

## Phụ lục A

(Tham khảo)

**Bảng chuyển đổi từ các đơn vị đo dùng trong hệ thống đo lường của Hoa Kỳ (mà trong tiêu chuẩn này có sử dụng) sang hệ thống đo quốc tế SI**

Chuyển đổi từ:	Sang (hệ SI)	Bằng cách nhân với hệ số chuyển đổi	
		với hai số lẻ	với sáu số lẻ
Inch (in.)	m	$2,54 \times 10^{-2}$	$2,540000 \times 10^{-2}$
in <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	$6,45 \times 10^{-4}$	$6,451600 \times 10^{-4}$
in <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	$1,64 \times 10^{-5}$	$1,638706 \times 10^{-5}$
foot (ft)	m	$3,05 \times 10^{-1}$	$3,048000 \times 10^{-1}$
ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	$9,29 \times 10^{-2}$	$9,290304 \times 10^{-2}$
ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	$2,83 \times 10^{-2}$	$2,831685 \times 10^{-2}$
pound (lb)	kg	$4,54 \times 10^{-1}$	$4,535924 \times 10^{-1}$
pound-force (lbf)	N	4,45	4,448222
lbf/in <sup>2</sup> (psi)	Pa	$6,89 \times 10^3$	$6,894757 \times 10^3$
lb/in <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	$2,77 \times 10^4$	$2,767990 \times 10^4$
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	$1,60 \times 10$	$1,601846 \times 10$
kip (1000 lbf)	N	$4,45 \times 10^3$	$4,448222 \times 10^3$
kip/in <sup>2</sup> (ksi)	Pa	$6,89 \times 10^6$	$6,894757 \times 10^6$
ft/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	$3,05 \times 10^{-1}$	$3,048000 \times 10^{-1}$
centipoise	Pa.s	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,000000 \times 10^{-3}$
centistokes	m <sup>2</sup> /s	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,000000 \times 10^{-6}$
degree Fahrenheit (°F)	°C	$t^{\circ}C = (t^{\circ}F - 32)/1,8$	

**Phụ lục B**

(Quy định)

**Các bảng dùng để chuyển đổi lưu lượng xe hỗn hợp ra tổng số trục đơn tương đương 80 kN dùng trong thiết kế áo đường mềm**

- B.1** Các Bảng từ B.1 đến B.3 dùng để tìm hệ số đổi trục xe khi xe có trục đơn, trục kép, trục ba, dùng cho áo đường mềm, được thiết kế với chỉ số phục vụ cuối cùng  $p_t = 2,0$ .
- B.2** Các Bảng từ B.4 đến B.6 dùng để tìm hệ số đổi trục xe khi xe có trục đơn, trục kép, trục ba, dùng cho áo đường mềm được thiết kế với chỉ số phục vụ cuối cùng  $p_t = 2,5$ .
- B.3** Khi chỉ số phục vụ cuối cùng nằm giữa khoảng 2,0 và 2,5 thì được phép tính theo nội suy.
- B.4** Để tra tìm hệ số đổi xe, trong mọi trường hợp, đều giả định trước chỉ số kết cấu của áo đường là  $SN = 5$ . Khi tính ra  $SN$ , nếu trị số tính toán này khác nhiều với trị số  $SN = 5$  giả định lúc đầu thì phải điều chỉnh lại hệ số đổi xe tương ứng với  $SN$  đã tính ra (khi trị số  $SN$  giả định và tính ra khác nhau quá 1 đơn vị).
- B.5** Khi có các thông tin, số liệu có sẵn tại các trạm cân xe bằng thiết bị cân động W.I.M (Weigh-in-Motion) hoặc thiết bị tương tự, thì có thể dùng trực tiếp các hệ số đổi xe của mỗi nhóm xe cùng loại chạy trên các đường hiện hữu tại một khu vực tương tự với khu vực có đường được thiết kế (xem ví dụ 2 Phụ lục F).

**Bảng B.1 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục đơn dùng trong mặt đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	17,8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	26,7	0,009	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009
8	35,6	0,030	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
10	44,5	0,075	0,085	0,090	0,085	0,079	0,076
12	53,4	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168

**Bảng B.1 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục đơn  
dùng trong mặt đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
14	62,3	0,325	0,338	0,354	0,350	0,338	0,331
16	71,2	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
18	80,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	89,0	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
22	97,9	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
24	108,8	3,71	3,62	3,43	3,33	3,40	3,51
26	115,7	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
28	124,6	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
30	133,5	10,4	10,0	9,2	8,6	8,7	9,2
32	142,4	14,0	13,5	12,4	11,5	11,5	12,1
34	151,3	18,5	17,9	16,3	15,0	14,9	15,6
36	160,2	24,2	23,3	21,2	19,3	19,0	19,9
38	169,1	31,1	29,9	27,1	24,6	24,0	25,1
40	178,0	39,6	38,0	34,3	30,9	30,0	31,2
42	186,9	49,7	47,7	43,0	38,6	37,2	38,5
44	195,8	61,8	59,3	53,4	47,6	45,7	47,1
46	204,7	76,1	73,0	65,6	58,3	55,7	57,0
48	213,6	92,9	89,1	80,0	70,9	67,3	68,6
50	222,5	113,0	108,0	97,0	86,0	81,0	82,0

**Bảng B.2 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong mặt đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	17,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
6	26,7	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	35,6	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
10	44,5	0,007	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006
12	53,4	0,013	0,016	0,016	0,014	0,013	0,012
14	62,3	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
16	71,2	0,041	0,048	0,050	0,046	0,042	0,040
18	80,0	0,066	0,077	0,081	0,075	0,069	0,066
20	89,0	0,103	0,117	0,124	0,117	0,109	0,105
22	97,9	0,156	0,171	0,183	0,174	0,164	0,158
24	108,8	0,227	0,244	0,260	0,252	0,239	0,231
26	115,7	0,322	0,340	0,360	0,353	0,338	0,329
28	124,6	0,447	0,465	0,487	0,481	0,466	0,455
30	133,5	0,607	0,623	0,646	0,643	0,627	0,617
32	142,4	0,810	0,823	0,843	0,842	0,829	0,819
34	151,3	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07
36	160,2	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38

**Bảng B.2 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong mặt đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
38	169,1	1,76	1,75	1,73	1,72	1,73	1,74
40	178,0	2,22	2,19	2,15	2,13	2,16	2,18
42	186,9	2,77	2,73	2,64	2,62	2,66	2,70
44	195,8	3,42	3,36	3,23	3,18	3,24	3,31
46	204,7	4,20	4,11	3,92	3,83	3,91	4,02
48	213,6	5,10	4,98	4,72	4,58	4,68	4,83
50	222,5	6,15	5,99	5,64	5,44	5,56	5,77
52	231,4	7,37	7,16	6,71	6,43	6,56	6,83
54	240,3	8,77	8,51	7,93	7,55	7,69	8,03
56	249,2	10,4	10,1	9,3	8,8	9,0	9,4
58	258,1	12,2	11,8	10,9	10,3	10,4	10,9
60	267,0	14,3	13,8	12,7	11,9	12,0	12,6
62	275,9	16,6	16,0	14,7	13,7	13,8	14,5
64	284,8	19,3	18,6	17,0	15,8	15,8	16,6
66	293,7	22,2	21,4	19,6	18,0	18,0	18,9
68	302,6	25,5	24,6	22,4	20,6	20,5	21,5
70	311,5	29,2	28,1	25,6	23,4	23,2	24,3
72	320,4	33,3	32,0	29,1	26,5	26,2	27,4
74	329,3	37,8	36,4	33,0	30,0	29,4	30,8

**Bảng B.2 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong mặt đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kip	(kN)	1	2	3	4	5	6
76	338,2	42,8	41,2	37,3	33,8	33,1	34,5
78	347,1	48,4	46,5	42,0	38,0	37,0	38,6
80	356,0	54,4	52,3	47,2	42,5	41,3	43,0
82	364,9	61,1	58,7	52,9	47,6	46,0	47,8
84	373,8	68,4	65,7	59,2	53,0	51,2	53,0
86	382,7	76,3	73,3	66,0	59,0	56,8	58,6
88	391,6	85,0	81,6	73,4	65,5	62,8	64,7
90	400,5	94,4	90,6	81,5	72,6	69,4	71,3

**Bảng B.3 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	17,8	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
6	26,7	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8	35,6	0,0009	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007
10	44,5	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
12	53,4	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
14	62,3	0,006	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005
16	71,2	0,010	0,012	0,012	0,010	0,009	0,009
18	80,0	0,016	0,019	0,019	0,017	0,015	0,015
20	89,0	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
22	97,9	0,034	0,042	0,042	0,038	0,035	0,034
24	108,8	0,049	0,058	0,060	0,055	0,051	0,048
26	115,7	0,068	0,080	0,083	0,077	0,071	0,068
28	124,6	0,093	0,107	0,113	0,105	0,098	0,094
30	133,5	0,125	0,140	0,149	0,140	0,131	0,126
32	142,4	0,164	0,182	0,194	0,184	0,173	0,167
34	151,3	0,213	0,233	0,248	0,238	0,225	0,217
36	160,2	0,273	0,294	0,313	0,303	0,288	0,279
38	169,1	0,346	0,368	0,390	0,381	0,364	0,353

**Bảng B.3 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kip	(kN)	1	2	3	4	5	6
40	178,0	0,434	0,456	0,481	0,473	0,454	0,443
42	186,9	0,538	0,560	0,587	0,580	0,561	0,548
44	195,8	0,662	0,682	0,710	0,705	0,686	0,673
46	204,7	0,807	0,825	0,852	0,849	0,831	0,818
48	213,6	0,976	0,992	1,015	1,014	0,999	0,987
50	222,5	1,17	1,18	1,20	1,20	1,19	1,18
52	231,4	1,40	1,40	1,42	1,42	1,41	1,40
54	240,3	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	249,2	1,95	1,95	1,93	1,93	1,94	1,94
58	258,1	2,29	2,27	2,24	2,23	2,25	2,27
60	267,0	2,67	2,64	2,59	2,57	2,60	2,63
62	275,9	3,10	3,06	2,98	2,95	2,99	3,04
64	284,8	3,59	3,53	3,41	3,37	3,42	3,49
66	293,7	4,13	4,05	3,89	3,83	3,90	3,99
68	302,6	4,73	4,63	4,43	4,34	4,42	4,54
70	311,5	5,40	5,28	5,03	4,90	5,00	5,15
72	320,4	6,15	6,00	5,68	5,52	5,63	5,82
74	329,3	6,97	6,79	6,41	6,20	6,33	6,56
76	338,2	7,88	7,67	7,21	6,94	7,08	7,36



**Bảng B.3 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,0$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kip	(kN)	1	2	3	4	5	6
78	347,1	8,88	8,63	8,09	7,75	7,90	8,23
80	356,0	9,98	9,69	9,05	8,63	8,79	9,18
82	364,9	11,2	10,8	10,1	9,6	9,8	10,2
84	373,8	12,5	12,1	11,2	10,6	10,8	11,3
86	382,7	13,9	13,5	12,5	11,8	11,9	12,5
88	391,6	15,5	15,0	13,8	13,0	13,2	13,8
90	400,5	17,2	16,6	15,3	14,3	14,5	15,2

**Bảng B.4 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục đơn  
dùng trong áo đường mềm khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
4	17,8	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
6	26,7	0,011	0,017	0,017	0,013	0,010	0,009
8	35,6	0,032	0,047	0,051	0,041	0,034	0,031
10	44,5	0,078	0,102	0,118	0,102	0,088	0,080
12	53,4	0,168	0,198	0,229	0,213	0,189	0,176
14	62,3	0,328	0,358	0,399	0,388	0,360	0,342
16	71,2	0,591	0,613	0,646	0,645	0,623	0,606
18	80,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	89,0	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	97,9	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,30
24	108,8	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	115,7	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	124,6	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98
30	133,5	10,3	9,5	7,9	6,8	7,0	7,8
32	142,4	13,9	12,8	10,5	8,8	8,9	10,0
34	151,3	18,4	16,9	13,7	11,3	11,2	12,5
36	160,2	24,0	22,0	17,7	14,4	13,9	15,5
38	169,1	30,9	28,3	22,6	18,1	17,2	19,0

**Bảng B.4 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục đơn  
dùng trong áo đường mềm khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kip	(kN)	1	2	3	4	5	6
40	178,0	39,3	35,9	28,5	22,5	21,1	23,0
42	186,9	49,3	45,0	35,6	27,8	25,6	27,7
44	195,8	61,3	55,9	44,0	34,0	31,0	33,1
46	204,7	75,5	68,8	54,0	41,4	37,2	39,3
48	213,6	92,2	83,9	65,7	50,1	44,5	46,5
50	222,5	112,0	102,0	79,0	60,0	53,0	55,0

**Bảng B.5 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	17,8	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
6	26,7	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
8	35,6	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
10	44,5	0,008	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
12	53,4	0,015	0,024	0,023	0,018	0,014	0,013
14	62,3	0,026	0,041	0,042	0,033	0,027	0,024
16	71,2	0,044	0,065	0,070	0,057	0,047	0,043
18	80,0	0,070	0,097	0,109	0,092	0,077	0,070
20	89,0	0,107	0,141	0,162	0,141	0,121	0,110
22	97,9	0,160	0,198	0,229	0,207	0,180	0,166
24	108,8	0,231	0,273	0,315	0,292	0,260	0,242
26	115,7	0,327	0,370	0,420	0,401	0,364	0,342
28	124,6	0,451	0,493	0,548	0,534	0,495	0,470
30	133,5	0,611	0,648	0,703	0,695	0,658	0,633
32	142,4	0,813	0,843	0,889	0,887	0,857	0,834
34	151,3	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
36	160,2	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	169,1	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73

**Bảng B.5 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
40	178,0	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
42	186,9	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
44	195,8	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
46	204,7	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
48	213,6	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49
50	222,5	6,12	5,76	5,03	4,64	4,86	5,28
52	231,4	7,33	6,87	5,93	5,38	5,63	6,17
54	240,3	8,72	8,14	6,95	6,22	6,47	7,15
56	249,2	10,3	9,6	8,1	7,2	7,4	8,2
58	258,1	12,1	11,3	9,4	8,2	8,4	9,4
60	267,0	14,2	13,1	10,9	9,4	9,6	10,7
62	275,9	16,5	15,3	12,6	10,7	10,8	12,1
64	284,8	19,1	17,6	14,5	12,2	12,2	13,7
66	293,7	22,1	20,3	16,6	13,8	13,7	15,4
68	302,6	25,3	23,3	18,9	15,6	15,4	17,2
70	311,5	29,0	26,6	21,5	17,6	17,2	19,2
72	320,4	33,0	30,3	24,4	19,8	19,2	21,3
74	329,3	37,5	34,4	27,6	22,2	21,3	23,6
76	338,2	42,5	38,9	31,1	24,8	23,7	26,1

**Bảng B.5 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục kép  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
78	347,1	48,0	43,9	35,0	27,8	26,2	28,8
80	356,0	54,5	49,4	39,2	30,9	29,0	31,7
82	364,9	60,6	55,4	43,9	34,4	32,0	34,8
84	373,8	67,8	61,9	49,0	38,2	35,3	38,1
86	382,7	75,7	69,1	54,5	42,3	38,8	41,7
88	391,6	84,3	76,9	60,6	46,8	42,6	45,6
90	400,5	93,7	85,4	67,1	51,7	46,8	49,7

**Bảng B.6 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	17,8	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
6	26,7	0,0006	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003
8	35,6	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
10	44,5	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002
12	53,4	0,005	0,007	0,006	0,004	0,003	0,003
14	62,3	0,008	0,012	0,010	0,008	0,006	0,006
16	71,2	0,012	0,019	0,018	0,013	0,011	0,010
18	80,0	0,018	0,029	0,028	0,021	0,017	0,016
20	89,0	0,027	0,042	0,042	0,032	0,027	0,024
22	97,9	0,038	0,058	0,060	0,048	0,040	0,036
24	108,8	0,053	0,078	0,084	0,068	0,057	0,051
26	115,7	0,072	0,103	0,114	0,095	0,080	0,072
28	124,6	0,098	0,133	0,151	0,128	0,109	0,099
30	133,5	0,129	0,169	0,195	0,170	0,145	0,133
32	142,4	0,169	0,213	0,247	0,220	0,191	0,175
34	151,3	0,219	0,266	0,308	0,281	0,246	0,228
36	160,2	0,279	0,329	0,379	0,352	0,313	0,292
38	169,1	0,352	0,403	0,461	0,436	0,393	0,368

**Bảng B.6 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
40	178,0	0,439	0,491	0,554	0,533	0,487	0,459
42	186,9	0,543	0,594	0,661	0,644	0,597	0,567
44	195,8	0,666	0,714	0,781	0,769	0,723	0,692
46	204,7	0,811	0,854	0,918	0,911	0,868	0,838
48	213,6	0,979	1,015	1,072	1,069	1,033	1,005
50	222,5	1,17	1,20	1,24	1,25	1,22	1,20
52	231,4	1,40	1,41	1,44	1,44	1,43	1,41
54	240,3	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	249,2	1,95	1,93	1,90	1,90	1,91	1,93
58	258,1	2,29	2,25	2,17	2,16	2,20	2,24
60	267,0	2,67	2,60	2,48	2,44	2,51	2,58
62	275,9	3,09	3,00	2,82	2,76	2,85	2,95
64	284,8	3,57	3,44	3,19	3,10	3,22	3,36
66	293,7	4,11	3,94	3,61	3,47	3,62	3,81
68	302,6	4,71	4,49	4,06	3,88	4,05	4,30
70	311,5	5,38	5,11	4,57	4,32	4,52	4,84
72	320,4	6,12	5,79	5,13	4,80	5,03	5,41
74	329,3	6,93	6,54	5,74	5,32	5,57	6,04
76	338,2	7,84	7,37	6,41	5,88	6,15	6,71



**Bảng B.6 – Các hệ số tương đương để chuyển đổi trục xe là trục ba  
dùng trong áo đường mềm, khi  $p_t = 2,5$**

Tải trọng trục		Chỉ số kết cấu áo đường (SN)					
kips	(kN)	1	2	3	4	5	6
78	347,1	8,83	8,28	7,14	6,49	6,78	7,43
80	356,0	9,92	9,28	7,95	7,15	7,45	8,21
82	364,9	11,1	10,4	8,8	7,9	8,2	9,0
84	373,8	12,4	11,6	9,8	8,6	8,9	9,9
86	382,7	13,8	12,9	10,8	9,5	9,8	10,9
88	391,6	15,4	14,3	11,9	10,4	10,6	11,9
90	400,5	17,1	15,8	13,2	11,3	11,6	12,9

## Phụ lục C

(Quy định)

**Xác định mô đun đàn hồi của đất nền ( $M_R$ ) bằng thí nghiệm các mẫu đất ở trong phòng thí nghiệm và xác định mô đun đàn hồi của vật liệu hạt (cấp phối đá) dùng làm lớp móng trên và móng dưới bằng thí nghiệm các mẫu cấp phối đá ở trong phòng thí nghiệm**

**C.1** Trong Phụ lục C này, giới thiệu phương pháp thí nghiệm trong phòng để xác định mô đun đàn hồi ( $M_R$ ) của đất nền và mô đun đàn hồi của cấp phối đá không gia cố dùng làm lớp móng trên, móng dưới của áo đường, theo tiêu chuẩn AASHTO T292.

Phương pháp thí nghiệm này mô phỏng các điều kiện vật lý cũng như các trạng thái ứng suất của vật liệu nằm dưới áo đường mềm, khi chịu tác dụng của tải trọng của bánh xe đang chạy.

Phương pháp thí nghiệm này được áp dụng cho các mẫu nguyên dạng của đất nền được lấy từ lỗ khoan vè, cũng như cho các mẫu đã bị xáo động của đất nền hoặc của vật liệu cấp phối của lớp móng trên và lớp móng dưới được chế bị lại bằng cách đầm nén theo các phương pháp tĩnh, động hay chấn động tùy theo các yêu cầu quy định.

**C.2** Nguyên tắc thí nghiệm được tóm tắt như sau :

Ứng suất dọc trục có độ lớn, thời gian tác dụng và tần số quy định tác dụng trùng phục lên một mẫu vật liệu cần thí nghiệm (đất nền hoặc cấp phối hạt) hình trụ. Trong khi chịu tác dụng trùng phục của độ lệch ứng suất thẳng đứng mẫu còn chịu một ứng suất tĩnh bao quanh nó do buồng áp lực của thiết bị nén ba trục tạo ra. Biến dạng phục hồi thẳng đứng được ghi lại đồng thời với lực tác dụng nhờ hai đầu đo vi biến dạng và dùng để tính toán mô đun đàn hồi  $M_R$  của mẫu vật liệu thí nghiệm theo công thức :

$$M_R = \frac{S_d}{E_r} \quad (C.1)$$

trong đó :

$S_d$  là độ lệch (deviator) ứng suất (tức là deviator ứng suất hướng trục trùng phục), kPa;

$$S_d = S_1 - S_3 \quad (C.2)$$

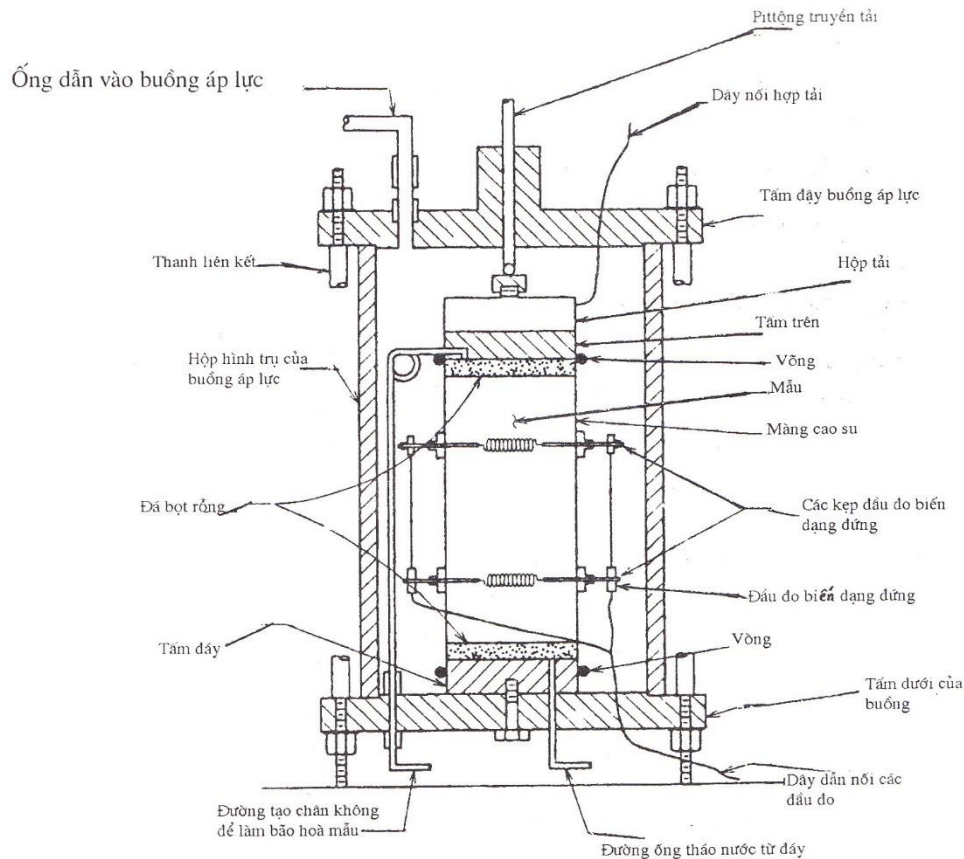
$E_r$  là độ biến dạng đàn hồi (phục hồi) dọc trục của mẫu dưới tác dụng của ứng suất  $S_d$ , mm/mm;

$S_1$  là tổng ứng suất hướng trục (ứng suất chính lớn nhất), kPa;

$S_3$  là ứng suất chính nhỏ nhất, kPa; ứng suất chính nhỏ nhất  $S_3$  là ứng suất chính trung gian  $S_2$  và chúng bằng tổng ứng suất hướng tâm tạo nên bởi buồng áp lực của thiết bị nén ba trục;

$M_r$  là mô đun đàn hồi của vật liệu mẫu thí nghiệm, kPa.

**C.3** Thiết bị thí nghiệm (xem Hình C.1), bao gồm các bộ phận sau:



**Hình C.1 – Mô hình buồng áp lực của thiết bị nén ba trục**

**C.3.1** Buồng áp lực, để chứa mẫu và giữ chất lỏng trong cả quá trình thí nghiệm.

**C.3.2** Thiết bị truyền tải là một nguồn cung cấp tải trọng ngoài bất kỳ có khả năng tạo ra các tải trọng trùng phục khác nhau với thời gian tác dụng tải trọng bằng 0,1; 0,15; 1,0 giây (thường là 0,05 giây) (xem Bảng C.1), và thời gian mỗi chu kỳ trong khoảng từ 1 giây đến 3 giây. Dạng sóng của tác dụng tải trọng có dạng gần với biến đổi hình sin.

**C.3.3** Thiết bị đo biến dạng thẳng đứng (hướng trục) của mẫu gồm hai đầu đo biến dạng thẳng đứng (LVDT), được bố trí đối xứng 180° qua trục tâm của mẫu và được nối với dây dẫn đưa ra phía ngoài của buồng áp lực.

**Bảng C.1 – Thời gian tác dụng của tải trọng trên mẫu đất dính của đất nền đường, giây**

Tốc độ thiết kế của xe chạy trên mặt đường (km/h)	Chiều sâu kể từ mặt của lớp mặt đường	
	≤ 508 mm	> 508 mm
≤ 72	0,1	0,15
> 72	0,05 (có thể bằng 0,1 giây)	0,1

**Bảng C.2 – Chọn cách đầm nén khi chế bị mẫu trong phòng thí nghiệm**

Điều kiện tại hiện trường của đất nền		Chọn phương pháp đầm nén khi chế bị mẫu
Độ bão hoà tại lúc đầm nén (%)	Độ ẩm của đất nền sau khi thi công, lúc khai thác đường	
< 80	nhỏ hơn độ ẩm của đất nền vào thời điểm xây dựng đường	– TCVN 12790 hoặc T99; T180 – Phương pháp tĩnh
> 80	bằng hoặc lớn hơn độ ẩm của đất nền vào thời điểm xây dựng đường	– TCVN 12790 hoặc T99; T180
< 80	lớn hơn độ ẩm của đất nền vào thời điểm xây dựng đường	– Phương pháp tĩnh

**C.3.4** Thiết bị đo tải trọng hướng trục tác dụng lên mẫu: một hộp tế bào điện tử để truyền ghi tác dụng của tải trọng trùng phục, được đặt trên tấm đệm trên, nằm trên mặt trên của mẫu.

**C.3.5** Thiết bị thu nhận và ghi lại các số liệu đo được về tải trọng trùng phục hướng trục đồng thời với các biến dạng thẳng đứng.

**C.3.6** Các thiết bị kiểm tra và đo áp lực ở buồng áp lực: Áp lực trong buồng được điều chỉnh bởi một máy điều hoà áp lực, có công suất ít nhất là bằng 207 kPa và có độ chính xác 1 kPa.

**C.3.7** Thiết bị để chế bị mẫu thí nghiệm. Tùy theo điều kiện độ ẩm của vật liệu tại hiện trường khi lấy mẫu và độ bão hoà của đất tại lúc đầm lên mà chọn phương pháp và dụng cụ đầm nén theo nén tĩnh, đầm nén chấn động, hay đầm nén tiêu chuẩn (TCVN 12790; AASHTO T99), hoặc đầm nén cải tiến (TCVN 12790; AASHTO T180) (xem Bảng C.2).

**C.3.8** Màng cao su bọc mẫu phải tốt và mới, không bị thủng. Đường kính của màng cao su (khi chưa căng) bằng 90 % đến 95 % đường kính của mẫu, để có thể ôm sát mẫu. Chiều dày của màng cao su không lớn hơn 1 % đường kính của mẫu. Có thể dùng 2 màng cao su để bọc mẫu khi mẫu có đá có cạnh sắc ở phía ngoài, để đề phòng rách màng bọc.

**C.4** Cách chuẩn bị mẫu:

**C.4.1** Kích cỡ mẫu: chiều dài mẫu không nhỏ hơn 2 lần đường kính mẫu. Đường kính bé nhất của mẫu là 71 mm

**C.4.2** Cỡ hạt to nhất của vật liệu đúc mẫu: vật liệu (đất, cấp phối đá...) dùng để chế bị mẫu phải có ít nhất 90% theo khối lượng các hạt có kích cỡ lớn nhất không quá 1/6 đường kính mẫu; số hạt còn lại phải có cỡ hạt không lớn hơn 1/4 đường kính của mẫu.

**C.4.3** Đối với mẫu nguyên dạng lấy từ hiện trường về, trong khi chuẩn bị và cất gọt không được làm xáo động mẫu, chuẩn bị theo tiêu chuẩn mẫu khoan nguyên dạng (AASHTO T234)

**C.4.4** Chuẩn bị đất để tạo mẫu bằng đầm nén trong phòng thí nghiệm theo trình tự sau:

1. Đất ẩm lấy từ hiện trường về được phơi khô ngoài không khí, hoặc sấy khô ở nhiệt độ không quá 60 °C. Sau đó làm tơi đất ra nhưng không làm vỡ các hạt.
2. Rây qua các rây có cỡ thích hợp để có các vật liệu có cỡ hạt như quy định ở C.4.2. Ghi lại lượng hạt theo các cỡ và lượng hạt bị loại bỏ.
3. Xác định độ ẩm của mẫu đất đã được phơi khô hay sấy khô ( $W_1$ ). Mẫu đã phơi khô hay sấy khô để đem xác định độ ẩm phải có khối lượng không nhỏ hơn 200 g (nếu mẫu đất có cỡ hạt lớn nhất đều lọt qua sàng 4,75 mm, N°4), và không nhỏ hơn 500 g (nếu mẫu đất có cỡ hạt lớn nhất còn nằm lại trên sàng 4,75 mm).
4. Xác định thể tích (V) của mẫu đất sẽ được tạo thành có kích cỡ như quy định trong C.4.1. Nên dự kiến mẫu cao hơn 13 mm để sau này gọt bỏ thì vừa.
5. Xác định khối lượng của cốt liệu đất sấy khô ( $M_s$ ) và khối lượng nước ( $M_c$ ) cần thiết để đạt được dung trọng khô mong muốn ( $Y_d$ ) và độ ẩm mong muốn ( $W_c$ ) theo các công thức sau :

$$M_s \text{ (kg)} = Y_d \text{ (kg/m}^3\text{)} \times V \text{ (m}^3\text{)} \quad (\text{C.3})$$

$$M_c \text{ (kg)} = M_s \text{ (kg)} \times W_c \text{ (/100)} \quad (\text{C.4})$$

6. Xác định khối lượng của đất cần đem phơi khô (hay sấy khô) ( $M_{ad}$ ) cần thiết để có được khối lượng ( $M_s$ ) đã sấy khô. Cũng cần tính thêm vào đấy một khối lượng đất ( $M_{as}$ ) ít nhất là 500g để sau này dùng xác định độ ẩm của đất khi đầm nén; vậy

$$M_{ad} \text{ (g)} = (M_{as} + M_s) \times [1 + (W_1/100)] \quad (\text{C.5})$$

7. Xác định lượng nước ( $M_{aw}$ ) cần thiết để làm tăng độ ẩm của đất đã phơi khô ( $W_1$ ) lên đến độ ẩm mong muốn khi đầm nén ( $W_c$ ) theo công thức :

$$M_{aw} \text{ (g)} = (M_s + M_{as}) \times [(W_c - W_1)/100] \quad (\text{C.6})$$

8. Xác định khối lượng đất ẩm ( $M_t$ ) cần đem đầm nén để tạo mẫu có thể tích V đã xác định ở bước 4, theo công thức:

$$M_t \text{ (g)} = M_s (1 + W_c/100) \quad (\text{C.7})$$

9. Cho tất cả khối lượng đất  $M_{ad}$  (đã xác định ở bước 6) vào một chậu trộn.

10. Tưới khối lượng nước  $M_{aw}$  (đã xác định ở bước 7) vào lượng đất ở trong chậu, cho dần dần và đảo trộn cho đều sau mỗi lần thêm.

11. Gói hỗn hợp đất và chậu trong một túi plastic. Có thể dùng 2,3 túi plastic bọc ngoài cho kín. Dán kín túi lại và để túi đất ấy ngoài không khí (có độ ẩm tương đối ít nhất là 75%) trong 24 giờ.

12. Sau đó đem cân, xác định khối lượng đất ẩm (đất ẩm, chứa đựng) với độ chính xác đến 1 g, và ghi vào biểu mẫu (Hình C.2).

#### **C.4.5** Đầm nén vật liệu đất nền (có tính dính)

Kết quả thí nghiệm Mr bị ảnh hưởng bởi cấu trúc của mẫu đất. Vì các cách đầm nén khác nhau sẽ mang lại các cấu trúc khác nhau nên phải lựa chọn cách đầm nén nào để chế bị mẫu đất (tĩnh, chấn động hay TCVN 12790; AASHTO T99; AASHTO T180) là phải phù hợp với các điều kiện thực ở ngoài hiện trường: tùy theo độ ẩm của đất ở hiện trường lúc thi công và cả lúc khai thác đường (Bảng C.2) và các đặc tính dự kiến của đất ở hiện trường.

#### **C.4.6** Đầm nén vật liệu hạt (cấp phối đá)

Vì trong trường hợp này, ảnh hưởng của cấu trúc của mẫu vật liệu cấp phối đá không quan trọng lắm nên có thể sử dụng phương pháp đầm nén bất kỳ (tĩnh, chấn động, AASHTO T180). Có khi phải dùng cách đầm nén chấn động nếu vật liệu cấp phối đá thiếu dính kết với nhau, khó giữ được hình dạng mẫu khi tháo mẫu từ khuôn ra, khi vận chuyển mẫu hay khi đưa mẫu vào màng cao su đặt vào buồng áp lực. Hơn nữa, khi vật liệu là cấp phối hở, hoặc cấp phối có hạt kích cỡ lớn dùng đầm nén chấn động sẽ không làm vỡ các cốt liệu của cấp phối.

**C.5** Đặt mẫu đã chế bị vào máy nén ba trục để thí nghiệm theo trình tự sau:

**C.5.1** Đo chiều cao và đường kính của mẫu đã chế bị chính xác đến 0,5mm. Đo nhiều lần và lấy trung bình.

**C.5.2** Đặt mẫu vào buồng áp lực và chuẩn bị các phụ kiện sẵn sàng hoạt động như trong Hình vẽ C.1.

**C.6** Trình tự thí nghiệm (nén 3 trục)

**C.6.1** Đối với mẫu đất nền là đất dính, tiến hành thí nghiệm theo trình tự sau:

1. Tạo ở buồng áp lực một lực nén là 21 kPa.

2. Mở các đường ống thoát nước trong thời gian đủ để các mẫu cố kết xong.

3. Sau khi mẫu đã cố kết xong, các đường ống thoát nước được đóng lại nếu mẫu đem thí nghiệm là mẫu đã bão hoà nước. Nếu mẫu đem thí nghiệm là mẫu chưa bão hoà nước thì cứ để mở các đường ống thoát nước.

4. Điều chỉnh thiết bị tạo tải trọng để có được thời gian tác dụng tải trọng đã chọn (theo Bảng C.1) và thời gian mỗi chu kỳ vào khoảng từ 1 đến 3 giây. Phải chọn như thế nào để có được thời gian giữa thời điểm kết thúc và thời điểm bắt đầu của 2 lần tác dụng tải trọng liên tiếp ít nhất là 0,85 giây (thời gian nghỉ của mẫu).

5. Tiến hành tác dụng tải trọng trong giai đoạn sơ bộ để sự tiếp xúc của mẫu với các tấm đệm được bảo đảm, đồng thời loại bỏ một số ảnh hưởng do xáo động có thể có do lấy mẫu, đầm nén và chuẩn bị mẫu. Trong giai đoạn sơ bộ này (gọi là giai đoạn cho mẫu làm quen với tình trạng chịu tác dụng lực sắp diễn ra) sẽ cho tác dụng trùng phục 1000 lần của một độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục 21 kPa (hoặc

41 kPa). Dùng 21 kPa khi cường độ kháng cắt của mẫu nhỏ hơn hay bằng 48 kPa; dùng 41 kPa khi cường độ kháng cắt của mẫu lớn hơn 48 kPa (cường độ kháng cắt thí nghiệm ở trạng thái không cố kết, không thoát nước theo AASHTO T234).

6. Sau khi tác dụng 1000 lần tải trọng trùng phục ở giai đoạn sơ bộ thì tiến hành ngay giai đoạn thí nghiệm chính thức, không để có thời gian cho áp lực lỗ rỗng trong mẫu tiêu đi.

Trong giai đoạn thí nghiệm chính thức này, đầu tiên cho tác dụng 50 lần của một độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục có độ lớn là 21 kPa và ghi lại độ lớn trung bình của biến dạng phục hồi thẳng đứng của mẫu ở 5 lần trùng phục tải trọng sau cùng. Trong lúc tác dụng trùng phục của độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục thì giữ áp lực ở buồng áp lực luôn bằng 21 kPa.

Số lần tác dụng trùng phục này có thể lớn hơn 50 lần nếu 2 trị số biến dạng phục hồi thẳng đứng của mẫu ghi ở lần tác dụng trùng phục thứ 20 và thứ 50 khác nhau quá 5 %. Khi ấy phải thực hiện thêm 50 lần trùng phục nữa và so sánh 2 biến dạng phục hồi ở lần tác dụng thứ 50 và lần tác dụng thứ 100; nếu vẫn còn lớn hơn 5 % thì lại tiến hành thêm 100 lần trùng phục độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục (cường độ lớn như lúc đầu là 21 kPa) và so sánh. Nói chung nhiều nhất là 200 lần trùng phục là đủ.

Tiếp theo tăng độ lớn của độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục lên đến 34 kPa và cho tác dụng trùng phục 50 lần, và ghi lại độ lớn trung bình của biến dạng phục hồi thẳng đứng của mẫu ở 5 lần tải trọng tác dụng trùng phục sau cùng, nếu 2 trị số biến dạng phục hồi của mẫu ghi ở lần tác dụng trùng phục thứ 20 và thứ 50 khác nhau dưới 5 %. Nếu không đạt thì lại tiến hành như đã nói ở trên.

Tiếp tục tăng độ lớn của độ lệch (deviator) ứng suất hướng trục lên 48 kPa, rồi 69 kPa, rồi 103 kPa và thực hiện tác dụng trùng phục như ở trên (xem Bảng C.3).

**Bảng C.3 – Trình tự thí nghiệm đối với mẫu đất nền là đất dính**

Giai đoạn	Trình tự số	Độ lệch (Deviator) ứng suất hướng trục (kPa)	Số lần tác dụng trùng phục của độ lệch (deviator) ứng suất	áp lực nén trong buồng áp lực (kPa)
Sơ bộ	1	21 (hoặc 41)	1000	
Thí nghiệm chính thức	2	21	Tối thiểu là 50	21 kPa
	3	34	Tối thiểu là 50	
	4	48	Tối thiểu là 50	
	5	69	Tối thiểu là 50	
	6	103	Tối thiểu là 50	

7. Hạ áp lực rồi lấy mẫu từ thiết bị ra. Dùng mẫu ấy để xác định độ ẩm cuối cùng của mẫu đất và ghi vào biểu mẫu Hình C.2

8. Tính toán, báo cáo :

– Báo cáo như ở biểu mẫu Hình C.2

– Cách tính toán dựa theo các số liệu ghi ở biểu mẫu (Hình C.2) hoặc bằng phần mềm có sẵn của máy tính.

– Lập công thức; phương trình hồi quy  $M_r = f(S_d)$  theo dạng :

$$M_r = a (S_d)^b \quad (C.8)$$

hoặc dạng :  $\log M_r = \log a + b (\log S_d) \quad (C.9)$

và tìm hệ số xác định ( $R^2$ )

### C.6.2 Đối với vật liệu hạt:

Trong trường hợp đất có lẫn sỏi, cát sạn của đất nền đường hoặc cấp phối đá của lớp móng trên hoặc /và lớp móng dưới, thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi được tiến hành theo các trình tự sau:

1. Mở các đường ống thoát nước trong thời gian đủ để các mẫu cố kết xong, như điểm 2 của Điều C.6.1.

2. Thực hiện đóng hoặc mở các đường ống thoát nước như ở Điểm 3 của Điều C.6.1.

3. Điều chỉnh thiết bị tạo tải trọng để có được thời gian tác dụng tải trọng đã chọn (khoảng từ 0,1 đến 1,0 giây) và thời gian mỗi chu kỳ đã chọn (khoảng từ 1,0 đến 3,0 giây). Phải chọn như thế nào để có được thời gian nghỉ giữa 2 lần tác dụng tải trọng liên tiếp ít nhất là 0,9 giây.

4. Tạo ở buồng áp lực bằng cách chỉnh các van để áp lực nén có trị số như ở Bảng C.4 (đối với đất nền có lẫn sỏi, cát sạn) và như ở Bảng C.5 (đối với mẫu cấp phối đá của lớp móng trên và móng dưới), tương ứng với các cấp của deviator ứng suất hướng trục.

5. Chốt tải trong giai đoạn sơ bộ bằng 1000 lần tác dụng tải trọng trùng phục của một deviator ứng suất hướng trục là 83 kPa (đối với mẫu đất nền có lẫn sỏi, cát sạn) hoặc 103 kPa (đối với mẫu vật liệu cấp phối đá dùng cho lớp móng trên và móng dưới), trong lúc đó tạo một áp lực nén trong buồng áp lực bằng 103 kPa (đối với mẫu đất nền có lẫn sỏi, cát sạn) hoặc bằng 138 kPa (đối với mẫu vật liệu cấp phối đá dùng cho lớp móng trên và lớp móng dưới) (Xem Bảng C.4 và Bảng C.5).

6. Sau giai đoạn tác dụng tải trọng sơ bộ nói trên thì tiến hành ngay giai đoạn thí nghiệm chính thức.

Trong giai đoạn này, đầu tiên cho tác dụng 50 lần của một deviator ứng suất hướng trục có độ lớn như chỉ dẫn trong Bảng C.4 hoặc trong Bảng C.5, tương ứng với áp lực nén của buồng áp lực như đã chỉ dẫn trong 2 Bảng trên. Ghi lại trị số trung bình của biến dạng phục hồi thẳng đứng của mẫu ở 5 lần trùng phục tải trọng sau cùng nếu 2 trị số biến dạng phục hồi của mẫu ghi ở lần tác dụng trùng phục thứ 20 và thứ 50 khác nhau không quá 5%. Nếu khác nhau quá 5% thì tiến hành thêm 50 lần trùng phục tải trọng nữa v.v... như đã miêu tả trong Điểm 6 của Điều C.6.1.



Tiếp theo tăng độ lớn của deviator ứng suất hướng trục lên và cho tác dụng trùng phục thêm 50 lần; cứ tiếp tục thực hiện các trình tự như đã ghi ở Bảng C.4 hoặc ở Bảng C.5, và ghi lại biến dạng phục hồi trung bình của 5 lần tác dụng trùng phục cuối cùng.

**Hình C.2 – Biểu mẫu để ghi các số liệu thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi  $M_r$  của đất nền khi đất nền là đất dính**

Mẫu đất :	Các khối lượng :	Ngày ..... tháng .... năm .....
Vị trí :	– Khối lượng ban đầu	Phương pháp đầm nén mẫu ...
Mẫu số :	của chậu chứa và đất ẩm .... g	Khoảng cách đứng giữa các kẹp đầu đo biến dạng .... mm
Tỉ trọng G	– Khối lượng sau cùng của chậu chứa và đất ẩm ..... g	
Kích thước mẫu đất (mm)	– Khối lượng của đất ẩm ..... g	
* Đường kính ở phần đầu mẫu :	Các thông số ban đầu của mẫu	Khối lượng cuối cùng của mẫu
ở giữa mẫu ...	– Diện tích tiết diện mẫu	đất ẩm sau khi thí nghiệm : ... g
ở đuôi mẫu ...	ban đầu ... mm <sup>2</sup>	Khối lượng của mẫu đất sấy
Trung bình ...	Thể tích mẫu : .... mm <sup>3</sup>	khô ... g
Chiều dày màng cao su bọc mẫu : ...	– Độ ẩm đầm nén của mẫu	Độ ẩm của mẫu sau khi thí
Đường kính thực của mẫu : ...	(Wc)...%	nghiệm : ...%
Chiều cao ban đầu của mẫu + 2 tấm đệm	– Độ bão hoà ... %	<i>Các ghi chú :</i>
Chiều dày 2 tấm đệm : ...	– Dung trọng (Y) kg/m <sup>3</sup>	
Chiều cao ban đầu của mẫu : ...	ẩm : ...	
Chiều cao cuối cùng của mẫu + 2 tấm đệm	khô : .....	



**Bảng C.4 – Trình tự thí nghiệm đối với mẫu đất nền có lẫn sỏi, cát sạn**

<b>Giai đoạn</b>	<b>Trình tự số</b>	<b>Ứng suất hướng trục (kPa)</b>	<b>Áp lực nén của Buồng áp lực (kPa)</b>	<b>Số lần tác dụng trùng phục của deviator ứng suất hướng trục</b>	<b>Ghi chú</b>
Sơ bộ	1	83	103	1000	
Thí nghiệm chính thức	2	48	103	tối thiểu là 50	
	3	69	103	" 50	
	4	103	103	" 50	
	5	34	69	" 50	
	6	48	69	" 50	
	7	69	69	" 50	
	8	103	69	" 50	
	9	21	34	" 50	
	10	34	34	" 50	
	11	48	34	" 50	
	12	69	34	" 50	
	13	21	14	" 50	
	14	34	14	" 50	
	15	48	14	" 50	

**Bảng C.5 – Trình tự thí nghiệm đối với mẫu vật liệu cấp phối đá của lớp móng trên hoặc lớp móng dưới**

Giai đoạn	Trình tự số	Deviator ứng suất hướng trục (kPa)	Áp lực nén của buồng áp lực (kPa)	Số lần tác dụng trùng phục của deviator ứng suất hướng trục	Ghi chú
Sơ bộ	1	103	138	1000	
Thí nghiệm chính thức	2	69	138	tối thiểu là 50	
	3	138	138	" 50	
	4	207	138	" 50	
	5	276	138	" 50	
	6	69	103	" 50	
	7	138	103	" 50	
	8	207	103	" 50	
	9	276	103	" 50	
	10	34	69	" 50	
	11	69	69	" 50	
	12	138	69	" 50	
	13	207	69	" 50	
	14	34	34	" 50	
	15	69	34	" 50	
	16	103	34	" 50	
	17	34	21	" 50	
	18	48	21	" 50	
	19	62	21	" 50	

7. Tháo mẫu từ buồng áp lực của thiết bị nén ba trục ra. Dùng mẫu ấy để xác độ ẩm cuối cùng của mẫu và ghi các số liệu vào biểu mẫu Hình C.3.

8. Tính toán, báo cáo :

– Báo cáo như ở biểu mẫu Hình C.3

– Cách tính toán dựa theo các số liệu ghi ở biểu mẫu Hình C.3 hoặc bằng phần mềm có sẵn của máy tính.

– Lập công thức : phương trình hồi quy  $M_r = f(\theta)$  theo dạng :

$$M_r = k_1(\theta)^{k_2} \quad (\text{C.10})$$

hoặc dạng:

$$\log M_r = \log k_1 + k_2 \log \theta \quad (\text{C.11})$$

Và tìm hệ số xác định ( $R^2$ )

trong đó:

$$\theta = S_1 + S_2 + S_3 = S_d + 3S_3 \quad (\text{C.12})$$

Các ký hiệu  $S_d, S_1, S_2, S_3$  xem ở Điều C.2

**Hình C.3 – Biểu mẫu để ghi các số liệu thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi  $M_r$  của đất nền lẫn sỏi, cát sạn, hoặc của vật liệu cấp phối đá làm lớp móng trên và lớp móng dưới**

Mẫu đất lẫn sỏi (hoặc cấp phối):	Các khối lượng :	Ngày ..... tháng .... năm .....
Vị trí :	+ Khối lượng ban đầu của chậu chứa và đất ẩm .... g	Phương pháp đầm nén mẫu ...
Mẫu số :		
Tỉ trọng G	+ Khối lượng sau cùng của chậu chứa và đất ẩm ..... g	Khoảng cách đứng giữa các kẹp đầu đo biến dạng .... mm
Kích thước mẫu đất (mm)	+ Khối lượng của đất ẩm ..... g	
* Đường kính ở phần đầu mẫu :	Các thông số ban đầu của mẫu	Khối lượng cuối cùng của mẫu
ở giữa mẫu ...	– Diện tích tiết diện mẫu ban đầu ... mm <sup>2</sup>	đất ẩm sau khi thí nghiệm: ... g
ở đuôi mẫu ...	+ Thể tích mẫu : .... mm <sup>3</sup>	Khối lượng của mẫu đất sấy khô ... g
Trung bình ...		
Chiều dày màng cao su bọc mẫu : ...	– Độ ẩm đầm nén của mẫu (Wc)...%	Độ ẩm của mẫu sau khi thí nghiệm : ...%
Đường kính thực của mẫu : ...		
Chiều cao ban đầu của mẫu + 2 tấm đệm	– Độ bão hoà ... %	<i>Các ghi chú :</i>
Chiều dày 2 tấm đệm : ...	– Dung trọng (Y) kg/m <sup>3</sup>	
Chiều cao ban đầu của mẫu : ...	ẩm : ...	
Chiều cao cuối cùng của mẫu + 2 tấm đệm	khô : .....	
Chiều cao cuối cùng của mẫu		
Đường kính trong của khuôn đúc mẫu :		
(*) Là đường kính của mẫu đất cộng với hai lần chiều dày của màng cao su bọc mẫu)		

Hình C.3 – Biểu mẫu để ghi các số liệu thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi  $M_r$  của đất nền lẫn sỏi, cát sạn, hoặc của vật liệu cấp phối đá làm lớp móng trên và lớp móng dưới

$S_3$ (kPa)	Danh định $S_d$ (kPa)	Số đọc của hộp tải trọng	$K_1$	Tải trọng hướng trục (kN)	$S_d$ (kPa)	Số đọc của đầu đo biến dạng thẳng đứng	$K_2$	Biến dạng phục hồi (mm)	$E_r$ (Độ biến dạng tương đối phục hồi (mm/mm))	$M_r=S_d/$ $E_r$ (kPa)	$\theta =$ $S_d +$ $3S_3$ (kPa)

**C.7 Xác định giá trị  $M_r$  tính toán:**

Sau khi thí nghiệm được các giá trị  $M_r$  ứng với ứng suất hướng trục và áp lực nén của buồng áp lực thì xác định giá trị  $M_r$  tính toán như sau:

**C.7.1 Đối với nền đất:**

- Trường hợp đất dính, sau khi thí nghiệm xác định được phương trình hồi quy  $M_r = f(S_d)$  thay ứng suất lệch  $S_d = 6$  psi để tính ra  $M_r$ .
- Trường hợp đất nền có lẫn sỏi sạn, sau khi thí nghiệm xác định được phương trình hồi quy  $M_r = k_1(\theta)^{k_2}$  thay  $\theta = 11$  psi để tính ra  $M_r$ . Giá trị ứng suất khối chuẩn  $\theta = 11$  psi tương ứng với ứng suất lệch  $S_d=5$  psi và ứng suất buồng  $S_3=2$  psi.

**C.7.2 Đối với lớp móng trên:**

- Mô đun đàn hồi  $E_{BS}$  không chỉ phụ thuộc vào độ ẩm và độ chặt của vật liệu mà còn phụ thuộc vào kết cấu và ứng suất khối  $\theta$ . Sau khi thí nghiệm xác định được phương trình hồi quy  $M_r = k_1(\theta)^{k_2}$  thì thay  $\theta$  vào để tính  $E_{BS}$ .
- Ứng suất khối  $\theta$  được xác định như Bảng C.6 tùy thuộc chiều dày các lớp bê tông nhựa và mô đun đàn hồi của nền đường. Nội suy để xác định các giá trị trung gian.

**Bảng C.6 – Ứng suất khối  $\theta$  (psi) tính toán  $E_{BS}$** 

Chiều dày các lớp bê tông nhựa (inches)	Mô đun đàn hồi $M_r$ của đất nền (psi)		
	3.000	7.500	15.000
< 2	20	25	30
2 – 4	10	15	20
4 – 6	5	10	15
> 6	5	5	5

– Giá trị thông thường  $k_1 = 3.000 - 8.000$  và  $k_2 = 0,5 - 0,7$

### C.7.3 Đối với lớp móng dưới:

– Mô đun đàn hồi  $E_{SB}$  không chỉ phụ thuộc vào độ ẩm và độ chặt của vật liệu mà còn phụ thuộc vào kết cấu và ứng suất khối  $\theta$ . Sau khi thí nghiệm xác định được phương trình hồi quy  $M_r = k_1(\theta)^{k_2}$  thì thay  $\theta$  vào để tính  $E_{SB}$ .

– Ứng suất khối  $\theta$  cho lớp móng dưới dày từ 6 ÷ 12 inches (15 ÷ 30 cm) được xác định như Bảng C.7 tùy thuộc chiều dày các lớp bê tông nhựa. Nội suy để xác định các giá trị trung gian.

**Bảng C.7 – Ứng suất khối  $\theta$  (psi) tính toán  $E_{SB}$** 

Chiều dày các lớp bê tông nhựa (inches)	Ứng suất khối $\theta$ (psi)
< 2	10.0
2 – 4	7.5
> 4	5.0

– Giá trị thông thường  $k_1 = 1.500 - 6.000$  và  $k_2 = 0,4 - 0,6$



## Phụ lục D

(Quy định)

### Xác định mô đun đàn hồi của đất nền đường $M_R$ và mô đun đàn hồi $E_p$ của kết cấu áo đường nằm phía trên lớp đất nền đường bằng phương pháp đo độ võng khi dùng thiết bị FWD (phương pháp thí nghiệm không phá hoại NDT)

**D.1** Thiết bị đo độ võng bằng tải trọng động (FWD) dùng để đo độ võng đàn hồi thẳng đứng và chịu võng của áo đường dưới tác dụng của một xung lực. Thiết bị hoặc được đặt trong xe ô tô hoặc được xe ô tô kéo theo (ASTM D4694).

Dùng phương tiện này và cách đo miêu tả sau đây sẽ giúp đánh giá cường độ của kết cấu áo đường xác định mô đun đàn hồi của nền đất  $M_r$  và xác định mô đun đàn hồi  $E_p$  của kết cấu áo đường nằm phía trên mặt lớp đất nền đường. Thiết bị FWD không những dùng cho việc đo võng trên mặt đường mềm mà còn dùng trong đánh giá chất lượng, cường độ, hiệu quả truyền lực ở các khe nối của mặt đường bê tông xi măng. Hiện nay có nhiều loại FWD khác nhau.

**D.2** Các thiết bị chính của FWD bao gồm:

– Thiết bị tạo xung lực: Một thiết bị đưa quả tạ lên độ cao cần thiết, quả tạ rơi tự do thẳng đứng theo một thanh dẫn, đập vào một tấm ép thông qua một bộ phận đệm lò xo (hoặc cao su), tạo nên một xung lực qui định tác dụng lên mặt đường tại điểm đặt tấm ép. Đồ thị xung lực có dạng sóng hình sin và độ lớn của xung lực tại đỉnh phải đạt ít nhất là 50 kN. Thời gian toàn bộ tác dụng của xung lực vào khoảng 0,02 s đến 0,06 s, trong đó thời gian của xung lực tác dụng từ 0 đến trị số đỉnh là 0,01 s đến 0,03 s.

– Tấm ép, có đường kính thường dùng là 300 mm (có khi dùng tấm ép có đường kính 450 mm). Giữa tấm ép có lỗ rỗng để đặt cái cảm biến.

– Cái cảm biến có thể đo các biến dạng thẳng đứng của mặt đường, có độ nhạy cao). Thông thường ở một vị trí đo cần đặt từ cái cảm biến tùy mục đích của thí nghiệm đo.

– Hộp tế bào lực để đo xung lực tác dụng mỗi lần quả tạ rơi xuống tấm ép.

– Hệ thống lưu trữ số liệu và quá trình ghi, xử lý số liệu: là một thiết bị lưu trữ từ và/ hoặc một băng giấy dùng để lưu trữ các dữ liệu về tải trọng, số đo độ võng của mặt đường, các số liệu khác như nhiệt độ không khí, nhiệt độ mặt đường, khoảng cách các vị trí đo, các số liệu nhận dạng của mỗi vị trí đo. Có phần mềm máy tính dùng cho công việc trên.

Các thông tin dữ liệu trên cũng có thể ghi lại bằng tay.

**D.3** Quy định chung khi đo độ võng và chịu võng mặt đường bằng FWD

1. Các công việc phân đoạn tuyến để tiến hành đo bằng thiết bị FWD thực hiện theo Điều I.2 Phụ lục I
2. Tùy theo mục đích, khoảng cách giữa các vị trí đo có thể lấy như sau:

- Để đánh giá chung về tình trạng áo đường trên một tuyến hoặc một mạng lưới đường: khoảng cách các vị trí đo từ 100 m đến 200 m.
- Để kiểm tra một tuyến hoặc một đoạn đường xem có cần phải rải gia cường bằng lớp phủ: khoảng cách các vị trí đo từ 25 m đến 50 m trên mỗi đoạn đồng nhất.
- Để phân tích chi tiết các đoạn hư hỏng: khoảng cách các vị trí đo từ 7,5 m đến 15 m.

3. Cần phải hiệu chỉnh các bộ phận của thiết bị như hướng dẫn sử dụng kèm theo của mỗi loại FWD đặc biệt chú ý bảo đảm chế độ bảo dưỡng và hiệu chỉnh bộ phận tạo xung lực, đo xung lực và các cảm biến đo võng.

#### **D.4** Trình tự đo độ võng và chịu võng áo đường mềm bằng FWD

1. Ô tô kéo thiết bị FWD đến vị trí muốn đo độ võng. Đặt tấm ép của thiết bị lên điểm muốn đo. Mặt đường dưới tấm ép phải được quét sạch, bảo đảm tấm ép tiếp xúc tốt và đều với mặt đường.

2. Bố trí các cảm biến ở tâm tấm ép và ở các vị trí cách tâm tấm ép theo các yêu cầu quy định ở Điểm D.5. Các cảm biến phải nằm trên một đường thẳng, qua tâm tấm ép, song song với trục tim đường. Các cảm biến phải tiếp xúc thật sát sao với bề mặt mặt đường.

3. Dùng cơ cấu để đưa quả tạ lên độ cao qui định và thả quả tạ rơi đập vào tấm ép thông qua bộ phận lò xo hoặc tấm cao su để truyền một xung lực có trị số qui định xuống mặt đường (thường là 40 kN, bằng 1/2 tải trọng trục đơn tương đương). Hệ thống ghi và lưu trữ từ sẽ ghi lại các trị số độ võng ở các cảm biến tương ứng với trị số xung lực đỉnh.

4. Lặp lại các thao tác trên ít nhất hai lần (thả quả tạ ở một độ cao như nhau) và so sánh các kết quả. Nếu hai kết quả về độ võng khác nhau quá 5 % thì phải thả quả tạ thêm nữa cho đến khi giá trị độ võng không khác nhau quá 5 % ở hai lần thả quả tạ liền nhau. Đến lần thứ năm mà vẫn không đạt được thì cần kiểm tra lại hệ thống thiết bị, xem xét lại tình trạng tiếp xúc giữa tấm ép và các đầu đo võng với mặt áo đường, và nếu cần có thể di chuyển thiết bị đến vị trí mới cách vị trí cũ khoảng 1 m đến 2 m và tiến hành đo lại.

Một cách khác cho phép áp dụng là : Thực hiện ba lần thả quả tạ ở cùng một độ cao, bỏ kết quả lần thả quả tạ đầu tiên. Tính tỷ số xung lực/độ võng của mỗi lần trong hai lần thả quả tạ sau và so sánh. Nếu hai tỷ số này khác nhau quá 5 % thì phải thực hiện thêm vài lần thả quả tạ nữa ở cùng độ cao cho đến lúc sự khác nhau của hai tỷ số nói trên không vượt quá 5 % (chỉ lấy độ võng ở tâm tấm ép để so sánh).

#### **D.5** Xác định mô đun đàn hồi của nền đường bằng thiết bị FWD

- Tuân thủ các quy định ở điểm D.3 và theo các trình tự đo đã miêu tả ở điểm D.4 của Phụ lục D.
- Bố trí các cảm biến đo võng thứ nhất ở tại tâm tấm ép; cái thứ hai ở vị trí cách tấm ép từ 0,20 m đến 0,30 m ; cái thứ ba ở vị trí cách tâm tấm ép khoảng 0,50 m đến 0,75 m ... cái cảm biến kề cái cuối cùng cách tâm tấm ép từ 0,90 m đến 1,20 m và cái cảm biến cuối cùng cách tâm tấm ép khoảng 1,50 m đến 2,00 m. Các vị trí của các cảm biến nói trên có thể thay đổi tùy theo độ cứng và tổng bề dày của kết cấu

mặt đường, nhưng khoảng cách  $r$  từ cái cảm biến kề cái cuối cùng đến tâm tấm tải trọng phải thoả mãn điều kiện sau:

$$r \geq 0,7a_e \quad (D.1)$$

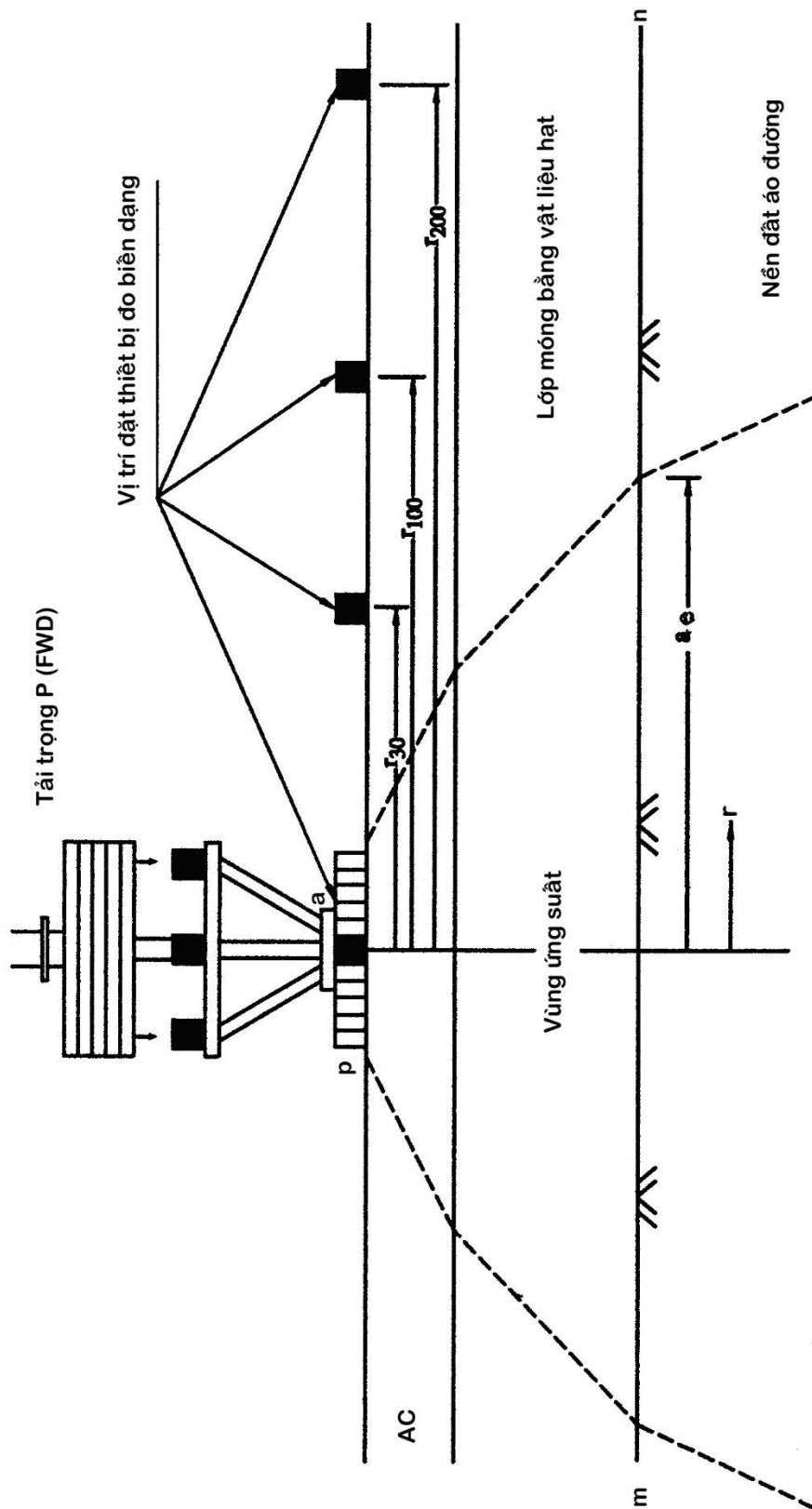
trong đó:

$a_e$  - bán kính của bầu ứng suất nằm ở mặt phân cách (m-n) giữa mặt nền đất với kết cấu áo đường (xem Hình D.1 Phụ lục D);  $a_e$  được tính theo công thức sau:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left( D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2} \quad (D.2)$$

trong đó:

- a là bán kính tấm ép của thiết bị FWD, cm;
- D là tổng chiều dày các lớp của kết cấu áo đường phía trên nền đất, cm;
- $E_p$  là mô đun đàn hồi hữu hiệu của kết cấu áo đường phía trên nền đất, MPa;
- $M_r$  là mô đun đàn hồi của lớp đất nền được tính ngược từ các số liệu đo bằng thiết bị FWD, MPa.



Hình D.1 - Sơ đồ vùng ứng suất trong kết cấu áo đường dưới tải trọng FWD

Như vậy để bố trí các cảm biến phải chọn  $r$  theo kinh nghiệm (vì chưa có  $M_r$  và  $E_p$  để xác định  $a_e$ ). Sau khi đã tính ra  $M_r$  và  $E_p$  bằng thiết bị FWD phải kiểm tra lại  $r$  đã chọn có thoả mãn điều kiện (D.1) nói trên chưa. Nếu chưa thì có thể lấy số đo ở cái cảm biến cuối cùng xa nhất mà tính toán. Khoảng cách  $r$  này, theo kinh nghiệm, nên lấy từ 0,9 m đến 1,2 m. Không nên lấy quá lớn vì độ chính xác đo võng sẽ giảm

(trị số độ võng quá bé, có khi nhỏ hơn độ chính xác của thiết bị đo). Nên chọn r sao cho tỉ số  $r/a_e$  lớn hơn 0,7 và gần với 0,7 nhất.

– Trị số mô đun đàn hồi  $M_r$  của đất nền tính ngược từ các số liệu đo bằng thiết bị FWD được xác định theo công thức sau:

$$M_r = \frac{0.24P}{d_r.r} \quad (D.3a)$$

Hoặc

$$M_r = \frac{2,4P}{d_r.r} \quad (D.3b)$$

trong đó :

$M_r$  là Mô đun đàn hồi của lớp đất nền đường, tính bằng psi trong công thức (D.3a), và bằng MPa trong công thức (D.3b).

P là Tải trọng xung của thiết bị FWD tính bằng Pound trong công thức (D.3a), và bằng kN trong công thức (D.3b);

r là Khoảng cách từ điểm đo độ võng (thỏa mãn điều kiện (D.1)) đến tâm tấm ép;

$d_r$  là Độ võng phục hồi của mặt đường tại điểm cách tâm tấm ép là r (lấy nguyên trị số đo, không cần điều chỉnh về nhiệt độ tính toán của mặt đường);

$d_r$  và r tính bằng in. trong công thức (D.3a) và bằng cm trong công thức (D. 3b).

– Trị số  $M_r$  tính ngược từ các số liệu đo bằng thiết bị FWD bao giờ cũng lớn hơn so với trị số mô đun đàn hồi hữu hiệu thu được trong phòng thí nghiệm (theo AASHTO T292) dùng để thiết kế áo đường mềm theo phương trình cơ bản (8) hoặc (9) hoặc bằng toán đồ Hình 4. Vì thế phải đưa vào một hệ số điều chỉnh theo thực nghiệm là 0,33. Vậy mô đun đàn hồi hữu hiệu của lớp đất nền đường dùng để thiết kế  $M_{r \text{ thiết kế}}$  tính theo công thức sau:

$$M_{r \text{ thiết kế}} = 0,33 M_r = 0,33 \frac{0.24P}{d_r.r} \quad (D.4a)$$

hoặc

$$M_{r \text{ thiết kế}} = 0,33 M_r = 0,33 \frac{2,4P}{d_r.r} \quad (D.4b)$$

Các ký hiệu và đơn vị đo dùng tương ứng như ở công thức D.3a và D.3b.

**D.6** Xác định mô đun đàn hồi hữu hiệu  $E_p$  của kết cấu áo đường nằm phía trên lớp đất nền đường bằng thiết bị FWD

Trị số  $M_r$  được tính theo công thức D.3a hoặc D.3b và từ các số liệu đo vồng bằng FWD. Tổng chiều dày  $D$  của kết cấu áo đường được xác định thông qua đào hố hoặc bằng phương pháp không phá hoại kết cấu. Sử dụng trị số độ vồng  $d_0$  của mặt đường, đo bằng cái cảm biến ở tâm tấm ép của thiết bị đo vồng FWD để tính ra  $E_p$  theo công thức (D.5) sau đây. Chú ý là trước đó phải hiệu chỉnh trị số  $d_0$  đo được về nhiệt độ tính toán của mặt đường bê tông nhựa (ở Việt Nam hiện nay đang lấy là 30 °C) theo toán đồ Hình D.3 và Hình D.4 của Phụ lục D, tùy theo vật liệu của lớp móng trên.

$$d_0 = 1.5 \times p \times a \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right\} \quad (D.5)^*)$$

trong đó:

$d_0$  là độ vồng đo được ở tâm của tấm ép truyền tải trọng, đã được điều chỉnh về nhiệt độ chuẩn tính toán của mặt đường bê tông nhựa, cm;

$p$  là áp suất truyền qua tấm ép, MPa;

$a$  là bán kính tấm ép của thiết bị FWD, cm;

$D$  là tổng chiều dày toàn bộ kết cấu áo đường nằm phía trên nền đường, cm;

$E_p$  là mô đun đàn hồi hữu hiệu của kết cấu áo đường nằm phía trên nền đường, Mpa;

$M_r$  là mô đun đàn hồi lớp đất trên cùng của nền đường, MPa, tính theo công thức (D.3b).

**D.7** Khi dùng tấm ép truyền tải trọng ở thiết bị FWD có đường kính là 30 cm ( $a = 15$  cm) có thể dùng toán đồ (Hình D.2) để xác định tỉ số  $E_p / M_r$  và từ đó tính ra  $E_p$  dễ dàng.

Trường hợp tổng quát có thể dùng Goal Seek trong Excel để xác định  $E_p$  từ (D.5).

Có  $E_p$ ,  $D$ , xác định trị số  $S_{Neff}$  theo toán đồ Hình 14 hoặc công thức (20) hoặc (21) của tiêu chuẩn này.

---

<sup>\*)</sup> Công thức (D.5) vẫn giữ nguyên khi các đơn vị đo bằng cm và MPa được thay tương ứng bằng in. và psi cho tất cả các ký hiệu trong công thức.

Phương trình (D.5) là kết quả tính toán dựa trên phương trình cơ bản của Boussinesq về biến dạng của một bán không gian đàn hồi với hệ số Poisson  $\mu = 0,5$ , dựa trên phương pháp gần đúng của Odemark để xác định biến dạng trong một hệ 2 lớp, và dựa trên khái niệm về "lớp tương đương" của Barber.

**D.8** Cách sử dụng toán đồ Hình D.3 và Hình D.4 để hiệu chỉnh trị số độ võng  $d_o(t)$  của mặt đường nhựa đo ở nhiệt độ  $t$  °C về nhiệt độ tính toán:

– Từ toán đồ Hình D.3 và D.4 tìm hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ  $K(t)$  của độ võng  $d_o(t)$  của mặt đường bê tông nhựa đo bằng thiết bị FWD khi nhiệt độ mặt đường nhựa có nhiệt độ bất kỳ là  $t$  °C về độ võng  $d_o(20)$  ở nhiệt độ chuẩn 20 °C trên cơ sở công thức :

$$K(t) = \frac{d_o(20)}{d_o(t)} \quad (D.6)$$

trong đó :

$K(t)$  là hệ số hiệu chỉnh theo nhiệt độ;

$d_o(t)$  là độ võng tại tâm tấm ép đo được trên mặt đường bê tông nhựa, khi nhiệt độ của mặt đường nhựa là  $t$  °C mm;

$d_o(20)$  là độ võng đã được hiệu chỉnh về nhiệt độ chuẩn của mặt đường bê tông nhựa ở 20 °C, mm.

– Có thể dùng đồ thị Hình D.3 và D.4 nói trên để chuyển đổi độ võng  $d_o(t)$  đo được trên mặt đường bê tông nhựa ở nhiệt độ  $t$  °C về độ võng ở nhiệt độ tính toán, ví dụ trường hợp hiện nay ở Việt Nam là 30 °C ,  $d_o(30)$ , bằng cách chuyển đổi hai lần như sau:

$$K(t_1) = \frac{d_o(20)}{d_o(t)} \quad (\text{suy từ công thức D.6})$$

$$K(t_2) = \frac{d_o(20)}{d_o(30)} \quad (\text{suy từ công thức D.6})$$

Vậy: 
$$d_o(30) = \frac{d_o(20)}{K(t_2)} = \frac{K(t_1)}{K(t_2)} \times d_o(t) \quad (D.7)$$

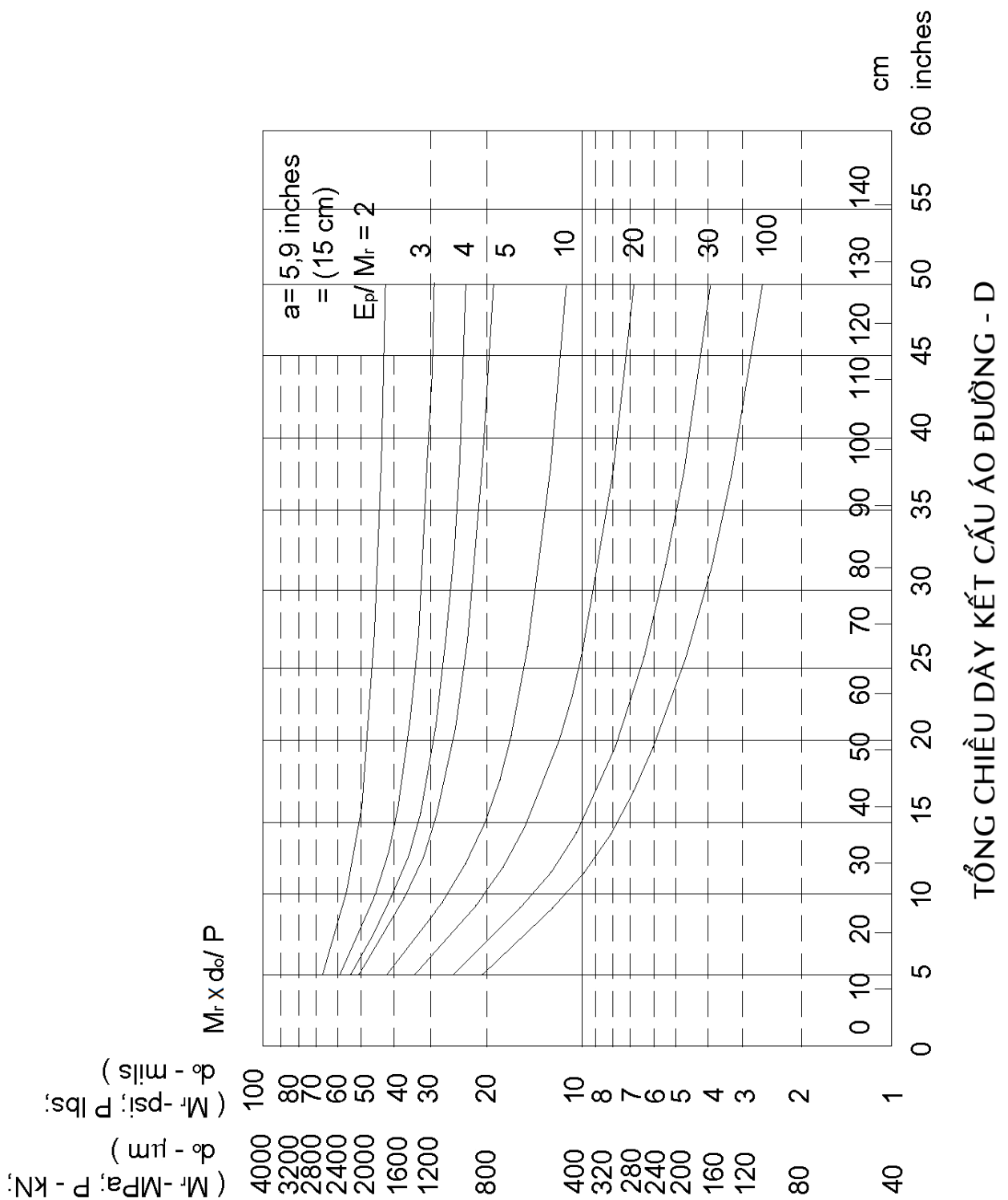
**Ví dụ:**

Dùng thiết bị FWD đo võng ở mặt đường bê tông nhựa có lớp mặt bê tông nhựa dày 10 cm, móng trên bằng cấp phối đá dăm; nhiệt độ mặt đường nhựa lúc đo võng là  $t = 40$  °C; trị số độ võng tại tâm tấm ép đo được là  $d_o(t) = d_o(40) = 1,1$  mm.

– Dùng toán đồ Hình D.3, ứng với 40 °C ở trục hoành và đường nghiêng ứng với chiều dày lớp bê tông nhựa 10 cm, xác định được  $K(t_1) = 0,77$  ở trục tung.

– Cũng dùng toán đồ trên Hình D.3, ứng với 30 °C ở trục hoành và đường nghiêng ứng với chiều dày lớp bê tông nhựa 10 cm, xác định  $K(t_2) = 0,887$  ở trục tung.

Tính ra:  $d_o(30) = 0,77 \times 1,1 / 0,887 = 0,995$  mm.



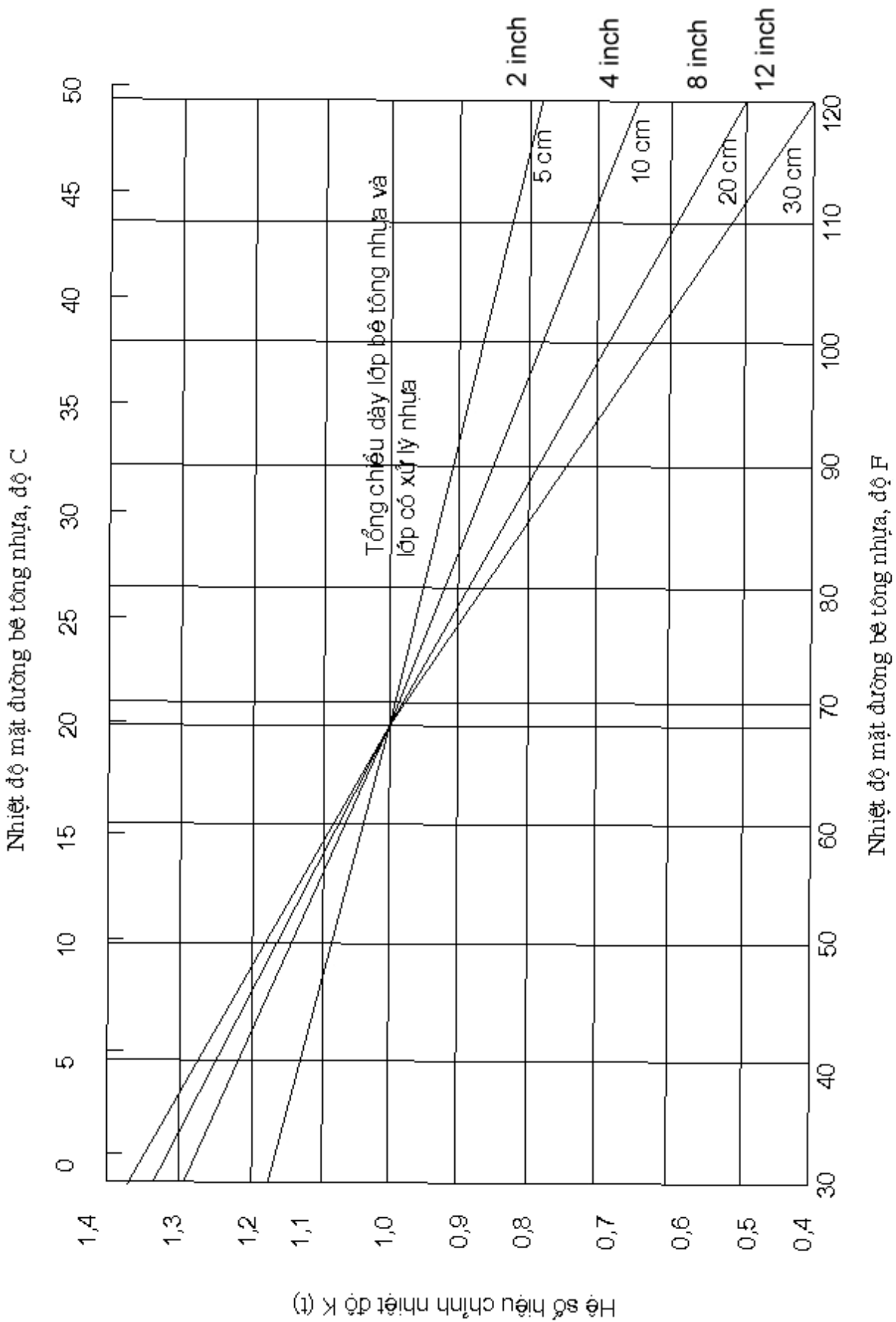
TỔNG CHIỀU DÀY KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG - D

CHÚ DẪN:

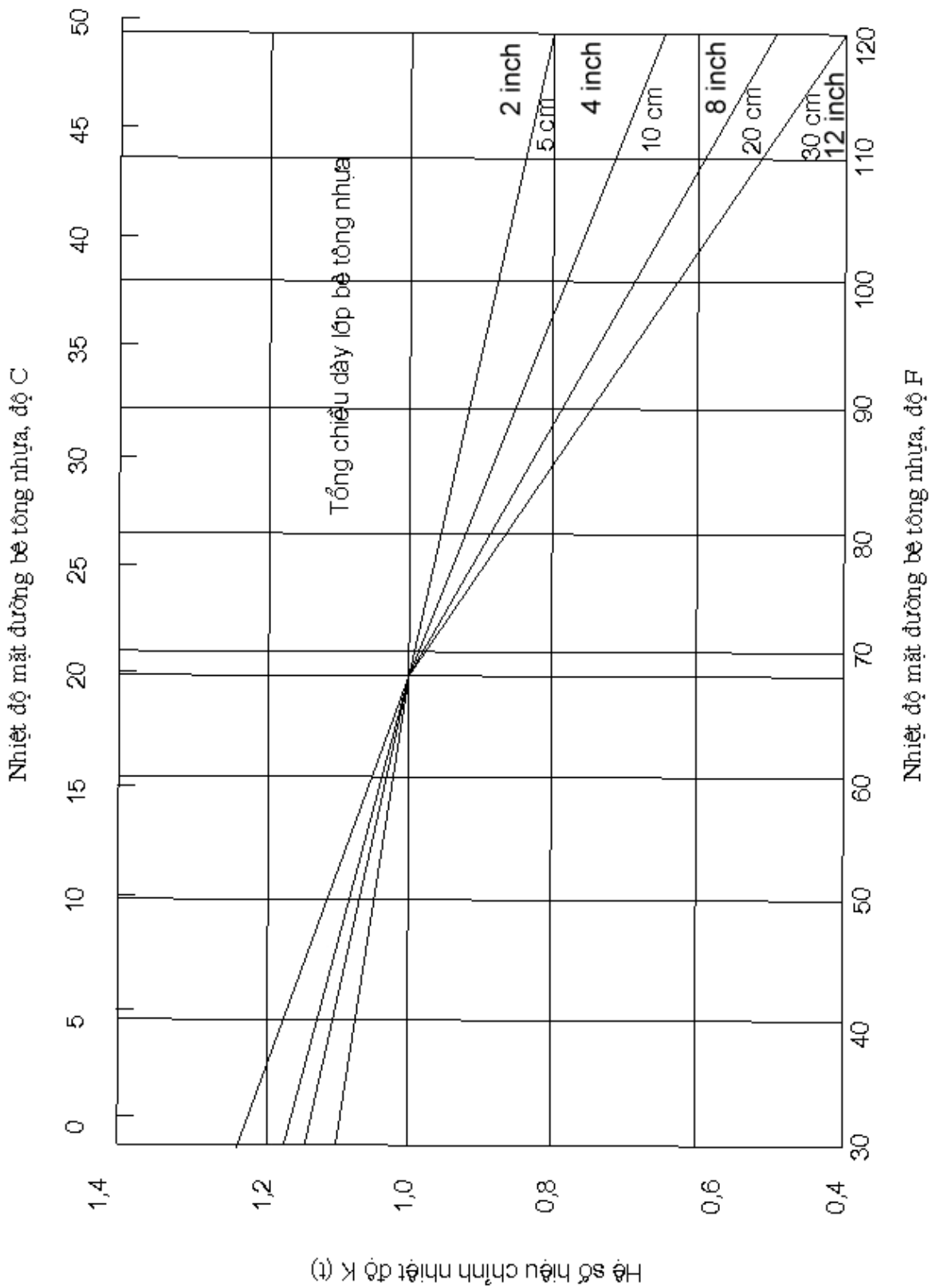
A = 15 cm là bán kính của tấm ép; Các trị số ghi ở cuối các đường cong (2;3;4;...100) là giá trị của  $E_p / M_r$ ; Các trị số ghi ở trục nằm ngang là tổng chiều dày D của kết cấu áo đường; Các trị số ghi ở trục đứng là tích của  $M_r \times d_o / P$  theo đơn vị đo SI và theo đơn vị đo của US.

Hình D.2 – Xác định tỷ số  $E_p / M_r$  khi biết  $M_r$ ,  $d_o$ , P và a





Hình D.3 – Hiệu chỉnh  $d_0$  của mặt đường bê tông nhựa về nhiệt độ tính toán khi lớp móng trên là vật liệu hạt hoặc vật liệu có xử lý nhựa



Hình D.4 – Hiệu chỉnh  $d_0$  của mặt đường bê tông nhựa về nhiệt độ tính toán khi lớp móng trên làm bằng vật liệu có gia cố xi măng hoặc Puzolan

## Phụ lục E

(Quy định)

### Các thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý chính của vật liệu các lớp áo đường bằng bê tông nhựa và các lớp móng bằng cấp phối vật liệu hạt có gia cố với xi măng

Trong Phụ lục này sẽ đưa ra danh mục các thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý chính của vật liệu các lớp áo đường bằng bê tông nhựa và các lớp móng bằng cấp phối vật liệu hạt không có và có gia cố với xi măng, được sử dụng trong tiêu chuẩn thiết kế này.

Ngoài ra sẽ giới thiệu tỉ mỉ phương pháp xác định mô đun đàn hồi của bê tông nhựa, trên thiết bị kéo gián tiếp (ép chẽ) bằng tải trọng trùng phục.

#### E.1 Danh mục các thí nghiệm vật liệu dùng trong tiêu chuẩn này:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1. Thí nghiệm xác định chỉ số CBR   | TCVN 12792; AASHTO T193.   |
| 2. Thí nghiệm Mashall   |                            |
| xác định độ ổn định (S)   | TCVN 8860-1 : 2011         |
| và độ chảy dẻo (F) của bê tông nhựa.  |                            |
| 3. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của cấp phối đá không có gia cố với xi măng                                     | AASHTO T292; AASHTO T307   |
| 4. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của bê tông nhựa bằng phương pháp kéo gián tiếp, tải trọng tác dụng trùng phục. | ASTM.D4123                 |
| 5. Thí nghiệm xác định cường độ kháng nén nở hông tự do của mẫu cấp phối vật liệu hạt có gia cố xi măng               | TCVN 8858:2011; AASHTO T22 |
| 6. Xác định mô đun đàn hồi của mẫu cấp phối vật liệu hạt có gia cố xi măng  | TCVN 9843: 2013            |

#### E.2 Phương pháp xác định mô đun đàn hồi của bê tông nhựa bằng thiết bị kéo gián tiếp (ép chẽ), dưới tác dụng tải trọng trùng phục (Hình E.1).

**E.2.1** Phương pháp này có thể dùng để thí nghiệm các mẫu bê tông nhựa được chế bị trong phòng thí nghiệm và các mẫu khoan từ mặt đường, ở nhiệt độ 5 °C, 30 °C (hoặc 25 °C) và 40 °C, với các tần số

tác dụng tải trọng bằng 0,33, 0,5 và 1,0 Hz . Như vậy với một mẫu bê tông nhựa cần tiến hành 9 thí nghiệm (3 nhiệt độ 3 tần số ).

Như vậy ngoài việc xác định được mô đun đàn hồi của bê tông nhựa ở nhiệt độ tính toán của mặt đường(20 °C theo AASHTO 93), còn cho các số liệu để đánh giá tính chất của bê tông nhựa thay đổi theo nhiệt độ và thời gian tác dụng của lực như thế nào.

**E.2.2** Thiết bị để tiến hành thí nghiệm kéo gián tiếp gồm có các bộ phận chính sau:

- Một máy nén điện – thủy lực có bộ phận tạo các lực trùng phục dạng hình sin có tần số ít nhất là 1Hz, thời gian tác dụng của lực lên mẫu là 0,1 giây, độ lớn của lực có thể thay đổi từ 1 đến 35 N/mm dài của mẫu.
- Các đầu đo biến dạng thẳng đứng và nằm ngang có độ chính xác cao (LVDT). Hệ thống đầu đo và ghi biến dạng nằm ngang có thể đo và ghi các biến dạng từ 0,00025 mm.
- Bộ phận đo lực tác dụng trùng phục là một hộp tế bào điện tử đo lực.
- Bộ phận tạo và kiểm soát nhiệt độ có thể kiểm soát độ chính xác của nhiệt độ đến  $\pm 1,0$  °C.

Bộ phận này có một hộp có thể chứa cùng một lúc 3 mẫu bê tông nhựa trong 24 giờ ở một nhiệt độ xác định trước khi đem mẫu thí nghiệm.

Các tấm thép dạng thanh để truyền tải, có một mặt phẳng và một mặt lõm ôm sát được mẫu bê tông nhựa khi mẫu đặt nằm. Bề rộng của tấm thép này được quy định bằng 13 mm khi dùng mẫu bê tông nhựa có đường kính 102 mm, và 19 mm khi dùng mẫu có đường kính 152 mm. Các cạnh ở mặt lõm phải được gọt tròn để không cắt mẫu khi tải trọng tác dụng lên mặt tấm thép.

- Bộ khuôn đúc mẫu bê tông nhựa: có thể dùng bộ khuôn đúc mẫu trong thí nghiệm Marshall (D1559).
- Chiều cao của mẫu ít nhất là 51 mm với đường kính mẫu là 102 mm khi cỡ hạt lớn nhất của bê tông nhựa là 25 mm. Khi cỡ hạt lớn nhất là 38 mm thì chiều cao của mẫu ít nhất là 76 mm với đường kính mẫu là 152 mm.
- Các mẫu khoan từ áo đường cũng có kích thước tương ứng như đã nói trên.

Để thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của bê tông nhựa cần chuẩn bị một tổ 3 mẫu.

**E.2.3** Trình tự thí nghiệm:

1. Đặt các mẫu vào hộp tạo và kiểm tra nhiệt độ, giữ mẫu ở nhiệt độ đã xác định trong 24 giờ.
2. Lấy mẫu ra, bố trí các đầu đo biến dạng vào mẫu, đặt mẫu nằm ngang như ở Hình E.1, trên và dưới mẫu đặt hai tấm thép truyền tải song song và đối xứng, ôm sát mẫu.

Các thao tác này tính từ lúc lấy mẫu ra khỏi hộp giữ nhiệt độ cho đến khi thí nghiệm xong không được quá 4 phút, trừ trường hợp thiết bị có tủ giữ nhiệt của mẫu trong cả quá trình tác dụng của tải trọng trùng phục.

3. Cho tải trọng tác dụng trùng phục một số lần cho đến khi thấy biểu đồ các biến dạng của các lần tải trọng tác dụng trùng phục đều như nhau. Đây là giai đoạn sơ bộ để làm mẫu tiếp xúc tốt với tấm truyền tải trọng, có các biến dạng ổn định.

4. Cho tải trọng tác dụng trùng phục tiếp tục, khoảng từ 50 lần đến 200 lần, cho đến khi các biến dạng đàn hồi của những lần tác dụng kề nhau đều ổn định và suýt soát bằng nhau. Số lần tác dụng tải trọng này là tùy thuộc nhiệt độ thí nghiệm của mẫu và tần số tác dụng tải trọng.

Độ lớn của tải trọng trùng phục chọn lựa thế nào để đạt vào khoảng từ 10% đến nhiều nhất là 50% của cường độ kháng kéo của mẫu ở nhiệt độ tương ứng; thường dùng độ lớn tải trọng sao cho có thể tạo được từ 1 đến 35 N/mm dài của mẫu.

Các mẫu được thí nghiệm ở 3 nhiệt độ 5 °C, 30 °C (hoặc 25 °C) và 40 °C ± 1 °C với một tần số tác dụng tải trọng, hoặc với nhiều tần số khác nhau (0,33; 0,5 và 1,0 Hz).

5. Sau khi các biến dạng đàn hồi đã ổn định dưới các lần tác dụng tải trọng trùng phục kề nhau, thì đo và ghi lại các biến dạng đàn hồi ngang và đứng tương ứng với ít nhất 3 chu kỳ tác dụng tải trọng trùng phục kề nhau, và lấy trị số trung bình.

Nếu không cần xác định trị số của hệ số poisson  $\mu$  của mẫu bê tông nhựa thì không cần đo biến dạng đứng (thường lấy  $\mu = 0,35$ ).

6. Mỗi mẫu khi được thí nghiệm lần thứ nhất xong thì trước khi thí nghiệm lần thứ 2, phải được đặt lại trong hộp tạo và giữ nhiệt trong 10 phút; nên xoay mẫu khoảng 90° so với vị trí cũ khi đặt các tấm thép truyền tải lên.

Để một mẫu có thể được dùng nhiều lần mà không bị hỏng, việc thí nghiệm nên bắt đầu ở nhiệt độ thấp với tải trọng bé và thời gian tác dụng tải trọng ngắn trước.

7. Tính toán mô đun đàn hồi E và hệ số poisson  $\mu$  của mẫu bê tông nhựa tương ứng với nhiệt độ, thời gian tác dụng lực, tần số tác dụng lực, theo các công thức sau:

$$E_{RI} = P(\mu_{RI} + 0.27)/t.\Delta H_I \quad (E.1)$$

$$E_{RT} = P(\mu_{RT} + 0.27)/t.\Delta H_T \quad (E.2)$$

$$\mu_{RI} = 3.59 .\Delta H_I/\Delta V_I - 0.27 \quad (E.3)$$

$$\mu_{RT} = 3.59 .\Delta H_T/\Delta V_T - 0.27 \quad (E.4)$$

trong đó:

$E_{RI}$  là mô đun đàn hồi tức thời, MPa;

$E_{RT}$  là mô đun đàn hồi toàn bộ, MPa là mô đun đàn hồi để xác định hệ số lớp  $a_i$  của BTN.

$\mu_{RI}$  là hệ số poisson tức thời;

$\mu_{RT}$  là hệ số poisson toàn bộ;

- P là tải trọng tác dụng trùng phục, N;  
 t là chiều cao của mẫu (đo theo đường sinh), mm;  
 $\Delta H_I$  là biến dạng ngang đàn hồi tức thời của mẫu, mm;  
 $\Delta H_T$  là biến dạng ngang đàn hồi toàn bộ của mẫu, mm;  
 $\Delta V_I$  là biến dạng đứng đàn hồi tức thời của mẫu, mm;  
 $\Delta V_T$  là biến dạng đứng đàn hồi toàn bộ của mẫu, mm;

8. Tính toán xác định cường độ kháng kéo  $S_T$  của mẫu bê tông nhựa ở nhiệt độ tương ứng theo công thức gần đúng sau:

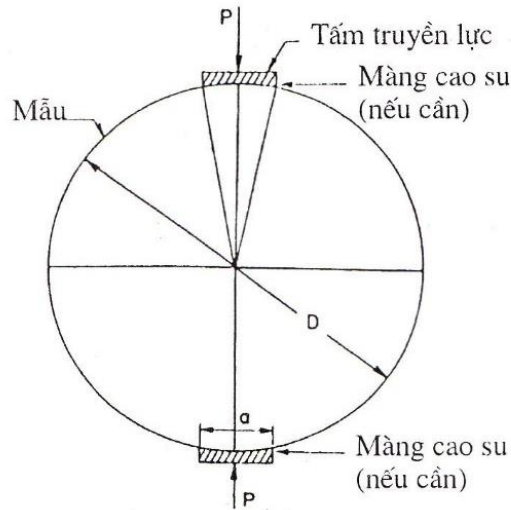
$$S_T = 2P_{p,h} / \pi.t.D \quad (E.5)$$

trong đó:

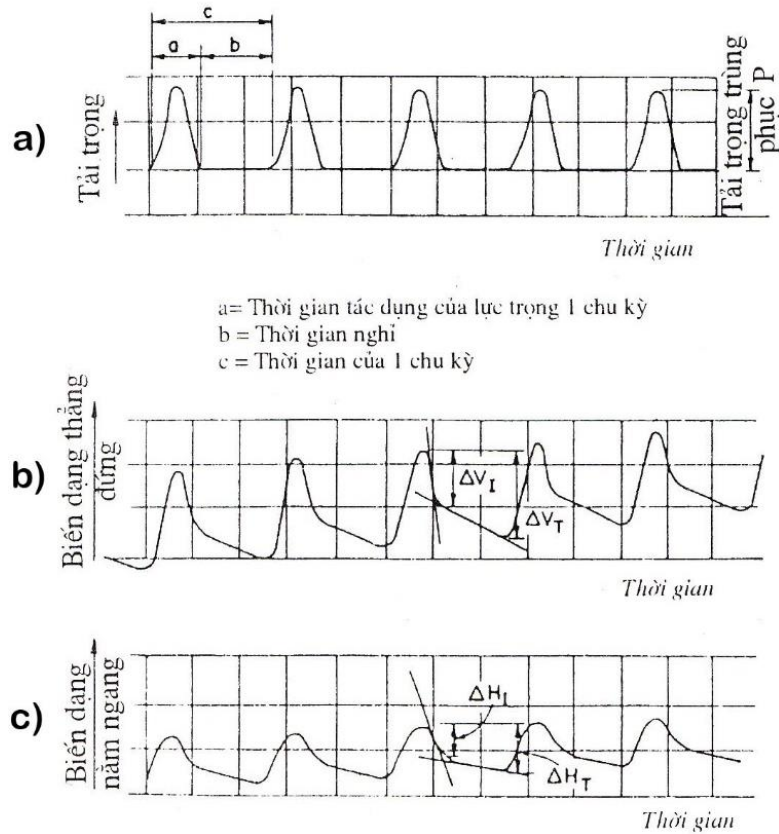
- $P_{p,h}$  là tải trọng tác dụng làm phá hỏng mẫu, N;  
 t là chiều cao của mẫu (đo theo đường sinh), mm;  
 D là đường kính của mẫu, mm.

9. Lập báo cáo thí nghiệm:

- Mô đun đàn hồi trung bình của mẫu bê tông nhựa ở nhiệt độ thí nghiệm tương ứng (5 °C, 30 °C (hoặc 25 °C) và 40 °C). Để xác định hệ số lớp  $a_1$  của bê tông nhựa ở biểu đồ (H.7) cần lấy trị số của  $E_{RT}$
- Thời gian tác dụng của tải trọng của mỗi cấp lực.
- Tần số tác dụng tải trọng trùng phục đã dùng.



(1) Sơ đồ bố trí mẫu



Hình E.1 – Thí nghiệm kéo gián tiếp (trùng phức tải trọng)

GHI CHÚ:

- (1) Sơ đồ bố trí mẫu bê tông nhựa ở thí nghiệm kéo gián tiếp
- a) Dạng hình sin của tải trọng trùng phức – Biến đổi theo thời gian của tải trọng tác dụng
- b) Biến dạng đứng của mẫu theo thời gian tác dụng của tải trọng trùng phức
- c) Biến dạng ngang của mẫu theo thời gian tác dụng của tải trọng trùng phức

**Phụ lục F**

(Tham khảo)

**Các ví dụ thiết kế áo đường mềm**

**Ví dụ 1.** Xác định mô đun đàn hồi hữu hiệu ( $M_R$ ) của đất nền đường. Số liệu khảo sát về đất nền đường: xem Bảng F.1

Với đoạn 1 (tỉnh NB)

**Bảng F.1 – Số liệu khảo sát về đất nền đường**

Mùa	Tháng	Mô đun đàn hồi nền đất $M_R$ MPa (psi)	Mức độ hư hỏng tương đối $u_f$
(1)	(2)	(3)	(4)
Mùa ẩm ướt	6, 7, 8, 9	38 (5.500)	0.25
Thời hạn chuyển mùa	10, 11	59 (8.500)	0.09
Mùa khô	12, 1, 2, 3	83 (12.000)	0.04
Thời hạn chuyển mùa	4, 5	66 (9.500)	0.07
Giá trị trung bình $\bar{u}_f = \frac{0,25 \times 4 + 0,09 \times 2 + 0,04 \times 4 + 0,07 \times 2}{12} = 0,123$ Mô đun đàn hồi hữu hiệu đất nền đường $M_R = 50$ Mpa (7300 psi) (tương ứng với $\bar{u}_f = 0,123$ )			
<b>CHÚ THÍCH:</b> Cột (1), (2), (3) ghi các số liệu khảo sát đất nền đường. Cột (4) Giá trị của $u_f$ được xác định bằng cách sử dụng biểu đồ (Hình 5, Điều 6). $M_R = 50$ MPa (7300 psi) xác định bằng cách sử dụng biểu đồ Hình 5, nó tương ứng với trị số trung bình $\bar{u}_f = 0,123$ .			



**Ví dụ 2.** Xác định hệ số ESAL thiết kế, sử dụng số liệu cân xe chạy trên đường WIM đã được khảo sát trên đường cũ

Số liệu khảo sát chi tiết cân xe đang chạy được dùng để tính ra ESAL's cho ví dụ này. Số liệu này có được ở hai địa phương phía Bắc Việt Nam (tổng số 3 + 4 ngày đếm và cân xe) xem Bảng F.2.

**Bảng F.2 – Số liệu khảo sát chi tiết cân xe**

Loại xe	Số lượng xe	Hệ số ESAL	Tổng số ESAL	Hệ số ESAL để thiết kế
1	2	3	4	5
Xe khách nhỏ Xe tải nhỏ	262	0,029	7,572	0,012
	386	0,028	10,962	
	412	0,022	8,899	
	360	0,014	4,860	
	434	0,012	5,382	
	280	0,011	3,052	
	189	0,008	1,493	
	215	0,007	1,570	
	477	0,007	3,101	
	244	0,006	1,464	
	186	0,006	1,079	
	250	0,004	1,025	
	447	0,003	1,270	
304	0,002	0,517		
Xe khách	51	0,973	49,681	0,871
	86	0,877	75,413	

Bảng F.2 – Số liệu khảo sát chi tiết cân xe

Loại xe	Số lượng xe	Hệ số ESAL	Tổng số ESAL	Hệ số ESAL để thiết kế
1	2	3	4	5
	63	0,833	52,492	
	47	0,801	37,652	
Xe 2 trục	657	1,701	1117,294	0,981
	675	1,636	1104,233	
	762	1,415	1078,382	
	438	1,156	506,416	
	393	0,991	389,463	
	314	0,988	310,201	
	397	0,926	367,781	
	368	0,871	320,602	
	370	0,843	312,021	
	386	0,815	314,436	
	569	0,558	317,445	
	781	0,543	423,849	
	733	0,499	366,060	
	434	0,480	208,277	
Xe 3 trục và hơn 3 trục	103	3,107	320,010	1,586
	98	2,541	249,030	
	97	2,295	222,580	

Bảng F.2 – Số liệu khảo sát chi tiết cân xe

Loại xe	Số lượng xe	Hệ số ESAL	Tổng số ESAL	Hệ số ESAL để thiết kế
1	2	3	4	5
	45	1,832	82,440	
	65	1,649	107,200	
	66	1,584	104,530	
	74	1,539	113,850	
	50	1,481	74,050	
	53	1,409	74,680	
	53	1,408	74,620	
	103	0,813	83,770	
	82	0,811	66,540	
	40	0,635	25,390	
	127	0,596	75,630	
Tất cả các xe sơ- mi moóc và xe moóc	35	4,484	156,940	
	50	3,054	152,680	
	29	2,485	71,290	
	67	2,353	157,680	
	128	2,000	256,020	
	26	1,994	51,770	
	34	1,980	67,310	
	78	1,965	153,270	

Bảng F.2 – Số liệu khảo sát chi tiết cân xe

Loại xe	Số lượng xe	Hệ số ESAL	Tổng số ESAL	Hệ số ESAL để thiết kế
1	2	3	4	5
	23	1,637	37,640	
	43	1,569	67,470	
	52	1,333	69,310	
	95	0,495	47,010	
	90	0,483	43,430	
	155	0,075	11,700	

## CHÚ THÍCH:

Số liệu ở cột (2) là số liệu khảo sát ở hai vị trí ( tổng số 3+4 ngày)

Số liệu ở cột (3) là trị số tra ở các Bảng B.1 đến B.6 ở Phụ lục B, tương ứng với tải trọng trục xe đơn, trục đôi, trục ba thực tế đã cân được bằng WIN

Số liệu ở cột (4) là tích số của cột (2) và (3)

Số liệu ở cột (5) là thương số của  $\frac{\sum(4)}{\sum(2)}$

**Ví dụ 3.** Xác định tổng số ESAL's cho thời hạn phục vụ

Số liệu khảo sát xe được trình bày ở Bảng F.3

Thời gian khảo sát xe ở năm 2019

Thời gian bắt đầu khai thác QLx năm 2022

**Bảng F.3 – Số liệu khảo sát xe**

<b>Vị trí : Bắc tỉnh NB</b>						
<b>Thời gian đếm xe: 2019</b>						
<b>Tỷ lệ tăng trưởng xe <math>i=10\%</math></b>						
<b>Loại xe</b>	<b>Xe con</b>	<b>Xe khách nhỏ</b>	<b>Xe khách</b>	<b>Xe 2 trục</b>	<b>Xe <math>\geq 3</math> trục</b>	<b>Xe sơ-mi móc</b>
Xe/ ngđ 2019	401	118	196	687	37	21
2022	533	157	261	914	50	27
2023	586	173	287	1005	54	30
2024	645	190	315	1106	60	33
2025	710	209	347	1216	66	37
2026	780	230	381	1336	73	40
2027	859	253	420	1472	80	44
2028	944	278	462	1619	88	49
2029	1039	306	508	1781	97	54
2030	1143	337	558	1959	106	59
2031	1257	370	614	2155	117	65
2032	1383	407	676	2370	128	71
2033	1521	448	743	2670	141	78
2034	1673	493	818	2868	155	86

Bảng F.3 – Số liệu khảo sát xe

Vị trí : Bắc tỉnh NB						
Thời gian đếm xe: 2019						
Tỷ lệ tăng trưởng xe i=10%						
Loại xe	Xe con	Xe khách nhỏ	Xe khách	Xe 2 trục	Xe ≥ 3 trục	Xe sơ-mi moóc
2035	1840	542	899	3155	171	95
2036	2024	596	989	3470	188	104
Số lượng xe của 15 năm *)	6.181.177	1.820.722	3.026.805	10.599.618	579.848	313.118
ESAL(từ cột 5 ví dụ 2)	0,001	0,012	0,871	0,981	1,586	1,485
ESAL	6.181	21.849	2.636.348	10.398.225	919.639	464.980
$D_D=0,5; D_L=1,0$						
Tổng số ESAL's thiết kế (cho một làn xe) trong 15 năm: 7.223.610						
Tổng số ESAL's tính toán lựa chọn mác/cấp nhựa (cho một làn xe) trong 20 năm: 13.021.718						
CHÚ THÍCH:						
*) Tổng số lượng của mỗi loại xe trong 15 năm ( $\hat{W}_{80}$ ) có thể tính theo công thức sau :						
$\hat{W}_{80} = \frac{N_1 \times 365 \left[ (1+i)^n - 1 \right]}{i}$						
Trong đó:						
$N_1$ là xe/ ngày ở năm đưa đường vào khai thác (ở đây là năm 2022);						
$n$ là thời hạn phục vụ của đường $n = 15$ năm;						
$i$ là tỷ lệ tăng trưởng ( trong trường hợp này $i=0,10$ ).						

**Ví dụ 4.** Ví dụ thiết kế áo đường mềm đường quốc lộ

## 1. Các số liệu đầu vào:

– Đường quốc lộ QLx (đoạn thuộc tỉnh NB), ngoài đô thị, vận tốc thiết kế  $V = 80$  km/h

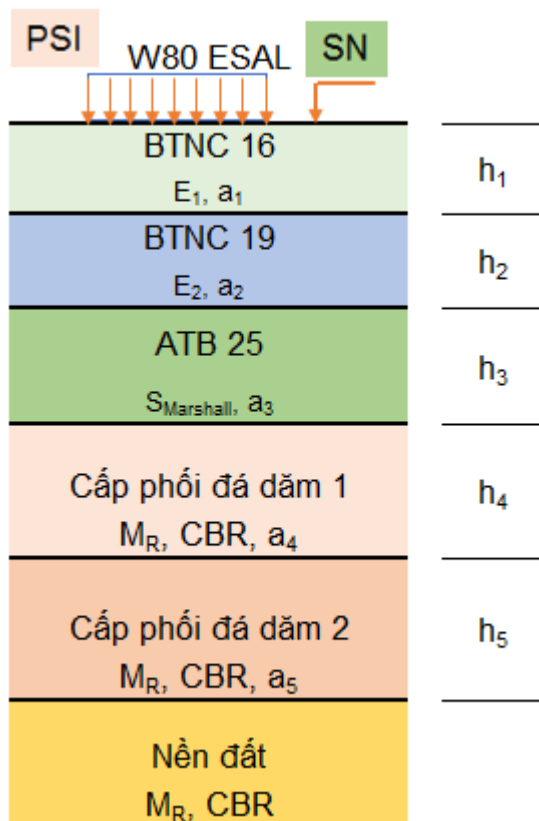
- Thời hạn phục vụ và thời hạn phân tích của áo đường như nhau (15 năm)
- Lượng xe thiết kế cho 1 làn xe  $W_{80} = 7.223.610$  (EASL's) (từ ví dụ 2 và 3)
- Độ tin cậy toàn bộ yêu cầu  $R = 85\% \Rightarrow Z_R = -1,037$ .
- Độ lệch tiêu chuẩn toàn bộ  $S_o = 0,45$ .
- Khả năng phục vụ cuối thời hạn phục vụ  $p_t = 2,2$ .

Thông thường khả năng phục vụ ban đầu  $p_o$  của áo đường mềm ở Việt Nam là 4,2. Vậy độ tổn thất khả năng phục vụ thiết kế toàn bộ cho ví dụ này là :

$$\Delta PSI = p_o - p_t = 4,2 - 2,2 = 2,0.$$

## 2. Thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường:

- Mô đun đàn hồi hữu hiệu đất nền  $M_R = 50$  MPa (7300 psi) (từ Ví dụ 1)
- Tác động của môi trường: Dự kiến trước một hệ thống thoát nước tốt và dùng đất đạt tiêu chuẩn để đắp nền. Đảm bảo thoát nước tốt trong khu vực tác dụng của nền đường.
- Lựa chọn lớp mặt đường: ESAL thiết kế lớn hơn 7 triệu nên theo Bảng 5 lớp mặt đường bê tông nhựa và lớp móng trên bằng vật liệu đá gia cố nhựa thiết kế theo phương pháp Marshall.



- + Lớp mặt trên BTNC 16 TCVN 8819 dày 5 cm
- + Lớp mặt dưới BTNC 19 TCVN 8819 dày 6 cm
- + Lớp móng đá gia cố nhựa ATB25 theo TCCS 26:2019 dày 7 cm

– Xác định mức nhựa theo điều kiện nhiệt độ và tải trọng:

+ Theo điều kiện nhiệt độ không khí: nhiệt độ mặt đường cao nhất khu vực dự án 63 °C

+ Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo đặc tính dòng xe: ESAL 20 năm bằng 13.021.718, tốc độ khai thác lớn hơn 70 km/h nên không phải cộng nhiệt độ do tải trọng

+ Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo chiều sâu lớp vật liệu sử dụng nhựa đường: Không cần điều chỉnh.

Như vậy nhựa đường phải chịu được nhiệt độ mặt đường cao nhất là 63 °C.

- Vật liệu các lớp móng dưới: theo điều kiện vật liệu địa phương
- + Cấp phối loại 1 (CBR ≥ 100 %) dày 17 cm cho lớp thứ 1.
- + Cấp phối loại 2 (CBR ≥ 30 %) cho lớp thứ 2.

3. Xác định hệ số lớp vật liệu:

- Lớp BTNC 16 thí nghiệm ở 20 °C có E=4770 MPa nên hệ số lớp lấy tối đa 0,44
- Lớp BTNC 19 thí nghiệm ở 20 °C có E=5040 MPa nên hệ số lớp lấy tối đa 0,44
- Lớp ATB25 có độ ổn định Marshall S=8 kN nên hệ số lớp tra được 0,3
- Lớp cấp phối đá dăm loại 1 có CBR > 100 % nên hệ số lớp tra được 0,14
- Lớp cấp phối đá dăm loại 2 có CBR > 30 % nên hệ số lớp tra được 0,11

4. Xác định chỉ số kết cấu yêu cầu SN của mặt đường mềm :

Dùng toán đồ cho mặt đường mềm (Hình 4 trong Điều 6) hoặc dùng Goal Seek trong Excel xác định được SN = 4,41

5. Xác định các chiều dày của các lớp theo công thức sau:

$$2,54SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 + a_4D_4 + a_5D_5$$

$$2,54 \times 4,41 = 0,44 D_1 + 0,44 D_2 + 0,3 D_3 + 0,14 D_4 + 0,11 D_5$$

$D_i$  là chiều dày tính bằng cm.

Chiều dày của lớp mặt bê tông nhựa đã chọn  $D_1 = 5$  cm,  $D_2 = 6$  cm

Chiều dày lớp móng ATB đã chọn  $D_3 = 7$  cm

Chiều dày lớp móng cấp phối đá dăm loại 1 sơ bộ chọn 17 cm, như vậy chiều dày lớp móng dưới cấp phối đá dăm 2 sẽ là :

$$D_5 = \frac{2,54 \times 4,41 - [0,44 \times 5 + 0,44 \times 6 + 0,3 \times 7 + 0,14 \times 17]}{0,11} \approx 18 \text{ cm}$$

Tổng chiều dày kết cấu:  $5 + 6 + 7 + 17 + 18 = 53$  cm.

6. Nếu thay lớp móng cấp phối đá dăm loại 1 bằng lớp cấp phối đá dăm gia cố xi măng có  $R_{7\text{nén}} = 4,8$  MPa,  $a_4 = 0,20$ , chiều dày 15 cm thì giảm chiều dày lớp BTNC16 còn 4cm và tính được chiều dày lớp cấp phối đá dăm loại 2 bằng 16 cm.

CHÚ THÍCH:

1. Phương trình chỉ số kết cấu SN nói ở trên không phải chỉ có một nghiệm duy nhất mà có nhiều tổ hợp các chiều dày của lớp thỏa mãn lời giải. Khi lựa chọn trị số thích hợp của các chiều dày các lớp cần xem xét về giá thành, các điều kiện hạn chế trong thi công và duy tu sửa chữa, cố gắng loại trừ khả năng đưa ra một thiết kế không hợp lý.



2. Nếu vật liệu lớp móng trên có mô đun đàn hồi mà tỷ lệ của nó đối với mô đun đàn hồi của lớp mặt nhỏ hơn 1/10 thì trình tự tính toán như trên không dùng được (Xem Ví dụ 6).

#### **Ví dụ 5.** Ví dụ thiết kế áo đường mềm đường cao tốc

1. Các số liệu đầu vào:

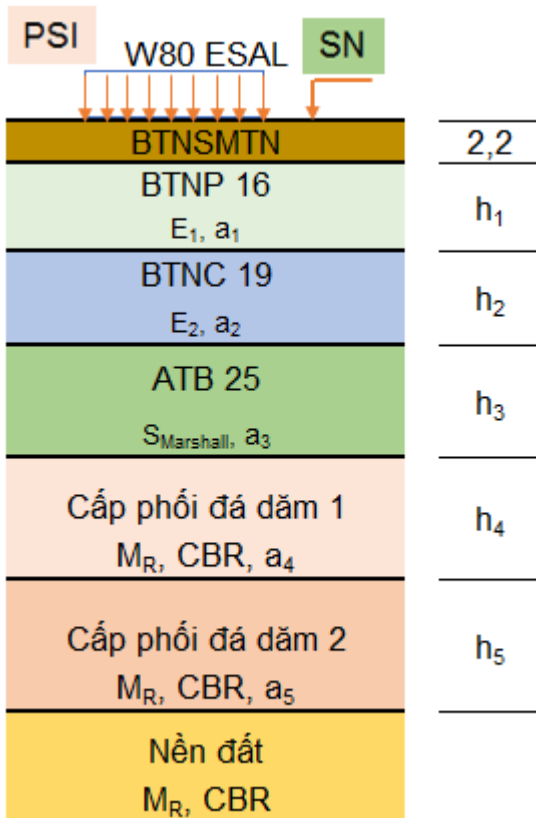
- Đường cao tốc CTx (đoạn thuộc tỉnh TG), ngoài đô thị, vận tốc thiết kế  $V=100$  km/h
- Thời hạn phục vụ và thời hạn phân tích của áo đường như nhau (15 năm)
- Lượng xe thiết kế cho 1 làn xe  $W_{80} = 28,31$  triệu (EASL's)
- Độ tin cậy toàn bộ yêu cầu  $R=95\% \Rightarrow Z_R = -1,645$ .
- Độ lệch tiêu chuẩn toàn bộ  $S_o = 0,45$ .
- Khả năng phục vụ cuối thời hạn phục vụ  $p_t = 2,5$ .

Thông thường khả năng phục vụ ban đầu  $p_o$  của áo đường mềm ở Việt Nam là 4,2. Vậy độ tổn thất khả năng phục vụ thiết kế toàn bộ cho ví dụ này là :

$$\Delta PSI = p_o - p_t = 4,2 - 2,5 = 1,7.$$

2. Thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường:

- Mô đun đàn hồi hữu hiệu đất nền  $M_R = 50$  MPa (7300 psi)
- Tác động của môi trường: Dự kiến trước một hệ thống thoát nước tốt và dùng đất đạt tiêu chuẩn để đắp nền. Đảm bảo thoát nước tốt trong khu vực tác dụng của nền đường.
- Lựa chọn lớp mặt đường: ESAL thiết kế lớn hơn 20 triệu nên theo Bảng 5 lớp mặt đường bê tông nhựa và lớp móng trên bằng vật liệu đá gia cố nhựa thiết kế theo phương pháp Marshall.



+ Lớp bê tông nhựa siêu mỏng tạo nhám dày 2,2 cm

+ Lớp mặt trên BTNP 16 TCVN 8819 dày 5 cm

+ Lớp mặt dưới BTNC 19 TCVN 8819 dày 8 cm

+ Lớp móng đá gia cố nhựa ATB25 TCCS 26:2019 dày 12 cm

– Xác định mức nhựa theo điều kiện nhiệt độ và tải trọng:

+ Theo điều kiện nhiệt độ không khí: nhiệt độ mặt đường cao nhất khu vực dự án 63 °C

+ Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo đặc tính dòng xe: ESAL 20 năm bằng 42,09 triệu, tốc độ khai thác lớn hơn 70 km/h nên phải cộng nhiệt độ do tải trọng 6 °C lên thành 69 °C.

+ Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo chiều sâu lớp vật liệu sử dụng nhựa đường: Lớp BTNP16 nhiệt độ 69 °C sử dụng nhựa polime, lớp BTNC19 nhiệt độ 63 °C, lớp ATB nhiệt độ 63 °C sử dụng nhựa 60/70.

– Vật liệu các lớp móng dưới: theo điều kiện vật liệu địa phương

+ Cấp phối loại 1 (CBR ≥ 100%) dày 17cm cho lớp thứ 1.

+ Cấp phối loại 2 (CBR ≥ 30%) cho lớp thứ 2.

### 3. Xác định hệ số lớp vật liệu:

– Lớp BTNSMTN không tính vào khả năng chịu lực của kết cấu áo đường

– Lớp BTNP 16 thí nghiệm ở 20°C có E=4680 MPa nên hệ số lớp lấy tối đa 0,44

– Lớp BTNC 19 thí nghiệm ở 20°C có E=5040 MPa nên hệ số lớp lấy tối đa 0,44

– Lớp ATB25 có độ ổn định Marshall S=8 kN nên hệ số lớp tra được 0,3

– Lớp cấp phối đá dăm loại 1 có CBR > 100% nên hệ số lớp tra được 0,14

– Lớp cấp phối đá dăm loại 2 có CBR > 30% nên hệ số lớp tra được 0,11

### 4. Xác định chỉ số kết cấu yêu cầu SN của mặt đường mềm :

Dùng toán đồ cho mặt đường mềm (Hình 4 trong Điều 6) hoặc dùng Goal Seek trong Excel xác định được SN = 6,07

5. Xác định các chiều dày của các lớp theo công thức sau:

$$2,54SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 + a_4D_4 + a_5D_5$$

$$2,54 \times 6,07 = 0,44 D_1 + 0,44 D_2 + 0,3 D_3 + 0,14 D_4 + 0,11 D_5$$

$D_i$  là chiều dày tính bằng cm.

Chiều dày của lớp mặt bê tông nhựa đã chọn  $D_1 = 5$  cm,  $D_2 = 8$  cm

Chiều dày lớp móng ATB đã chọn  $D_3 = 12$  cm

Chiều dày lớp móng cấp phối đá dăm loại 1 sơ bộ chọn 17 cm, như vậy chiều dày lớp móng dưới cấp phối đá dăm 2 sẽ là :

$$D_5 = \frac{2,54 \times 6,07 - [0,44 \times 5 + 0,44 \times 8 + 0,3 \times 12 + 0,14 \times 17]}{0,11} \approx 34 \text{ cm}$$

Tổng chiều dày kết cấu:  $2,2 + 5 + 8 + 12 + 17 + 34 = 78,2$  cm.

6. Nếu sử dụng lớp bê tông nhựa rỗng thoát nước có mô đun đàn hồi ở 20°C thí nghiệm được bằng 3080 MPa, tra toán đồ hệ số lớp cũng đạt được 0,44. Như vậy có thể thay lớp bê tông nhựa siêu mỏng tạo nhám và lớp BTNP16 bằng lớp bê tông nhựa rỗng thoát nước dày 5cm vừa tạo nhám, vừa thoát nước mặt lại tham gia vào cường độ kết cấu. Đây là bài toán kinh tế kỹ thuật khi lựa chọn kết cấu áo đường cao tốc.

7. Tương tự như trên, nếu dùng lớp SMA sử dụng nhựa polime có mô đun đàn hồi ở 20 °C thí nghiệm được bằng 4850 MPa, tra toán đồ hệ số lớp cũng đạt được 0,44. Như vậy có thể thay lớp bê tông nhựa siêu mỏng tạo nhám và lớp BTNP16 bằng lớp SMA dày 5 cm vừa tạo nhám lại tham gia vào cường độ kết cấu. Đây là bài toán kinh tế kỹ thuật khi lựa chọn kết cấu áo đường cao tốc.

**Ví dụ 6.** Trình tự xác định chiều dày các lớp áo đường khi sử dụng phương pháp phân tích theo từng lớp.

Cần nhớ rằng, kết cấu áo đường mềm là một hệ nhiều lớp, nên khi phải áp dụng trình tự này để thiết kế thì kết quả sẽ chính xác hơn, bảo đảm chiều dày từng lớp hợp lý. Có phần mềm máy tính giúp cho việc tính toán được nhanh chóng (xem Phụ lục G).

Phương pháp này được dùng khi tỉ số mô đun của vật liệu lớp móng trên đối với vật liệu lớp mặt nhỏ hơn 1/10.

1. Số liệu đầu vào:

$$W_{80} = 4,84 \text{ triệu};$$

$$R = 0,85 \Rightarrow Z_R = -1,037;$$

$$S_0 = 0,45; \Delta PSI = 4,2 - 2,2 = 2,0$$

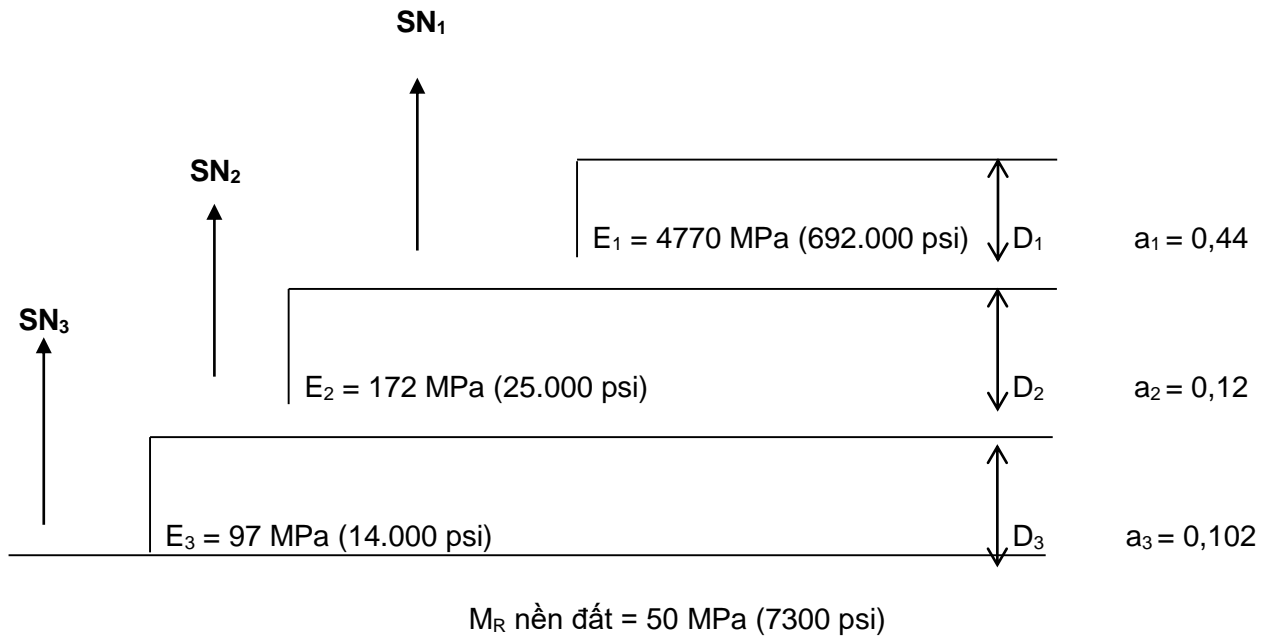
Mô đun đàn hồi hữu hiệu ( $M_R$ ) của đất nền đường :  $M_R = 50$  MPa (7300 psi)

Mô đun đàn hồi của lớp móng cấp phối đá dăm làm móng trên: 172 MPa (25.000 psi),  $a_2 = 0,12$ .

Mô đun đàn hồi của lớp cấp phối đá dăm làm móng dưới : 97 MPa (14.000 psi),  $a_3 = 0,102$

Mô đun đàn hồi của bê tông at phan ở 20°C: 4770 MPa (692.000 psi),  $a_1 = 0,44$

2. Trình tự xác định chiều dày của các lớp sử dụng phương pháp phân tích theo từng lớp như sau:



– Xác định  $SN_3$  : Số liệu đầu vào như sau

$$W_{80} = 4,84 \text{ triệu}$$

$$R = 0,85 \quad Z = -1,037$$

$$S_0 = 0,45$$

$$\Delta PSI = 2,0$$

$$M_R = 50 \text{ MPa (7.300psi)}$$

Từ toán đồ Hình 4 trong Điều 6, hoặc dùng Goal Seek trong Excel

$$\Rightarrow SN_3 = 4,16$$

– Xác định  $SN_1$  : Sử dụng số liệu đầu vào như sau:

$$W_{80} = 4,84 \text{ triệu}$$

$$R = 0,85 \Rightarrow Z = -1,037$$

$$S_0 = 0,45$$

$$\Delta PSI = 2,0$$

$$M_R = E_2 = 172 \text{ MPa (25.000psi)}$$

Từ toán đồ Hình 4 trong Điều 6 hoặc dùng Goal Seek trong Excel

$$\Rightarrow SN_1 = 2,681$$

$$D_1 = \frac{2,681}{0,44} \times 2,54 \approx 15,5 \text{ cm}$$

Chiều dày của lớp mặt lấy bằng 12 cm thì:

$$SN_1^* = \frac{12 \times 0,44}{2,54} = 2,079$$

– Xác định  $SN_2$  : Sử dụng số liệu đầu vào như sau:

$$W_{80} = 4,84 \text{ triệu}$$

$$R = 0,85 \Rightarrow Z = -1,037$$

$$S_0 = 0,45$$

$$\Delta PSI = 2,0$$

$$M_R = E_3 = 97 \text{ MPa (14.000psi)}$$

Từ toán đồ Hình 4 trong Điều 6 hoặc dùng  
Goal Seek trong Excel

$$\Rightarrow SN_2 = 3,31$$

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2} = \frac{3,31 - 2,079}{0,12} \times 2,54 = 26,1 \text{ cm}$$

Chiều dày 26,1 cm lớn hơn chiều dày yêu cầu tối đa của lớp móng trên (18 cm), vậy chiều dày lớp móng trên bằng cấp phối đá dăm sẽ bằng 18 cm.

$$SN_2^* = \frac{18 \times 0,12}{2,54} = 0,85$$

– Xác định chiều dày của lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm loại 2

$$D_3 = \frac{[SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)]}{a_3} = \frac{[4,16 - (2,079 + 0,85)]}{0,102} \times 2,54 = 31 \text{ cm}$$

– Kết quả, kết cấu áo đường dày 61 cm bao gồm các lớp: 5 cm BTNC16 + 7 cm BTNC19 + 18 cm Cấp phối đá dăm loại 1 + 31 cm (15+16) Cấp phối đá dăm loại 2.

3. Nếu không dùng phương pháp phân tích theo từng lớp mà tính toán cả kết cấu cũng cho kết quả tương tự với sai lệch không đáng kể.

4. Có phương án kết cấu thay đổi chiều dày các lớp móng cấp phối đá dăm như sau:

Tổng chiều dày vẫn 61 cm, bao gồm các lớp 5 cm BTNC16 + 7 cm BTNC19 + 16 cm Cấp phối đá dăm loại 1 + 33 cm (15+16) Cấp phối đá dăm loại 2.

**Ví dụ 7.** Tính toán gia cường áo đường cũ bằng lớp phủ bê tông nhựa theo phương pháp “thí nghiệm không phá hoại NDT” bằng thiết bị đo vống FWD

(Trước khi xem các ví dụ 7, 8, 9 nên xem Hình vẽ F.1 kèm theo cuối Ví dụ 11 để hiểu rõ các ký hiệu hơn)

A. Số liệu đầu vào.

1. Kết cấu áo đường hiện hữu cần gia cường:

Lớp mặt bê tông nhựa:	7 cm
Lớp móng trên cấp phối đá dăm loại I:	25 cm
Lớp móng dưới – cấp phối đồi:	30 cm

---

Tổng chiều dày kết cấu  $D = 62 \text{ cm (24,41 in)}$

2. Tổng trục đơn tương đương  $N_f = 4.000.000$  (trục đơn 80 kN) yêu cầu cho giao thông tương lai trên 1 làn xe (kể từ ngày bắt đầu gia cường trở đi)

3. Số liệu đo vống bằng FWD trên mặt đường hiện hữu:

– Các đặc trưng của thiết bị đo FWD:

$$P = 40 \text{ kN (9000 pounds)}$$

$$a = 15 \text{ cm (5,9 in); tính được áp lực } p = 0,57 \text{ MPa.}$$

$$r = 90 \text{ cm (36 in)}$$

– Nhiệt độ mặt đường nhựa lúc đo  $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

– Số liệu đo được:

$$d_o = 700 \text{ } \mu\text{m (27,6 mils) - ở } t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$d_r = 90 \text{ } \mu\text{m (3,55 mils)}$$

B. Trình tự và kết quả tính toán:

1. Tính  $SN_f$  với các số liệu:

$$W_{80} = N_f = 4.000.000$$

$$R = 90\% \Rightarrow Z_R = -1,282$$

$$S_o = 0,45$$

$$\Delta PSI = 4,2 - 2,2 = 2,0$$

$$M_{R\text{thiết kế}} = 39,0 \text{ MPa (5657 psi)}$$

$M_{R\text{thiết kế}}$  được tính từ số liệu đo bằng FWD, xem Điểm B.2

– Dùng công thức (8) hoặc (9) hoặc toán đồ Hình 4 trong Điều 6, hoặc dùng Goal Seek trong Excel, hoặc dùng phần mềm máy tính PC, tính ra được  $SN_f$ :

$$SN_f = 4,6$$

2. Tính  $SN_{\text{eff}}$  từ các số liệu đo vống bằng thiết bị FWD

– Tính  $M_R$  theo công thức (23), hoặc (24) trong Điều 7:

$$M_R = \frac{2,4 \times 40}{0,009 \times 90} = 118,5 \text{ MPa (17143 psi)}$$

– Tính  $M_{R\text{thiết kế}}$  theo công thức (25), hoặc (26) trong Điều 7:

$$M_{R\text{thiết kế}} = 0,33 M_R = 39 \text{ MPa (5657 psi)}$$

– Hiệu chỉnh độ võng  $d_o$  đo được ở tấm ép, lúc nhiệt độ mặt đường ở  $t = 40^\circ\text{C}$  về nhiệt độ tính toán ( $30^\circ\text{C}$  ở Việt Nam) theo công thức D.7 ở Phụ lục D và toán đồ Hình D.3 ở Phụ lục D

$$d_o(30) = \frac{0,77}{0,887} \times 0,700 = 0,06077 \text{ cm} = 607,7 \mu\text{m} = (0,024 \text{ inches} = 24 \text{ mils})$$

– Tính  $E_p$  theo công thức (22) trong Điều 7, hoặc theo toán đồ Hình D.2 ở Phụ lục D. Ở đây xác định theo toán đồ Hình D.2:

$$\frac{M_R \times d_o}{P} = \frac{118,5 \times 607,7}{40} = 1800$$

Từ toán đồ, ứng với  $\frac{M_R \times d_o}{P} = 1800$  và  $D = 62 \text{ cm}$ , Xác định được  $\frac{E_p}{M_R} = 2,15$

Từ đây  $E_p = 2,15 \times 118,5 = 254,8 \text{ MPa (36.942 psi)}$

– Kiểm tra điều kiện  $r \geq 0,7a_e$ . Tính  $a_e$  theo công thức D.2 ở Phụ lục D

$$a_e = \sqrt{\left[15^2 + \left(62\sqrt{2,15}\right)^2\right]} = 81,4 \text{ cm}$$

Vậy  $r = 90 \text{ cm} \geq 0,7 \times 81,4 = 57 \text{ cm}$ ; vậy điều kiện trên thỏa mãn

Tính  $SN_{\text{eff}}$  theo công thức (20), hoặc (21) hoặc toán đồ Hình 14 ở Điều 7:

$$SN_{\text{eff}} = 0,0093 \times 62 \times (254,8)^{\frac{1}{3}} = 3,65$$

3. Xác định chiều dày lớp phủ  $D_{ol}$  theo các công thức (19) và (18) ở Điều 7:

$$SN_{ol} = SN_f - SN_{\text{eff}} = 4,6 - 3,65 = 0,95$$

$$D_{ol} = \frac{2,54 \times SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{2,54 \times 0,95}{0,37} = 6,52 \text{ cm} = 7 \text{ cm}$$

**Kết quả:** Theo phương pháp “thí nghiệm không phá hoại bằng FWD”, phải dùng một lớp phủ bằng bê tông nhựa dày 7 cm để gia cường áo đường hiện hữu để có thể chịu đựng thêm một tổng lượng trục đơn 80kN là 4.000.000 lần cho 1 làn xe, trong tương lai.

**Ví dụ 8.** Tính toán gia cường áo đường cũ bằng lớp phủ bê tông nhựa, theo phương pháp khảo sát điều tra điều kiện chất lượng của áo đường hiện hữu.

A. Yêu cầu: Tổng trực đơn tương đương yêu cầu cho giao thông tương lai trên 1 làn xe (kể từ ngày bắt đầu gia cường trở đi):

$$N_f = 4.000.000 \text{ (trực đơn 80 kN)}$$

B. Các số liệu khảo sát được: Bằng đào hố đo chiều dày, chuyên gia đánh giá chất lượng còn lại của các lớp vật liệu qua việc quan sát các hư hỏng, nứt nẻ, thoát nước.v.v...

1. Đo các chiều dày các lớp vật liệu của mặt đường hiện hữu:

- Lớp bê tông nhựa: 7 cm
- Lớp móng trên – cấp phối đá dăm loại I: 25 cm
- Lớp móng dưới – cấp phối đồi: 30 cm

2. Đánh giá chất lượng các lớp (theo kiểu chuyên gia) và căn cứ vào Bảng 14 ở Điều 7 mà định trị số của các hệ số lớp  $a_i$ :

- Lớp bê tông nhựa: có một ít kẽ nứt thành lưới và một số ít vết nứt ngang nhẹ:  $a_1 = 0,31$
- Lớp móng trên bằng cấp phối đá dăm: còn tốt, được lèn chặt thêm, thoát nước tốt:  $a_2 = 0,14$
- Lớp móng dưới bằng cấp phối đồi: còn tốt, có nhiễm bẩn một ít đất từ nền đường:  $a_3 = 0,10$

C. Tính toán xác định chiều dày lớp phủ  $D_{ol}$  cần gia cường:

1. Tính  $SN_f$  với các số liệu đầu vào và trình tự như ở Ví dụ 7

$$SN_f = 4,6$$

Chú ý : lúc này  $M_R$  thiết kế có thể xác định bằng thí nghiệm mẫu đất nền ở trong phòng theo tiêu chuẩn thí nghiệm AASHTO T292, hoặc theo số liệu đo vồng bằng thiết bị FWD

2. Tính  $SN_{eff}$ : Xác định  $SN_{eff}$  theo công thức (27) ở Điều 7, theo các số liệu đã đánh giá được ở mục A.

$$SN_{eff} = \frac{0,31 \times 7 + 0,14 \times 25 + 0,10 \times 30}{2,54} = 3,42$$

3. Xác định chiều dày lớp phủ  $D_{ol}$  cần gia cường:

Tiến hành như ở Điểm B.3 của Ví dụ 7.

$$SN_{ol} = 4,6 - 3,42 = 1,18$$

$$D_{ol} = \frac{2,54 \times 1,18}{0,37} = 8,1 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$



*Kết quả:* Theo phương pháp “Khảo sát điều tra điều kiện chất lượng”, phải dùng một lớp phủ bằng bê tông nhựa dày 8 cm để gia cường áo đường hiện hữu, để có thể chịu đựng thêm một tổng lượng trục đơn 80 kN là 4.000.000 lần cho 1 làn xe, trong tương lai.

**Ví dụ 9.** Tính toán gia cường áo đường cũ bằng lớp phủ bê tông nhựa, theo phương pháp “Xác định Tuổi thọ còn lại của áo đường hiện hữu.

A. Các số liệu đầu vào:

1. Tổng trục đơn tương đương yêu cầu cho giao thông tương lai trên 1 làn xe (kể từ ngày bắt đầu gia cường trở đi)

$$N_f = 4.000.000 \text{ (trục đơn 80kN)}$$

2. Chiều dày các lớp của kết cấu mặt đường; và các hệ số lớp tương ứng khi mặt đường mới xây dựng xong (mặt đường mới).

– Lớp mặt bằng bê tông nhựa : 7 cm ;  $a_1 = 0,37$

– Lớp móng trên bằng cấp phối đá dăm loại I : 25 cm ;  $a_2 = 0,14$

– Lớp móng dưới bằng cấp phối đồi : 30 cm ;  $a_3 = 0,11$

3. Tổng lượng trục xe đơn tương đương đã chạy qua trên 1 làn xe từ khi xây dựng mới đến thời điểm dự định gia cường (số liệu lấy ở các cơ quan của Tổng cục ĐBVN):

$$N_p = 1.500.000 \text{ lần trục đơn 80 kN}$$

B. Tính toán xác định chiều dày lớp phủ  $D_{oi}$  cần gia cường:

1. Tính trị số  $SN_o$  (chỉ số kết cấu ban đầu, xem 7.3.3 Điều 7)

$$SN_o = \frac{0,37 \times 7 + 0,14 \times 25 + 0,11 \times 30}{2,54} = 3,70$$

2. Tính tổng lượng trục 80 kN chạy qua ( $N_{1,5}$ ) cho đến khi  $p_t = 1,5$  bằng toán đồ Hình 4 ở Điều 6, hoặc bằng công thức (8), hoặc (9), hoặc bằng phần mềm của PC, với các số liệu đầu vào:

$$N_{1,5} = W = ?$$

$$Z_R = 0 \text{ (R = 50 \%)} \text{ (Xem 7.3.3.2 Điều 7)}$$

$$S_o = 0,45$$

$$p_o = 4,2$$

$$p_t = 1,5$$

$$\Delta PSI = 4,5 - 1,5 = 2,7$$

$$M_R \text{ thiết kế} = 39 \text{ MPa (5657 psi)}$$

$$SN_o = 3,70$$

$N_{1,5} = 5.300.000$  lần trục đơn 80 kN

3. Xác định trị số RL theo công thức (29) ở Điều 7

$$RL = 100[1 - (1.500.000/5.300.000)] = 71,7 \%$$

4. Xác định nhân tố điều kiện CF từ toán đồ Hình 15 ở Điều 7, với  $RL=71,7 \%$ :

$$CF = 96 \%$$

5. Xác định  $SN_{eff}$ , theo công thức (28) ở Điều 7

$$SN_{eff} = 0,96 \times 3,70 = 3,55$$

6. Xác định  $D_{ol}$  theo 2 công thức như ở Điểm B.3 của Ví dụ 7

$$SN_{ol} = 4,6 - 3,55 = 1,05$$

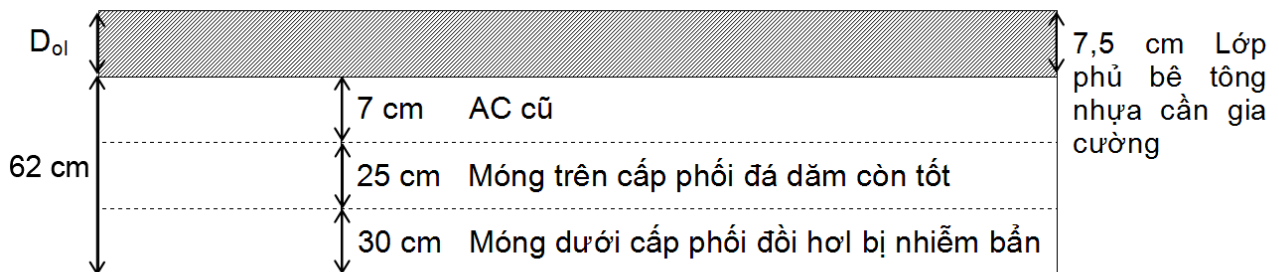
$$D_{ol} = \frac{2,54 \times 1,05}{0,37} = 7,2 \text{ cm} \approx 7,5 \text{ cm}$$

*Kết quả:* Theo phương pháp “xác định tuổi thọ còn lại”, phải dùng một lớp phủ bằng bê tông nhựa có chiều dày 7,5 cm để gia cường áo đường hiện hữu để có thể chịu đựng thêm một tổng lượng trục đơn 80 kN là 4.000.000 lần cho 1 làn xe, trong tương lai.

*Kết luận chung của 3 phương pháp (ở Ví dụ 7, 8, 9):*

Cùng một mặt đường hiện hữu, cùng một yêu cầu thiết kế cho giao thông tương lai, kết quả tính toán chiều dày lớp gia cường bằng bê tông nhựa có chênh lệch nhau ở 3 phương pháp: 6,52 cm; 8,1 cm và 7,2 cm. Có sự khác nhau này do sự không chính xác, mức độ kinh nghiệm tích lũy, chất lượng của khảo sát và đánh giá, tra cứu số liệu trong từng phương pháp.

Người kỹ sư cần cân nhắc mỗi giải pháp và chọn cho hợp lý. Trường hợp ở đây đề nghị lấy 7,5 cm để định chiều dày lớp bê tông nhựa cần gia cường cho mặt đường hiện hữu.



**Ví dụ 10.** Thiết kế lớp bê tông nhựa trên mặt đường bê tông nhựa cũ được tái chế bằng phương pháp cào xới trộn sâu với nhựa đường bột + xi măng (hoặc nhũ tương + xi măng)

**1. Yêu cầu:** Tổng trục đơn tương đương yêu cầu cho giao thông tương lai trên 1 làn xe (kể từ ngày bắt đầu gia cường trở đi):

$$W_{80} = N_f = 5.000.000 \text{ (trục đơn 80 kN)}$$

**2. Các số liệu khảo sát được:** Bằng đào hố đo chiều dày, chuyên gia đánh giá chất lượng còn lại của các lớp vật liệu qua việc quan sát các hư hỏng, nứt nẻ, thoát nước, vv...

+ Đo chiều dày các lớp vật liệu của mặt đường hiện hữu:

- Lớp bê tông nhựa cũ: 4 cm + 7 cm = 11 cm (trung bình)
- Lớp móng trên – cấp phối đá dăm loại I: 25 cm
- Lớp móng dưới – cấp phối thiên nhiên: 30 cm

+ Đánh giá chất lượng các lớp (theo kiểu chuyên gia) và căn cứ vào Bảng 14 ở Điều 7 mà định trị số của các hệ số lớp  $a_i$ :

- Lớp bê tông nhựa cũ: nứt thành lưới hơn 25 % diện tích, hư hỏng nặng, ổ gà hơn 16 % diện tích, vết lún sâu 10 mm, bong tróc nhiều vị trí: Dự kiến cần cào xới toàn bộ 11 cm bê tông nhựa cũ với một phần chiều dày của lớp móng trên (14 cm) và trộn với bi tum bột (2,5%) và xi măng (1%).
- Lớp tái chế dày 25 cm này sẽ là phần trên của lớp móng trên. Kết quả thí nghiệm Marshall của mẫu có độ ổn định bằng 5,2 kN, tra biểu đồ Hình 11 có  $a_{ts} = 0,24$ . (theo các tài liệu của các nước Nhật, Mỹ, Nam Phi, Úc...) hệ số lớp vật liệu tái chế bằng nhựa đường bột; hoặc nhũ tương + xi măng có thể lấy bằng 0,60 đến 0,68 hệ số lớp của bê tông nhựa chặt:  $a_{ts} = (0,60 \div 0,68) \times 0,37 = 0,22$  đến 0,25.
- Hệ số lớp của vật liệu cào bóc tái chế bằng nhũ tương và nhựa đường bột còn được tra ở Phụ lục C của TCVN 13150–1, Phụ lục E của TCVN 13150–2 theo cường độ kéo khi ép chế ở trạng thái khô ( $R_{ck}^k$ ), MPa
- Lớp móng trên – cấp phối đá dăm loại I: còn tốt, có nhiễm bẩn ít:  $a_2 = 0,1$ .
- Lớp móng dưới – cấp phối thiên nhiên: nhìn tổng thể còn dùng được, có nhiễm bẩn ít và độ ẩm lớn vì nước ở trên thấm xuống:  $a_3 = 0,06$ .

- Lớp đất nền thượng \*) – CBR = 6 %;  $M_r = 45 \text{ MPa}$

3. Tính toán xác định chiều dày lớp bê tông nhựa nóng  $D_{ol}$  cần rải lên lớp vật liệu tái chế:

+ Tính  $SN_f$  với các số liệu đầu vào:

$$W_{80} = N_f = 5.000.000$$

$$R = 90 \% \rightarrow Z_R = -1,282$$

$$S_o = 0,45$$

$$\Delta PSI = 4,2 - 2,2 = 2,0$$

$$M_{R\text{thiết kế}} = 45 \text{ Mpa (6525 psi)}$$

Dùng công thức (8) hoặc (9) hoặc toán đồ Hình 4 ở Điều 6, hoặc dùng phần mềm máy tính PC, tính ra được  $SN_f$ :

$$SN_f = 4,52$$

+ Tính  $SN_{eff}$  : Xác định  $SN_{eff}$  theo công thức (27) ở Điều 7, theo các số liệu đã đánh giá được ở Điểm 2.

$$2,54 SN_{eff} = 0,24 \times 25 + 0,10 \times 11 + 0,06 \times 30 = 8,9$$

$$SN_{eff} = 3,50$$

+ Tính chiều dày lớp bê tông nhựa nóng  $D_{ol}$  cần rải lên lớp vật liệu tái chế:

Dùng công thức (18) và (19) ở Điều 7:

$$SN_{ol} = SN_f - SN_{eff} = 4,52 - 3,50 = 1,02$$

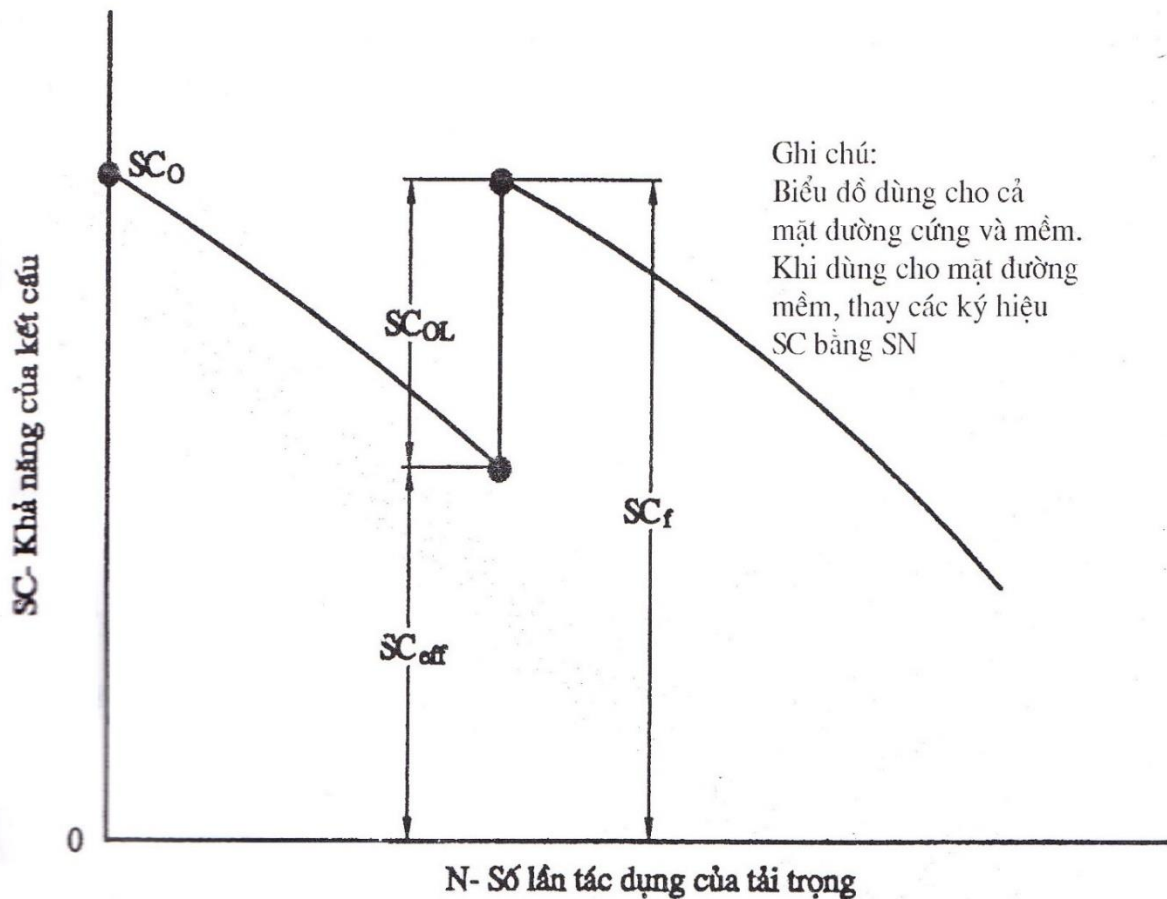
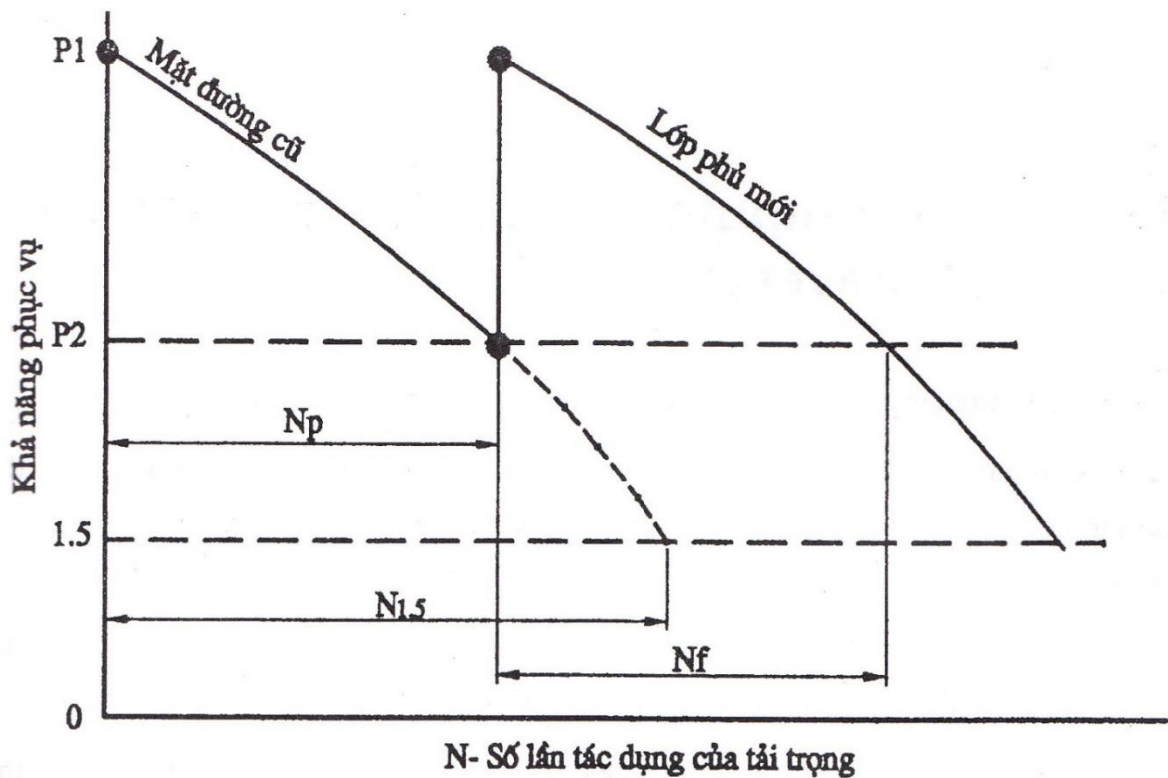
$$D_{ol} = \frac{2,54 \times SN_{ol}}{a_1} = \frac{2,54 \times 1,02}{0,37} = 7,0 \text{ cm}$$

*Kết luận:* Mặt đường bê tông nhựa cũ hư hỏng khá nhiều, dùng phương án cào xới sâu cả các lớp bê tông nhựa cũ 11 cm cùng với 14 cm cấp phối đá dăm loại I và trộn với bi tum bột (2,5 %) và xi măng (1 %) để tái chế, làm lớp móng trên.

---

\*) Để tính  $M_{R\text{thiết kế}}$  của đất nền, ngoài cách khoan lấy mẫu đất ở hiện trường để thí nghiệm xác định chỉ số CBR như đã làm ở đây, có thể lấy mẫu đất nền thí nghiệm theo AASHTO T292 (xem Phụ lục C) hoặc theo số liệu đo vồng trên áo đường hiện hữu bằng thiết bị FWD và tính toán theo 7.3.1.3 và 7.3.1.4 và Phụ lục D.

Trên lớp tái chế nhựa thấm bảm  $1 \text{ l/m}^2$  rồi rải một lớp bê tông nhựa nóng chặt BTNC 16, dày 7 cm để chỉ số kết cấu SN của áo đường đạt 4,52, đủ cường độ để có thể chịu đựng thêm một lượng trục đơn 80 kN là 5.000.000 lần cho 1 làn xe trong tương lai.



Hình F.1 – Sự tổn thất về khả năng của kết cấu trong suốt thời hạn xe chạy

**Ví dụ 11.** Kiểm toán kết cấu áo đường

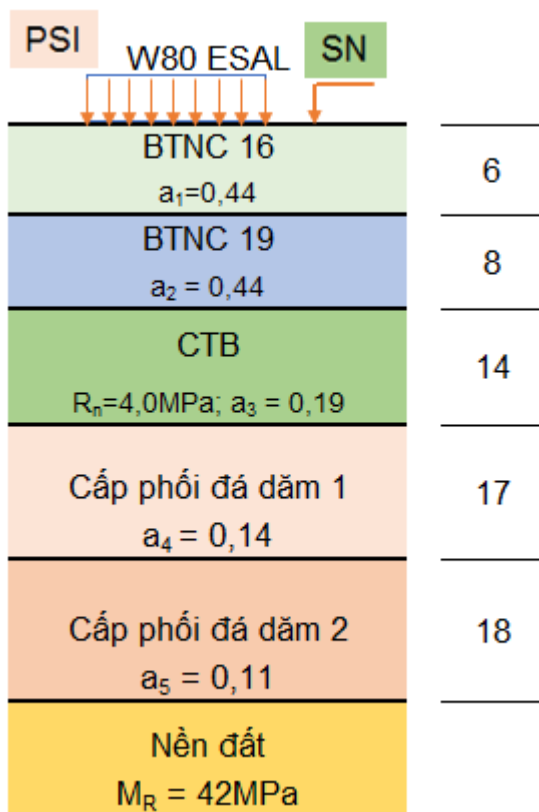
1. Các số liệu đầu vào:

- Tuyến đường cấp II đồng bằng 4 làn xe, có dải phân cách giữa và có dải phân cách bên tách riêng làn dành cho xe đạp và xe thô sơ.
- Thời hạn phục vụ và thời hạn phân tích của áo đường như nhau (15 năm)
- Lượng xe thiết kế cho 1 làn xe  $W_{80} = 6.345.340$  (EASL's), hệ số tăng trưởng 6 %
- Độ tin cậy toàn bộ yêu cầu  $R=95\% \Rightarrow Z_R = - 1,645$ .
- Độ lệch tiêu chuẩn toàn bộ  $S_o = 0,45$ .
- Khả năng phục vụ cuối thời hạn phục vụ  $p_t = 2,5$ .

Thông thường khả năng phục vụ ban đầu  $p_o$  của áo đường mềm ở Việt Nam là 4,2. Vậy độ tổn thất khả năng phục vụ thiết kế toàn bộ cho ví dụ này là :

$$\Delta PSI = p_o - p_t = 4,2 - 2,5 = 1,7.$$

2. Kết cấu áo đường như hình vẽ:



- + Lớp mặt trên BTNC 16 TCVN 8819 dày 6 cm, hệ số lớp 0,44
  - + Lớp mặt dưới BTNC 19 TCVN 8819 dày 8 cm, hệ số lớp 0,44
  - + Lớp móng đá gia cố xi măng có  $R_n=4,0$  MPa, hệ số lớp 0,19
  - Mác nhựa theo điều kiện nhiệt độ và tải trọng:
  - + Theo điều kiện nhiệt độ không khí: nhiệt độ mặt đường cao nhất khu vực dự án 63 °C
  - + Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo đặc tính dòng xe: ESAL 20 năm bằng 7.500.000, tốc độ khai thác lớn hơn 70 km/h nên không phải cộng nhiệt độ do tải trọng
  - + Điều chỉnh nhiệt độ mặt đường cao nhất theo chiều sâu lớp vật liệu sử dụng nhựa đường: Không cần điều chỉnh.
- Như vậy nhựa đường phải chịu được nhiệt độ mặt đường cao nhất là 63 °C.

- Mô đun đàn hồi hữu hiệu đất nền  $M_R = 42 \text{ MPa}$  (6092 psi)
- Tác động của môi trường: Dự kiến trước một hệ thống thoát nước tốt và dùng đất đạt tiêu chuẩn để đắp nền. Đảm bảo thoát nước tốt trong khu vực tác dụng của nền đường.
- Các lớp mặt đường bê tông nhựa thiết kế theo phương pháp Marshall.
- Vật liệu các lớp móng dưới: theo điều kiện vật liệu địa phương
  - + Cấp phối loại 1 (CBR  $\geq 100$  %) dày 17 cm, hệ số lớp 0,14 cho lớp thứ 1.
  - + Cấp phối loại 2 (CBR  $\geq 30$  %) dày 18 cm, hệ số lớp 0,11 cho lớp thứ 2.

3. Xác định chỉ số kết cấu yêu cầu SN của mặt đường mềm :

Dùng toán đồ cho mặt đường mềm (Hình 4 trong Điều 6) hoặc dùng Goal Seek trong Excel xác định được SN = 5,25

4. Kiểm toán chỉ số kết cấu  $SN_{kc}$

$$SN_{kc} = (a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 + a_4D_4 + a_5D_5)/2,54$$

$D_i$  là chiều dày tính bằng cm.

$$SN_{kc} = (0,44 \times 6 + 0,44 \times 8 + 0,19 \times 14 + 0,14 \times 17 + 0,11 \times 18)/2,54 = 5,19 < 5,25$$

Như vậy kết cấu không đảm bảo chỉ số SN yêu cầu bằng 5,25, cần phải tăng chiều dày hoặc tăng cường độ các lớp.

5. Tăng chiều dày lớp móng gia cố xi măng lên 15cm thì tính được  $SN_{kc} = 5,26 > 5,25$ .

**Ví dụ 12.** Thiết kế kết cấu áo đường mềm khi lưu lượng xe thấp theo phương pháp tính SN

1. Các số liệu đầu vào:

- Đường cấp IV có 2 làn xe, ngoài đô thị, mặt đường láng nhựa
- Thời hạn phục vụ và thời hạn phân tích của áo đường như nhau (7 năm)
- Lượng xe thiết kế cho 1 làn xe  $W_{80} = 666.180$  (EASL's)
- Độ tin cậy toàn bộ yêu cầu  $R=50\% \Rightarrow Z_R = - 0$ .
- Độ lệch tiêu chuẩn toàn bộ  $S_o = 0,45$ .
- Khả năng phục vụ cuối thời hạn phục vụ  $p_t = 2,2$ .

Thông thường khả năng phục vụ ban đầu  $p_0$  của áo đường mềm ở Việt Nam là 4,2. Vậy độ tổn thất khả năng phục vụ thiết kế toàn bộ cho ví dụ này là :

$$\Delta PSI = p_0 - p_t = 4,2 - 2,2 = 2,0.$$

2. Thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường:

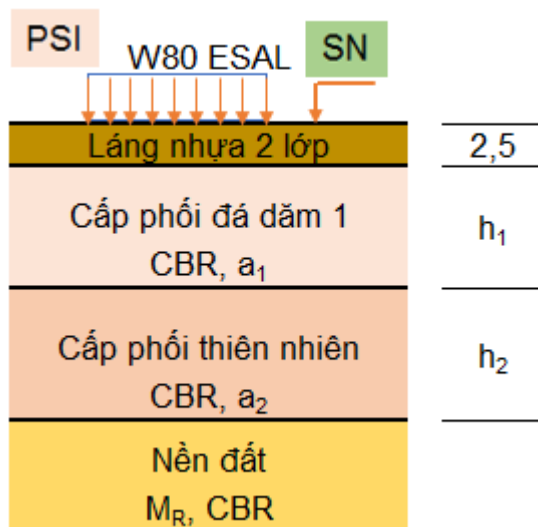
– Mô đun đàn hồi hữu hiệu đất nền  $M_R = 42$  MPa (6092 psi)

– Tác động của môi trường: Dự kiến trước một hệ thống thoát nước tốt và dùng đất đạt tiêu chuẩn để đắp nền. Đảm bảo thoát nước tốt trong khu vực tác dụng của nền đường.

– Lựa chọn lớp mặt đường: ESAL thiết kế trong khoảng 50.000 đến 1.000.000 nên sử dụng lớp mặt láng nhựa 2 lớp. Lớp láng nhựa không tính vào khả năng chịu lực của kết cấu.

– Vật liệu các lớp móng dưới: theo điều kiện vật liệu địa phương: Lớp móng trên cấp phối đá dăm loại 1 có  $CBR \geq 100\%$ ; Lớp móng dưới cấp phối đồi có  $CBR \geq 30\%$ .

– Hệ số lớp được tra toán đồ:



+ Lớp cấp phối đá dăm loại 1  $a_1 = 0,14$

+ Lớp cấp phối thiên nhiên  $a_2 = 0,10$

– Sơ bộ xác định chiều dày các lớp:

+ Chiều dày lớp cấp phối đá dăm loại 1 bằng 25cm

+ Chiều dày lớp cấp phối thiên nhiên bằng 35 cm

3. Xác định chỉ số kết cấu yêu cầu SN của mặt đường mềm :

Dùng toán đồ cho mặt đường mềm (Hình 4 trong Điều 6) hoặc dùng Goal Seek trong Excel xác định được  $SN = 2,75$

#### 4. Kiểm toán chỉ số kết cấu $SN_{kc}$

$$SN_{kc} = (a_1 D_1 + a_2 D_2) / 2,54$$

$D_i$  là chiều dày tính bằng cm.

$$SN_{kc} = (0,14 \times 25 + 0,10 \times 35) / 2,54 = 2,76 > 2,75$$

Như vậy kết cấu đảm bảo chỉ số SN yêu cầu bằng 2,75.

**Ví dụ 13.** Thiết kế kết cấu áo đường mềm khi lưu lượng xe thấp theo phương pháp tra bảng

1. Các số liệu đầu vào: Như ví dụ 12

2. Thiết kế cấu tạo kết cấu cũng như ví dụ 12

3. Xác định cấp lưu lượng: ESAL  $W_{80} = 666.180$  trong khoảng 400.000 đến 700.000 nên cấp lưu lượng trung bình.

4. Xác định cấp chất lượng của đất nền đường: Đất nền đường có  $M_r = 42$  MPa trong khoảng từ 35 MPa đến 42 MPa nên cấp nền đường trung bình.



5. Tra bảng xác định chỉ số kết cấu SN: Từ cấp lưu lượng trung bình, cấp nền đường trung bình tra Bảng 15 với  $R = 50\%$  được chỉ số SN = 2,6 – 2,8.

6. Tra bảng xác định kết cấu: Từ cấp lưu lượng trung bình, cấp nền đường trung bình tra Bảng 17 với  $R = 50\%$  xác định được kết cấu:

- 2,5 cm láng nhựa
- 25 cm móng trên cấp phối đá dăm
- 32 cm móng dưới cấp phối thiên nhiên.

7. Theo phương pháp tra bảng xác định được chỉ số kết cấu trung bình SN = 2,7 nên kết cấu có lớp móng mỏng hơn phương pháp tính ở Ví dụ 12 có SN = 2,75 là  $35 - 32 = 3$  cm.

Kiến nghị nên sử dụng cả 2 phương pháp, phương pháp tra bảng xác định sơ bộ cấu tạo kết cấu và phương pháp tính kiểm toán lại chỉ số kết cấu SN yêu cầu.

## Phụ lục G

(Tham khảo)

### Giải gần đúng phương trình xác định SN và các phương trình hồi quy xác định hệ số lớp của nền đường, lớp móng dưới, lớp móng trên

#### G.1 Giải gần đúng phương trình xác định SN

1. Phương trình (8), hoặc (9) là phương trình siêu việt phức tạp, trong đó các thông số đã biết, chỉ có 1 ẩn chưa biết là SN.

$$\log_{10}W_{18} = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}M_R - 8.07 ; \quad (8)$$

2. Để giải các phương trình có 1 ẩn số có thể dùng công cụ Goal Seek trong Excel

W18=	28,310,000		
Zr=	-1.645		
S0=	0.45		
PSI0=	4.2	DPSI=	1.7
PSIt=	2.5		
Mr=	7,300		
		SN	Vế phải
		6.07	7.451839
			Vế trái
			7.451940

- Xác định các thông số
- Cho 1 giá trị khởi tạo SN ở ô N28
- Tính toán vế trái của phương trình (8), hoặc (9) theo các thông số đầu vào và SN khởi tạo ở ô O28, cụ thể ở ví dụ này vế trái bằng 7.451940
- Dùng Goal Seek giải gần đúng Tính giá trị Vế phải ở ô O28 bằng giá trị vế trái bằng cách thay đổi SN ở ô N28.
- Kết quả ra được SN = 6.07

Chú thích: Trong ví dụ này dùng hệ đơn vị inches, dấu "." thập phân, dấu "," ngăn cách phần nghìn.

## G.2 Các phương trình hồi quy xác định hệ số lớp của nền đường, lớp móng dưới, lớp móng trên

1. Để thuận tiện cho việc tra các toán đồ, từ số liệu trong tài liệu của Cục Đường bộ liên bang Mỹ Federal Highway Administration (2006), Geotechnical Aspects of Pavements, Publication No. FHWA NHI-05-037, chi tiết các bảng số ở link:

<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/alt.cfm#f064>

Sử dụng phần mềm Minitab thiết lập được các phương trình hồi quy:

2. Đối với toán đồ Hình 7 xác định  $M_r$  của nền đất

$$M_r \text{ (MPa)} = 13,22 \text{ CBR}^{0,685} \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,95 \%$$

$$M_r \text{ (MPa)} = 69,34 - 4,263 \text{ GI} + 0,08560 \text{ GI}^2 \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,72 \%$$

Trong đó:  $M_r$  mô đun đàn hồi tính bằng MPa, chỉ số CBR tính bằng % và GI là chỉ số nhóm

3. Đối với toán đồ Hình 9 xác định hệ số lớp  $a_2$  của lớp móng trên bằng vật liệu hạt

$$a_2 = -0,05646 + 0,1004 \log(\text{CBR}) \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 98,31 \%$$

$$a_2 = 0,2986 + 0,2336 \log(M_r \text{ _GPa}) \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,61 \%$$

Trong đó:  $a_2$  là hệ số lớp, CBR tính bằng % và  $M_r \text{ _GPa}$  là mô đun đàn hồi tính bằng GPa

4. Đối với toán đồ Hình 10 xác định hệ số lớp  $a_2$  của lớp móng trên làm bằng vật liệu gia cố xi măng

$$a_2 = 0,09350 + 0,02284 R_n \text{ (MPa)} \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,92 \%$$

$$a_2 = -0,1329 + 0,08604 E_{bs} \text{ (GPa)} - 0,004132 E_{bs} \text{ (GPa)}^2 \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,83 \%$$

Trong đó:  $a_2$  là hệ số lớp,  $R_n$  (MPa) tính bằng MPa và  $E_{bs}$  (GPa) tính bằng GPa

5. Đối với toán đồ Hình 11 xác định hệ số lớp  $a_2$  của lớp móng trên làm bằng vật liệu có xử lý bằng nhựa đường

$$a_2 = 0,1123 + 0,02573 S \text{ (kN)} \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,92 \%$$

Trong đó:  $a_2$  là hệ số lớp, S (kN) là độ ổn định Marshall tính bằng kN.

6. Đối với toán đồ Hình 12 xác định hệ số lớp  $a_3$  của lớp móng dưới bằng vật liệu hạt

$$a_3 = 0,007574 + 0,06792 \log(\text{CBR}) \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 98,58 \%$$

$$a_3 = 0,3051 + 0,1981 \log(M_r \text{ _GPa}) \quad \text{Hệ số xác định } R^2 = 99,50 \%$$

Trong đó:  $a_3$  là hệ số lớp, CBR tính bằng % và  $M_r \text{ _GPa}$  là mô đun đàn hồi tính bằng GPa

**Phụ lục H**

(Quy định)

**Tóm tắt danh mục đánh giá áo đường****H.1 Đánh giá kết cấu**

Sự hư hỏng hiện tại

Sự hư hỏng nhẹ không có liên quan đến tải trọng

Sự hư hỏng vừa có liên quan đến tải trọng

Sự hư hỏng lớn có liên quan đến tải trọng

Kết cấu không có đủ khả năng chịu tải

Có, Không

**H.2 Đánh giá chức năng**

Độ bằng phẳng

Rất tốt, trung bình, xấu, rất xấu

Đo đạc

Chỉ số khả năng phục vụ hiện tại

Chống trượt

Tốt, có vấn đề, xấu

Tính nghiêm trọng của vết lún bánh xe

Thấp, Trung bình, Cao

**H.3 Đánh giá theo sự thay đổi điều kiện**

Sự thay đổi hệ thống dọc tuyến

Có, Không

Sự thay đổi hệ thống giữa các làn xe

Có, Không

Sự thay đổi cục bộ vùng đất rất tồi theo tuyến

Có, Không

**H.4 Đánh giá ảnh hưởng của khí hậu**

Vùng khí hậu

Vùng ẩm ướt

I ẩm ướt suốt năm

II ẩm ướt theo mùa

III Độ ẩm rất thấp

Sự hư hại nghiêm trọng do độ ẩm tăng lên

Thấp, Trung bình, Cao

Miêu tả (bóc nhựa, phụt nước)

Khả năng thoát nước của lớp dưới - móng trên

Tốt, ở trạng thái giới hạn, Không chấp nhận

Khả năng thoát nước của nền đường

Tốt, ở trạng thái giới hạn, Không chấp nhận

Khả năng thoát nước của lớp mặt

Chấp nhận, Cần thiết phải cải tạo

Miêu tả

#### **H.5 Đánh giá vật liệu áo đường**

Điều kiện lớp mặt tốt, Phá hỏng

Miêu tả

Điều kiện lớp móng trên tốt, Phá hỏng

Miêu tả

Điều kiện lớp móng dưới tốt, Phá hỏng

Miêu tả

#### **H.6 Đánh giá lớp đất nền đường (Lớp nền thượng)**

Sự chịu tải của kết cấu

Thấp, Trung bình, Cao

Khả năng bị mềm yếu khi ẩm

Thấp, Trung bình, Cao

Khả năng bị trương nở

Có, Không

#### **H.7 Đánh giá sự thực hiện bảo dưỡng áo đường trước đó**

Nhỏ, vừa, lớn

Thiếu sự duy tu dẫn đến phá hỏng

Có, không

Miêu tả

**H.8 Đánh giá tỷ lệ hư hỏng**

Dài hạn

Thấp, Bình thường, Cao

Ngắn hạn

Thấp, Bình thường, Cao

**H.9 Điều khiển giao thông trong thời hạn xây dựng**

Có sẵn các đường tránh để có thể đóng cửa các làn xe được hay không?

Có, Không

Có phải thi công khi xe cộ vẫn đang lưu hành không?

Có, Không

Có thể thi công ở những giờ không phải là cao điểm hay không?

Miêu tả

**H.10 Yếu tố hình học và an toàn**

Năng lực hiện tại

Đủ, không đủ

Năng lực trong tương lai

Đủ, không đủ

Yêu cầu mở rộng hiện nay

Có, Không

Thống kê các vị trí hay xảy ra tai nạn

Vấn đề tĩnh không của cầu

Những vấn đề về chướng ngại vật dọc hai bên đường

Những vấn đề về các công trình công cộng

Các vấn đề cấp thiết về cầu

**H.11 Xe và tải trọng**

ADT (Hai chiều) là lưu lượng xe trung bình ngày

AADT (Hai chiều) là lưu lượng xe ngày theo trung bình năm

Số lượng tích lũy tải trọng trục xe tương đương 80 kN/ESAL's/năm

Tải trọng trục xe tương đương hiện tại 80 kN/ESAL's/năm

#### **H.12 Lê đường**

Điều kiện mặt đường của lê

Tốt, trung bình, xấu

Các diện tích phá hỏng cục bộ

Có, không

## Phụ lục I

(Quy định)

### Hướng dẫn thu thập số liệu hiện trường cho công tác cải tạo áo đường

#### I.1 Đơn vị phân tích cơ bản

##### Giới thiệu chung

Khi xem xét một dự án cải tạo áo đường quy mô lớn, người ta sẽ tiến hành những hoạt động đo đạc trên áo đường để thu thập các kết quả đo đạc, các điểm liên tục/không liên tục, để đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu của áo đường. Những tham biến đặc trưng của áo đường là độ võng, chỉ số phục vụ, hệ số ma sát, các chỉ số về thực trạng áo đường, hoặc từng sự cố hư hỏng riêng như phần trăm nứt, chiều sâu vết lún...

Hình I.1 minh họa đồ thị điển hình của một biến số đặc trưng của áo đường - một hàm của khoảng cách dọc theo một đoạn đường. Qua những kết quả đo đạc một phần ứng của áo đường chúng ta sẽ thấy từ địa điểm này đến địa điểm khác có sự thay đổi, tại một số điểm có những thay đổi lớn. Tại những điểm có thay đổi lớn này, phản ứng chung của từng đoạn áo đường ở hai phía sẽ rất khác nhau, như chỉ rõ trong hình vẽ.

Những chênh lệch xảy ra khi đo đạc một áo đường có thể là do hai nguyên nhân chính. Trước hết đó là do “Sự biến đổi giữa các đơn vị” và nó phản ánh một hiện tượng là trong một dự án cải tạo đã cho, có thể tồn tại nhiều đơn vị (đoạn) đồng nhất theo tính chất thống kê. Khả năng có thể phân định ranh giới chung giữa những đơn vị này có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong công tác cải tạo áo đường vì những đơn vị này sẽ tạo thành cơ sở cho quá trình phân tích cụ thể sẽ tiến hành. Ví dụ, đối với những phản ứng khác nhau thể hiện trong Hình I.1, có thể tiến hành 4 nghiên cứu riêng biệt về cải tạo áo đường, (ví dụ, có 4 độ dày thiết kế lớp phủ riêng biệt).

Nguồn chênh lệch khác nữa là sự đa dạng tất yếu của biến số đặc trưng ngay trong phạm vi mỗi đơn vị, có thể gọi là “Sự biến đổi trong nội tại đơn vị” rất quan trọng vì nó liên quan đến độ tin cậy thiết kế cải tạo áo đường cuối cùng đạt được trong một dự án.

Việc đánh giá đúng đắn sự chênh lệch biến đổi giữa các đơn vị và trong phạm vi mỗi đơn vị có một tác động tích cực đối với thiết kế cải tạo áo đường. Nếu không quan tâm đến việc phân định các đơn vị và những biến đổi nội bộ của chúng sẽ xảy ra sự kém hiệu quả trầm trọng ở các giải pháp cải tạo áo đường: mỗi đơn vị sẽ bị thiết kế thiếu (hư hỏng sẽ xảy ra sớm hơn) hoặc thiết kế quá thừa (sử dụng vật liệu không đạt hiệu quả kinh tế).

#### I.2 Các phương pháp xác định đơn vị (đoạn)

##### I.2.1 Phương pháp lý tưởng hóa

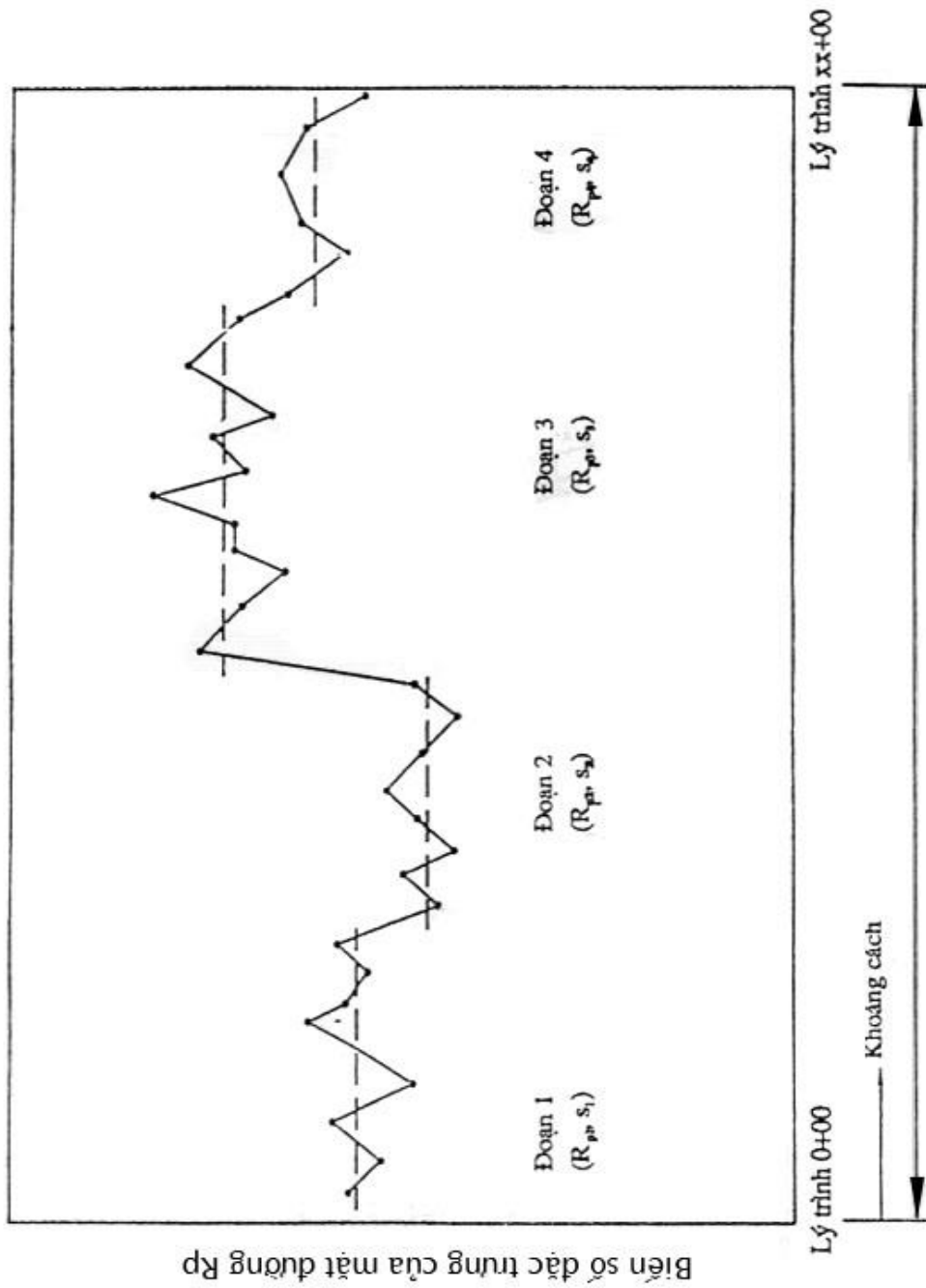


Để phân đoạn trên một chiều dài của áo đường, người kỹ sư cần tách rời từng yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phục vụ của áo đường. Những yếu tố đó là:

- Loại mặt đường
- Quá trình (lịch sử) xây dựng, (bao gồm cả cải tạo và đại tu)
- Trắc ngang của áo đường (loại vật liệu sử dụng trong các lớp/chiều dày của lớp)
- Lớp nền
- Lượng giao thông
- Thực trạng áo đường
- Số tay thu thập số liệu tại hiện trường

Trong điều kiện lý tưởng, người kỹ sư sẽ sử dụng ngân hàng dữ liệu về áo đường để đánh giá những yếu tố này. Hình 1.2 minh họa về phương pháp sử dụng thông tin này để xác định các đơn vị phân tích, được xác định bằng sự kết hợp độc đáo giữa những yếu tố về khả năng phục vụ của áo đường.

Khi phân định các đơn vị phân tích, yếu tố đánh giá khó khăn nhất là yếu tố về nền đường. Có thể hồ sơ lưu trữ cho thấy lớp đất nền hoàn toàn đồng nhất nhưng những hoạt động đào đắp, đất, những quá trình đầm nén khác nhau, công tác thoát nước, các vị trí địa hình, và các vị trí nước mặt sẽ làm thay đổi cường độ của các lớp nền ngay cả khi trên “cùng một loại đất như nhau”.

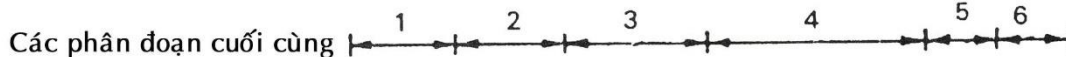
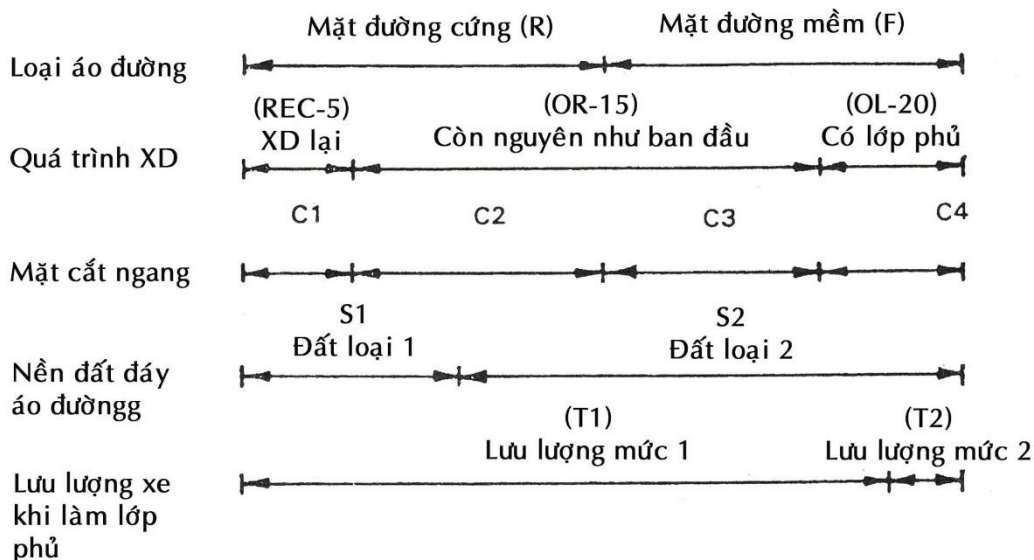


Hình I.1 – Biến đổi đặc trưng điển hình của áo đường theo chiều dài, (vẽ cho một dự án cụ thể)

Chiều dài dự án

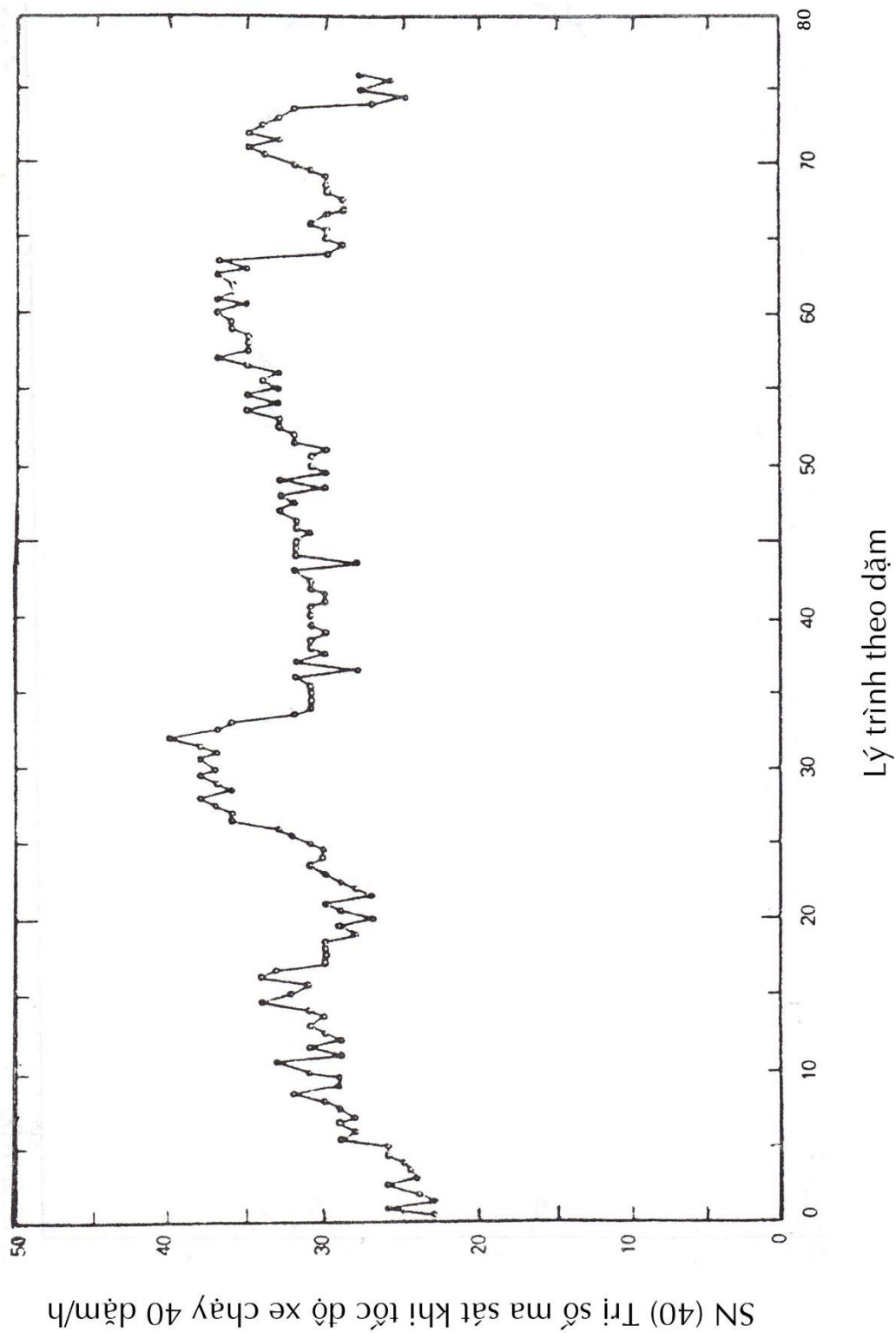


Các yếu tố

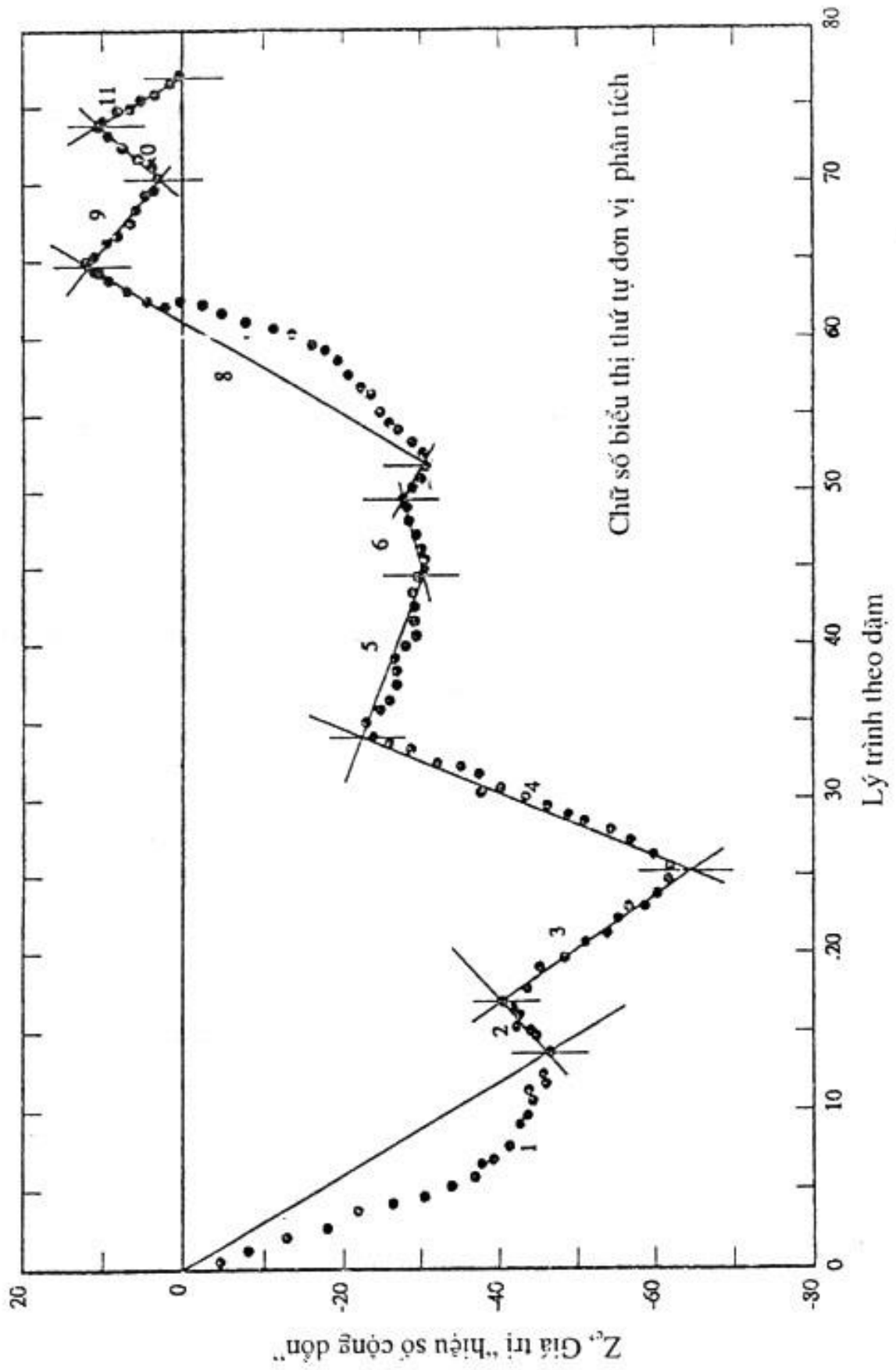


Đoạn được sắp xếp theo thứ tự số	1	2	3	4	5	6
Loại áo đường	R	R	R	F	F	F
Quá trình XD	REC-5	OR-15	OR-15	OR-15	OL-20	OL-20
Mặt cắt ngang	C1	C2	C2	C3	C4	C4
Nền đất đáy áo đường	S1	S1	S2	S2	S2	S2
Lưu lượng xe khi làm lớp phủ	T1	T1	T1	T1	T1	T2

Hình I.2 – Phương pháp lý tưởng hóa dùng cho việc mô tả đơn vị phân tích



Hình I.3 – Kết quả đo độ ma sát FN (40) theo khoảng cách dọc theo dự án



Hình I.4 – Cách phân định các đơn vị (đoạn) phân tích bằng phương pháp "Hiệu số cộng dồn"

## 1.2.2 Phương pháp đo biến số đặc trưng của áo đường

Thông thường, kỹ sư không thể xác định chính xác mức độ có tính thực tế của những yếu tố về khả năng phục vụ của áo đường và phải căn cứ vào quá trình phân tích về một biến số đặc trưng của áo đường đo đạc được (ví dụ, độ võng, hệ số ma sát...) để phân định đơn vị. Người thiết kế phải triển khai vẽ biểu đồ của biến số đặc trưng đã đo được như là một hàm của khoảng cách dọc theo dự án. Công tác này có thể làm theo phương pháp thủ công hoặc trên các hệ thống đồ họa phân tích dữ liệu bằng máy tính.

Để minh họa cho giải pháp này, Hình 1.3 là một biểu đồ về kết quả các hệ số ma sát, FN (40), theo từng lý trình dọc theo một hệ thống đường bộ cụ thể có thể dùng ví dụ minh họa này sử dụng độ võng như là biến số đặc trưng của áo đường, vì trình tự này sẽ như nhau cho bất kỳ biến số đặc trưng nào của áo đường được lựa chọn (ví dụ, điều kiện áo đường, khả năng phục vụ, chiều sâu lún, hệ số ma sát, độ võng...)

Khi đã đưa ra biểu đồ của một biến số đặc trưng của áo đường. có thể sử dụng nó để phân định các đơn vị theo nhiều phương pháp khác nhau. Trình tự phương pháp được đề xuất gọi là "Hiệu số cộng dồn". Trình tự phân tích này dễ dàng đáp ứng được cho việc đánh giá bằng máy tính, dựa vào nguyên tắc toán học đơn giản là khi biến số  $Z_c$  (được xác định bằng hiệu số giữa diện tích nằm dưới đường cong đo biến số đặc trưng tại bất kỳ khoảng cách nào và tổng diện tích được tính từ đường trung bình của biến số đặc trưng của toàn bộ tuyến đường thiết kế, tại cùng khoảng cách đó) được vẽ thành biểu đồ như là một hàm của khoảng cách dọc theo tuyến đường, thì các ranh giới (các biên) của đơn vị (đoạn) sẽ xảy ra tại vị trí mà các độ dốc của biểu đồ ( $Z_c$  đối với  $X$ ) thay đổi dấu. Hình 1.4 là một biểu đồ của biến số "Hiệu số cộng dồn"  $Z_c$  theo các số liệu trong Hình 1.3. Với ví dụ này, 11 đơn vị (đoạn) phân tích sơ bộ đã được xác định. Sau đó, Kỹ sư phải đánh giá chiều dài của từng đơn vị để xác định có nên kết hợp hai hay nhiều đơn vị khi xem xét những vấn đề thực tế trong xây dựng và các lý do kinh tế. Việc kết hợp những đơn vị này có thể thực hiện liên quan đến độ nhạy cảm của các giá trị trung bình của biến số đặc trưng cho từng đơn vị theo khả năng phục vụ của những thiết kế về cải tạo áo đường trong tương lai (xem cách phân tích các phân đoạn theo phương pháp hiệu số cộng dồn ở TCVN 8867:2011).

## 1.3 Khảo sát hệ thống thoát nước trong cải tạo áo đường

### 1.3.1 Vai trò của hệ thống thoát nước trong cải tạo áo đường

Những hư hại trên áo đường thường là do độ ẩm gây ra hoặc độ ẩm làm tăng nhanh hư hại trong kết cấu áo đường. Khi thiết kế cải tạo áo đường, Kỹ sư phải điều tra nghiên cứu vai trò của công tác cải tạo hệ thống thoát nước trong việc sửa chữa sự xuống cấp của áo đường. Những sự cố trên mặt đường mềm do độ ẩm bao gồm hiện tượng bong bật, lún, lồi lõm, nứt mối, và ổ gà.

### 1.3.2 Hồ sơ về áo đường, địa hình, hình học

Bước đầu tiên trong đánh giá áo đường là kiểm tra hồ sơ xây dựng. Ví dụ, thiết kế ban đầu dựa trên những điều kiện gì. Sau đó phải tiếp tục kiểm tra số liệu đã thu thập trước đây về hệ thống thoát nước, các trắc ngang và trắc dọc của áo đường như sau:

- Độ dốc dọc
- Độ dốc ngang
- Chiều rộng các lớp áo đường
- Chiều dày các lớp
- Chiều sâu đào, chiều cao đắp
- Mái dốc và các loại công trình phụ trợ trên áo đường (rãnh, cống.)
- Hệ thống thoát nước dưới mặt đường tại hiện trường.

Nếu áo đường hình thành các hư hỏng liên quan đến độ ẩm, điều đó chứng tỏ rằng hệ thống thoát nước ban đầu không đáp ứng được những yêu cầu hiện nay của áo đường. Việc đánh giá hệ thống thoát nước sẽ bộc lộ cho người kỹ sư nhận thấy hệ thống thoát nước hiện tại chỉ cần sửa chữa và bảo dưỡng, hay cần phải bổ sung thêm một số công trình phụ trợ. Bước tiếp theo là xem xét bản đồ địa hình của những công trình phụ trợ ảnh hưởng đến chuyển động của nước dưới mặt đường và nước trên mặt đường trong khu vực dự án. Liệu ở phía nào cao hơn mặt đường có hồ, suối, hoặc những vùng ẩm ướt theo mùa hay không.

Việc đánh giá hệ thống thoát nước đòi hỏi phải điều tra những vấn đề tại công trình, tốt hơn là trong mùa mưa. Sau đây là một trong số những câu hỏi để phỏng vấn khi thực hiện điều tra hiện trường:

- Nước chảy ở đâu và chảy như thế nào qua mặt đường?
- Nước tập trung ở những vị trí nào trên mặt đường và gần mặt đường?
- Mực nước trong các rãnh là bao nhiêu?
- Những khe nối và các vết nứt có nước hay không?
- Nước có đọng thành vũng trên lề đường không?
- Có loại cây cỏ ưa nước nào sinh sôi nảy nở dọc theo lề đường không?
- Bên mép đường có quan sát thấy loại vật liệu mịn nào đọng lại hay hiện tượng phụt nước nào không?
- Nước chảy vào có mảnh vỡ, vôi vữa hay có hiện tượng lắng đọng không?
- Các mối nối và vết nứt có được gắn kín không?

Việc khảo sát hiện trường cũng phải bao gồm việc thanh tra để xác định xem những công trình phụ trợ cho hệ thống thoát nước trong thiết kế ban đầu trên thực tế có được xây dựng không. Không được đưa ra những giả định về vấn đề này, vì thiết kế đôi khi cũng thay đổi. Phải tìm kiếm những số liệu về công tác bảo dưỡng tại chỗ, và điều tra về những trình tự dọn sạch hệ thống thoát nước đã lập kế hoạch.

### I.3.3 Các đặc tính của vật liệu

Việc xác định những đặc tính của vật liệu cần khảo sát sẽ phụ thuộc vào 2 yếu tố: loại hư hại của áo đường do độ ẩm gây ra và các lớp của áo đường xảy ra hư hại. Bảng I.1 liệt kê một số đặc tính của vật liệu có thể cần phải khảo sát cho từng lớp một trong 3 lớp – nền, lớp cấp phối đá, mặt đường.

Nếu có thể, phải kết hợp giữa việc thu thập số liệu về vật liệu và việc đánh giá tổng thể về dự án. Ví dụ, nếu phải khoan lấy mẫu để xác định chiều dày của lớp, có thể lấy mẫu đất nền đồng thời với việc thử nghiệm về thoát nước. Theo phương pháp này, chi phí đánh giá sẽ được hạn chế đến mức tối thiểu.



**Bảng I.1 – Các đặc tính của vật liệu liên quan đến những sự cố thoát nước trên mặt đường**

Nền đường	Phân loại chung	Thành phần hạt	
	Mối liên hệ giữa khối lượng và thể tích	Phân loại đất	
		Dung trọng khô tối ưu trong phòng thí nghiệm	
		Độ ẩm tối ưu trong phòng thí nghiệm	
		Dung trọng khô tại hiện trường	
		Độ ẩm tại hiện trường	
		Những đặc điểm liên quan đến thoát nước	Độ thấm
	Độ rỗng hữu hiệu		
	Mao dẫn		
Các lớp dạng hạt	Phân loại chung	Thành phần hạt	
		% thành phần hạt mịn	
		Giới hạn Attenberg	
		Phân loại	
		Hàm lượng độ ẩm tối ưu trong phòng thí nghiệm	
		Dung trọng khô tại chỗ	
		Hàm lượng độ ẩm tại chỗ	
	Những đặc điểm liên quan đến thoát nước	Độ thấm	
		Độ rỗng hữu hiệu	
		Mao dẫn	
	Bề mặt	Cấp phối	Bong bột
			Phản ứng của cốt liệu hạt

Tóm lại, chỉ khi nào người kỹ sư xác định được sự cố của áo đường do độ ẩm gây ra và tìm hiểu được quá trình phát triển của những sự cố này, thì kỹ sư mới có thể thiết kế những phương án cải tạo áo

đường để khắc phục những sự cố này và ngăn chặn những sự cố đó tái diễn. Để tăng giá trị kinh tế cho quá trình thoát nước, phải tập trung mọi nỗ lực để triển khai những giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước thích hợp với những giải pháp đang được xem xét để sửa chữa những hư hỏng khác trên áo đường hiện tại.

## **1.4 Khảo sát thực trạng của áo đường**

### **1.4.1 Giới thiệu chung**

Những khảo sát chính xác về thực trạng áo đường để đánh giá những hư hỏng trên áo đường có ý nghĩa rất quan trọng để thực hiện thành công một phương pháp cải tạo áo đường. Những kết quả khảo sát thực trạng hư hỏng cùng với những kết quả về khả năng phục vụ, hệ thống thoát nước và những khảo sát đánh giá về kết cấu cung cấp những thông tin cần thiết cho người kỹ sư thiết lập một giải pháp hiệu quả cải tạo áo đường. Như vậy, trước khi tiến hành bất kỳ công tác thiết kế cải tạo nào, nhất thiết phải thực hiện những hoạt động khảo sát sâu rộng.

Nên kết hợp toàn bộ những số liệu lưu trữ về tình trạng hư hại của áo đường thành một “chỉ số tình trạng mặt đường PCI” – chỉ số này đánh giá tình trạng chung của áo đường và có thể cho thấy cần thực hiện công tác bảo dưỡng nào. Chính công việc này sẽ là một phương tiện kỹ thuật bổ sung đắc lực trong việc hoạch định cải tạo áo đường nói chung ở mức độ cấp dự án và mức độ mạng lưới.

### **1.4.2 Các loại hư hỏng của áo đường**

Khi tiến hành khảo sát tình trạng mặt đường, cần có một số thông tin tối thiểu để giúp người kỹ sư đưa ra những quyết định quan trọng về những yêu cầu và những giải pháp cải tạo áo đường. Những thông tin đó là:

- Loại hư hỏng - xác định loại hư hỏng hiện đang xảy ra trong áo đường. Dạng hư hỏng cần được phân loại tùy theo các cơ chế phát sinh của chúng.
- Mức độ nghiêm trọng của hư hại: Ghi mức độ nghiêm trọng của mỗi loại hư hỏng và đánh giá mức độ xuống cấp.
- Số lượng hư hỏng - xác định tỷ lệ diện tích (chiếm bao nhiêu % trong dự án) bị ảnh hưởng của mỗi loại hư hỏng và mức độ nghiêm trọng.

Như đã trình bày trong phần trước, không phải toàn bộ những hư hỏng áo đường đều xuất phát từ những cơ chế kết cấu; những yếu tố như khí hậu, chất lượng xây dựng có thể cũng tác động tương hỗ theo chiều hướng phức tạp gây ra những hư hại trên mặt đường. Hơn nữa, nhiều hư hỏng của áo đường có thể xuất phát từ nhiều cơ chế khác nhau. Bảng 1.2. Phân loại hư hỏng áo đường mềm theo nguyên nhân.

Bảng I.2 – Phân loại chung các loại hư hỏng trên mặt đường nhựa

Loại hư hỏng	Nguyên nhân gây ra do xe cộ là chính	Nguyên nhân gây ra do thời tiết/vật liệu là chính
1. Nứt thành lưới hay nứt do mỏi	X	X
2. Chảy nhựa		X
3. Nứt khối		X
4. Mặt đường gợn sóng		X
5. Mặt đường bị lún		X
6. Nứt phản ảnh tại các khe nối từ các tấm PCC		X
7. Làn xe/Vai đường bị thụt xuống hoặc bị đội lên		X
8. Làn xe/Vai đường bị tách ra		X
9. Vết nứt dọc và ngang		X
10. Các miếng vá bị hư hỏng	X	
11. Vật liệu đá bị mài nhẵn	X	
12. Các ổ gà	X	
13. Hiện tượng phụt nước và rỉ nước	X (mức độ vừa, nặng)	X (mức độ nhẹ)
14. Bong bật và phong hoá		X
15. Vết hàn bánh xe	X	
16. Nứt trượt		X
17. Trương nở		X

### I.4.3 Đánh giá khả năng chịu lực hữu hiệu của kết cấu áo đường – thí nghiệm không phá hỏng (NDT)

Để đánh giá khả năng chịu lực hiệu quả của kết cấu áo đường  $SN_{eff}$ , cần sử dụng thiết bị FWD và những kết quả đo đạc của chậu vống.

Thiết bị FWD dùng để xác định các khu vực áo đường bị yếu. Ví dụ, các mặt đường bị nứt thì độ vống sẽ tăng lên, do đó các mô đun lớp dự đoán sẽ kém hơn và/hoặc khả năng chịu tải trọng của mặt đường sẽ bị giảm tương ứng. Tương tự như vậy, độ ẩm tăng lên sẽ làm thay đổi phản ứng đo qua chậu vống của mặt đường và như vậy sẽ ảnh hưởng đến những phản ứng của vật liệu tại chỗ/vật liệu đã sử dụng trong xây dựng. Tóm lại, phân tích bằng chậu vống là một kỹ thuật để đưa ra những dự đoán chính xác nhất về những đặc tính lớp vật liệu tại chỗ trên thực tế, chính những đặc tính này sẽ quyết định khả năng chịu lực của kết cấu tổng thể của áo đường.

Trình tự thử nghiệm đo vống và xác định  $SN_{eff}$  đã được giới thiệu chi tiết ở Phụ lục D.

- Thiết bị FWD xác định được độ vống của áo đường và cường độ của vật liệu tại chỗ (mô đun, cường độ).
- Để xác định độ dày của các lớp và loại vật liệu trong lớp, cần phải tiến hành một số thí nghiệm phá hoại (khoan, đào).

Trong khi các thông tin trong hồ sơ lưu trữ có thể sẵn có, tầm quan trọng đặc biệt và độ nhạy cảm của thông số này đòi hỏi phải sử dụng thí nghiệm phá huỷ để kiểm tra/điều chỉnh nguồn thông tin lưu trữ. Riêng loại vật liệu của lớp có thể được xác định từ các thông tin của hồ sơ áo đường trừ phi có hoàn cảnh đặc biệt chế ngự. Một số lượng hạn chế những mẫu được lấy tại những địa điểm chọn một cách ngẫu nhiên có thể được sử dụng để kiểm chứng nguồn thông tin lưu trữ.

Tóm lại, khi thí nghiệm không phá hoại NDT chiếm ưu thế hơn thí nghiệm phá huỷ, một chương trình thí nghiệm hiện trường toàn diện về mặt kỹ thuật nên bao gồm một chương trình thí nghiệm phá huỷ bổ sung để đảm bảo độ chính xác cho những thông tin thu thập được. Hệ thống kiểm tra hai lần này đảm bảo rằng những số liệu không chính xác sẽ không được sử dụng trong thiết kế cải tạo áo đường.

## Phụ lục K

(Tham khảo)

### Các phương pháp cải tạo không dùng lớp phủ

Có thể áp dụng nhiều kỹ thuật cải tạo áo đường khác nhau để kéo dài tuổi thọ áo đường mà không cần sử dụng lớp phủ. Một số trong số các kỹ thuật này có thể ứng dụng trước khi rải lớp phủ. Việc sử dụng các kỹ thuật này thường là một giải pháp chi phí có hiệu quả (trong khuôn khổ chi phí chu trình tuổi thọ), và làm chậm lại việc thay thế lớp phủ tốn kém, việc tái chế hoặc làm chậm lại quá trình xây dựng lại trong vòng vài năm. Khi đánh giá tính khả thi và hiệu quả ứng dụng các phương pháp cải tạo này cần phải cân nhắc một vài yếu tố như tình trạng hư hỏng bề mặt, tình trạng kết cấu và tình trạng thuộc về chức năng của áo đường hiện tại. Phụ lục này nói về nền tảng và các phương pháp luận liên quan đến giải pháp cải tạo không dùng lớp phủ.

#### K.1 Đánh giá tình trạng áo đường

Đánh giá tình trạng áo đường gồm việc xem xét các vấn đề cụ thể đang tồn tại trong áo đường. Điều này đòi hỏi phải xác định các loại và các nguyên nhân gây ra tình trạng hư hỏng cũng như mức độ xuống cấp của áo đường.

##### K.1.1 Hư hỏng bề mặt

Những loại hư hỏng thể hiện rất cơ bản và rõ ràng tình trạng áo đường hiện tại. Mỗi loại hư hỏng là hậu quả của một hay nhiều nguyên nhân, mà khi đã phát hiện ra, nó sẽ chỉ rõ phương pháp cải tạo nào là cần thiết. Như liệt kê dưới đây, những số liệu về tình trạng hư hỏng sẽ rất có ích cho việc lựa chọn những giải pháp cải tạo không dùng lớp phủ.

- (1) Trong các kế hoạch và các dự toán, phải xác định và dự tính khối lượng cho những loại hư hỏng ở mức độ vừa hoặc nghiêm trọng cần phải sửa chữa.
- (2) Việc kiểm tra toàn bộ số liệu đã thu thập về tình trạng hư hỏng sẽ cho biết tình trạng áo đường trong một dự án có khác biệt nhiều hay không. Sau đó có thể điều chỉnh công tác sửa chữa cho phù hợp với từng tình trạng áo đường cụ thể nhằm giảm thiểu các chi phí.
- (3) Các kết quả khảo sát tình trạng hư hỏng có thể cho biết những thí nghiệm nào cần được bổ sung để thu thập được các số liệu đủ cho công tác thiết kế.

Các số liệu về tình trạng hư hại của áo đường sẽ rất hữu ích để tìm ra cơ chế sự xuống cấp của áo đường. Có thể phân loại tình trạng hư hại của áo đường thành loại hư hỏng do tải trọng và hư hỏng không do tải trọng, bao gồm công tác thiết kế, thi công, vật liệu kém bền và yếu tố khí hậu. Những hiểu biết này giúp cho người kỹ sư xác định được kỹ thuật cải tạo thích hợp.

### K.1.2 Tình trạng thuộc về kết cấu

Lĩnh vực liên quan nhiều nhất đến tính khả thi của phương pháp cải tạo không dùng lớp phủ là tính thích hợp về mặt kết cấu của áo đường. Chỉ những áo đường tương thích về mặt kết cấu hoặc áo đường được khôi phục lại trong tình trạng tương thích về kết cấu, mới đủ tiêu chuẩn sử dụng phương pháp cải tạo không dùng lớp phủ. Việc đánh giá kết cấu phải chỉ rõ liệu áo đường có thể chịu được hay không tải trọng xe tương lai trong suốt tuổi thọ thiết kế mà không sử dụng lớp phủ để cải thiện kết cấu.

Các loại hư hỏng hiện tại là một nguồn thông tin tốt để đánh giá ảnh hưởng của tải trọng xe lên mặt đường trong thời gian qua. Nếu đó là một hư hỏng nặng do tải trọng xe gây ra, thì phải xem xét lại tính tương thích của kết cấu của áo đường hiện tại. Trên các đường nhiều làn xe, sự khác biệt về mức độ hư hại khác nhau giữa các làn xe bên trong và các làn xe bên ngoài chính là một bằng chứng cho thấy tác động của xe tải đối với tính tương thích kết cấu của áo đường. Kết cấu là tương thích nếu chịu được tải trọng xe trong thời gian đã qua và trong tương lai. Khi sử dụng phương pháp này, phải xác định được những đặc tính của áo đường hiện tại; không thể giả thiết rằng chúng tương đương với các đặc tính ban đầu của áo đường tại thời điểm đang thi công. Các trình tự thử nghiệm không phá hủy – NDT trình bày trong tiêu chuẩn này đã đưa ra những hướng dẫn để ước tính tuổi thọ kết cấu còn lại của mặt đường.

### K.1.3 Tình trạng thuộc về chức năng

Tình trạng thuộc về chức năng của áo đường thể hiện khả năng phục vụ người sử dụng áo đường, và các chỉ số chính sẽ gồm:

- Độ gồ ghề,
- Sự chống trượt/trượt do màng nước,
- Về bề ngoài của mặt đường, và
- Các vấn đề khác về an toàn.

Để đánh giá đầy đủ tình trạng thuộc về chức năng của áo đường cần phải đo độ gồ ghề và khả năng chống trượt ở mỗi làn xe trong dự án. Khi thiết kế phương án cải tạo phải chú trọng đặc biệt đến những đoạn đường quá gồ ghề và/hoặc khả năng chống trượt kém.

Việc đánh giá tổng thể áo đường nên lưu ý nhưng yếu tố được trình bày trong Hình K.1.

CÁC SỐ LIỆU YÊU CẦU	SỬA CHỮA TOÀN BỘ CHIỀU DÀY	VÁ MỘT PHẦN CHIỀU DÀY	MÀI	TÁI SINH	LÁNG NHIỆ	THOÁT NƯỚC ĐUÔI AƠ ĐƯỜNG	GAN LẠI MỖI NƠI	XỬ LÝ BỀ MẶT	LỚP PHỦ
THIẾT KẾ MẶT ĐƯỜNG	•	•	•	•	•	•	•	•	•
SỐ LIỆU XÂY DỰNG GỐC	□		□	□		□	□		□
TUỔI	□	□	□	□		□		□	□
TÍNH CHẤT VẬT LIỆU	•	□	□	•	□	□			•
NÉN ĐƯỜNG				•	□	•	□		•
KHÍ HẬU				□	□	□	□	•	□
TẢI TRỌNG VÀ LƯU LƯỢNG XE *			•	•	□	•	□	•	•
HỤ HỒNG	•	•	•	•	•	•	•	•	•
NDT	□			□	•			□	•
THỬ NGHIỆM PHẢ HOAI VÀ LẤY MẪU	•		□	•	□				•
ĐỘ NHIÂM			□	□					
CÁT ĐỌC BỀ MẶT			•						□
THOÁT NƯỚC	•		□	•	□	•	•	□	•
DUY TU TRƯỚC ĐÓ	•		□	□		□	□	□	□
CẤU BỊ ĐẦY XỎ									
CÁC CÔNG TRÌNH PHỤ TRỢ	•			•	□	□			•
CÁC GIAI PHÁP KIỂM SOÁT GIAO THÔNG	•	•	•	•	•	•	•	•	•
TÍNH KHÔNG THEO CHIỀU ĐÚNG				•					□
HÌNH HỌC TUYẾN				□					□

CHỦ THÍCH    ♦    RẤT CẦN CÓ    □    MONG MUỐN (NÊN CÓ)

Hình K.1 – Các số liệu yêu cầu cho các kỹ thuật cải tạo khác nhau

## K.2 Việc triển khai các phương án và các giải pháp khả thi

Một phương án khả thi là phương án có thể giải quyết được vừa nguyên nhân gây hư hỏng lại vừa đạt hiệu quả trong sửa chữa hư hỏng và ngăn ngừa sự tái diễn những hư hỏng này, trong khi vẫn đáp ứng được các ràng buộc của dự án.

Bảng K.1 đưa ra những kiến nghị cụ thể trong việc lựa chọn các phương pháp đề xuất để sửa chữa hư hỏng và ngăn ngừa sự tái diễn những hư hỏng đó. Với mỗi loại hư hỏng có thể áp dụng một hoặc nhiều phương pháp sửa chữa và/hoặc bảo dưỡng. Nếu phương pháp sửa chữa và bảo dưỡng nào thỏa mãn được các yêu cầu của áo đường và đáp ứng được các khống chế bắt buộc (chẳng hạn nguồn vốn có sẵn và khả năng kéo dài tuổi thọ tối thiểu), thì những phương pháp đó đủ tiêu chuẩn để chọn làm phương án cải tạo khả thi.

Để sử dụng có hiệu quả nhất nguồn vốn hạn hẹp sẵn có, người kỹ sư phải lựa chọn cho dự án phương án có chi phí hiệu quả nhất. Bảng sau đây đưa ra một ví dụ minh họa thông qua việc lựa chọn phương pháp cải tạo đối với áo đường mềm hiện đang bị hư hỏng.

**Bảng K.1 – Lựa chọn phương pháp cải tạo đối với áo đường mềm**

Hư hỏng hiện tại	Phương pháp sửa chữa kiến nghị	Biện pháp phòng ngừa kiến nghị
Vết nứt ngang	Vá đủ chiều sâu	Hàn gắn khe nối
Bong tróc	Láng nhựa	Làm "trẻ hóa" lại lớp láng mặt
		Láng dạng sương
Vết hằn bánh xe	Nghiền nguội các vết lún Rải vữa nhựa/vữa nhựa polime	Không có

Đối với mỗi loại hư hỏng của áo đường phải chọn một phương pháp sửa chữa và một hay nhiều phương pháp phòng ngừa thích hợp. Nếu chỉ tiến hành sửa chữa thì khi mặt đường được thông xe, cơ chế gây ra hư hỏng sẽ ngay lập tức bắt đầu phá hủy. Sau khi mỗi loại hư hỏng được xử lý bằng một phương pháp sửa chữa thích hợp, phải sử dụng một hay nhiều phương pháp ngăn ngừa nhằm đưa ra một thiết kế có hiệu quả về mặt giá thành.

Nhiều dự án thể hiện nhiều loại hư hại áo đường khác nhau, vì vậy, cần phải áp dụng kết hợp nhiều phương pháp sửa chữa và ngăn ngừa khác nhau. Nhiều phương pháp kết hợp giữa bảo dưỡng và sửa chữa thường xuyên được sử dụng để phục hồi tình trạng mặt đường bị xuống cấp về trạng thái phục vụ tốt trong một thời gian dài. Phải đánh giá hiệu quả chi phí của mỗi phương án và quyết định lựa chọn cuối cùng sẽ dành cho phương án có hiệu quả cao nhất về mặt giá thành.

## K.3 Các phương pháp cải tạo chính không dùng lớp phủ

Các phương pháp cải tạo chính sau đây có thể sử dụng làm các giải pháp kỹ thuật không dùng lớp phủ:

- (1) Công tác sửa chữa toàn bộ chiều sâu bị hư hại



- (2) Vá đến chiều sâu bị hỏng
- (3) Trám vết nứt
- (4) Láng và vá cục bộ
- (5) Cào nghiền áo đường
- (6) Thoát nước dưới áo đường
- (7) Xử lý bề mặt

### **K.3.1 Công tác sửa chữa toàn bộ chiều sâu bị hư hỏng**

Công tác sửa chữa toàn bộ chiều sâu có thể sử dụng cho tất cả các loại áo đường và là hạng mục tiêu biểu cần chi phí lớn trong một dự án cải tạo đường.

Bước đầu tiên trong quá trình sửa chữa là xác định vị trí và các ranh giới. Phải xác định được những khu vực bị hư hỏng cụ thể cần sửa chữa và các ranh giới. Phải xác định được những khu vực lớn bị hư hỏng nặng để đào bỏ hết và thay thế.

Có 2 loại hỗn hợp nhựa chính dùng để vá, đó là: (a) hỗn hợp trộn và lu lèn khi hỗn hợp còn nóng, và (b) hỗn hợp trộn sau đó lưu giữ một thời gian trước khi sử dụng hỗn hợp rải nguội.

Vá sửa bằng nhựa không chỉ dùng để sửa chữa cục bộ (chẳng hạn như vá ổ gà). Các đoạn lớn trên mặt đường mềm có thể nảy sinh các vết nứt mới, điều đó thể hiện cường độ kết cấu không thích hợp. Nếu những đoạn này không được vá sửa đúng thì bất cứ biện pháp rải lại bề mặt nào đều sẽ chỉ lãng phí tiền bạc mà thôi, bởi vì lớp phủ sẽ nhanh chóng bị hư hỏng tại những đoạn này.

### **K.3.2 Trám lại vết nứt và khe nối**

Công tác trám và trám lại các vết nứt và khe nối trên mặt đường bê tông nhựa là một phần quan trọng trong công tác cải tạo đường, tuy nhiên lại thường không được xem xét một cách thích đáng. Nếu trám khe nối và các vết nứt tốt sẽ có thể kéo dài quá trình phục vụ và tuổi thọ mặt đường. Những lợi ích này gồm:

- (1) loại bỏ các vật cứng (lọt vào khe nứt) và ngăn ngừa sự xâm nhập tiếp theo, và
- (2) giảm sự xâm nhập của nước và những hoá chất có thể chảy theo vào trong khe nối hoặc vết nứt.

Các chỗ hư hỏng, cần trám lại, thường là:

- các mối nối dọc theo làn xe/ lề đường,
- các mối nối dọc giữa các làn xe, và
- các vết nứt trên mặt đường bê tông nhựa.

Các vết nứt, không giống như những mối nối, có kích thước và hướng nứt rất khác nhau và điều đó rất khó cho công tác hàn gắn, tuy nhiên hầu hết các vết nứt đều không biến dạng như các khe nối. Điều này cho phép vật liệu dùng để trám vết nứt phát huy hiệu quả tốt hơn nhiều so với khi trám khe nối. Vì vậy,

trình tự trám vết nứt không đòi hỏi khắt khe như với khe nối. Nếu việc khảo sát tình trạng hư hại cho thấy khoảng cách giữa các vết nứt khá rộng gây ra các chuyển dịch lớn thì các vết nứt phải được xem như là các khe nối và phải xử lý giống như các khe nối.

Các vết nứt do nhiệt độ trên mặt đường bê tông nhựa là các vết nứt đang hoạt động, và có thể được xử lý giống như khe nối, vì chúng sẽ bị chuyển dịch lớn khi nhiệt độ thay đổi.

### **K.3.3 Cào nghiền nguội lớp mặt asphalt**

Kỹ thuật cải tạo này được sử dụng rộng rãi kết hợp với các kỹ thuật khác để khôi phục tình trạng mặt đường tốt như mặt đường mới.

Cào nghiền nguội là việc sử dụng các máy cào xới thích hợp để bóc từng mảng lớp mặt bê tông nhựa sâu khoảng 7 cm tới 10 cm. Mục đích chính của việc cào nghiền nguội là đào bỏ lớp vật liệu asphalt. Những ứng dụng chính của việc cào nghiền nguội gồm:

- (1) Khôi phục độ dốc ngang của mặt đường bê tông nhựa để cải tạo sự thoát nước hoặc sửa chữa những sự cố tại đầu vào công trình thoát nước.
- (2) Tăng cường sức bám của lớp mặt bê tông nhựa.
- (3) Đào bỏ các lớp phủ bê tông nhựa trên mặt đường bê tông xi măng.
- (4) Tạo một bề mặt nhám, sạch để liên kết với lớp phủ bằng bê tông.
- (5) Cào xới vật liệu kết hợp với tái chế mặt đường, và
- (6) Đào bỏ vật liệu để tạo ra một bề mặt bằng phẳng (nơi mặt đường có cường độ kết cấu thích hợp).

Sau khi cào bóc vật liệu lớp mặt bằng phương pháp cào nghiền nguội, hầu hết mặt đường được rải thêm một lớp phủ. Ở một vài dự án đã thực hiện xong cào nghiền nguội và thông xe ngay không rải một lớp phủ thì tiếng ồn từ bánh xe rất lớn. Nếu như mặt đường có kết cấu thích hợp và mức độ gồ ghề trên đường không lớn để có thể chấp nhận tiếng ồn từ bánh xe, thì đây có thể là phương pháp rất hiệu quả về chi phí để trì hoãn công tác thi công lớp phủ lại trong vài năm.

### **K.3.4 Thiết kế thoát nước dưới mặt đường**

Thoát nước dưới mặt đường là một vấn đề quan trọng khi tiến hành rải lại lớp mặt, khôi phục và cải tạo hệ thống áo đường.

Hệ thống thoát nước dưới mặt đường nên được thiết kế và xây dựng với ý đồ bảo dưỡng và làm việc dài hạn. Xem Phụ lục L – Các cấu tạo hệ thống thoát nước kết cấu áo đường.

### **K.3.5 Xử lý bề mặt**

Việc sử dụng các lớp xử lý bề mặt hoặc dùng các lớp láng nhựa là một phương pháp cải tạo mặt đường dùng cho tất cả các loại áo đường nhựa, từ các đường có lưu lượng xe thấp tới các quốc lộ. Phương pháp cải tạo này sẽ sử dụng một lớp bitum và/hoặc cốt liệu rải lên lớp mặt đường có chiều dày nói chung

nhỏ hơn 2,5 cm để tăng cường hoặc bảo vệ được các đặc tính của lớp mặt đường. Nhìn chung, khi sử dụng lớp xử lý bề mặt sẽ có rất ít hoặc không có tác dụng cải thiện kết cấu áo đường trực tiếp. Tuy nhiên, vẫn có thể gián tiếp tăng tuổi thọ của áo đường khi sử dụng kỹ thuật này.

Sau đây sẽ trình bày cách xếp loại, các chức năng và việc thiết kế các lớp xử lý bề mặt.

### K.3.6 Phân loại lớp láng nhựa hoặc lớp xử lý bề mặt

Khi phân loại các lớp láng nhựa và các lớp xử lý bề mặt người ta dựa vào thành phần của các lớp này, có thể chỉ có thành phần bitum hoặc thông thường là có cả bitum và cốt liệu. Dưới đây là một số loại điển hình:

(1) *Lớp tạo nhám cấp phối hở*. Lớp này là hỗn hợp giữa bitum và cốt liệu được thiết kế dùng để thoát nước ra khỏi lớp mặt đường qua một kết cấu hở và rỗng trong hỗn hợp. Nước thoát nhanh làm giảm những sự cố do nước đọng lại khi mưa. Các lớp này thường được sản xuất ở trạm trộn rồi đem rải lên mặt đường.

(2) *Lớp xử lý bề mặt bằng Cốt liệu – bitum (láng nhựa)*. Lớp xử lý này bao gồm việc rải lần lượt bitum và đá nhỏ thành một hay nhiều lớp để tạo thành một kết cấu dày 2 cm hoặc (lớn hơn), được gọi là lớp láng mặt. Đây là kiểu xử lý láng nhựa thông thường mà các cơ quan địa phương hay sử dụng. Lớp xử lý này cũng được sử dụng để láng lại mặt đường có lưu lượng xe thấp.

(3) *Lớp vữa nhựa pha cao su*. Đây là một loại đặc biệt xử lý bề mặt bằng cốt liệu – bitum. Vật liệu bitum được cải thiện bằng một loại hỗn hợp đặc dụng pha trộn bằng cao su và bitum.

(4) *Lớp vữa nhựa; lớp vữa nhựa polime*. Lớp láng nhựa dạng vữa gồm nhũ tương được pha loãng trộn với cốt–liệu đá nghiền nhỏ trong máy trộn đặc biệt. Lớp vữa nhựa này sau đó được rải mỏng trên bề mặt mặt đường. Nói chung, chiều dày của lớp này có thể nhỏ hơn 1,5 cm.

Hiện nay còn dùng loại vữa nhựa polime có chất lượng tốt hơn và đông rắn rất nhanh. Sau khi rải 1 giờ đã có thể thông xe, và có thể dùng từ 6 năm đến 7 năm.

(5) *Lớp láng dạng sương*. Lớp láng dạng sương là một loại nhũ tương pha loãng không sử dụng cốt liệu. Nó được láng lên bề mặt và tạo khả năng trẻ hóa một phần mặt đường bê tông nhựa. Khi chỉ rải trên phần xe chạy sẽ làm phân biệt rất rõ ràng giữa mặt đường và lề đường, nên thường được dùng trên các đường có lưu lượng xe lớn.

(6) *Lớp láng bằng cát*. Lớp láng bằng cát thi công bằng cách phun nhũ tương, rồi phủ nhẹ bằng cát hoặc đá nghiền nhỏ. Loại lớp láng này có chức năng giống như lớp láng dạng sương nhưng tạo ra một bề mặt chịu ma sát tốt hơn.

### K.3.7 Các chức năng của lớp láng nhựa hoặc lớp xử lý bề mặt

Các lớp xử lý bề mặt có thể kéo dài được tuổi thọ phục vụ của mặt đường và giảm chi phí bảo dưỡng cho đến khi có thể triển khai một chương trình cải tạo có hiệu quả chi phí hơn. Các chức năng chính của lớp xử lý bề mặt là:

- (1) *Tạo một lớp bề mặt cho xe chạy.* Lớp xử lý bề mặt bằng cốt liệu – bitum tạo ra một lớp cốt liệu mới chịu lưu lượng xe, lớp này có thể bền hơn và có các đặc tính chịu mài mòn tốt hơn bề mặt ban đầu. Nhìn chung, lớp này tăng cường khả năng tạo nhám nhưng có thể không tăng độ bền của bề mặt. Để cải thiện tính bền, cốt liệu phải được thí nghiệm kỹ càng (Thí nghiệm độ bền Sulfate và độ mài mòn Los Angeles) để đảm bảo là cốt liệu đó đạt được độ bền qui định.
- (2) *Hàn gắn các vết nứt.* Việc sử dụng cốt liệu và/hoặc bitum trong các lớp này cung cấp một khối lượng khá lớn vật liệu bitum có thể trám các vết nứt nhỏ. Lớp xử lý bằng cốt liệu – bitum sẽ gắn lại hầu hết những vết nứt, trong khi đó lớp láng dạng sương chỉ gắn lại được những vết nứt rất nhỏ. Việc sử dụng bitum polime cung cấp loại vật liệu tốt nhất cho việc khắc phục các vết nứt và việc bảo dưỡng bằng lớp láng nhựa hiệu quả. Việc loại trừ hơi nước trong các khe nứt có thể kéo dài tuổi thọ mặt đường và trên thực tế có thể hỗ trợ duy trì cường độ kết cấu của áo đường.
- (3) *Lớp mặt không thấm nước.* Độ rỗng của mặt đường bê tông nhựa rất khác nhau và ở mức độ nào đó có thể cho nước xâm nhập qua kết cấu rỗng thông thường, sử dụng lớp bề mặt không thấm nước sẽ hạn chế sự thâm nhập của nước và giảm tốc độ xuống cấp của các áo đường hiện tại.
- (4) *Tăng cường khả năng tạo nhám chống trượt.* Sử dụng một lớp cấp phối hở chống trượt sẽ giảm được nguy cơ xảy ra sự cố trên mặt đường do thời tiết, có thể giảm được nguy cơ xảy ra hiện tượng màng nước. Cốt liệu trong một lớp xử lý bề mặt đạt tiêu chuẩn có thể trực tiếp tăng cường khả năng chống trượt của mặt đường. Phải kiểm tra cấp phối của lớp xử lý bề mặt để đảm bảo rằng khả năng tạo nhám vẫn được giữ lâu sau khi xây dựng.
- (5) *Giảm các tác động do thời tiết.* Dùng bitum cùng với vật liệu làm mềm bitum rải lên bề mặt mặt đường đã bị oxy hóa sẽ làm giảm quá trình hóa cứng của bề mặt bitum ban đầu. Vật liệu này sẽ làm giảm những lỗ rỗng trên bề mặt mặt đường và ngăn cản sự thâm nhập của nước và không khí có xu hướng làm cứng bitum. Việc sử dụng lớp láng dạng sương và dạng vữa phát huy hiệu quả tốt ở những đoạn đường thường xảy ra hiện tượng bitum bị oxy hóa và hóa cứng.
- (6) *Cải thiện về bên ngoài bề mặt.* Trong một số trường hợp, vẻ bề ngoài chung của bề mặt áo đường khá lồi lõm do công tác vá sửa đường hay do những hoạt động xây dựng khác. Láng một lớp xử lý bề mặt là phương pháp đơn giản và hiệu quả để khắc phục những lồi lõm đó, tạo ra một bề mặt đường bằng phẳng, đồng nhất.
- (7) *Sự phân định có thể nhìn thấy bằng mắt thường.* Khi nhìn bằng mắt thường sự khác biệt rõ ràng giữa lề đường và mặt đường chính sẽ hỗ trợ người lái xe. Qua nghiên cứu cho thấy khi có sự khác biệt này, người điều khiển phương tiện giao thông sẽ tránh không lái xe lên chỗ tiếp giáp giữa làn xe với lề đường, do vậy sẽ kéo dài tuổi thọ áo đường. Sự khác biệt bề ngoài này với lề đường sẽ làm tăng thêm độ an toàn cho áo đường nói chung.
- (8) *Về mặt kết cấu.* Rải lớp xử lý bề mặt sẽ không thu được lợi ích trực tiếp nào về mặt kết cấu. Xử lý bề mặt nhiều lớp – hai hoặc ba lớp hoặc nhiều hơn – có thể tạo ra một kết cấu nào đó cho mặt đường, tuy nhiên cốt liệu sử dụng không phải là cấp phối đồng nhất để đảm bảo các cốt liệu sẽ xen kẽ nhau, do

vậy không thể chống được hiện tượng biến dạng dưới tải trọng nặng trùng phục. Do vậy, một lớp xử lý bề mặt không thể được xem là một sự cải tạo kết cấu cho áo đường, mặc dù có thể có những cải tạo về kết cấu cho lề đường. Có thể giảm tỷ lệ hư hỏng của mặt đường thông qua việc hàn gắn các vết nứt và ngăn chặn nước xâm nhập vào mặt đường. và do đó trì hoãn yêu cầu phải cải tạo kết cấu. Như vậy. việc xử lý bề mặt có thể hỗ trợ một cách gián tiếp vào tính tương thích kết cấu của áo đường.

Nếu cường độ kết cấu của áo đường hiện tại không chịu được lưu lượng xe dự tính trong khoảng từ 3 đến 5 năm thì không nên xem xét việc áp dụng lớp xử lý bề mặt. Như vậy, cần phải áp dụng một phương pháp cải tạo quy mô hơn cho mặt đường này vì thiết kế không cho phép các lớp xử lý bề mặt phải chịu tải trọng xe vượt quá cường độ kết cấu của áo đường phía dưới.

**Phụ lục L**

(Tham khảo)

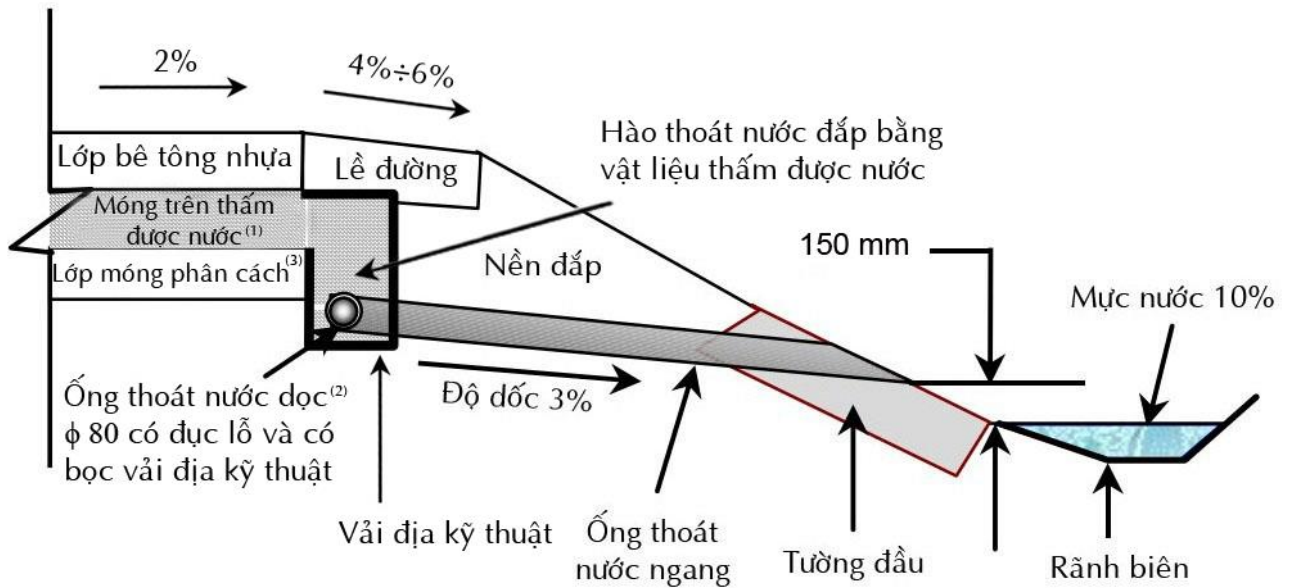
**Các bản vẽ cấu tạo hệ thống thoát nước kết cấu áo đường mềm**

**L.1** Tùy theo các trường hợp thiết kế khác nhau mà áp dụng các phương án cấu tạo hệ thống thoát nước kết cấu áo đường.

**L.2** Bản vẽ trong Phụ lục này giới thiệu một số cấu tạo hệ thống thoát nước kết cấu áo đường được sử dụng ở các nước có hiệu quả. Tùy theo điều kiện và tình hình thực tế mà người thiết kế chọn lựa cho thích hợp.

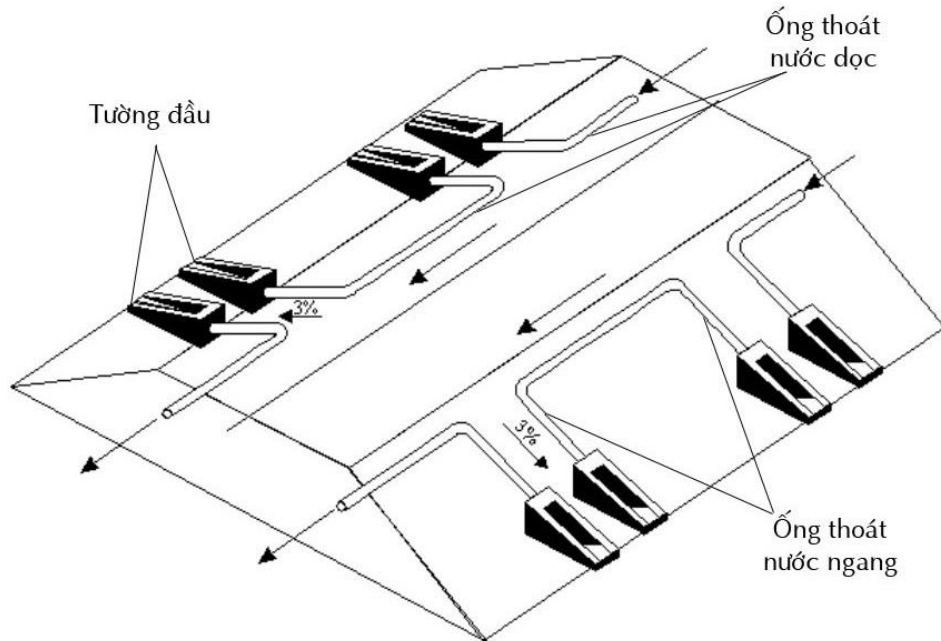
**L.2.1** Cấu tạo theo Hình L.1 thường được sử dụng khi áo đường có một lớp móng thấm được nước rải ngay dưới tầng mặt bê tông nhựa. Một ống thoát nước dọc đường kính 80 mm, có đục lỗ đặt trong một hào thoát nước đắp bằng vật liệu thấm được nước, cứ cách khoảng 60 m có ống thoát nước ngang dẫn ra tận mép taluy nền và đổ nước thoát ra rãnh biên.

Ở mép taluy có làm tường đầu để bảo vệ, chống xói lở. Lớp móng thấm được nước thường làm bằng bê tông nhựa rỗng (ATPB) có hệ số thấm bằng hoặc lớn hơn 0,0035 m/s, hoặc bằng cấp phối đá gia cố với xi măng rỗng (CTPB) có hệ số thấm bằng hoặc lớn hơn 0,0035 m/s. Đây là một cấu tạo thoát nước khá hoàn thiện và khá đắt tiền.



**GHI CHÚ:**

- (1) – Lớp móng thấm được nước thường làm bằng bê tông nhựa rỗng (ATPB) có hệ số thấm  $k \geq 0,0035$  m/s, hoặc bằng cấp phối đá gia cố xi măng rỗng (CTPB) có hệ số thấm  $k \geq 0,0035$  m/s; dùng hàm lượng nhựa đặc khoảng 3 % khối lượng cốt liệu khô cho ATPB; Đối với CTPB cần có lượng xi măng bằng 140 kg/m<sup>3</sup>. Chiều dày của các lớp này nên lấy khoảng 7,5 cm cho ATPB và 10 cm cho CTPB.
- (2) – Ống thoát nước dọc đường kính 80 mm, có đục lỗ, cứ cách khoảng 60 m có ống thoát nước ngang dẫn ra tận mép ta luy nền.
- (3) – Lớp phân cách là lớp không thấm nước (như bê tông nhựa chặt, bê tông nghèo, cấp phối đá gia cố xi măng tỉ lệ cao (6 % ÷ 8 %)), có hệ số thấm  $k \leq 5,2 \times 10^{-5}$  m/s.

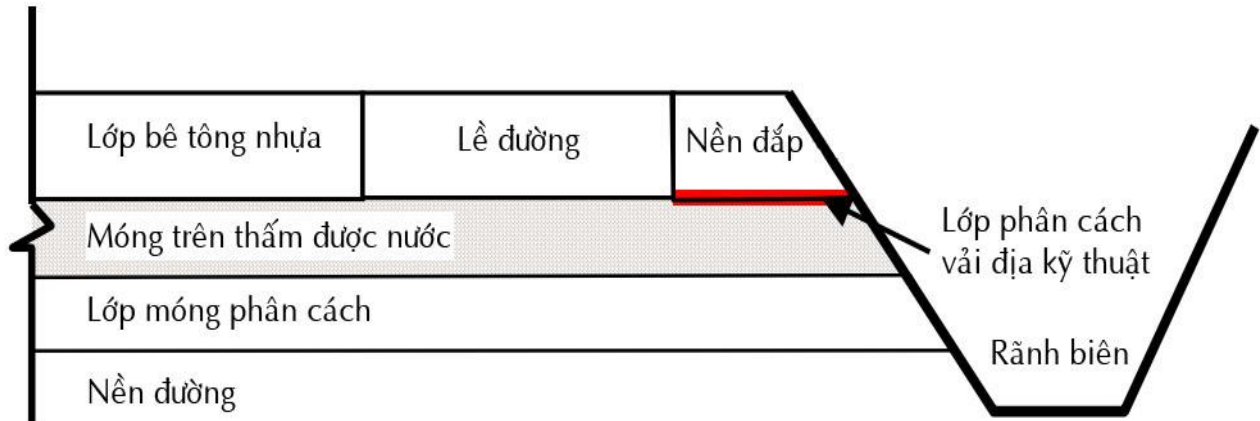


**Hình L.1 – Cấu tạo thoát nước dưới lớp mặt đường bê tông nhựa khi lớp móng thấm được nước**

**Cấu tạo thoát nước áo đường (kích thước mm, vẽ không theo tỷ lệ)**

**L.2.2** Cấu tạo theo Hình L.2 – Lớp móng thoát được nước kéo ra tận mái taluy rãnh biên mà không cần phải đào hào đặt các ống thoát nước. Cấu tạo đơn giản, dễ thi công nhưng lớp móng thoát nước phải trải rộng ra cả mặt nền đường cũng làm tăng chi phí khá lớn.

Thường dùng cấu tạo này cho những đoạn đường có dốc dọc rất nhỏ để nước khỏi chảy ngược từ rãnh vào kết cấu áo đường, phải bảo đảm để đáy của lớp móng thấm được nước nằm trên mực nước trong rãnh biên (mực nước tần suất 10%) ít nhất là 15 cm.

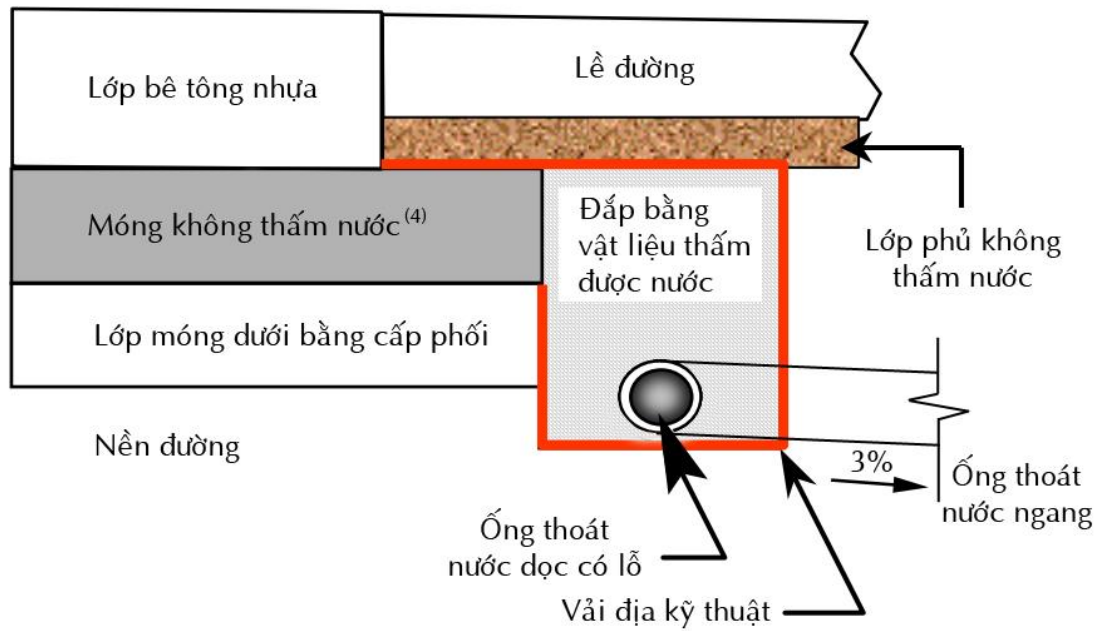


**Hình L.2 – Thoát nước dưới lớp mặt đường bê tông nhựa khi lớp móng thấm được nước ra tận ta luy nền đường**

**L.2.3** Cấu tạo theo Hình L.3. Áp dụng khi kết cấu áo đường có lớp móng không thấm nước (như bê tông nhựa chặt, bê tông nghèo, cấp phối đá gia cố xi măng tỉ lệ cao rải dưới tầng mặt bê tông nhựa).

Lớp móng không thấm nước chỉ rải rộng hơn một ít so với tầng mặt, rấp khít vào hào thoát nước có ống dẫn dọc có đục lỗ. Hào thoát nước được lấp bằng vật liệu thấm được nước như cát, sỏi–cuội. Cách 60 m đến 80 m có một ống thoát nước ngang nối với ống dọc, và dẫn ra mép rãnh biên.





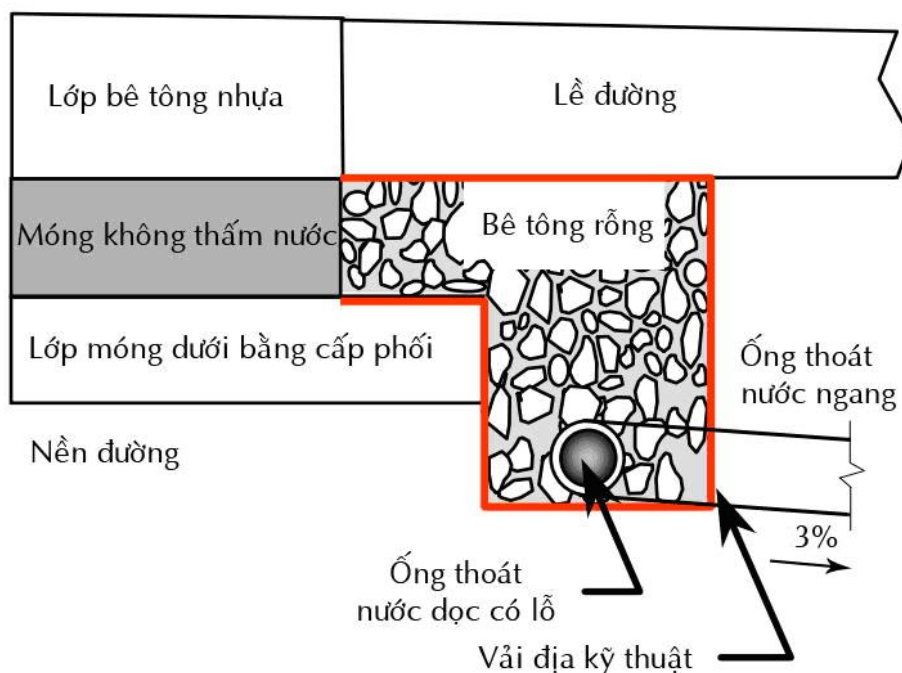
**Hình L.3 – Cấu tạo thoát nước dưới lớp mặt đường khi lớp móng không thấm nước**

**Cấu tạo thoát nước áo đường (kích thước mm, vẽ không theo tỷ lệ)**

GHI CHÚ:

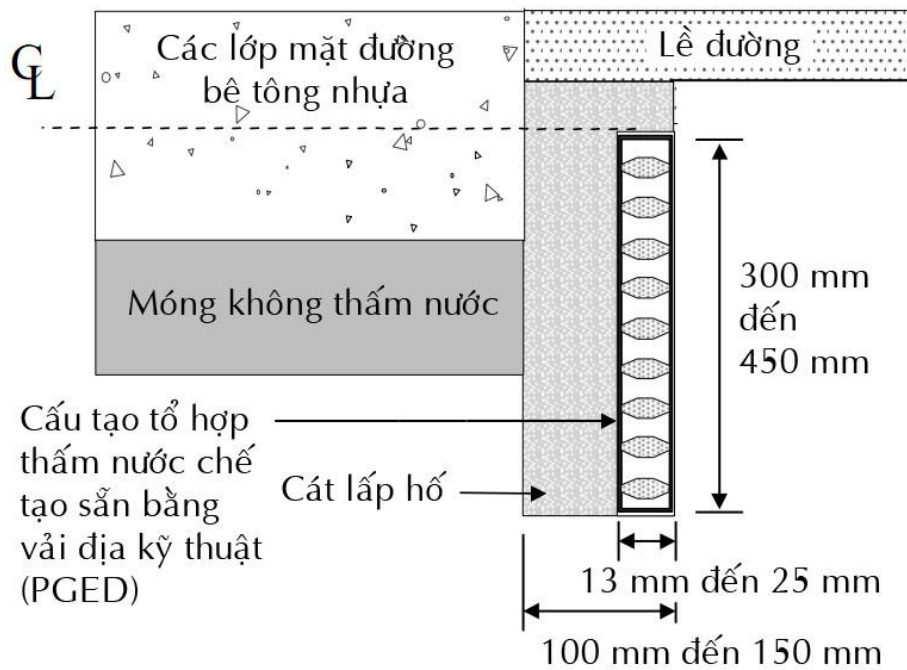
(1) - Lớp móng không thấm nước (như bê tông nhựa chặt, bê tông nghèo, cấp phối đá gia cố xi măng tỉ lệ cao (6 % ÷ 8 %)) rải rập khít vào hào thoát nước có ống thoát nước dọc có đục lỗ. Cách 60 m đến 80 m có ống thoát nước ngang nối vào ống dọc dẫn ra mép rãnh biên.

**L.2.4** Cấu tạo theo Hình L.4. Áp dụng như ở Điều L.2.3, nhưng hào được lấp bằng bê tông rỗng.



**Hình L.4 – Cấu tạo thoát nước dưới lớp mặt đường khi lớp móng không thấm nước – hào thoát nước lấp bằng bê tông rỗng**

**L.2.5** Cấu tạo theo Hình L.5. Áp dụng như ở Điều L.2.3 nhưng hào chỉ rộng từ 10 cm đến 15 cm, được lấp bằng cát và ở tường hào có đặt cấu tạo tổ hợp thấm nước chế tạo sẵn bằng lõi và vải địa kỹ thuật có chiều cao từ 30 cm đến 45 cm, rộng từ 1,3 cm đến 2,5 cm.

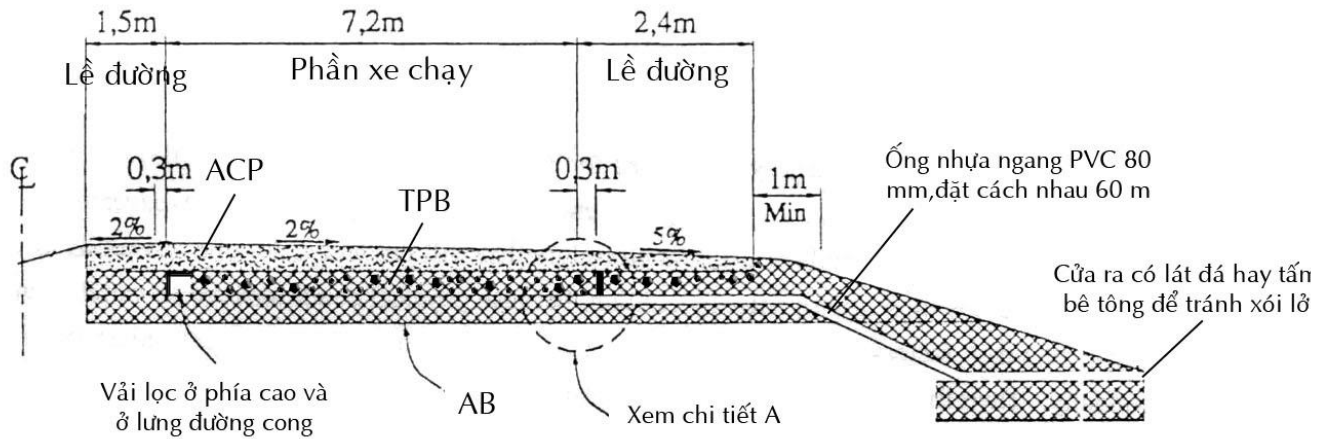


**Hình L.5 – Lắp đặt cấu tạo tổ hợp thấm nước chế tạo sẵn bằng vải địa kỹ thuật ở hào thoát nước cạnh tầng mặt bê tông nhựa**

**Cấu tạo thoát nước áo đường (kích thước mm, vẽ không theo tỷ lệ)**

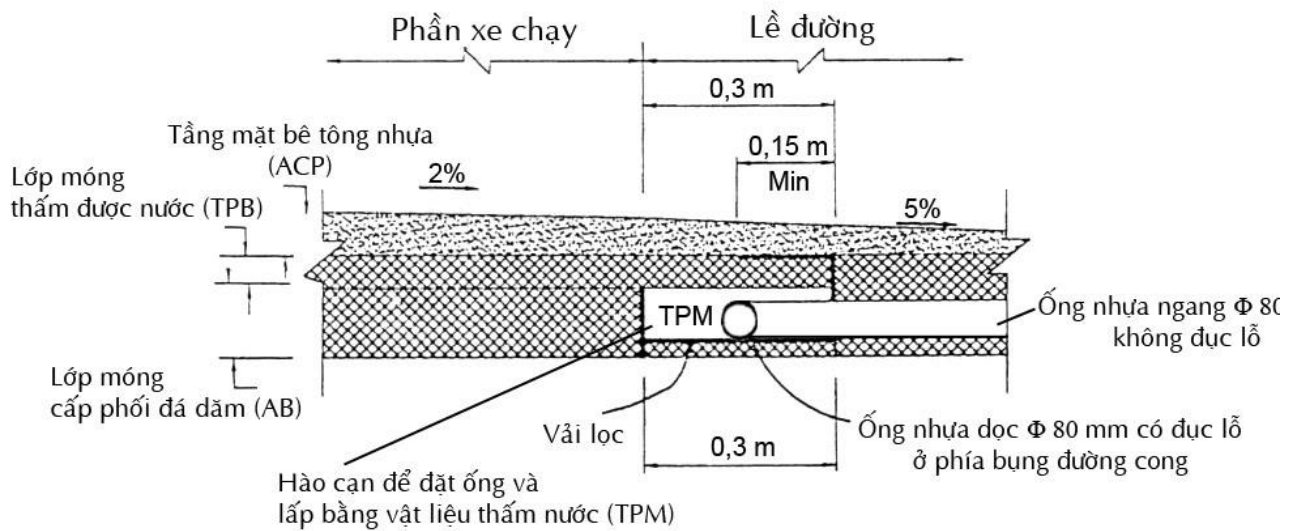
**L.2.6** Cấu tạo theo Hình L.6. Áp dụng khi có lớp móng thấm được nước bằng bê tông nhựa rỗng hay đá dăm đen rỗng (ATPB) dày 75 mm, hoặc bằng cấp phối đá gia cố xi măng rỗng (CTPB) dày 100 mm; hào để đặt ống dọc thoát nước chỉ cần đào nông, nằm trong phạm vi lớp móng cấp phối đá dăm, và hào rộng 30 cm lấp bằng vật liệu thấm nước. Cuối mỗi ống ngang thoát nước, nơi tiếp giáp với mái taluy phải được lát đá, hay tẩm bê tông để tránh xói lở.

Các kích thước của các bộ phận hệ thống thoát nước dưới mặt đường bê tông nhựa được chọn theo tính toán thủy lực ở Điều 5.9.7 của tiêu chuẩn này.



**GHI CHÚ:**

(1). Khi dốc dọc đường  $i \geq 4\%$ , ống ngang đặt cách nhau 150 m.



**Chi tiết A**

**Hình L.6 – Cấu tạo thoát nước lớp mặt đường bê tông nhựa khi lớp móng thấm được nước (TPB) – đặt hào nông để đặt ống**

**Cấu tạo thoát nước áo đường (kích thước mm, vẽ không theo tỷ lệ)**

## Phụ lục M

(Tham khảo)

### Mối quan hệ giữa CBR và $M_R$ đã được công bố

Cần thừa nhận rằng thiết bị để tiến hành thí nghiệm modun đàn hồi đất nền đường có thể không luôn có sẵn. Vì vậy, sẽ thuận tiện nếu có thể sử dụng tài liệu sẵn có để xác định  $M_R$  từ trị số CBR tiêu chuẩn. Thí nghiệm xác định CBR theo ASTM D1883, AASHTO T193.

Hiện nay có thể nêu lên một số công thức thể hiện quan hệ giữa  $M_R$  và trị số CBR đã được công bố để các kỹ sư thiết kế tham khảo:

1. Hai ông Heukelom và Klomp có một báo cáo về các quan hệ giữa giá trị CBR (khi sử dụng đầm nén động để tạo mẫu) với  $M_R$  như sau:

$$M_R = 1500 \text{ CBR, psi} = 10,34 \text{ CBR, MPa}$$

Các số liệu mà dựa trên đó mối quan hệ này được thiết lập là trong khoảng  $(750 \div 3000) \times \text{CBR, psi}$ . Quan hệ này được các hãng thiết kế và những nhà nghiên cứu sử dụng nhiều và đã được xem là hợp lý đối với đất hạt mịn có trị số CBR  $\leq 10 \%$  trong điều kiện ngâm nước.

2. W.D Powell (Phòng thí nghiệm nghiên cứu đường bộ) năm 1984 đã đưa ra quan hệ giữa giá trị CBR và modun đàn hồi của đất theo quan hệ sau:

$$E_0 = 17,6 (\text{CBR})^{0,64}, \text{ MPa};$$

Trị số  $M_R$  của nền đất tính theo công thức của Powell thì nhỏ thua công thức tính toán của Heukelom

3. Carlbro Inter a/s đã đưa ra quan hệ giữa các giá trị CBR và modun đàn hồi của đất nền như sau:

$$M_R = 4(\text{CBR}) + 10, \text{ MPa}$$

Các giá trị của modun đất nền tính theo Carlbro nhỏ hơn nhiều so với kết quả tính theo công thức của Heukelom.

4. Chỉ dẫn thiết kế mặt đường mềm của bang Florida – Mỹ năm 2022 đưa ra quan hệ giữa giá trị LBR (Limerock Bearing Ratio) và modun đàn hồi như sau:

$$M_R = 10^{[0,7365 \cdot \log(\text{LBR})] + 809}$$

Trong đó  $M_R$  tính bằng psi và  $\text{CBR} = 0,8 \cdot \text{LBR}$

5. Trong tiêu chuẩn kỹ thuật của Trung Quốc cho thiết kế mặt đường bê tông asphalt (JTJ 014 – 97), quan hệ giữa giá trị CBR và mô đun của đất được xác lập theo các quan hệ sau đây:

Bảng M.1 – Quan hệ giữa giá trị CBR và modun của đất  $E_0$ , (MPa)

Số TT	Loại đất	Quan hệ	SL TN (n)	HS TQ (r)
1	Đất sét đỏ Quảng Tây (ở hiện trường)	$E_0=15.55(\text{CBR})^{0.582}$	44	0.792
2	Đất sét đỏ Quảng Tây (phòng TN)	$E_0=5.651(\text{CBR})^{0.891}$	55	0.930
3	Đất trương nở Quảng Tây (hiện trường)	$E_0=16.71(\text{CBR})^{0.58}$	17	0.830
4	Đất trương nở Quảng Tây (ở hiện trường sau 1 năm)	$E_0=17.62(\text{CBR})^{0.50}$	29	0.780
5	Đất trương nở Quảng Tây (phòng TN)	$E_0=9.18(\text{CBR})^{0.741}$	41	0.877
6	Đất sét dọc theo sông "Hắc Long" (ở hiện trường)	$E_0=7.4(\text{CBR})^{0.773}$	20	0.746
7	Đất sét dọc theo sông "Hắc Long" (ở phòng thí nghiệm)	$E_0=7.954(\text{CBR})^{0.739}$	21	0.901
8	Hoàng thổ Thiểm Tây (ở hiện trường)	$E_0=13.0(\text{CBR})^{0.42}$	40	0.620
9	Hoàng thổ Thiểm Tây (trong phòng TN)	$E_0=1.6(\text{CBR})^{1.12}$	66	0.960
10	Đất sét Thượng Hải (trong phòng TN)	$E_0=15.86(\text{CBR})^{0.59}$	17	0.853
11	Đất sét Thượng Hải (bão hoà trong phòng TN)	$E_0=7.9(\text{CBR})^{0.91}$	17	0.871
12	Đất sét Nội mông(trong phòng TN)	$E_0=7.03(\text{CBR})^{0.872}$	38	0.978
13	Đất sét Shonyang (ở hiện trường)	$E_0=7.27(\text{CBR})^{0.823}$	20	0.930
14	Đất sét của một bang của Mỹ	$E_0=13.4(\text{CBR})^{0.688}$	–	–
15	Đất sét Monaco	$E_0=8,90(\text{CBR})^{0.85}$	–	–
CHÚ THÍCH:				
$E_0$ tính theo MPa (1MPa = 145 psi)				

**Bảng M.2 – Mô đun đàn hồi của đất nền được xác định từ các quan hệ khác nhau**

$$M_R = f(\text{CBR}), \text{MPa}$$

Số TT	Các quan hệ	Giá trị CBR					
		5	6	7	8	9	10
1	$M_r = 1500 \text{ CBR}, (\text{psi}) = 10,34 \text{ CBR}, (\text{MPa})$ (Heukelom và Klomp)	52	62	72	83	93	104
2	$M_r = 17,6 (\text{CBR})^{0,64}, (\text{MPa})$ (Powell W.D – TRRL)	49	55	61	67	72	77
3	$M_r = 4 (\text{CBR}) + 10, (\text{MPa})$ (Carlbrow Int.a/s)	30	34	38	42	46	50
4	$M_r = 8,9 (\text{CBR})^{0,85}, (\text{MPa})$ (Monaco)	35	41	47	52	58	63
5	$M_r = 13,4 (\text{CBR})^{0,688}, (\text{MPa})$ (ở một bang của Mỹ)	41	46	51	56	61	65
6	$M_r = 15,55 (\text{CBR})^{0,582}, (\text{MPa})$ (Đất sét đỏ Quang Tây – Trung Quốc)	40	44	48	52	56	59
7	$M_r = 16,71 (\text{CBR})^{0,58}, (\text{MPa})$ (Đất trương nở Quảng Tây Trung Quốc)	43	47	52	56	60	64
8	$M_r = 15,86 (\text{CBR})^{0,59}, (\text{MPa})$ (Đất sét Thượng Hải, Trung Quốc)	41	46	50	54	58	62
9	$M_r = 1000 (\text{CBR}), (\text{psi}) = 6,9 \text{ CBR}, \text{MPa}$	35	41	48	55	62	69

**CHÚ THÍCH:**

Hiện nay, một số hãng thiết kế và ngay cả AASHTO cũng có nhận xét là công thức Heukelom và Klomp với 1 CBR = 1500 psi là hơi lớn nên trong tiêu chuẩn này đề nghị dùng toán đồ Hình 7 ở Điều 6 để đổi CBR ra  $M_R$  của đất nền đường.

Khi các viện KHCN đầu ngành của ta có các thiết bị thích hợp (với AASHTO T292, AASHTO T307 và AASHTO T294), sẽ tiến hành các nghiên cứu để lập nên các quan hệ giữa  $M_R$  và CBR đối với các loại đất ở nước ta một cách khoa học và hợp lý hơn.

**Phụ lục N**

(Tham khảo)

**Hướng dẫn xác định thời đoạn các mùa trong năm (theo tình hình mưa) tại các vùng ở Việt Nam, dùng trong khi tiến hành xác định mô đun đàn hồi hữu hiệu  $M_R$  của đất nền đường**

**N.1** Để lập Bảng 12 trong tiêu chuẩn này cần xác định thời đoạn các mùa trong năm ở các vùng khác nhau và thời điểm nên tiến hành đo  $M_R$  của đất nền đường.

**N.2** Bảng N.1 dưới đây chỉ có tính chất hướng dẫn, tham khảo và dùng cho một vùng rộng, người thiết kế cần phải khảo sát, nghiên cứu thực địa, liên hệ với các trạm khí tượng địa phương để thu thập và cập nhật các số liệu để xác định chính xác hơn thời đoạn và thời điểm cần tiến hành đo  $M_R$  của đất nền đường, nhất là hiện nay sự biến đổi khí hậu đã làm thay đổi khá nhiều các quy luật và các số liệu đã thu thập hàng mấy chục năm qua.

Khi lập Bảng N.1 đã căn cứ vào các số liệu đã được thu thập từ trên 20 năm đến 50 năm trong sách “Khí hậu Việt nam “ do Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Việt nam phát hành, và một số tài liệu liên quan khác.

**Bảng N.1- Thời đoạn các mùa trong năm (theo tình hình mưa) ở các vùng và thời điểm nên đo  $M_R$  đất nền đường**

Các vùng	Mùa khô			Chuyển mùa			Mùa mưa			Chuyển mùa		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Các tỉnh Miền Núi phía Bắc, Đồng bằng Bắc bộ, Thanh hóa	12-3	4	Đầu tháng 2	4-5	2	Đầu tháng 5	6-9	4	Cuối tháng 8	10-11	2	Đầu tháng 11
Nghệ An đến Quảng Bình	2-5	4	Đầu thg.4	6-7	2	Cuối thg. 6	8-11	4	Cuối thg. 10	12-1	2	Đầu thg. 1
Quảng Trị đến Bình Định & Hoàng Sa	3-6	4	Cuối thg.4	7-8	2	Đầu thg.8	9-12	4	Giữa thg.11	1-2	2	Đầu thg. 2
Phú Yên đến Khánh Hòa & Trường sa	1-8	8	Cuối thg.4	-	0	-	9-12	4	Đầu thg.12	-	0	-
Ninh Thuận & Bình Thuận	12-8	9	Đầu thg. 2	-	0	-	9-11	3	Đầu thg.11	-	0	-
Các tỉnh Đông Nam bộ, Tây Nam bộ	1-3	3	Cuối thg,2	4-5	2	Đầu thg.5	6-10	5	Giữa thg.9	11-12	2	Giữa thg.12
Các tỉnh ở Tây nguyên	12-3	4	Giữa thg.2	4-5	2	Đầu thg.5	6-9	4	Cuối thg.8	10-11	2	Cuối thg.10

CHÚ DẪN : A = Từ tháng đến Tháng; B = Số tháng (n); C = Thời điểm đo  $M_R$

**CHÚ THÍCH:**

1) Thời kỳ Chuyển mùa lấy bằng 2 tháng gồm 1 tháng cuối của mùa khô và 1 tháng đầu của mùa mưa, hoặc 1 tháng cuối của mùa mưa và 1 tháng đầu của mùa khô; ví thế 6 tháng mùa khô cũng như 6 tháng của mùa mưa đã bị trừ đi 2 tháng; ngoại trừ có hai vùng được xem như không có thời kỳ chuyển mùa .

2) Thời điểm nên tiến hành đo  $M_R$  của đất nền đường không được chọn tháng bắt đầu mùa mưa hoặc bắt đầu mùa khô, mà nên chọn như trong Bảng N.1 này. Tùy vùng cụ thể và điều kiện cụ thể có thể xê dịch khoảng 2 tuần so với thời điểm khuyến nghị.



**Phụ lục O**

(Tham khảo)

**Một số kết quả thực nghiệm hệ số lớp  $a_i$  của bê tông nhựa  
được thực hiện gần đây ở Việt Nam****Đề tài nghiên cứu cấp Bộ GTVT mã số DT203050 thực hiện 2020–2021:**

Số mẫu thí nghiệm 9 mẫu/tổ mẫu, 3 mẫu đá vôi, 3 mẫu đá granite, và 3 mẫu đá bazan

**Bảng O.1. Hệ số lớp  $a_i$  của các loại BTN**

Loại BTN	Giá trị	Hệ số lớp $a_i$		
		Loại nhựa		
		60/70	40/50	PMB3
BTNC16	min	0,40	0,43	0,40
	max	0,42	0,46	0,43
	Đặc trưng	0,41	0,44	0,41
BTNC19	min	0,41	0,44	0,42
	max	0,43	0,46	0,44
	Đặc trưng	0,41	0,44	0,42
BTNC25	min	0,41	0,43	0,41
	max	0,43	0,46	0,45
	Đặc trưng	0,42	0,44	0,43

**Thư mục tài liệu tham khảo**

- [1] AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993, Washington, D.C, USA.
- [2] Flexible Pavement Design Manual – Florida, 01/2022.
- [3] FHWA-RD-97-077: Design Pamphlet for The Determination of Layered Elastic Moduli for Flexible Pavement Design in Support of The 1993 AASHTO Guide for The Design of Pavement Structures
- [4] Federal Highway Administration (2006), Geotechnical Aspects of Pavements, Publication No. FHWA NHI-05-037.
- [5] 22 TCN 274–01, Tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm và chỉ dẫn kỹ thuật thiết kế mặt đường mềm.
- [6] 22 TCN 211–06, Áo đường mềm – Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế
- [7] Quyết định 858/QĐ-BGTVT ngày 26/03/2014: Ban hành Hướng dẫn áp dụng hệ thống các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành nhằm tăng cường quản lý chất lượng thiết kế và thi công mặt đường bê tông nhựa nóng đối với các tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn
- [8] Đề tài cấp Bộ GTVT năm 2021, mã số DT203050: Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng cơ sở dữ liệu mô đun đàn hồi ( $E_{AC}$ ), hệ số lớp ( $a_i$ ) của một số loại bê tông nhựa chặt nóng phục vụ thiết kế kết cấu áo đường mềm ở Việt Nam
- [9] JTG D50-2017: 公路沥青路面设计规范 (Specifications for Design of Highway Asphalt Pavement) Tiêu chuẩn thiết kế mặt đường bê tông nhựa Trung Quốc-2017.
- [10] JTG 3370.1—2018: 公路隧道设计规范第一册土建工程 (Specifications for Design of Highway Tunnels, Section 1 Civil Engineering) Tiêu chuẩn thiết kế hầm đường bộ Trung Quốc, phần 1 các quy định kỹ thuật.
- [11] Phương pháp thiết kế mặt đường mềm Nhật Bản TA
-