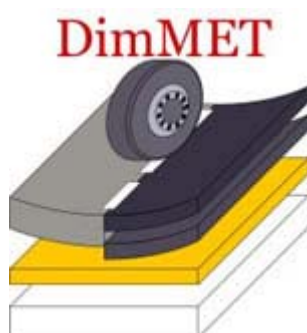


Dimensionering en versterking van wegconstructies



Gebruiksaanwijzing

Inhoud

1. Het DimMET-dimensioneringsprogramma	3
1.1 Constructieve dimensionering	3
1.2 Geometrie van de structuur	4
2. Aandachtsparameters voor de dimensionering	5
2.1 Verkeer	5
2.1.1 Verkeershistogrammen	6
2.1.2 Stootfactor	9
2.1.3 Gewenste levensduur	9
2.2 Kenmerken van de aanwezige ondergrond	9
2.3 Eigenschappen van de verwerkte materialen	11
2.3.1 Mechanische kenmerken van cementbeton	12
2.3.2 Mechanische kenmerken van asfalt	13
2.4 Klimaat	18
2.4.1 Invloed van de temperatuurgradiënt op de spanningen in een cementbetonplaat	19
2.4.2 Invloed van de temperatuur op de spanningen in asfalt	21
2.4.3 Dimensionering tegen vorst	22
3. Dimensioneringsmethoden	24
3.1 Randvoorwaarden voor alle structuren	24
3.2 Stijve structuren	25
3.2.1 Model van Westergaard	26
3.2.2 Model van Pasternak	27
3.2.3 Equivalent draagvermogen van de ongebonden lagen	28
3.2.4 Equivalente stijfheid van de gebonden lagen	29
3.2.5 Spanningen in de plaat	30
3.2.6 Vermoeiingswet van beton	31
3.2.7 Kalibratiefactor	32
3.3 Flexibele en halfstijve structuren	32
3.3.1 Meerlagenmodel van Burmister	32
3.3.2 Vermoeiingswet van asfalt	33
3.3.3 Blijvende-vervormingswet (spoorvorming)	34
3.3.4 Equivalente stijfheid van asfaltlagen	36
4. Terugberekening	37
4.1 Valgewichtdeflectiometer	38
4.2 Curviameter	39
5. Versterkingsmethoden	42
5.1 Overlay van beton	42
5.2 Inlay van beton	45
5.3 Overlay van asfalt	46
5.4 Inlay van asfalt	49
6. Database	50
6.1 Verbinden met de <i>parameter</i> tabel in de database	51

1. Het DimMET-dimensioneringsprogramma



De DimMET-programmatuur is ontwikkeld om wegconstructies te dimensioneren en het draagvermogen ervan te bepalen. De tekst in dit helpbestand biedt een overzicht van de theoretische context van de dimensionering van een wegconstructie. Waar nodig wordt het verband gelegd tussen de theoretische beschouwingen en de invoergegevens voor het programma.

De theoretische grondslagen voor de dimensionering en beoordeling van wegconstructies worden gegeven in het boek *Pavement Design and Evaluation* (2004) van *Frans van Cauwelaert*, uitgegeven door *Febelcem*.

(ISBN 2-9600430-0-6. Registration of copyright D/2004/0280/01.)

1.1 Constructieve dimensionering

Constructieve dimensionering (of constructief ontwerp) bestaat erin het aantal en de dikte van de verschillende lagen in een wegconstructie te bepalen.

Deze dimensionering heeft tot doel een voldoende lange levensduur van de wegconstructie te waarborgen. Wegen met een asfaltverharding worden doorgaans ontworpen voor een levensduur van twintig jaar en wegen met een cementbetonverharding voor dertig tot veertig jaar, zodat tijdens deze periode geen structurele reparaties nodig zijn.

De gebruiker kan deze ontwerplevensduur zelf vastleggen wanneer hij de verkeersintensiteit bepaalt.

1.2 Geometrie van de structuur

Bij het dimensioneren worden het type en de dikte van de verschillende lagen in de wegconstructie bepaald.

Het programma onderscheidt drie soorten van structuren:

stijve wegconstructie = cementbetonverharding op een gebonden of ongebonden fundering ;

halfstijve wegconstructie = asfaltverharding op een gebonden fundering ;

flexibele wegconstructie = asfaltverharding op een steenslagfundering ;



Enrobé ou béton = Asfalt of beton; Fondation liée ou non liée = Gebonden of ongebonden fundering;
Sous-fondation = Onderfundering; Fond de coffre = Ondergrond

Cementbetonverhardingen bestaan uit platen met (al of niet gedeuvelde) voegen of bevatten doorgaande wapening. Zij worden aangebracht op een fundering van schraal beton of steenslag. Meestal wordt op de fundering eerst nog een asfaltlaag aangebracht, om ze ondoorlatend te maken en de vlakheid ervan te verbeteren.

Asfaltverhardingen worden doorgaans opgebouwd uit verscheidene elementaire lagen: de top laag, die de verharding oppervlakkenmerken zoals stroefheid, draineervermogen en geluidsreductie bezorgt, en de onderlaag, die zelf uit verscheidene elementaire lagen kan bestaan en de spanningen over de fundering moet verdelen.

De fundering en de onderfundering dienen om de spanningen over de ondergrond te verdelen. De onderfundering beschermt tevens de wegconstructie tegen de effecten van water en vorst.

2. Aandachtsparameters voor de dimensionering

De benodigde parameters voor de dimensionering zijn:

- het verkeer, meer bepaald de verschillende *verkeershistogrammen*;
- de kenmerken van de aanwezige ondergrond;
- de eigenschappen van de verwerkte materialen, in casu de *mechanische kenmerken van het beton* en de *mechanische kenmerken van het asfalt*;
- het klimaat, meer bepaald de *invloed van de temperatuurgradiënt op de spanningen in een cementbetonplaat*, de *invloed van de temperatuur op de kenmerken van asfalt* en de *dimensionering van de wegconstructie tegen vorst*.

2.1 Verkeer

Tenzij het gaat om bijzonder verkeer dat precies bekend is (busstroken, industriewegen, enz.), wordt het verkeer gekarakteriseerd door een lastenhistogram, bepaald uit een statistische verdeling van lasten die over een gegeven periode op een bepaalde plaats passeren of als het gemiddelde van statistische verdelingen.

Het programma biedt drie mogelijkheden om het verkeer te omschrijven:

- het standaard ingestelde eenvoudige histogram;
- het gespecificeerde eenvoudige histogram;
- het WIM-histogram.

2.1.1 Verkeershistogrammen

2.1.1.1 Eenvoudig histogram, standaard:

het verkeer wordt gekarakteriseerd door het dagelijkse aantal zware voertuigen, het aantal werkdagen per jaar, het jaarlijkse groeipercentage van het verkeer, de levensduur (in jaren) en het gemiddelde aantal assen per zwaar voertuig (standaard gelijk aan 4). Deze elementaire omschrijving van het verkeer maakt gebruik van een als standaard ingesteld statistisch histogram.

Verkeer - Eenvoudig histogram, standaard

Verkeer : **Eenvoudig histogram**

Dagelijk aantal zware voertuigen : **1400**

Aantal werkdagen : **300**

Jaarlijks groeipercentage (%) : **5.0**

Levensduur in jaren : **20**

Gemiddeld aantal assen per zwaar voertuig : **4.00** Standaardwaarde

Terug naar hoofdmenu **Accepteren**

2.1.1.2 Eenvoudig histogram, gespecificeerd:

het lastenhistogram wordt door de gebruiker bepaald. Het kan worden bewaard voor latere analyses.

Verkeer - Eenvoudig histogram, gespecificeerd

Verkeer :

Eenvoudig histogram

Dagelijk aantal zware voertuigen :

1400

Aantal werkdagen :

300

Jaarlijks groeipercentage (%) :

5.0

Levensduur in jaren :

20

Gemiddeld aantal assen per zwaar voertuig :

4.00

Standaardwaarde

Eenvoudig histogram

Klasse	Aslast (kN)	Frequentie
1	5	0.70
2	15	9.73
3	25	15.35
4	35	20.71
5	45	18.86
6	55	10.68
7	65	5.45
8	75	3.69
9	85	3.59
10	95	2.65
11	105	3.33
12	115	2.22
13	125	1.56
14	135	0.89
15	145	0.32
16	155	0.18
17	165	0.09

Bewaren in de database

Terug naar hoofdmenu

Accepteren

2.1.1.3 WIM-histogram:

dit histogram maakt een onderscheid tussen enkele, tandem- en tridemassen. Het wordt verkregen door rijdende voertuigen te wegen (WIM of “Weigh-in-Motion”-metingen). Het gemiddelde aantal assen per zwaar voertuig wordt berekend uit het gedetailleerde histogram.

De last in de tweede kolom is die van de beschouwde asgroep. Voor tandem- en tridemassen wordt hieruit de aslast berekend door de aangegeven last door respectievelijk twee en drie te delen.

Verkeer : WIM-histogram 20 jaar

Dagelijk aantal zware voertuigen : 1200

Aantal werkdagen : 250

Jaarlijks groeipercentage (%) : 4.0

Levensduur in jaren : 20

Waargenomen aantal zware voertuigen : 24950 ☒ Bekend

Gemiddeld aantal assen per zwaar voertuig : 4.14 ☐ Standaardwaarde

WIM-histogram

Klasse	Aslast (kN)	Enkel	Tandem	Tridem
1	10	1477	0	0
2	30	4690	30	0
3	50	21671	643	37
4	70	11700	1567	957
5	90	4104	1447	1948
6	110	5218	1307	1159
7	130	1976	920	864
8	150	178	568	708
9	170	7	459	726
10	190	0	311	1268
11	210	0	200	1912
12	230	0	97	1672
13	250	0	25	824
14	270	0	4	244
15	290	0	0	44
16	310	0	0	13
17	330	0	0	1

2.1.2 Stootfactor

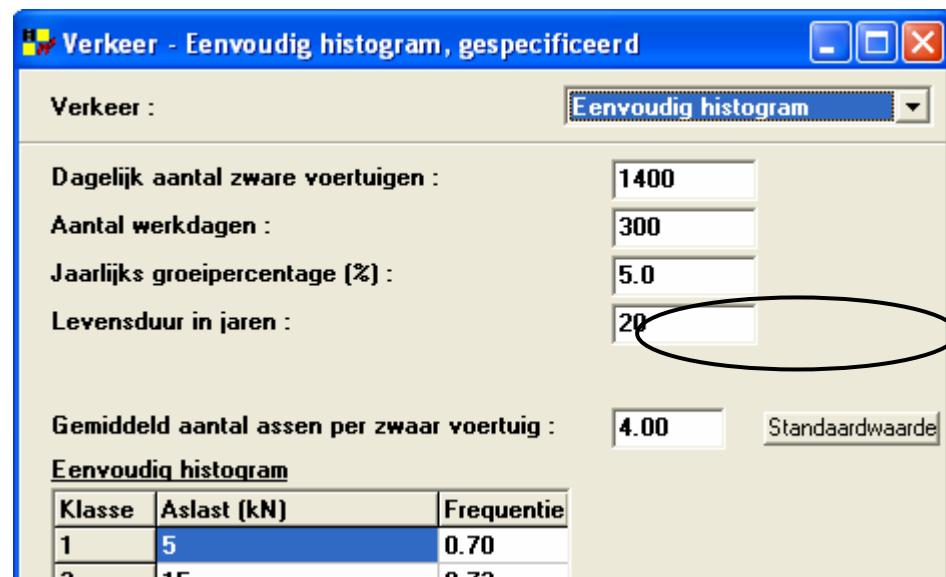
Voor ongedeuvelde betonplaten kan het best rekening worden gehouden met een stootfactor van 1,2. Voor gedeuvelde betonplaten wordt een stootfactor van 1,1 genomen. Deze factor simuleert het dynamische effect van de voertuigen aan dwarsvoegen. Hij is terug te vinden in het dimensioneringsvenster.

Voor doorgaand gewapende cementbetonverhardingen en voor flexibele en halfstijve structuren hoeft met deze dynamische effecten geen rekening te worden gehouden.

2.1.3 Gewenste levensduur

In elk venster met een verkeershistogram moet de gewenste levensduur, in jaren uitgedrukt, worden gekozen. De standaard aangenomen waarde is twintig jaar.

Voorbeeld: eenvoudig histogram, gespecificeerd



Verkeer : Eenvoudig histogram

Dagelijk aantal zware voertuigen :

Aantal werkdagen :

Jaarlijks groeipercentage (%) :

Levensduur in jaren :

Gemiddeld aantal assen per zwaar voertuig : Standaardwaarde

Eenvoudig histogram

Klasse	Aslast (kN)	Frequentie
1	5	0.70
2	15	0.70

2.2 Kenmerken van de aanwezige ondergrond

De gebruiker geeft in het dimensioneringsvenster de kenmerken van de aanwezige ondergrond op.

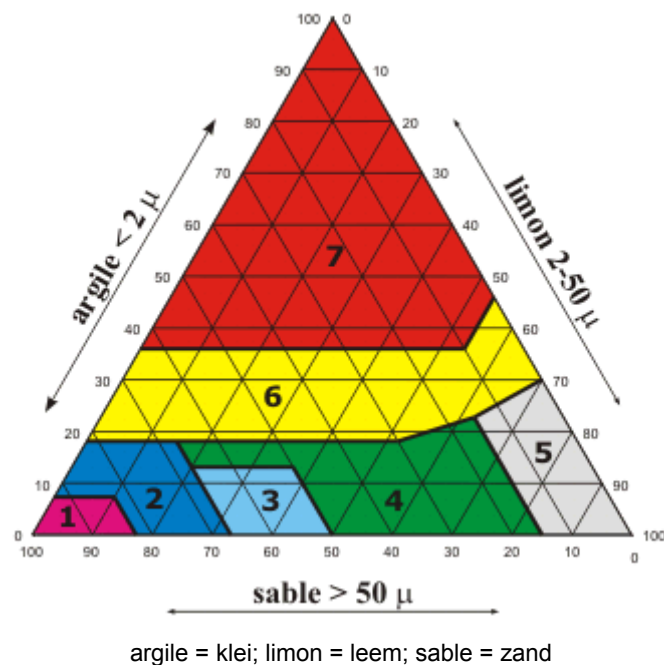
Voor stijve wegconstructies zijn dat de beddingconstante k , uitgedrukt in N/mm^3 , en de afschuivingsmodulus G , uitgedrukt in N/mm . De gebruiker kan ook de grondsoort invoeren.

Voor flexibele en halfstijve wegconstructies gaat het om de grondsoort of de CBR-waarde. Als de CBR-waarde van de ondergrond bekend is, wordt de (elastischeits)modulus van Young, E_s , berekend uit de relatie $E_s = 10 \text{ CBR}$. Afhankelijk van de grondsoort kunnen voor de ondergrond bij benadering de CBR-waarden uit de hiernavolgende tabel worden genomen.

Grondsoort	CBR (%)
Klei	2 tot 3
Leem	3 tot 5
Eenkorrelig zand	5 tot 8
Fijn zand	
Leemhoudend zand	5 tot 8
Kleihoudend zand	7 tot 15
Zand	7 tot 20

Het is ook mogelijk de graad van anisotropie van de ondergrond in te voeren, dit is de verhouding tussen de verticale en de horizontale modulus.

Voorts legt het driehoeksdiaagram van Richardson een verband tussen de wegen- en de landbouwkundige benamingen van grondsoorten:



De zones in het diagram stemmen overeen met de volgende grondsoorten:

1. zand
2. leemhoudend zand
3. licht zandhoudend leem
4. zandhoudend leem
5. leem
6. klei
7. zware klei

Met dezelfde nummering van grondsoorten als in het driehoeksdiagram van Richardson geeft de hiernavolgende tabel aan hoe de E_s -modulus met het draineervermogen van de ondergrond verandert.

Grondsoort	Draineervermogen van de ondergrond			
	Goed drainerend	Matig drainerend	Slecht drainerend	Niet drainerend
1 tot 4	40	40	20	< 10
5, 6	40	20	10	< 10
7	20	< 10	< 10	< 10

2.3 Eigenschappen van de verwerkte materialen

Voor de materialen wordt uitgegaan van de volgende hypothesen:

- de materialen gedragen zich lineair elastisch. Zij worden gekarakteriseerd door:
 - een (elasticiteits)modulus van Young;
 - een coëfficiënt van Poisson;
- de materialen worden als homogeen beschouwd;
- de vervormingen blijven klein.

De elasticiteitsmodulus van cementbeton wordt berekend uit de karakteristieke cilinderdruksterkte.

De elasticiteitsmodulus van asfalt wordt berekend uit de kenmerken van het gebruikte bitumen en die van het asfalt zelf, bij een gegeven temperatuur en belastingsfrequentie.

De elasticiteitsmodulus van de overige materialen is constant en is te vinden in de database.

De coëfficiënt van Poisson is voor alle materialen constant en is te vinden in de database.

De gebruiker kan de kenmerken van bestaande materialen wijzigen of nieuwe materialen toevoegen.

De kenmerken van de materialen die in het venster voor de dimensionering van de beschouwde constructie zijn gekozen, kunnen zichtbaar worden gemaakt door met de cursor op de naam van het materiaal te gaan staan.

2.3.1 Mechanische kenmerken van cementbeton

Bepaling van de dynamische modulus van beton (E_c).

1. *Verband tussen dynamische en statische modulus en uitdrukken van de statische modulus als een functie van de karakteristieke druksterkte*

De dynamische modulus E_c kan als volgt als een functie van de gemiddelde statische modulus E_{cm} worden uitgedrukt:

$$E_c = 1,05 \cdot E_{cm}$$

$$\text{Hierin is } E_{cm} = 22\,000 (0,1 \cdot f_{cm})^{0,3}$$

$$\text{waarbij geldt dat } f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \left(\frac{cv}{100} \right) \cdot f_{cm}$$

Bij beton voor wegverhardingen bedraagt de variatiecoëfficiënt, cv , ongeveer 10 %.

$$\text{Dit geeft } f_{cm} = \frac{f_{ck}}{0,8355}$$

2. *Bepaling van de karakteristieke druksterkte*

De karakteristieke druksterkte van beton wordt, zoals standaardbestek RW99 het voorschrijft, beproefd aan proefcilinders met een middellijn van 113 mm en een hoogte van 100 mm. De druksterkte wordt aangeduid met het symbool R'_{bk} . De karakteristieke druksterkte f_{ck} , bepaald aan een genormaliseerde cilinder met een middellijn van 300 mm en een hoogte van 150 mm, kan worden bepaald uit de volgende relatie:

$$f_{ck} = 0,73 R'_{bk}$$

3. *Waarde voor de sterkte van beton in de vermoeiingswet*

De sterkte die in de vermoeiingswet voor beton moet worden ingevoerd, is de gemiddelde buigtreksterkte, aangeduid met het symbool $f_{cm,fl}$:

$$f_{cm,fl} = 0,05 f_{cm} + 4$$

Gebruikte symbolen

E_{cm}	Statische E. Dit is de secant-E van beton;
E_c	Dynamische E. Dit is de tangent-E in de oorsprong voor beton met een courante volumieke massa na 28 dagen. Ook aangeduid als $E_c(28)$;
f_{ck}	Karakteristieke cilinderdruksterkte van beton na 28 dagen;
f_{cm}	Gemiddelde cilinderdruksterkte van beton;
f_{ctm}	Gemiddelde cilindertreksterkte van beton;
R'_{bk}	Karakteristieke druksterkte van beton aan boorkernen, volgens RW99;
R'_{bm}	Gemiddelde druksterkte van beton aan boorkernen, volgens RW99.

2.3.2 Mechanische kenmerken van asfalt

De elasticiteitsmodulus van asfalt verandert met de omgevingstemperatuur en met de frequentie waarmee het belast wordt. Hij wordt bepaald uit de afschuivingsmodulus van het bitumen en uit het percentage holle ruimte en het bitumengehalte van het asfalt. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen asfaltmengsels op basis van een klassiek bitumen (2.3.2.1) en asfaltmengsels op basis van een gemodificeerd bitumen (2.3.2.2).

2.3.2.1 Mechanische kenmerken van asfalt op basis van een klassiek bitumen

2.3.2.1.1 Mechanische kenmerken van klassiek bitumen

Klassiek bitumen is visco-elastisch, maar is geen ideaal elastische vaste stof (die de wet van Hooke volgt), noch een ideaal viskeuze (newton)vloeistof. Het vertoont gecombineerde eigenschappen van beide, afhankelijk van hoe lang het belast wordt.

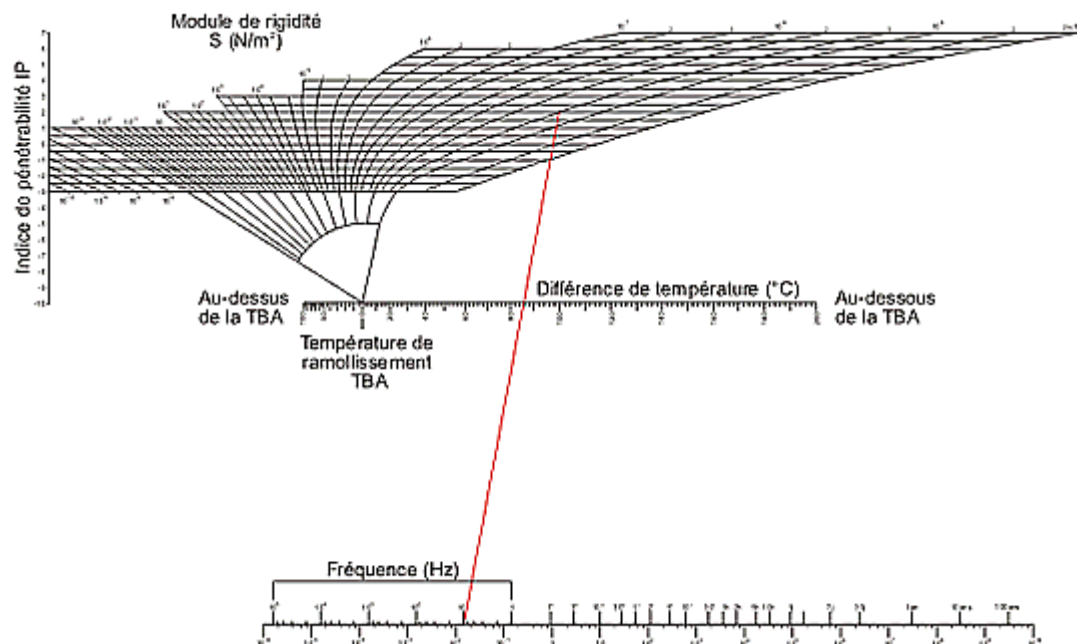
Onder een zeer snel en bij lage temperatuur uitgeoefende last gedraagt bitumen zich als een elastische vaste stof: de vervorming is evenredig aan de uitgeoefende last en het materiaal herstelt zich volledig in de oorspronkelijke toestand als de last snel wordt weggenomen. Onder spanning bij hoge temperatuur gedraagt bitumen zich echter als een viskeuze vloeistof en vervormt het continu, waarbij de vervormingstoename per tijdseenheid evenredig is aan de uitgeoefende last; een deel van de vervorming is dan blijvend. Bij tussenliggende temperaturen en belastingstijden gedraagt bitumen zich visco-elastisch, tussen de bovenbeschreven uitersten in.

Om dit visco-elastische gedrag te beschrijven, heeft Van Der Poel een van de belastingstijd afhankelijk begrip ingevoerd, dat een uitbreiding vormt van de modulus van Young en aangeduid wordt met de term stijfheidsmodulus (symbool: S^*).

Met het nomogram van Van Der Poel kan de stijfheidsmodulus van het klassieke bitumen worden bepaald uit de ring-en-kogeltemperatuur en de naaldpenetratie van het beschouwde bitumen, voor om het even welke temperatuur en belastingstijd.

Bij lage temperaturen is gebleken dat alle bitumina zich elastisch gedragen en hebben zij een stijfheidsmodulus van ongeveer 3 000 MPa.

Nomogram van Van Der Poel



Indice de pénétrabilité IP = Penetratie-index PI; Module de rigidité = Stijfheidsmodulus; Au-dessus de la TBA = Boven de RKT; Différence de température = Temperatuurverschil; Fréquence = Frequentie

Werkwijze voor de bepaling van de stijfheidsmodulus

Verbind het 10 Hz-punt op de belastingstijdschaal met het 86 (75 + 11) °C-punt op de temperatuurverschilschaal.

Trek door tot de tweede lijn van gelijke PI.

Lees de stijfheidswaarde af: $S^* = 5.108 \text{ N/m}^2$.

Voorbeeld: RKT = 75 °C; PI = +2; beproevingstemperatuur = -11 °C;

belastingsfrequentie = 10 Hz.

2.3.2.1.2 Mechanische kenmerken van asfalt op basis van een klassiek bitumen

Wanneer de modulus van het klassieke bitumen gekend is, en het percentage holle ruimte en het bitumengehalte van het asfaltmengsel gegeven zijn, kan de stijfheidsmodulus van het asfalt berekend worden. Hiertoe kunnen volgende relaties gebruikt worden [Francken L. and Vanelstraete A., "Complex moduli of bituminous materials – A rational method for the interpretation of test results", Proceedings of the RILEM Symposium on mechanical tests for bituminous materials: recent improvements and future prospects, Lyon (France), 14-16 May 1997]:

$$|E^*|(T, f) = E_\infty \cdot R^*(T, f)$$

waarin

E_{∞} de zuiver elastische modulus van het asfalt is, die voor een gegeven samenstelling constant blijft;

R^* de herleide modulus is, die de vorm van de hoofdkromme van het mengsel beschrijft ($0 < R^* < 1$);

$$E_{\infty} = 14\,360 \left(\frac{V_a}{V_l} \right)^{0,55} \exp(-0,0584 v)$$

$$\log(R^*) = \log(B^*) [1 - 1,35 F \left(\frac{V_a}{V_l} \right) G(B^*)]$$

$$G(B^*) = 1 + 0,11 \log(B^*)$$

$$F \left(\frac{V_a}{V_l} \right) = 1 - \exp \left(-0,13 \frac{V_a}{V_l} \right)$$

waarin

B^* de modulus van het klassieke bitumen is (in MPa);

V_a het volume van de aggregaten in het mengsel is (in %);

V_l het volume van het bindmiddel in het mengsel is (in %);

v het percentage residuale holle ruimte in het mengsel is ($0 < R^* < 1$).

In DimMet kan het percentage bindmiddel, het percentage holle ruimte, en de ring-en-kogeltemperatuur en naaldpenetratie van het beschouwde klassieke bitumen ingevoerd worden in de Database-Materialen. Aan de hand van de opgegeven waarden wordt vervolgens de stijfheidsmodulus van het asfalt berekend, waarbij de maandelijkse temperatuursgemiddelden (Database-Klimaat) in rekening gebracht worden (zie 2.4.2).

Database - Materialen

Soort materiaal : **Asfalt**

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen **Een materiaal kiezen om toegang te krijgen tot de knoppen**

Kopiëren

Toplaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruw	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur	Niet-klassiek
AB-1B	5.90	4.00	60.00	50.00	
AB-2C	7.90	4.00	42.00	54.00	
AB-4C	6.00	4.00	60.00	50.00	

Onderlaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruw	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur	Niet-klassiek
AB-3A	4.50	5.00	60.00	50.00	
AB-3B	4.70	5.00	60.00	50.00	

Sluiten

2.3.2.2 Mechanische kenmerken van asfalt op basis van een gemodificeerd bitumen

Gemodificeerd bitumen bestaat uit wegenbitumen dat innig vermengd is met een polymeer (elastomeer of plastomeer). Wij spreken hier af dat deze benaming ook bitumen met een positieve penetratie-index omvat (dit is een weinig temperatuurgevoelig bitumineus product dat met of zonder oxidatie uit sommige soorten ruwe aardolie is gedistilleerd of verkregen is door de asfaltfractie van deze oliesoorten te doen neerslaan).

Deze bitumina vertonen niet de klassieke eigenschappen van wegenbitumina; meer bepaald zijn zij minder temperatuurgevoelig. De penetratie-index en de ring-en-kogeltemperatuur volstaan dus niet om ze te karakteriseren; er moet ook rekening worden gehouden met de reologische eigenschappen, bepaald uit ingewikkelde proeven (vooral met de *Bending Beam Rheometer* en de *Dynamic Shear Rheometer*).

Om de mechanische kenmerken van het niet-klassieke asfaltmengsel toch zo goed mogelijk te benaderen, kan gebruik gemaakt worden van de tweepuntsbuigproef voor de bepaling van de stijfheidsmodulus van het asfaltmengsel bij een welbepaalde temperatuur en frequentie (zie norm EN12697). In DimMet worden deze materialen geclassificeerd in de Database-Materialen onder 'asfalt met gekende modulus'. Hierbij moet de opgemeten stijfheidsmodulus van het asfaltmengsel bij 0°C, 15°C en 30°C (telkens bij een frequentie van 10 Hz) ingevoerd worden om zo goed mogelijk het mechanische gedrag van het asfaltmengsel te beschrijven.

Database - Materialen

Soort materiaal : **Asfalt met gekende modulus**

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen Een materiaal kiezen om toegang te krijgen tot de knoppen

Kopiëren

Toplaag

Benaming	Frequentie (Hz)	E (T1 = 0°C - N/mm²)	E (T2 = 15°C - N/mm²)	E (T3 = 30°C - N/mm²)
AB-1B	10	18624	9520	3120
AB-2C	10	22987	13120	4210
ZOA-B1	10	19673	10230	3760

Onderlaag

Benaming	Frequentie (Hz)	E (T1 = 0°C - N/mm²)	E (T2 = 15°C - N/mm²)	E (T3 = 30°C - N/mm²)
AB-3B	10	19853	11010	3470
AB-3A	10	20119	12860	3300
AVS	10	23351	14500	5670

Sluiten

Wanneer voor een niet-klassiek asfaltmengsel geen resultaten van de tweepuntsbuigproef gekend zijn, kan overwogen worden om de modulus van het mengsel te benaderen door de klassieke karakterisering toe te passen zoals beschreven in 2.3.2.1. In de database worden deze asfaltmengsels geclassificeerd onder 'asfalt', waarbij een '*' aanduidt dat het om een asfaltmengsel op basis van een gemodificeerd bitumen gaat. Hoewel voor sommige niet-klassieke asfaltmengsels de klassieke karakterisering tussen 0°C en 30°C aanvaardbare resultaten geeft, verdient het toch de voorkeur om het mechanische gedrag van niet-klassieke asfaltmengsels te beschrijven aan de hand van hun effectieve stijfheid zoals bepaald uit de tweepuntsbuigproef.

Database - Materialen

Soort materiaal : **Asfalt**

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen Een materiaal kiezen om toegang te krijgen tot de knoppen

Kopiëren

Toplaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruil	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur	Niet-klassiek
SMA-C1	6.70	5.00	60.00	50.00	
SMA-C2/6 (50/85-50)	6.70	5.00	60.00	50.00	*
SMA-C3/6 (50/85-50)	6.70	5.00	60.00	50.00	*

Onderlaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruil	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur	Niet-klassiek
AB-3A	4.50	5.00	60.00	50.00	
AB-3B	4.70	5.00	60.00	50.00	

Sluiten

Tot slot moet opgemerkt worden dat voor asfaltmengsels op basis van een gemodificeerd bitumen men niet over de mogelijkheid beschikt in DimMET om spoorvormingsberekeningen uit te voeren. Bij deze berekeningen moeten immers onder meer de mechanische kenmerken van het asfaltmengsel bij 40°C gekend zijn (zie 3.3.3), maar voor deze hoge temperatuur is het niet aangewezen om de stijfheid van het niet-klassieke bitumen op een klassieke manier te gaan benaderen. Een rechtstreekse bepaling van de mechanische kenmerken van het asfaltmengsel door middel van de tweepuntsbuigproef is ook niet mogelijk, gezien de tweepuntsbuigproef slechts uitgevoerd wordt in een temperatuursgebied van -20°C tot 30°C.

2.4 Klimaat

Het klimaat is van invloed op de dimensionering van cementbeton- en asfaltverhardingen.

Bij de eerstgenoemde wekt het temperatuurverschil tussen het boven- en het ondervlak van de verharding thermische spanningen op.

Bij de laatstgenoemde beïnvloeden temperatuurveranderingen de elasticiteitsmodulus van het asfalt.

Ten slotte moet elke structuur ook nog tegen vorst worden gedimensioneerd, zodat de vorstindringingsdiepte kleiner blijft dan de dikte van de vorstbestendige materialen.

2.4.1 Invloed van de temperatuurgradiënt op de spanningen in een cementbetonplaat

De temperatuur in de platen van een cementbetonverharding, en in mindere mate ook in (gebonden) funderingen, verschilt van plaats tot plaats. Dit verschil, uitgedrukt als een temperatuurgradiënt ($^{\circ}\text{C}/\text{mm}$), doet de platen vervormen, waardoor zogenoemde “thermische” spanningen optreden.

Thermische spanningen worden in DimMET berekend met een gegeneraliseerd model van Bradbury, aangepast aan een rechthoekige plaat. Bradbury stelt een betonplaat die aan een temperatuurgradiënt onderhevig is gelijk met twee loodrecht op elkaar staande balken. Hieruit volgt dat:

$$w(x, y) = w(x) + w(y)$$

waarin w de deflectie in een gegeven richting is.

De spanningen worden in de dwarse richting berekend als de plaat breder is dan ze lang is. Omgekeerd worden de spanningen in de lengterichting berekend als de plaat langer is dan ze breed is.

Een plaatelement wordt in de dwarse richting begrensd door een overlangse rand of een langsvoeg en in de lengterichting door een dwarsvoeg of een scheur (dit laatste bij doorgaand gewapend beton).

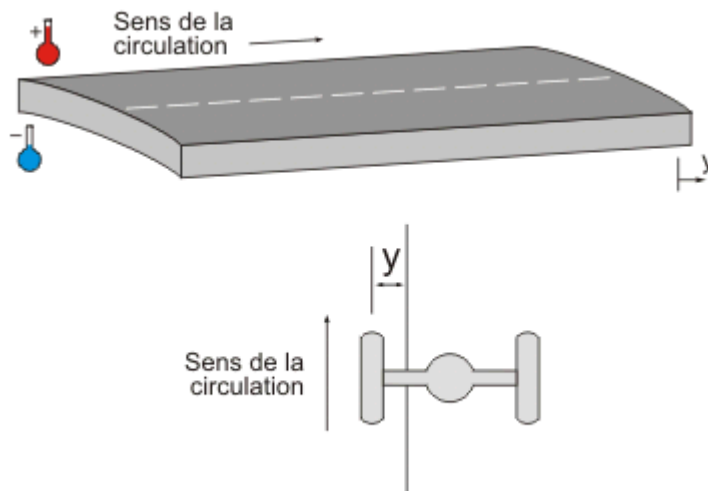
Bij doorgaand gewapend beton worden de spanningen dus altijd in de dwarse richting berekend, omdat de afstand tussen scheuren in de lengterichting maar 1,5 m bedraagt – terwijl de plaat 3,5 tot 4,5 m breed is (zie RW99).

Bij gedevelde platen worden de spanningen altijd in de lengterichting berekend, omdat de lengte van de plaat, die 5 m bedraagt (zie RW99), altijd groter is dan de breedte.

Bij ongedevelde platen, die 4 m lang moeten zijn (zie RW99), worden de spanningen in de lengterichting bepaald als de plaat minder dan 4 m breed is en in de dwarse richting als zij breder is dan 4 m.

Om de maximale spanning te bepalen, moet de plaats (y) van de voertuigas ten opzichte van de aslijn van de plaat (in de richting van de grootste afmeting) bekend zijn.

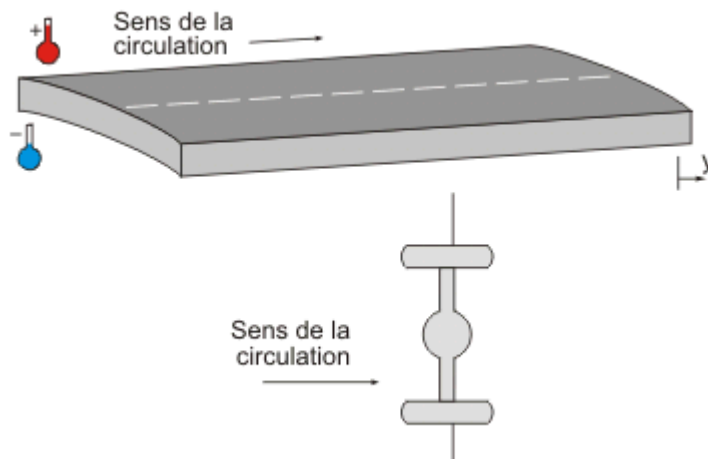
Als de plaat breder is dan zij lang is, geldt voor een 2 m brede, rollende voertuigas, waarvan aangenomen wordt dat hij 0,3 m van de plaatrand af blijft:



Sens de la circulation = Rijrichting

$$y = 2,3 - \frac{L}{2} \text{ (in mm).}$$

Als de plaat langer is dan zij breed is, geldt:



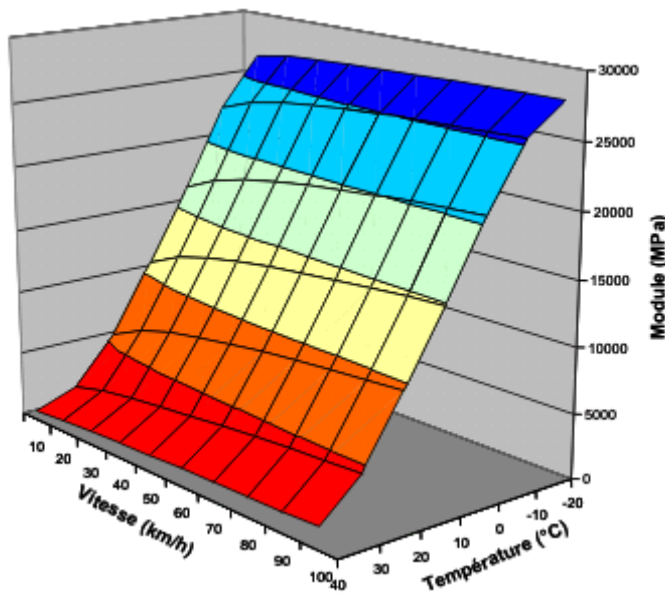
Sens de la circulation = Rijrichting

$$y = 0.$$

2.4.2 Invloed van de temperatuur op de spanningen in asfalt

Bij asfaltverhardingen wordt voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van de asfaltlagen uitgegaan van de maandelijkse gemiddelde temperatuur. De temperatuur van het asfalt wordt berekend volgens het model van C. De Backer [Les températures dans les structures routières. Mesures expérimentales – Méthode prévisionnelle. Rapport de recherche 180/CDB, Centre de Recherches routières, 1979].

De hiernavolgende afbeelding toont een voorbeeld van een kromme van de elasticiteitsmodulus van een asfaltmengsel als functie van de temperatuur en de frequentie waarmee de last wordt uitgeoefend.



Module = Modulus; Vitesse = Snelheid; Température = Temperatuur

2.4.3 Dimensionering tegen vorst

De methode voor dimensionering tegen vorst steunt op de [Handleiding voor het dimensioneren van wegen met een bitumineuze verharding, Aanbevelingen A 49/83, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 1983].

De vorstindringingsdiepte wordt bepaald uit de vorstindex van de beschouwde streek, volgens de relatie:

$$Z = 50 \cdot \sqrt{J}$$

waarin Z de vorstindringingsdiepte (in mm) en J de vorstindex van de beschouwde streek (in °C.dagen) is.

De dikte van de vorstbestendige materialen volgt dan uit de relatie:

$$D = \alpha \cdot Z$$

waarin D de dikte van de vorstbestendige materialen (in mm) en α een coëfficiënt uit de hiernavolgende tabel is.

Toestand	Waarde van coëfficiënt α			
	Asfalt: $D < Z$	Asfalt: hoge grondwaterstand	Beton: $D < Z$	Beton: hoge grondwaterstand
Vorstbestendige grond	0	0	0	0
Matig vorstgevoelig	0,72	0,80	0,60	0,70
Zeer vorstgevoelig	0,90	1	0,80	0,90

Voorbeeld van dimensionering tegen vorst

Dimensionering tegen vorst

Ontwerpdikte van de structuur (in mm) = 500

Benodigde dikte aan vorstbestendige materialen (in mm) = 602

Ter informatie: Vorstdiepte (in mm) = 669

Oplossing 1 Nieuwe dikte van de onderfundering in mm 302

Oplossing 2 De vorstgevoelige grond over een dikte van (mm) vervangen 102

Oplossing 3 De vorstgevoelige grond over een dikte van (mm) met hydraulische bi 102 iddelen be

OK

Definitie van vorstindex: [Het klimatologisch milieu van de weg, R. Van Ganse, Publicatie N 36/81, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 1981].

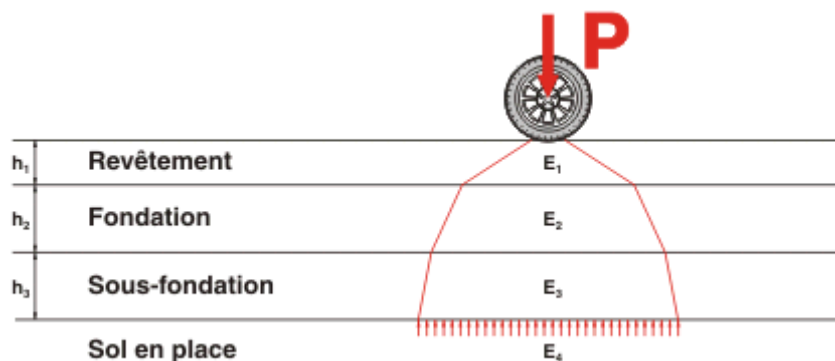
Met vorstindex van een koude periode wordt het verschil in graden-dagen aangeduid tussen het hoogste en het laagste punt van een cumulatieve graden-dagenkromme; elke dag heeft een aantal graden-dagen gelijk aan de gemiddelde temperatuur in °C met haar teken.

Dag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gemiddelde temperatuur (°C)	+1	+1	-2	-4	-5	-8	-6	-1	+2	+2
Cumulatieve °C.dagen (°C)	+1	+2	0	-4	-9	-17	-23	-24	-22	-20

$$J = +2 - (-24) = 26$$

3. Dimensioneringsmethoden

De hiernavolgende figuur geeft de verdeling van een last in een wegconstructie weer.



Revêtement = Verharding; Fondation = Fundering; Sous-fondation = Onderfundering; Sol en place = Aanwezige ondergrond

Een wegconstructie dimensioneren bestaat erin de waarden van de spanningen en vervormingen aan de onderzijde van de verschillende lagen te berekenen en ze in de overeenkomstige vermoeiingswetten in te voeren, om het maximaal aantal lastuitoefeningen te bepalen dat mogelijk is voordat de (gebonden) materialen bezwijken.

DimMET maakt gebruik van de volgende rekenmodellen:

- voor stijve structuren: de modellen van *Westergaard* en *Pasternak* (zie 3.2 [Stijve structuren](#));
- voor halfstijve en flexibele structuren: het meerlagenmodel van *Burmister* (zie 3.3 [Halfstijve en flexibele structuren](#)).

3.1 Randvoorwaarden voor alle structuren

- Wat de lasten betreft, wordt verondersteld dat een wiellast gelijkmatig over een cirkelvormig oppervlak verdeeld wordt.
- Wat de wegstructuur betreft:
 - wordt verondersteld dat de opeenvolgende lagen in de verticale richting in contact blijven. De deflecties, verticale spanningen en schuifspanningen op de grensvlakken tussen de lagen zijn gelijk;
 - wordt aangenomen dat de lagen zich horizontaal ten opzichte van elkaar kunnen verplaatsen. Volkomen hechting (gelijke horizontale verplaatsingen) en volkomen glijding (geen schuifspanningen) vormen de uitersten;
 - verslechtert de hechting tussen de lagen, die bij een nieuw aangelegde weg nog volkomen is, met verloop van tijd. In DimMET wordt voor deze verslechtering met perioden van tien jaar gerekend. De hechtingswaarden voor lagen die met elkaar in contact zijn, staan in de database. De hiernavolgende afbeelding toont de standaard ingestelde waarden.

Database - Hechting

Hechttingsmodellen :

Standaardwaarden

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen

Kopiëren Sluiten

Hechttingswaarden :

Soort van hechting	0-10 jaar	10-20 jaar	20-30 jaar	30-... jaar
beton - asfalt	1	0.66	0.33	0.1
asfalt - gebonden fundering	0.5	0.1	0.1	0.1
beton - gebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
asfalt - asfalt	1	1	1	1
asfalt - beton	1	1	0.5	0.5
asfalt - ongebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
beton - ongebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
ongebonden fundering - ongebonden fund.	1	1	1	1
gebonden fundering - ongebonden fund.	0.1	0.1	0.1	0.1
beton - beton	0.1	0.1	0.1	0.1

- Wat hydraulisch gebonden funderingen (vooral schraal beton) betreft, is uit berekeningen en ervaring gebleken dat zij scheuren voordat de asfalt- of cementbetonverharding tekenen van vermoeiing vertoont. DimMET kent dan ook aan een gescheurde fundering een lagere elasticiteitsmodulus toe, die in de database terug te vinden is.

3.2 Stijve structuren

Voor de berekening van betonplaten wordt gesteund op de sterkteleer van materialen, in de volgende veronderstellingen:

1. Geometrie:
de platen worden als dunne platen beschouwd, wat betekent dat de verhouding tussen de lengte en breedte enerzijds en de dikte anderzijds groot is.
2. Hypothese van Bernoulli:
de deflecties aan de boven- en aan het onderzijde van de platen zijn dezelfde.
3. De materialen zijn homogeen en isotroop en volgen een lineaire gedragswet.

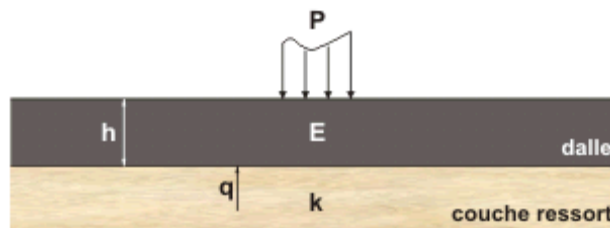
3.2.1 Model van Westergaard

Het oorspronkelijke model van Westergaard is een tweelagenmodel, bestaande uit een plaat op een ondergrond.

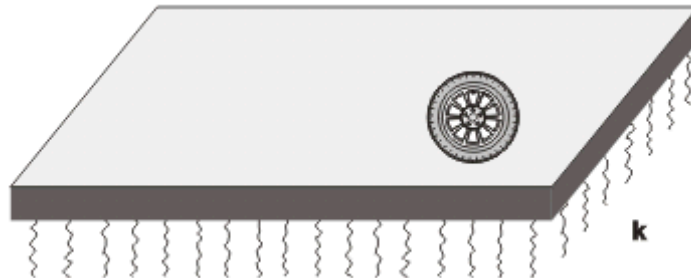
De ondergrond wordt gemodelleerd door een reeks verticale veren zonder horizontale verbindingen (fundering van Winkler). Hieruit volgt dat de deflectie aan het oppervlak van de ondergrond evenredig is aan de uitgeoefende verticale spanning:

$$k = \frac{q}{w}$$

waarin w de deflectie (mm), q de verticale spanning (N/mm^2) en k de stijfheid van de ondergrond (N/mm^3) is.



dalle = plaat; couche ressort = verende laag



De plaat wordt onderworpen aan een aan het oppervlak verdeelde last p en aan een reactiespanning q van de ondergrond. De vergelijking van het verticale evenwicht wordt geschreven als:

$$\nabla^4 w + \frac{q}{D} = \frac{p}{D}$$

en, na toepassing van de hypothese van Winkler, als:

$$\nabla^4 w + \frac{k w}{D} = \frac{p}{D}$$

waarin D de stijfheid van de plaat is, bepaald als:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

Het model van Westergaard geldt voor oneindige platen of voor eindige platen (met randen en voegen). De overdracht van schuifkrachten in de voegen tussen platen wordt bepaald met de volgende relatie:

$$t = \gamma \cdot T_\infty$$

waarin T de resulterende schuifkracht (N), γ de krachtoverdrachtscoëfficiënt in de voegen en T_∞ de schuifkracht in een plaat zonder voegen (N) is.

De coëfficiënt die voor de lastoverdracht genomen wordt, is afhankelijk van het type van plaat:

- doorgaand gewapend beton: $\gamma = 0,8$;
- gedeuvelde platen: $\gamma = 0,5$;
- ongedeuvelde platen: $\gamma = 0,2$.

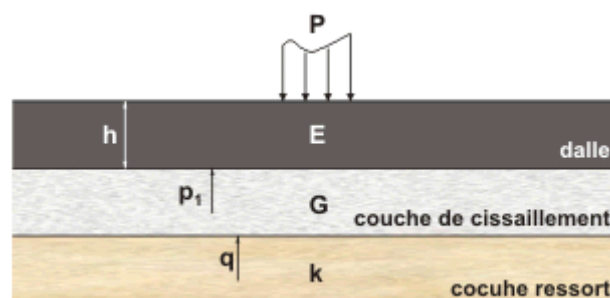
3.2.2 Model van Pasternak

Het model van Pasternak houdt rekening met de afschuiving van de ondergrond.

Pasternak stelt als hypothese dat de schuifkracht evenredig is aan de afgeleide van de deflectie:

$$T = G \frac{dw}{dx}$$

waarin G (N/mm) de modulus van Pasternak is.



dalle = plaat; couche de cisaillement = schuivende laag; couche ressort = verende laag

Duidelijkheidshalve moet worden toegevoegd dat de ondergrond verdeeld wordt in een laag die enkel schuifkrachten en een laag die enkel verticale krachten opneemt.

De vergelijking van het verticale evenwicht wordt geschreven als:

$$\nabla^4 w - \frac{G}{D} \nabla^2 w + \frac{k w}{D} = \frac{p}{D}$$

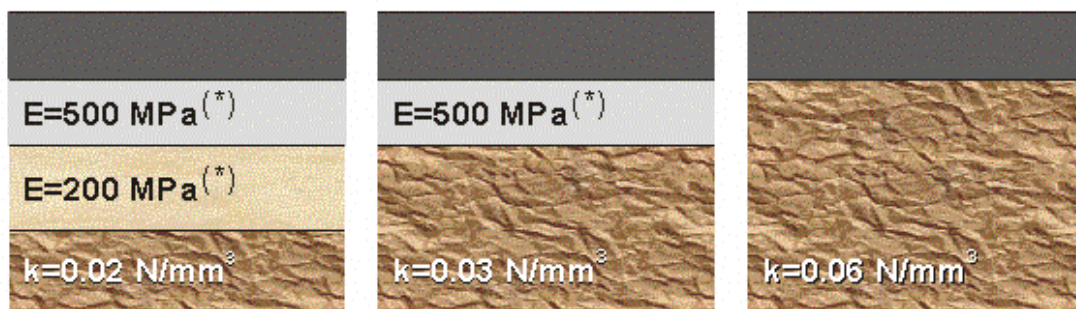
Onderzoek aan de Universiteit van Singapore heeft geleid tot de volgende relatie tussen modulus G en de k -waarde van Westergaard (die echter voorzichtig moet worden gehanteerd, omdat zij uit een beperkt aantal waarnemingen voortvloeit en bovendien van de gebruikte eenheden afhangt):

$$G^{(N/mm)} = 350\,000 \cdot k^{(n/mm^2)}$$

3.2.3 Equivalent draagvermogen van de ongebonden lagen

In de praktijk beperkt een stijve structuur zich niet tot een plaat op een ondergrond, zoals in het [model van Westergaard](#). Zij bestaat meestal uit een cementbetonverharding, eventueel een bitumineuze tussenlaag en een fundering van schraal beton, die op verscheidene lagen korrelvormig materiaal rusten.

Deze lagen korrelvormig materiaal kunnen worden omgezet in één laag met een equivalente k -waarde [Mc Cullough, 1981], zoals in het hierna getoonde voorbeeld.



(*) Matériaux granulaires

Matériaux granulaires = Korrelvormige materialen

Het equivalente draagvermogen van lagen korrelvormig materiaal wordt in het rekenvenster bepaald door op de tab “Equivalent draagvermogen (N/mm³)” te klikken.

Ongebonden fundering <input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="radio"/> Type	Korrelvormig materiaal Type III
<input type="radio"/> Modulus (N/mm ²)	
h (mm)	200
Onderfundering <input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="radio"/> Type	Type III
<input type="radio"/> Modulus (N/mm ²)	
h (mm)	200
Ondergrond	
<input checked="" type="radio"/> Type	Klei
<input type="radio"/> C.B.R.	
Equivalent draagvermogen (N/mm²)	
0.06	

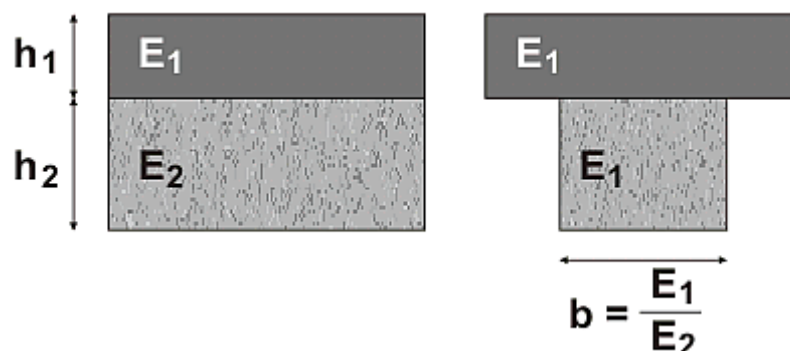
3.2.4 Equivalente stijfheid van de gebonden lagen

De gebonden lagen kunnen worden omgezet in één laag met een equivalente stijfheid D_{eq} . De waarde hiervan is afhankelijk van de hechting tussen de lagen.

Bij volkomen glijding is de equivalente stijfheid gelijk aan de som van de stijfheden van de lagen:

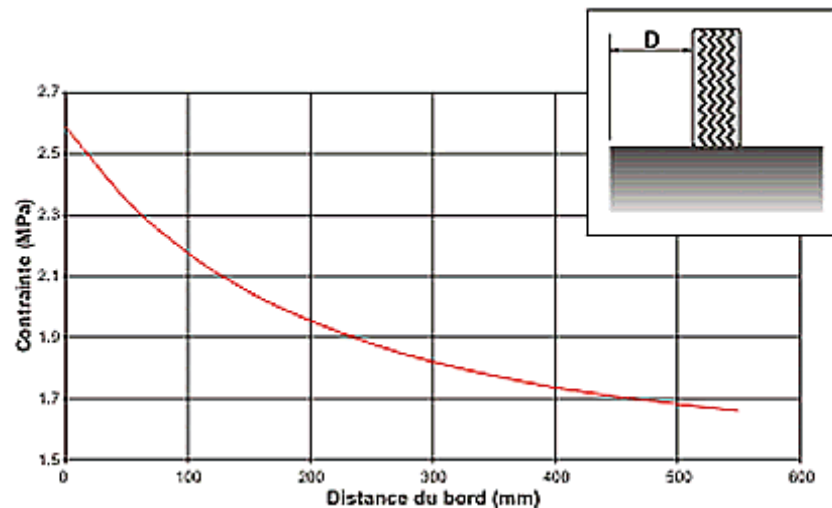
$$D_{eq} = \frac{E_{eq} h^3}{12 (1 - \mu^2)} = \frac{E_1 h_1^3}{12 (1 - \mu_1^2)} + \frac{E_2 h_2^3}{12 (1 - \mu_2^2)}$$

Bij volkomen hechting tussen de lagen wordt de eenheidsdoorsnede van de structuur omgezet in een T -doorsnede met een equivalente stijfheid ($E_1 I_{12}$) die gegeven wordt door het product van de modulus van de toplaag met het traagheidsmoment van de T -doorsnede.



3.2.5 Spanningen in de plaat

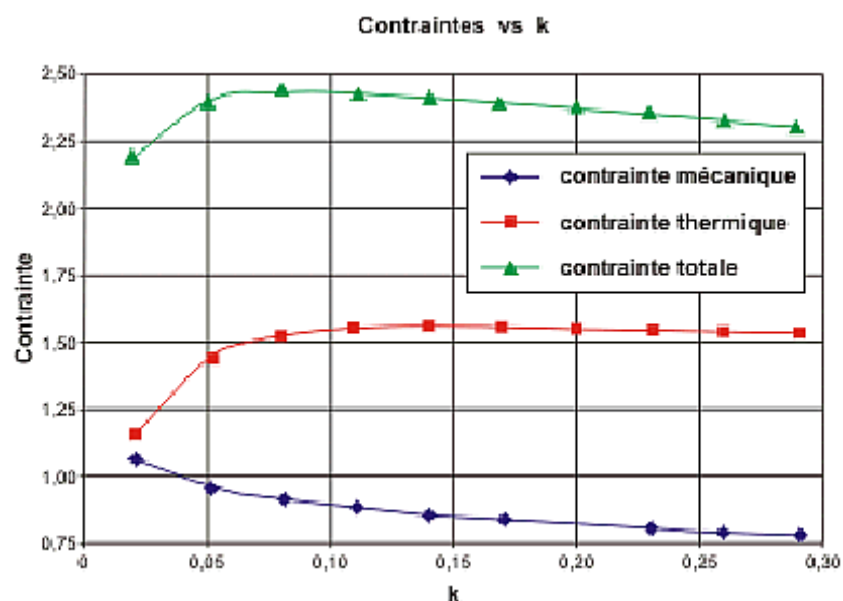
Met de modellen van Westergaard en Pasternak kunnen de verticale deflectie en de buigspanning in om het even welk punt aan de onderzijde van de plaat worden bepaald. De maximale spanning treedt aan de plaatrand op als de last ook aan de plaatrand wordt uitgeoefend.



Contrainte = Spanning; Distance du bord = Afstand tot de rand

De benodigde extra breedte om de spanning aan de plaatrand kleiner dan of gelijk aan de spanning in de voeg te maken, wordt berekend.

In de hiernavolgende grafiek zijn de thermische en de mechanische spanningen aan de onderzijde van een betonplaat op een ondergrond uitgezet tegen het draagvermogen k .



Contraintes = Spanningen; Contrainte = Spanning; contrainte mécanique = mechanische spanning; contrainte thermique = thermische spanning; contrainte totale = totale spanning

De mechanische spanningen nemen af wanneer het draagvermogen van de ondergrond toeneemt. De thermische spanningen nemen eerst toe met k , waarna zij zich stabiliseren. Dit komt doordat het moment dat kromtrekken van de plaat tegenwerkt groter moet zijn naarmate de ondergrond draagkrachtiger is.

Bij extreme temperatuurgradiënten leidt de som van de twee spanningen in eerste instantie tot een verlenging van de levensduur van de structuur wanneer k toeneemt, waarna een dalende trend volgt.

3.2.6 Vermoeiingswet van beton

Met de vermoeiingswet wordt het aantal lastuitoefeningen, N , bepaald dat mogelijk is tot het materiaal bezwijkt.

Vermoeiingswet voor beton:

$$\log N = 15 \left[\frac{1 - \frac{\sigma_{fl} + \sigma_{th}}{\sigma_{br}}}{1 - 0,75 \frac{\sigma_{th}}{\sigma_{br}}} \right]$$

Vermoeiingswet voor schraal beton:

$$\log N = 14 \left[\frac{1 - \frac{\sigma_{fl} + \sigma_{th}}{\sigma_{br}}}{1 - 0,75 \frac{\sigma_{th}}{\sigma_{br}}} \right]$$

Hierin is

σ_{fl} de buigspanning (N/mm^2);

σ_{th} de thermische spanning (N/mm^2);

σ_{br} de bezwijkspanning (N/mm^2).

De vermoeiingswet wordt op alle P_i -aslasten toegepast om het aantal uitoefeningen, N_i , van last P_i te verkrijgen. De verschillende N_i -aantallen voor de verschillende aslasten worden gecombineerd door de wet van Miner toe te passen:

$$\frac{f_1 \cdot N}{N_1} + \frac{f_2 \cdot N}{N_2} + \dots + \frac{f_i \cdot N}{N_i} + \dots + \frac{f_n \cdot N}{N_n} = 1$$

Hieruit volgt dat

$$N = \frac{1}{\frac{f_1}{N_1} + \frac{f_2}{N_2} + \dots + \frac{f_i}{N_i} + \dots + \frac{f_n}{N_n}}$$

waarin f_i de frequentie van de P_i -lasten is.

3.2.7 Kalibratiefactor

Met deze factor moeten de resultaten van het rekenmodel eventueel worden aangepast aan het in reële situaties waargenomen gedrag van stijve wegconstructies.

Tot dusver is uit ervaring gebleken dat de kalibratiefactor voor alle soorten van stijve wegconstructies mag worden gelijkgesteld met **1,1**.

3.3 Flexibele en halfstijve structuren

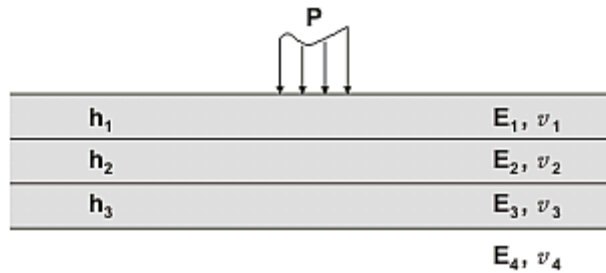
Voor de berekening van flexibele structuren (bitumineuze verharding op een ongebonden fundering) en halfstijve structuren (bitumineuze verharding op een gebonden fundering) wordt gesteund op de elasticiteitstheorie, in de volgende veronderstellingen:

1. Geometrie:
in de horizontale richting zijn de lagen oneindig.
2. De gebruikte materialen zijn homogeen en isotroop en volgen een lineaire gedragswet.
3. De ondergrond kan anisotroop zijn als de verticale modulus E_v verschilt van de horizontale modulus E_h .
Meestal is $E_v > E_h$.

3.3.1 Meerlagenmodel van Burmister

Dit meerlagenmodel berekent de spanningen, verplaatsingen en vervormingen in elk punt van de structuur.

Elke laag wordt gekarakteriseerd door een modulus van Young en een coëfficiënt van Poisson. Voor de ondergrond komt daar eventueel een graad van anisotropie bij.



De grensvlakcondities moeten worden bepaald; de uitersten zijn:

- volkomen hechting:
de lagen blijven met elkaar in contact. De verplaatsingen langs het grensvlak zijn gelijk;
- volkomen glijding:
de lagen verplaatsen zich vrij ten opzichte van elkaar. Er zijn geen schuifspanningen op het grensvlak.

3.3.2 Vermoeiingswet van asfalt

Met de vermoeiingswet wordt het aantal uitvoeringen, N , van een bepaalde last bepaald dat mogelijk is tot het materiaal bezwijkt.

Vermoeiingswet:

$$N = \left(\frac{0,0016}{\epsilon_x} \right)^{4,76}$$

waarin ϵ de vervorming aan de onderzijde van de asfaltlaag is.

Het gevonden aantal, N , wordt vermenigvuldigd met een factor 7. Deze factor houdt rekening met het gunstige effect van rusttijden tussen opeenvolgende laster op de vermoeiingsweerstand van asfalt.

De vermoeiingswet wordt op alle P_i -aslasten toegepast om het aantal uitvoeringen, N_i , van last P_i te verkrijgen. De verschillende N_i -aantallen voor de verschillende aslasten worden gecombineerd door de wet van Miner toe te passen:

$$\frac{f_1 \cdot N}{N_1} + \frac{f_2 \cdot N}{N_2} + \dots + \frac{f_i \cdot N}{N_i} + \dots + \frac{f_n \cdot N}{N_n} = 1$$

Hieruit volgt dat

$$N = \frac{1}{\frac{f_1}{N_1} + \frac{f_2}{N_2} + \dots + \frac{f_i}{N_i} + \dots + \frac{f_n}{N_n}}$$

waarin f_i de frequentie van de P_i -lasten is.

3.3.3 Blijvende-vervormingswet (spoorvorming)

Primaire spoorvorming treedt in bitumineuze lagen op doordat bitumineuze materialen blijvend vervormen.

Blijvende plastische vervorming wordt uitgedrukt door middel van de relatie van L. Francken [Permanent Deformation Law of Bituminous Road Mixes in Repeated Triaxial Compression. Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. The University of Michigan, Ann Arbor, Vol. II, pp. 486-496, August 1977; Wet van de blijvende vervorming van asfaltbeton – Invloed van de samenstelling en rol van de bestanddelen. Bituminfo 43/1982]:

$$\varepsilon_p = \frac{|\sigma_v - \sigma_h|}{2 \cdot E_p} \cdot t^{0,25}$$

waarin

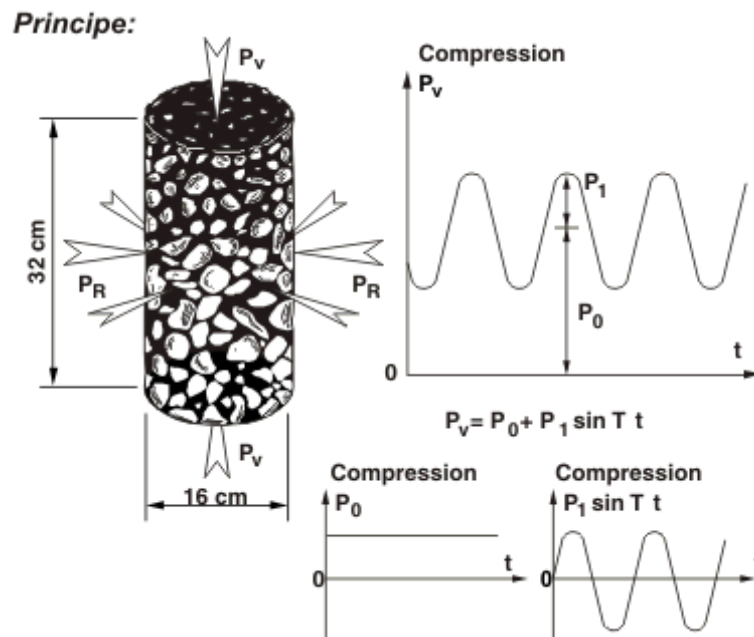
σ_v, σ_h = verticale en horizontale spanning (N/mm^2);

t = tijd ($ksec$);

E_p = blijvende-vervormingsmodulus (N/mm^2).

Deze vervormingswet is afgeleid uit dynamische triaxiaalproeven op cilindrische proefstukken. Bij een triaxiaalproef is de spanningsdeviator, $|\sigma_v - \sigma_h|$, voorgeschreven.

Principe van de dynamische triaxiaalproef:



Principe = Principe; Compression = Samendrukking

De vergelijking voor de blijvende vervorming onder verkeersbelasting kan worden geschreven als:

$$\varepsilon_p = \frac{|\sigma_v - \sigma_h|}{2 \cdot E_p} \cdot \left[\frac{N}{450 \cdot V} \right]^{0.25}$$

waarin

V = snelheid van de voertuigen (km/h);

N = aantal voertuigen.

Aangenomen wordt dat de belastingsfrequentie (Hz) als functie van de snelheid (km/h) kan worden uitgedrukt, door middel van de relatie:

$$f = 0,45 v$$

Voor spoorvormingsberekeningen moet de snelheid van het verkeer worden ingevoerd in de *parametertabel* van de database. Deze snelheid kan verschillen van die voor de dimensioneringsberekeningen. De standaard ingestelde waarde is 60 km/h.

De blijvende vervorming verschilt op elk niveau in de bitumineuze lagen.

De spoorvorming wordt per laag afzonderlijk berekend en grafisch weergegeven. De hiernavolgende tabel geeft het histogram dat voor de vier temperatuurgebieden is gekozen.

T (°C)	%
20	10
30	20
40	60
0	10

3.3.4 Equivalente stijfheid van asfaltlagen

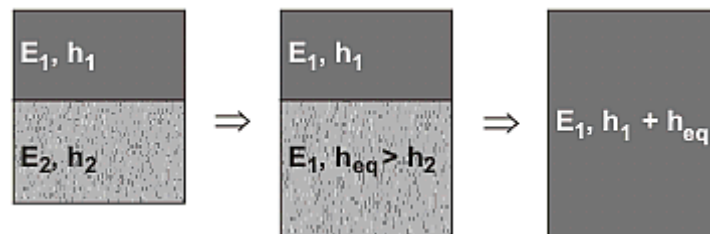
Als er meer dan vier asfaltlagen zijn, kan het aantal lagen tot vier worden gereduceerd door middel van de relatie die de equivalentie tussen dikten en elasticiteitsmoduli van lagen bepaalt.

De equivalentie wordt verkregen door de respectieve stijfheden van de lagen gelijk te stellen.

Deze relatie gaat uit van volkomen hechting tussen de lagen. Zij ziet er als volgt uit:

$$h_{eq} = h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}$$

Voorbeeld waarin $E_2 > E_1$:



4. Terugberekening

Terugberekening maakt het mogelijk de elasticiteitsmodulus van de verschillende lagen in een wegconstructie te schatten uit:

- metingen van de deflectiekromme van de constructie onder een gegeven last (meetapparaat: [valgewichtdeflectiometer](#) of [curviameter](#));
 - de dikte van de verschillende lagen;
 - de coëfficiënt van Poisson van de verschillende lagen.
- De hiernavolgende tabel geeft een aantal waarden ter indicatie:

Materiaal	Coëfficiënt van Poisson
Cementbeton	0,25
Asfalt	0,35
Ongescheurd schraal beton	0,25
Droog verdicht beton	0,25
Gescheurd schraal beton	0,30
Gescheurd droog verdicht beton	0,30
Gestabiliseerd steenslag	0,30
Korrelvormige materialen	0,50
Ondergrond	0,50

- de geschatte elasticiteitsmodulus van de verschillende lagen.
- De hiernavolgende tabel geeft een aantal waarden ter indicatie:

Materiaal	Modulus (MPa)
Cementbeton	30 000 – 40 000
Asfalt	5 000 – 15 000
Ongescheurd schraal beton	15 000 – 25 000
Gescheurd schraal beton	3 000 – 7000
Droog verdicht beton	25 000 – 35 000
Gescheurd droog dicht beton	7 000 – 10 000
Gestabiliseerd steenslag	8 000 – 12 000
Beschadigd gestabiliseerd steenslag	800 – 3 000
Steenslag	500 – 800
Zandcement	3 000 – 5 000
Korrelvormige onderfundering	200 – 300
Ondergrond	10 – 300

- de geschatte waarden ($0 < Adh < 1$) voor de hechting tussen de verschillende lagen.
- De waarden in de hiernavolgende tabel zijn standaard ingesteld:

Database - Hechting

Hechtingsmodellen :

Standaardwaarden

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen

Kopiëren Sluiten

Hechtingswaarden :

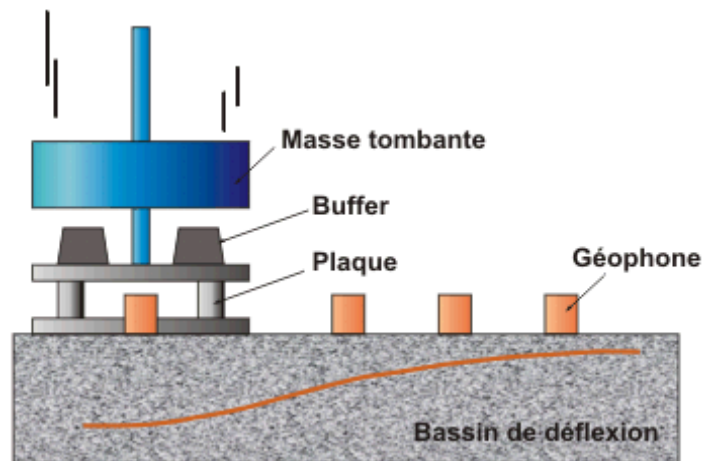
Soort van hechting	0-10 jaar	10-20 jaar	20-30 jaar	30-... jaar
beton - asfalt	1	0.66	0.33	0.1
asfalt - gebonden fundering	0.5	0.1	0.1	0.1
beton - gebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
asfalt - asfalt	1	1	1	1
asfalt - beton	1	1	0.5	0.5
asfalt - ongebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
beton - ongebonden fundering	0.1	0.1	0.1	0.1
ongebonden fundering - ongebonden fund.	1	1	1	1
gebonden fundering - ongebonden fund.	0.1	0.1	0.1	0.1
beton - beton	0.1	0.1	0.1	0.1

De terugberekening bestaat erin de berekende deflectiekromme te doen samenvallen met de gemeten deflectiekromme.

4.1 Valgewichtdeflectiemeter

De valgewichtdeflectiemeter of Falling Weight Deflectometer (FWD) is een apparaat om deflecties te meten, met de volgende hoofdkenmerken:

- negen geofoons voor deflectiemetingen, die zich doorgaans op 0, 300, 600, 900, 1 200, 1 500, 1 800, 2 100 en 2 400 mm bevinden van het punt waar de last wordt uitgeoefend;
- maximumbelasting: 150 kN (voor een standaard-FWD);
- geschikt voor alle soorten van structuren (stijf, halfstijf en flexibel);
- discontinue meting (één punt om de 100 m voor een hoog rendement).



Masse tombante = Valgewicht; Buffer = Buffer; Plaque = Belastingplaat; Géophone = Geofoon; Bassin de déflexion = Deflectiekromme

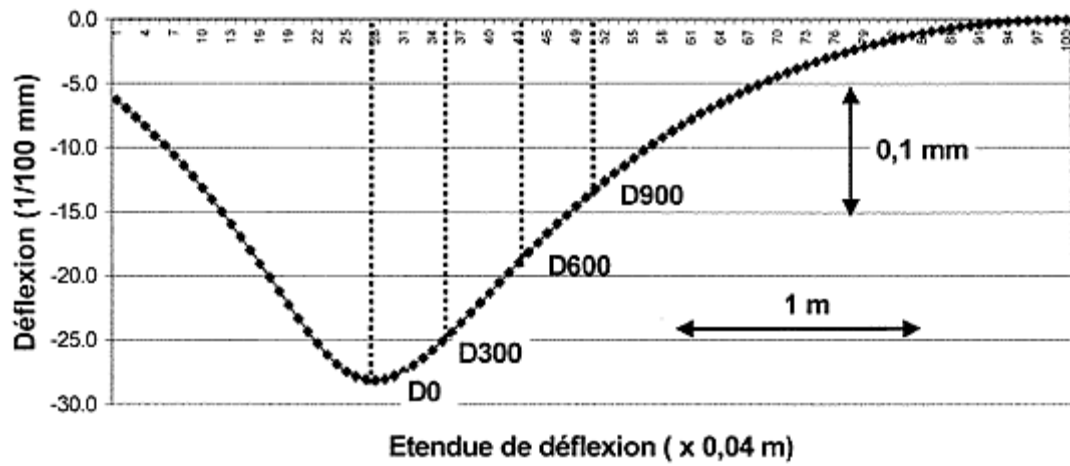
4.2 Curviameter

De curviameter is een apparaat om deflecties te meten, met de volgende hoofdkenmerken:

- drie op een ketting gemonteerde geofoons voor deflectiemetingen in honderd punten die zich tussen 1 m vóór en 3 m achter de last bevinden;
- last van 50 tot 65 kN op een dubbel wiel;
- geschikt voor halfstijve en flexibele structuren (de nauwkeurigheidsgrenspijl maakt geen metingen op stijve structuren mogelijk);
- continue meting (één meting om de 5 m);
- voortbewegingssnelheid: 18 km/h (5 m/s).



CURVIAMETRE: BASSIN DE DEFLEXION TYPE



CURVIAMETRE = CURVIAMETER; BASSIN DE DEFLEXION TYPE =
 STANDAARDEFLECTIEKROMME; Déflexion = Deflectie; Etendue de déflexion = Uitgestrektheid van
 de deflectie

5. Versterkingsmethoden

Versterking heeft als hoofddoel een of meer gebreken van de structuur te verhelpen en de levensduur ervan te verlengen door een of meer extra lagen aan te brengen (overlaging of *overlay*) of door de beschadigde lagen door nieuwe te vervangen (gedeeltelijke reconstructie of *inlay*).

Versterking wordt dus toegepast om het draagvermogen van de wegconstructie te vergroten.

Het DimMET-programma onderscheidt de volgende gevallen:

- een overlay van cementbeton op een bestaande cementbetonverharding of op een bestaande asfaltverharding (zie 5.1 Overlay van beton);
- een inlay van cementbeton ter volledige vervanging van een bestaande cementbetonverharding of ter volledige of gedeeltelijke vervanging van een bestaande asfaltverharding (zie 5.2 Inlay van beton);
- een overlay van asfalt op een bestaande cementbetonverharding of op een bestaande asfaltverharding (zie 5.3 Overlay van asfalt);
- een inlay van asfalt ter volledige of gedeeltelijke vervanging van een bestaande asfaltverharding (zie 5.4 Inlay van asfalt).

5.1 Overlay van beton

Overlays van beton worden berekend met de meerlagentheorie van Burmister (zie 3.3.1 Meerlagenmodel van Burmister), om verscheidene redenen:

- de theorie van Westergaard (zie 3.2.1 Model van Westergaard) vereist als invoergegeven de stijfheid van de ondergrond, uitgedrukt in een k -waarde (in N/mm^3). Omdat terugberekening slechts een schatting van de modulus van de ondergrond (E) geeft en er geen correlatie tussen E en k bestaat, kan deze theorie niet strikt worden toegepast;
- het verdient de voorkeur om voor de berekening van de versterking hetzelfde model te gebruiken als voor de bepaling van het draagvermogen, dus het meerlagenmodel. Op die manier kan immers de invloed van een verkeerde schatting van de elasticiteitsmodulus van de lagen worden verminderd of zelfs worden uitgeschakeld.

Om rekening te houden met de effecten van grotere spanning aan de rand van een plaat (of aan een voeg) en van de temperatuurgradiënt, die eigen zijn aan cementbeton, heeft F. Van Cauwelaert de hierna toegelichte relaties in de berekening opgenomen.

In rekening-brengen van de spanning aan voegen:

Zij:

σ_{midden} de spanning in het midden van een plaat (berekend met de meerlagentheorie);

σ_{voeg} de spanning aan een voeg die deze plaat begrenst;

γ de lastoverdrachtscoëfficiënt in deze voeg, dan geldt:

$$\sigma_{voeg} = (2 - \gamma) \cdot \sigma_{midden}$$

In rekening-brengen van de temperatuurgradiënt:

De temperatuurgradiënt wordt met dezelfde relaties berekend als bij de dimensionering van cementbetonverhardingen. Alleen parameter k wordt anders bepaald.

Zij:

σ_{therm} de thermische spanning;

k de parameter in de berekening van de thermische spanning.

k moet zo zijn, dat:

$$\frac{\partial \sigma_{therm}}{\partial k} = 0$$

(zoeken naar de k -waarde die de maximale spanning geeft).

Gevonden wordt:

$$k = \frac{E h^3 \pi \sqrt{2}}{6 (1 - \mu^2) L}$$

waarin

E = dynamische modulus van de betonplaat;

h = dikte van de betonplaat;

μ = coëfficiënt van Poisson;

L = lengte van de plaat.

De software biedt voor de versterking de mogelijkheden uit de hiernavolgende tabel.

Keuze van een verharding

Bestaande laag

☐ Asfalt ☒ **Beton** ☐ Geen

Kies een verharding :

Bestaand beton		
Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Bestaand beton	Bestaand beton	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Bestaand beton	Bestaand beton	Bestaand beton
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Bestaand beton	Bestaand beton	

Terug Ok

Om de restlevensduur van de wegconstructie te bepalen, volstaat het de optie “Bestaand beton” te kiezen.

5.2 Inlay van beton

Een inlay van beton wordt op dezelfde manier berekend als een overlay van beton (zie 5.1 Overlay van beton).

Voor een inlay van beton moet de bestaande cementbetonverharding geheel worden vervangen. Daarom is in de keuzetabel voor de bestaande verhardingslaag de optie “Geen” aangeduid.

Opmerking: als inlay kan ook een nieuwe asfaltverharding worden aangebracht.

Keuze van een verharding

Bestaande laag

☐ Asfalt ☐ Beton ☒ **Geen**

Kies een verharding :

Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw asfalt

Terug Ok

5.3 Overlay van asfalt

Een overlay van asfalt wordt berekend met de meerlagentheorie van Burmister, die beschreven is in paragraaf 3.3.1 Meerlagenmodel van Burmister.

De stijfheidsmodulus van asfalt verandert met de temperatuur. Bij draagvermogensmetingen dient bijgevolg de temperatuur van de bestaande asfaltverharding te worden genoteerd. De moduluswaarden van de bestaande verharding zijn dan voor elke temperatuur terug te vinden met de hierna beschreven empirische methode.

Als de belasting uitgeoefend wordt met een snelheid van 60 km/h (dit is de snelheid die de FWD simuleert en die in DimMET als uitgangspunt wordt genomen), geldt dat:

$$Y(t) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t)} = 6.10^{-8} t^5 + 3.10^{-7} t^4 - 2.10^{-5} t^3 + 5.10^{-4} t^2 + 1,5.10^{-2} t + 0,42$$

Zij E_0 de modulus die terugberekend is uit de resultaten van een FWD-proef bij een temperatuur t_0 .

$$Y(t_0) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t_0)} = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E_0}$$

Bovendien geldt dat:

$$Y(t_{zom}) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t_{zom})}, Y(t_{win}) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t_{win})} \text{ en } Y(t_{her/len}) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t_{her/len})}$$

Hieruit volgt dat:

$$E_{zom} = \frac{Y(t_0)}{Y(t_{zom})} E_0, E_{win} = \frac{Y(t_0)}{Y(t_{win})} E_0 \text{ en } E_{her/len} = \frac{Y(t_0)}{Y(t_{her/len})} E_0$$

Bij draagvermogensmetingen met de curviameter wordt de belasting uitgeoefend met een snelheid van 18 km/h; dit stemt niet overeen met de snelheid van de FWD, noch met die waarmee in DimMET rekening wordt gehouden.

De veelterm van de vijfde graad wordt in dit geval:

$$Y(t) = \frac{E(20^{\circ}\text{C})}{E(t)} = 5.10^{-8} t^5 + 10^{-6} t^4 - 3.10^{-6} t^3 + 10^{-4} t^2 + 1,3.10^{-2} t + 0,404$$

Zij E'_0 de modulus die terugberekend is uit de deflecties die met de curviameter bij temperatuur t_0 zijn gemeten.

$$Y'(t_0) = \frac{E(20^\circ\text{C})}{E'_0}$$

De polynomiale kromme die in DimMET wordt gebruikt, moet worden afgegaan om de juiste moduli te vinden:

$$E(20^\circ\text{C}) : Y'(t_0) \cdot E'_0$$

en bijgevolg:


$$E_{zom} = \frac{1}{Y(t_{zom})} E(20^\circ\text{C}), E_{win} = \frac{1}{Y(t_{win})} E(20^\circ\text{C}) \text{ en } E_{her / len} = \frac{1}{Y(t_{her / len})} E(20^\circ\text{C})$$

De software biedt voor de versterking de mogelijkheden uit de hiernavolgende tabel.

Keuze van een verharding

Bestaande laag
☒ **Asfalt** ☐ **Beton** ☐ **Geen**

Kies een verharding :

 Nieuw asfalt		
Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	Bestaand asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	

Terug Ok

Om de restlevensduur van de wegconstructie te bepalen, volstaat het de optie “Bestaand asfalt” te kiezen.

5.4 Inlay van asfalt

Een inlay van asfalt wordt met dezelfde methode berekend als een overlay van asfalt.

Gemakshalve wordt de stijfheidsmodulus van het deel van de bestaande asfaltverharding dat bij de aanbrenging van een inlay behouden blijft, gelijkgesteld met de stijfheidsmodulus van de hele bestaande asfaltverharding.

De software biedt voor de versterking de mogelijkheden uit de hiernavolgende tabel.

Keuze van een verharding

Bestaande laag

☒ Asfalt ☐ Beton ☐ Geen

Kies een verharding :

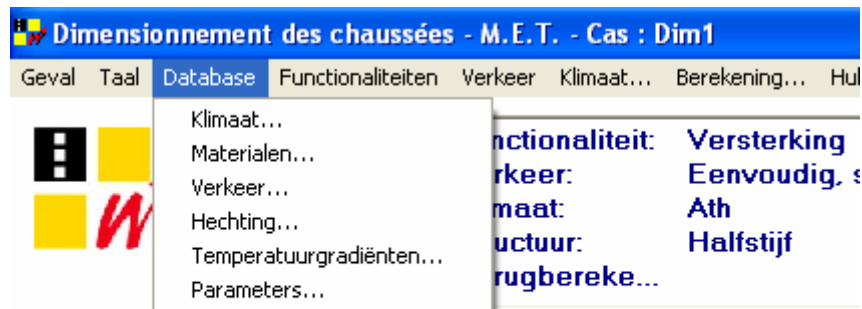
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	Nieuw beton
Nieuw asfalt	Nieuw beton	Nieuw asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	Nieuw beton
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	Bestaand asfalt
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Nieuw asfalt	Nieuw beton	
Nieuw asfalt	Nieuw asfalt	
Bestaand asfalt	Bestaand asfalt	

Terug Ok

Voor een inlay na volledige verwijdering van de bestaande verharding wordt verwezen naar 5.2 Inlay van beton.

6. Database

In de *database* staan alle gehanteerde parameters.



Zij zijn te vinden in de volgende submenu's:

- **Klimaat...**
Bevat de maandtemperaturen, (zonne)stralingscijfers en vorstindexen van de belangrijkste steden in Wallonië;
- **Materialen...**
Bevat de mechanische kenmerken van verhardings-, funderings- en onderfunderingsmaterialen en van de ondergrond. Deze kenmerken zijn gebaseerd op de eisen in het standaardbestek van het Waalse Gewest: [RW99](#);
- **Verkeer...**
Bevat de verkeerskenmerken;
- **Hechting...**
Bevat de coëfficiënten voor de hechting tussen de verschillende lagen in een structuur;
- **Temperatuurgradiënten...**
Bevat de kenmerken van de temperatuurgradiënten per periode en de plaats waar de thermische spanningen worden berekend;
- **Parameters...**
Bevat de parameters die voor de gebruiker niet toegankelijk zijn.

Daarenboven kunnen nieuwe temperatuurgegevens, materialen, histogrammen, enz. worden toegevoegd.

Database - Materialen

Soort materiaal : Asfalt

Toevoegen Verwijderen

Wijzigen

Een materiaal kiezen om toegang te krijgen tot de knoppen

Kopiëren

Toplaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruw	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur (°C)	Niet-klassiek
AB-1B	5.90	4.00	60.00	50.00	
AB-2C	7.90	4.00	42.00	54.00	
AB-4C	6.20	4.00	60.00	50.00	

Onderlaag

Benaming	% Bindmiddel	% Holle ruw	Penetratie (1/10 mm)	R&K-temperatuur (°C)	Niet-klassiek
AB-3A	4.50	5.00	60.00	50.00	
AB-3B	4.70	5.00	60.00	50.00	

Sluiten

6.1 Verbinden met de *parametertabel* in de database

Met de opdracht 'Inloggen als administrator' in het *Geval*-menu kan toegang worden verkregen tot de *parametertabel* in de database, voor het bewerken van gegevens (standaardwaarden wijzigen of herstellen, en bewaren). Hiervoor moet een wachtwoord worden ingevuld.

Dimensionnement des chaussées - M.E.T. - Cas : Dim1

Geval Taal Database Functionaliteiten Verkeer Klimaat... Berekenen

Nieuw...
Openen...
Wijzigen...
Opslaan
Opslaan...
Inloggen als administrator...
Uitloggen
Sluiten

☒ Functionaliteit: Verst
☒ Verkeer: Eenv
☒ Klimaat: Ath
☒ Structuur: Halfs
☐ Terugberekenen

Als de verbinding actief is, is de database ook direct toegankelijk onder Microsoft Access®-beheer.



Opgelet:
nadat u de wijzigingen in de database hebt aangebracht, dient u de verbinding te verbreken.