3. Wyciśnięty mastyks w śladach kół	378
11.2. Plamy koliste małe	379
11.3. Zbrylenia stabilizatora	380
11.4. Zbyt zamknięta struktura SMA	381
11.5. Zbyt otwarta struktura SMA	383
11.6. Wysięki wody na powierzchni i wodoprzepuszczalność SMA	385
11.7. Problemy związane z temperaturą oraz techniką wbudowywania	386

11.7.1. Problemy produkcji i transportu	387
11.7.1.1. Produkcja mieszanki w otaczarce	387
11.7.1.2. Transport mieszanki na budowę	388
11.7.1.3. W koszu i podajnikach rozkładarki	389
11.7.2. Problemy występujące podczas wbudowywania	389
11.7.2.1. Bruzdy tworzone przez rozkładarkę	390
11.7.2.2. Postoje rozkładarki	390
11.7.2.3. Rakowiny ciągle przy krawędzi	392
11.7.2.4. Rakowiny podłużne w osi rozkładarki	393
11.7.2.5. Rakowiny podłużne obok osi rozkładarki	394
11.7.2.6. Rakowiny w innych miejscach charakterystycznych	395
11.7.2.7. Rakowiny punktowe nieregularne	397
11.7.2.8. Rakowiny poprzeczne	398
11.7.2.9. Rakowiny punktowe przy krawędziach pasa	400
11.7.2.10. Pękanie warstwy SMA podczas wałowania	400
11.7.2.11. Nierówności	401
11.7.2.12. Podsumowanie	402
11.8. Polerowalność SMA	403
11.9. Przedozowanie środka adhezyjnego	405
12. Cechy warstwy SMA	407
12.1. Odporność na deformacje trwałe	409
12.1.1. Wpływ parametrów mieszanki	409
12.1.2. Badania pełzania	413
12.1.3. Badanie trójosiowego ściskania dynamicznego	415
12.1.4. Badanie koleinowania	415
12.1.5. Asphalt Pavement Analyzer	417
12.1.6. Wyniki badań	417
12.2. Odporność na pękanie	419
12.2.1. Spękania niskotemperaturowe	419
12.2.2. Spękania odbite	422
12.2.3. Metody badań odporności na pękanie	422
12.2.4. Wyniki badań	424
12.3. Wytrzymałość zmęczeniowa	426
12.3.1. Nieco teorii	426
12.3.2. Metody badań	427
12.3.3. Wyniki badań	429
12.4. Właściwości przeciwhałasowe	431
12.4.1. Nieco teorii	431
12.4.2. Wyniki badań	433
12.5. Właściwości przeciwpoślizgowe	435
12.5.1. Nieco teorii	435
12.5.2. Wyniki badań	437
12.6. Trwałość	441
12.6.1. Metody nieznormalizowane	442
12.6.2. Metoda PN-EN 12697-12	443
12.6.3. Metoda AASHTO T 283	446
12.6.4. Wyniki badań	447
12.7. Właściwości przeciwrozpryskowe i odbicie światła	447
12.8. Przepuszczalność	450
12.8.1. Zależność przepuszczalności od zawartości wolnych przestrzeni	450
12.8.2. Wyniki badań	451

12.9. Zużycie paliwa	452
12.9.1. Nieco teorii	452
12.9.2. Wyniki badań.	453
12.10. Efektywność ekonomiczna.	454
12.11. Podsumowanie	455
13. Specjalne zastosowania SMA.	459
13.1. Nawierzchnie lotnisk	459
13.1.1. Wymagania wobec nawierzchni lotniskowych	460
13.1.2. Za i przeciw SMA na lotniskach	461
13.1.3. Polskie lotniska	462
13.1.4. Lotnisko we Frankfurcie n/Menem	463
13.1.5. Lotnisko Gardermoen w Oslo	466
13.1.6. Lotnisko Johannesburg (RPA)	466
13.1.7. Wymagania US AirForce oraz FAA	468
13.2. SMA na nawierzchniach mostowych.	471
13.2.1. Mosty w Polsce z nawierzchniami SMA.	473
13.2.2. Mosty za granicą	476
13.3. Cienkie warstwy z SMA.	476
13.3.1. Cienkie warstwy z SMA w Polsce	479
13.3.2. Cienkie warstwy z SMA za granicą	480
13.4. Nietypowe SMA	481
13.4.1. SMA w warstwie wiążącej	481
13.4.2. Kjellbase	482
13.4.2. Kolorowe SMA	484
13.4.3. SMA na ścieżkach rowerowych	486
13.4.3.1. Wytyczne niemieckie	486
13.4.3.2. Wymagania brytyjskie	486
13.5. Podsumowanie	487
14. Normy Europejskie związane z SMA	490
14.1. Norma PN-EN 13108-5	491
14.2. Definicje	492
14.3. Wymagania wobec materiałów	493
14.3.1. Lepiszczce	493
14.3.1.1. Asfalty drogowe	494
14.3.1.2. Asfalty modyfikowane	494
14.3.1.3. Asfalty naturalne.	495
14.3.1.4. Asfalt z destruktu asfaltowego	496
14.3.2. Kruszywo	498
14.3.3. Destrukt asfaltowy.	499
14.3.4. Dodatki	499
14.4. Wymagania wobec mieszanki SMA.	499
14.4.1. Uziarnienie	500
14.4.2. Zawartość asfaltu.	502
14.4.3. Dodatki	504
14.4.4. Jednorodność i jakość otoczenia ziaren asfaltem	504
14.4.5. Zawartość wolnych przestrzeni.	504
14.4.5.1. Sposób wykonania próbek	505
14.4.5.2. Oznaczenie zawartości wolnych przestrzeni	505
14.4.6. Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionych asfaltem	506
14.4.7. Spływność lepiszcza	506

14.4.8. Wrażliwość na wodę	507
14.4.9. Odporność na ścieranie przez opony okolcowane	507
14.4.10. Odporność na odkształcenia trwałe	507
14.4.10.1. Wybór aparatu i parametrów badania wg PN-EN 13108-20	507
14.4.10.2. Kategorie wymagań wg PN-EN 13108-5	508
14.4.10.3. Dodatkowe warunki wykonania próbek do badania koleinowania	509
14.4.11. Odporność na ogień	510
14.4.12. Odporność na działanie paliw	510
14.4.13. Odporność na działanie płynów odladzających stosowanych na lotniskach	510
14.5. Temperatura mieszanek mineralno-asfaltowych	511
14.6. Identyfikacja mieszanki SMA	511
14.7. Ocena zgodności	512
14.8. Zakładowa Kontrola Produkcji wg PN-EN 13108-21	513
14.8.1. Kategorie wymagań	514
14.8.2. Ogólne założenia systemu kontroli jednorodności produkcji	514
14.8.3. Kontrola zgodności z receptą mieszanek SMA	515
14.8.4. Kontrola zmienności produkcji	523
14.8.5. Podsumowanie	528
14.8.6. Dodatkowe badania właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej	529
14.9. Podsumowanie	530
Zakończenie	531
Załącznik 1. Zależności masy i objętości	532
Z.1.1. Kruszywo	532
Z.1.1.1. Definicje gęstości kruszywa wg terminologii amerykańskiej	534
Z.1.1.2. Definicje gęstości kruszyw według terminologii europejskiej	537
Z.1.1.3. Definicje gęstości kruszyw według terminologii wycofanych norm PN	538
Z.1.2. Asfalt	538
Z.1.3. Mieszanka mineralno-asfaltowa	539
Z.1.3.1. Ogólne zależności masy i objętości	539
Z.1.3.2. Porównanie terminologii gęstości mieszanek mineralno-asfaltowych	541
Załącznik 2. Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych	542
Z.2.1. Efektywna zawartość asfaltu w mieszance i ilość zaabsorbowanego asfaltu przez kruszywo	543
Z.2.2. Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej - VMA	543
Z.2.3. Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej - VTM	548
Z.2.4. Wypełnienie wolnych przestrzeni asfaltem - VFA	549
Z.2.5. Stabilność wg Marshalla	550
Z.2.6. Odkształcenie wg Marshalla	551
Z.2.7. Grubość błonki lepiscza na ziarnach kruszywa	551
Załącznik 3. Przegląd krzywych granicznych uziarnienia SMA	552
Z.3.1. Krzywe graniczne SMA z Polski	553
Z.3.2. Krzywe graniczne SMA z Niemiec	556
Z.3.3. Krzywe graniczne SMA z USA	559
Z.3.4. Krzywe graniczne SMA ze Słowenii	563
Z.3.5. Krzywe graniczne SMA z Finlandii	564
Z.3.6. Krzywe graniczne SMA z Węgier	567
Z.3.7. Krzywe graniczne SMA z Czech	569

Z.3.8. Krzywe graniczne SMA z Austrii	570
Z.3.9. Krzywe graniczne SMA z Hong-Kongu.	571
Z.3.10. Krzywe graniczne SMA z Korei Południowej	572
Z.3.11. Krzywe graniczne SMA z Nowej Zelandii	575
Z.3.12. Krzywe graniczne SMA z Indii	577
Z.3.13. Porównanie krzywych uziarnienia dla SMA 0/10-0/13 mm.	578
Spis norm.	582
Słownik	586
Spis literatury	587