

DIMENSIONERING VAN WEGEN MET BEHULP VAN DE SOFTWARE DIMMET

Dr. ir. JOHAN MAECK

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Deze bijdrage betreft een demonstratie van de mogelijkheden die de software DimMET biedt bij het (her)dimensioneren van wegen. DimMET is zo opgebouwd dat alle parameters die hun invloed hebben in de dimensioneringsberekening kunnen gewijzigd worden zodat een parameterstudie mogelijk is. Zo kunnen bijvoorbeeld de invloed van veranderende klimaatomstandigheden, snelheid van verkeer, een gewijzigde asfaltsamenstelling, aangepast verkeersspectrum, enz.... direct worden doorgerekend naar de levensduur van de weg.

La présente contribution porte sur les possibilités offertes par le logiciel DimMET lors du (re)dimensionnement des routes. DimMET est conçu de manière à pouvoir modifier l'ensemble des paramètres ayant une influence lors des calculs de dimensionnement, permettant ainsi une étude des paramètres. Ainsi, il est par exemple possible de transposer directement en durée de vie de la route l'influence des conditions climatiques changeantes, de la vitesse du trafic, d'une modification de la composition du mélange, d'une adaptation du spectre du trafic,...

1. Inleiding

Dimensioneren betekent het aantal en de dikte van de verschillende lagen in een wegconstructie zo bepalen dat een voldoende lange levensduur van de weg zonder aanvullende structurele ingrepen kan worden gewaarborgd. Versterken heeft tot doel constructieve gebreken te ondervangen en het draagvermogen van een bestaande wegconstructie te verbeteren, om de levensduur van de weg te verlengen. Daartoe worden aanvullende lagen aangebracht of worden beschadigde lagen volledig of gedeeltelijk vervangen.

Op verzoek en met steun van het MET (Waals ministerie voor uitrusting en vervoer; tegenwoordig SPW) hebben het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) en de Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM) een software voor wegdimensionering DimMET ontwikkeld.

Via de website van het OCW (www.ocw.be/dimmet) stelt het MET die software nu ter beschikking. Oorspronkelijk werd DimMET in een Franstalige versie ontwikkeld maar binnenkort zal ook een Nederlandstalige versie beschikbaar zijn. Vanzelfsprekend kan

DimMET slechts een ondersteunende rol in het beslissingsproces spelen. De kennis en ervaring, evenals een rationele en kritische kijk van wegbeherende ingenieurs op de resultaten van het berekeningsmodel blijven onmisbare uitgangspunten voor een optimale dimensionering en de keuze van de geschiktste onderhouds- of versterkingstechniek.

In wat volgt zullen verschillende aspecten uit de dimensioneringssoftware toegelicht worden en getoond worden op welke manier DimMET aanvullende mogelijkheden geeft aan de ontwerpingenieur ten opzichte van het ontwerp via standaardstructuren. Bijkomende info vindt u in (ref.1,2,3,4).

2. Dimensioneren met DimMET

2.1. Opbouw software

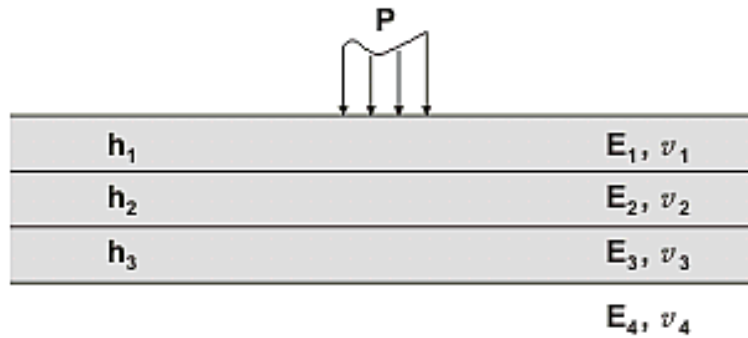
DimMET is opgebouwd om de ontwerper op een zo gebruiksvriendelijke manier door het structureel ontwerpproces te loodsen. Opeenvolgende schermen waarin de noodzakelijke invoergegevens worden ingevuld, worden doorlopen om te komen tot de berekening van de verwachte levensduur en kans op breuk van een wegstructuur.

De invoerparameters zijn verkeer, klimaatomstandigheden, kenmerken van de grond en materiaalkenmerken van de verschillende lagen.

In een eerste stap wordt er een keuze gemaakt voor een soepele, halfstijve of stijve wegstructuur. Het programma biedt ook mogelijkheden om een inverse calculatie uit te voeren aan de hand van deflectiemetingen maar hierop wordt in deze bijdrage niet verder ingegaan.

2.2. Berekeningsmodellen

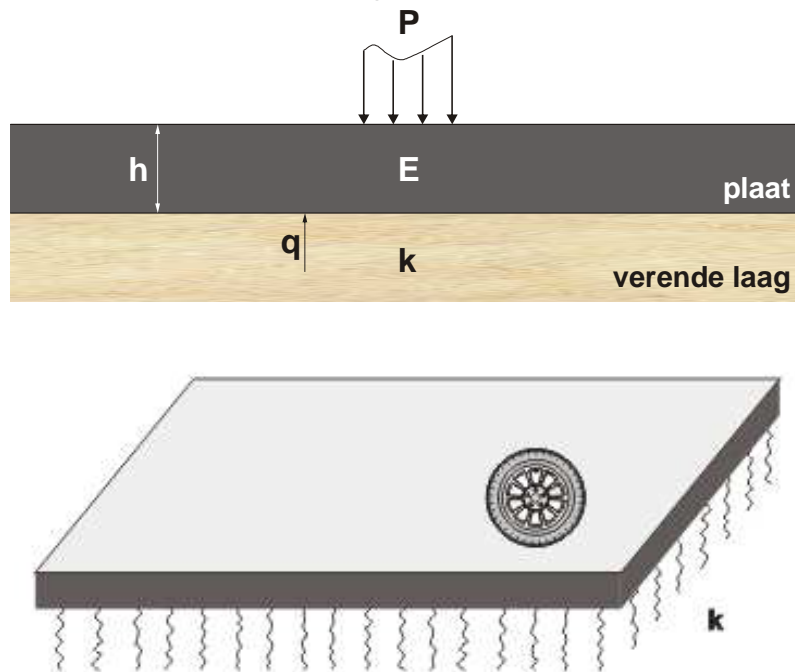
Het achterliggend berekeningsmodel voor de soepele en halfstijve structuren is het meerlagenmodel van Burmister. Dit gaat uit van een elastische berekening van de spanningen en rekken in de verschillende lagen op een halfoneindig massief (de ondergrond), telkens met gekende stijfheidsmodulus en Poisson-coëfficiënt. Het is de (maximale) rek aan de onderkant van de asfaltverharding die normaliter bepalend is voor de levensduur van de structuur. De hechtingscondities tussen de opeenvolgende lagen bepalen mee de resultaten.



Figuur 1: Schematische voorstelling van het meerlagenmodel

Voor de wegstructuren met een betonverharding hanteren we in DimMET het Westergaard model¹. De structuur wordt gereduceerd tot een equivalente structuur met een minimaal aantal lagen. Uiteindelijk worden de spanningen onder de verkeerslasten volgens dit model berekend op een plaat op verende bedding, die equivalent is aan de opgegeven stijve wegstructuur. Deze verende bedding wordt gekarakteriseerd door een veerconstante (k) die bepaald wordt uit de CBR van de ondergrond en de stijfheidsmoduli van alle niet-gebonden lagen.

Dit Westergaard model kan toegepast worden op een oneindige plaat, of een eindige plaat, zoals voor wegstructuren. Daarom zijn ook de coëfficiënten van krachtoverdracht tussen opeenvolgende betonplaten parameters in de berekening. De maximale spanning wordt bereikt als de last zich aan de kant van een plaat bevindt.



Figuur 2: Schematische voorstelling van de plaat op verende bedding

¹ Ook het Pasternak model is voorhanden in DimMET, waarbij ook schuifkrachten kunnen overgedragen worden van plaat naar verende bedding. De grote moeilijkheid blijft echter een goede inschatting van de afschuifstijfheid.

2.3. Vermoeiingswetten

Eens we de maximale spanningen en rekken kennen, dienen we de stap te zetten naar het voorspellen van falen van de wegstructuur onder deze belastingen. Het éénmalig optreden van deze spanningen en rekken zullen in het algemeen niet nefast zijn voor de wegstructuur, maar het is de repetitie ervan die uiteindelijk leidt tot falen.

Dit wordt weergegeven met de vermoeiingswetten. Voor asfalt legt deze een verband tussen het lastherhalingen N bij breuk en de aangelegde rek ε :

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

De constanten in deze wet zijn gevonden uit experimenteel onderzoek op een groot aantal klassieke asfalttypes aan de hand van vermoeiingsproeven met de tweepuntsbuigproef op trapezoidale proefstukken. Deze waarden kunnen in DimMET aangepast worden naar gelang het mengsel, bijvoorbeeld bij een dimensioneringsberekening waarbij AVS wordt gebruikt waarvoor de vermoeiingseigenschappen beter zijn dan voor een klassiek asfalt.

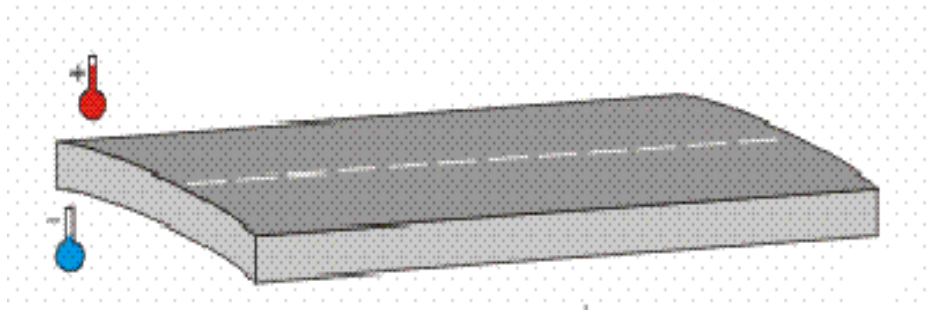
In de software wordt ook een factor toegepast die de recuperatie van asfalt inrekenet tussen opeenvolgende lasten.

Voor een betonverharding krijgen we een verband tussen het aantal lastherhalingen en de spanning:

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

met N het aantal lastherhalingen, σ_{fl} de buigspanning ten gevolge van de wiellast, σ_{th} de thermische spanning en σ_{br} de ultieme breukspanning. Het aantal lastherhalingen N tot vermoeiing is veel gevoeliger aan lichte wijzigingen in spanning en zorgt dat kleine wijzigingen in de opbouw van een wegstructuur met beton en/of cementgebonden fundering een grote invloed hebben op de levensduur.

De thermische spanningen vloeien voort uit het beletten van de thermische vervormingen die zouden optreden bij de differentiële opwarming van de betonplaten. Dit veroorzaakt niet te verwaarlozen trekspanningen aan de onderkant van de betonplaat, bij een positieve temperatuursgradiënt.



Figuur 3: Niet-verhinderde betonplaat onder een positieve temperatuursgradiënt

Voor de andere cementgebonden materialen (mager beton, steenslag met cement) wordt een gelijkaardige vermoeiingswet gehanteerd.

Indien cementgebonden materialen worden gebruikt als fundering, gebeurt de structurele berekening in twee stappen. Vooreerst wordt er nagegaan na hoeveel lastherhalingen de cementgebonden fundering het vermoeiingscriterium heeft bereikt, en vervolgens wordt er verder gerekend met een gescheurde gebonden fundering, dus met gereduceerde stijfheidsmodulus, en vervalt de structuur tot een soepele wegstructuur.

2.4. Levensduur van een structuur

Het unieke aantal toegelaten voertuigen, berekend op de manier zoals die hierboven is beschreven, zou als criterium voor een goed ontwerp van een wegstructuur kunnen dienen. Dit aantal hangt af van de rekken en spanningen onder de aslasten en de vermoeiingskarakteristieken van de gebruikte materialen. De krachtswerking is afhankelijk van de dikte van de lagen, de mechanische karakteristieken van de materialen en de variatie van aslasten. De vermoeiingswetten hangen af van ultieme breukspanningen van de materialen.

Hieruit zien we dat het aantal toegelaten voertuigen op een weg eerder varieert volgens een probabilistische verdeling. In DimMET is hiervoor een Gauss verdeling aangenomen, waarvan het gemiddelde wordt bepaald uit het aantal toegelaten voertuigen, en de standaarddeviatie werd vastgelegd voor de diverse structuren: 0.3 voor soepele structuren en 1 voor half(stijve) structuren. Het verschil vloeit voort uit de grotere spreiding wat betreft de kennis van de eigenschappen van cementgebonden materialen.

Uiteindelijk zal uit de vergelijking van het toegelaten aantal voertuigen op de structuur en het verwachte aantal, een kans op breuk resulteren. Vaak wordt 50% genomen als richtwaarde voor een goed-gedimensioneerde structuur, maar hiervan kan door de ontwerper afgeweken worden.

2.5. Materiaaleigenschappen

In DimMET zijn de meest gebruikte materialen voor wegoebouw voorhanden en hun eigenschappen gekarakteriseerd in een databank. Indien de ontwerper andere materialen

wil gebruiken, kunnen deze toegevoegd worden in de databank. Ook kunnen de eigenschappen van gekende materialen aangepast worden, moest dit bijvoorbeeld op basis van beschikbare meetresultaten gewenst zijn.

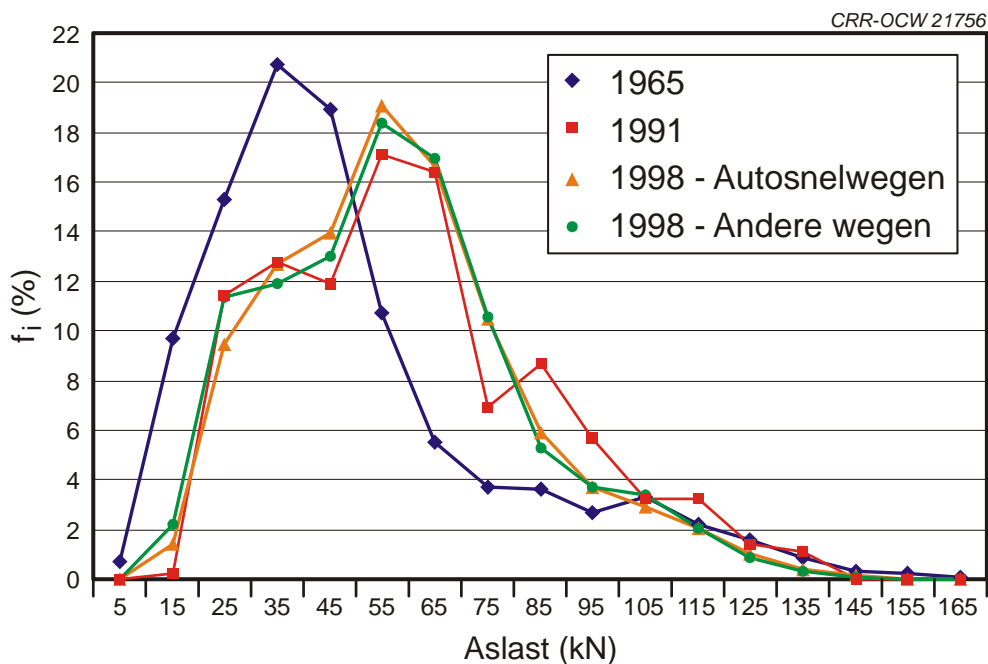
Alle niet-bitumineuze materialen worden verondersteld temperatuurs- en belastingsonafhankelijk te zijn. Dat houdt in dat hun stijfheid invariant is voor de snelheid van het verkeer en voor het klimaat, in DimMET gekarakteriseerd door zonnestraling en luchttemperatuur.

In het geval van bitumineuze producten wordt deze afhankelijkheid beschreven via experimenteel bepaalde relaties. Het bitumen in het asfalt wordt in DimMET gekenmerkt door de ring & kogeltemperatuur en de indringing. Dit impliceert dat de software momenteel nog zekere beperkingen heeft voor asfaltverhardingen met PmB's.

2.6. Verkeer

Het verkeer wordt in DimMET, in tegenstelling tot veel andere dimensioneringstools, niet gereduceerd tot een equivalent aantal standaardassen. De aslasten worden daarentegen gespecificeerd en er gebeurt een elastische berekening van spanningen en rekken onder de diverse aslasten in het spectrum.

Een aantal verkeersspectra zijn beschikbaar in DimMET zoals het klassieke verkeersspectrum voor zwaar verkeer (uit 1991), een spectrum met onderscheid tussen enkelvoudige, tandem en tridem assen, etc.



Figuur 4: Het gemiddeld verkeersspectrum voor ons land

DimMET geeft de ontwerpingenieur de mogelijkheid om zelf een spectrum in te geven en de dimensionering af te stemmen op dit gekozen spectrum. Op deze manier is het ook mogelijk op eenvoudige wijze de invloed van een wijziging aan het klassieke verkeersspectrum in te schatten. Als voorbeeld hiervan gelden het ontwerp van een industriële weg waar de aslasten enkel hoog zijn, of het ontwerp van een weg met klassiek verkeer maar daarboven occasioneel passage van hoge aslasten.

3. Voorbeeldberekening

Bij wijze van voorbeeld geven we hier enkele type wegontwerpen met varianten die de gebruiksvriendelijkheid en de flexibiliteit van DimMET aantonen.

Voorbeeld 1

We ontwerpen een nieuwe weg met 3% jaarlijkse verkeersgroei, die voldoet aan bouwklasse B3, uitgaande van een onderfundering van 200mm (type 1), klassieke top- en onderlaag en een ondergrond met CBR=2.

- Wat is de kans op breuk na 25 jaar berekend met DimMET, voor de structuur die de standaardstructuren voorschrijven
 - DimMET geeft rechtstreeks de kans op breuk na de gewenste levensduur van de weg voor de gekozen opbouw. In dit geval is er 38.4 % kans dat breuk optreedt na 25 jaar. (zie figuur 1).
- Hoeveel onderfundering voorzien we best als we 20 jaar levensduur willen garanderen in het geval van keuze voor een hydraulisch gestabiliseerde fundering?
 - Door de diktes van de verschillende lagen aan te passen kunnen we in DimMET makkelijk werken naar een structuur die een vooropgestelde kans op breuk (bvb. 50%) heeft. Die verandering van dikte kan toegepast worden voor eender welke laag in de structuur, al naargelang bijvoorbeeld van de technische mogelijkheden op de site.
- Wat is het effect als de residuele stijfheid van mager beton niet 3000 maar 2000 MPa is?
 - De databank in DimMET is aanpasbaar. Het volstaat om de stijfheden aan te passen (in dit geval de stijfheid van het gescheurde mager beton) om direct de invloed te zien op de kans op breuk en de levensduur.
- Standaard wordt een perfecte hechting verondersteld tussen asfaltlagen. Wat als deze vanaf het begin slechts 20% bedraagt?
 - In het geval van een tekort aan hechting kan afgeweken worden van de meest courante veronderstellingen tussen verschillende lagen in de wegopbouw. In het rekenvenster kunnen we op die manier eenvoudig de invloed van een beperkte hechting zien.

Dimensionnement - Structure semi-rigide ou souple

Sauver structure Charger structure Rapport

Structure semi-rigide ou souple

Revêtement

Nombre de couche(s) [1 à 4] Nombre de couches

Enr. Bit.	Type	h(mm)
BB - 1B		50
BB - 3A		140

(*)Bitume modifié

Fondation liée

Type Béton maigre (R[']bk = 10MPa)

Module (N/mm²)

h (mm) 200

Fondation non liée

Type Matériau granulaire Type I

Module (N/mm²)

h (mm) 0

Sous-fondation

Type Type I

Module (N/mm²)

h (mm) 200

Sol

Type

C.B.R. 2

Module (N/mm²)

Degré d'anisotropie 1.00

Nombre de poids lourds prévus 4.03E+007

Estimation des performances de la structure globale

1. Probabilité de rupture (%) après 25 années 38.4

2. Pour une probabilité de rupture de 50%

- Nombre d'années > 25

- Nombre de poids lourds 7.95E+007

Adhérence

Modèle Valeurs par défaut

Détails...

Calcul Ornière Retour

Figuur 5: Berekeningsscherm van DimMET voor voorbeeld 1

Voorbeeld 2

We starten van een weg zonder voorziene verkeersgroei, 800 zware voertuigen per dag en gemiddeld 4 assen per voertuig. We gaan uit van een onder- en fundering van 250mm (type I), en een klei ondergrond, een bestaande asfaltverharding van 10cm waarvan valgewichtmetingen een stijfheid van 8500MPa (uitgevoerd bij 15°C) voorspellen.

- Welke structuur stelt DimMET voor om een levensduur van meer dan 15 jaar te krijgen?
 - In DimMET voeren we de laagdiktes in en dan wordt de kans op breuk na de gevraagde levensduur berekend. De laagdiktes moeten op realistische wijze worden aangepast zodat de kans bij breuk hoogstens 50 % bedraagt. Uit figuur 6 volgt bijvoorbeeld dat dit in het gegeven voorbeeld mogelijk is met volgende laagdiktes voor de asfaltoverlaging: 40 mm AB-3B en 40 mm AB-1B.
 - DimMET geeft de mogelijkheid om een asfaltlaag te karakteriseren met een stijfheidsmodulus, die in dit geval afkomstig is uit FWD metingen bij een gekende temperatuur. De aanpassing van de stijfheid bij andere temperaturen gebeurt automatisch.
- Wat kunnen we aan het ontwerp wijzigen om een goed gedimensioneerde structuur te krijgen als er ~10% aslasten van 13ton zijn? Of ~10% 16 ton aslasten?
 - Varianten voor verkeersspectra worden in de databank in DimMET toegevoegd en geven de invloed van wijzigingen in belasting direct in het resultaat weer.

Figuur 6: Berekeningsscherm van DimMET voor voorbeeld 2

DimMET is ook handig om parameterstudies uit te voeren van bijvoorbeeld snelheid van verkeer (bvb. invloed gewijzigde snelheid ter hoogte van kruispunten of bij files) of het klimaat.

De verkeerssnelheid bepaalt immers de snelheid van de belasting van het asfalt: hoe sneller het verkeer, hoe groter de stijfheid van het visco- elastisch materiaal (zie tabel 1 en 2).

ontwerpsnelheid	60km/u	100km/u	40km/u	20km/u
stijfheid toplaag in winter	13677 MPa	+6%	-5%	-14%
stijfheid toplaag in tussenseizoen	7341 MPa	+16%	-9%	-23%
stijfheid toplaag in zomer	4338 MPa	+15%	-11%	-33%

Tabel 1 Stijfheid van toplaag bij verschillende snelheden van het verkeer

ontwerpsnelheid	60km/u	100km/u	40km/u	20km/u
stijfheid onderlaag in winter	19941 MPa	+5%	-4%	-10%
stijfheid onderlaag in tussenseizoen	12302 MPa	+14%	-8%	-19%
stijfheid onderlaag in zomer	7981 MPa	+14%	-10%	-28%

Tabel 2 Stijfheid van onderlaag bij verschillende snelheden van het verkeer

Als voorbeeld voor bouwklasse 1 zien we via DimMET de invloed op de dikte bij diverse snelheden van het verkeer (Tabel 3).

ontwerpsnelheid	60km/u	100km/u	40km/u	20km/u
dikte asfalt	200mm	190mm	210mm	230mm

Tabel 3 Dikte asfaltpakket voor een goed gedimensioneerde wegstructuur volgens DimMET (bouwklasse 1)

Ook temperatuur en zonnestraling beïnvloeden de stijfheid van asfalt (zie tabel 4 en 5).

	temperatuur	10°C gemiddeld	+2°C	-2°C
B1	dikte asfalt	200mm	210mm	190mm
B8	dikte asfalt	150mm	160mm	140mm

Tabel 4 Dikte asfaltpakket voor een goed gedimensioneerde wegstructuur volgens DimMET bij gewijzigde temperatuur

	straling	volgens KMI	+20%
B1	dikte asfalt	200mm	210mm
B8	dikte asfalt	150mm	160mm

Tabel 5 Dikte asfaltpakket voor een goed gedimensioneerde wegstructuur volgens DimMET bij gewijzigde zonnestraling

4. Conclusies

In deze bijdrage is gepoogd enkele facetten uit DimMET toe te lichten, die de flexibiliteit van de dimensioneringstool aantonen.

Het is duidelijk dat DimMET een ondersteunende rol kan spelen in het beslissingsproces voor een optimale dimensionering en de keuze van de geschiktste onderhouds- of versterkingstechniek.

Desondanks dient dit steeds gecombineerd te worden met de ervaring en inzichten van de ontwerpingenieur.

De software DimMET is beschikbaar gesteld via de website van het OCW en een uitgebreide helpfunctie met de theoretische achtergrond en hypothesen zit ingebed in de software.

DimMET, oorspronkelijk in het Frans, is binnenkort ook in een Nederlandstalige versie beschikbaar.

Referenties

1. Léonard D., Jasienski A., Debroux R., "Nouveau logiciel de dimensionnement, Thème 4 : Techniques nouvelles en béton de ciment, 19ème Congrès Belge de la Route, Genval, 12-14 septembre 2001.
2. Van Cauwelaert F., Jasienski A., Léonard D., "Pavement Design Methods: How to put research into practice, 2nd European Road Research Conference, Brussels, 6 pages, June 7-9, 1999.
3. Jasienski A., Van Cauwelaert F., Debroux R., Léonard D., Dimensionnement des chaussées en béton en Belgique: mise en pratique de la recherche, XXIe Congrès mondial de la route, Kuala Lumpur, AIPCR, Paris, 13 pages, Octobre 3-9 1999.
4. DimMET, 2006, « Logiciel pour le Dimensionnement des Chaussées », jointly developed by BRRC and Febelcem for MET, 2001-2006.