



Formule van Palmer en Barber: berekening van een equivalente modulus $M_{1,eq}$ van een structuur met onderfundering / fundering

De traditionele opbouw van een weg bestaat uit een baanbed, een onderfundering en een fundering, die elk een minimaal draagvermogen moeten hebben, gemeten met de Belgische statische plaat. Het minimale draagvermogen M_1 moet dan 17 MPa bedragen voor het baanbed, 35 MPa voor de onderfundering en 110 MPa voor de fundering.

Deze waarden voor het draagvermogen worden voorgeschreven voor elke laag, zodat een goede uitvoering en verdichting van de bovenliggende laag mogelijk zijn en de bovenliggende laag zelf het vereiste draagvermogen kan bereiken. Een draagvermogen van 17 MPa op het baanbed wordt dus noodzakelijk geacht om een draagvermogen van 35 MPa op de onderfunderingslaag te kunnen bereiken door de uitvoering en verdichting van een onderfunderingslaag met een "redelijke" dikte, bestaande uit een in het bestek voorgeschreven materiaal gebruik makende van "normale" middelen. Op dezelfde manier wordt een draagvermogen van 35 MPa noodzakelijk geacht om de fundering effectief te verdichten en het draagvermogen van 110 MPa te bereiken. Dit draagvermogen wordt dan weer beschouwd als vereist om de verharding op de juiste wijze aan te leggen en de verkeersbelasting gedurende de gehele levensduur te dragen.

Maar quid met een situatie waarin een van deze lagen een abnormaal lage dikte heeft, bijvoorbeeld als deze dikte wordt opgelegd in een bijzonder bestek? Of als het draagvermogen van de ondergrond lager is dan gevraagd/voorzien?

Om constructieve redenen of om de graafwerkzaamheden te beperken, wordt soms geen onderfundering aangebracht of is deze minder dan 20 cm dik. In een dergelijk geval zal het moeilijk zijn een draagvermogen van 35 MPa op de onderfundering of 110 MPa op de fundering te bereiken.

Om in deze enkele uitzonderlijke situaties (door het standaardbestek **CCT Qualiroutes** beperkt tot het geval van wegbermen of verharde zijstroken, maar soms ook het geval bij een weg) een schatting te kunnen maken van het draagvermogen dat redelijkerwijs vereist zou kunnen zijn, voorziet het Waalse standaardbestek **CCT Qualiroutes** in het gebruik van de formule van Palmer en Barber (Service Public de Wallonie [SPW], Mobilité & Infrastructures, §F.3.2.1.3.2. en §F.4.2.3.), zonder dat deze echter uitdrukkelijk wordt omschreven.

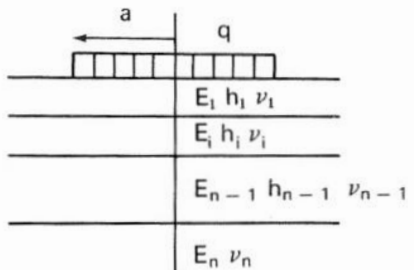
Deze analytische formule maakt het mogelijk de vervorming te bepalen onder het middelpunt van een cirkelvormige belasting die wordt uitgeoefend op een geheel van verschillende elastische lagen, dat zelf is aangebracht op een semi-oneindig elastisch medium. Zo kan de belasting van een plaatbelastingsproef op de funderingslagen en de grond gemakkelijk worden gemodelleerd.

Er wordt in verschillende publicaties naar verwezen. Een van die publicaties is "*Mécanique des chaussées - Quelques formules utiles pour le calcul des chaussées sur petites calculatrices programmables*", dat verscheen in het *Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées* in mei-juni 1983 (Marchand et al., 1983).

Een uittreksel uit deze publicatie staat hieronder:

Formule de Palmer et Barber généralisée [4]

- La charge sur la chaussée est schématisée par une pression uniforme q appliquée sur une aire circulaire de rayon a .
- La chaussée est composée de $n - 1$ couches horizontales d'épaisseur h_i , de module d'Young E_i et de coefficient de Poisson ν_i , tous égaux à ν qui surmontent un massif semi-infini de caractéristiques mécaniques E_n et ν .



La déflexion au centre de la charge est donnée par :

$$w_0 = \frac{2qa(1 - \nu^2)}{E_n} \left[\frac{1 - E_n/\bar{E}}{\left(1 + \left[\frac{h_1 + \dots + h_{n-1}}{a}\right]^2 \cdot \left[\frac{\bar{E}}{E_n}\right]^{2/3}\right)^{1/2}} + \frac{E_n}{\bar{E}} \right] \quad (4)$$

avec :

$$\bar{E} = E_1 \left[\frac{h_1 + h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + \dots + h_{n-1} \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right]^3 \quad (4a)$$

© (Marchand et al., 1983)

Deze formule, die op het eerste gezicht ingewikkeld lijkt, beperkt zich in het geval van klassieke wegen tot maximaal twee lagen (fundering en onderfundering) en de bodem. Ze is dus vrij eenvoudig te programmeren, bijvoorbeeld in een Excel-rekenblad. Er zij op gewezen dat de Poisson-factor voor alle lagen en voor de grond dezelfde moet zijn; een gemiddelde waarde van 0,30 lijkt ons aan te bevelen. Wanneer de centrale vervorming ten gevolge van de cirkelvormige belasting op deze wijze is berekend en het voor de bepaling van M1 gebruikte belastingsinterval q gelijk is aan 0,1 MPa (1 bar), kan men deze modulus M1 eenvoudig berekenen:

$$M1 = \text{diameter van de plaat (cm)} \times 1 \text{ bar} / \text{doorbuiging van de plaat (mm)}$$

OCW stelt via onze website een **webapplicatie** voor het gebruik van deze formule ter beschikking.

Hoe gebruik je dit rekenblad?

Het is aan te bevelen elke berekening te beginnen met het baanbed en daarna de bovenliggende lagen achtereenvolgens te berekenen. Om bij de berekening van het baanbed de bovenliggende lagen buiten beschouwing te laten, worden de dikten van de fundering en de onderfundering gelijk genomen aan 0,001 m.

Indien geen specifieke informatie over de materialen of het baanbed beschikbaar is (bv. resultaten van de plaatproeven), kunnen de in tabel 1 vermelde stijfheidsmoduli voor de berekeningen worden gebruikt.

Laag	Statische modulus (MPa)	Poisson-factor
Conforme grond (M1 = 17 MPa)	15,5	0,3
Onderfundering	100 - 150	0,3
Fundering	200 - 250	0,3

Tabel 1

De hier gebruikte moduli zijn statische moduli en hebben dus lagere waarden dan de dynamische moduli die bijvoorbeeld worden gebruikt in ontwerpberoeeningen voor een wegstructuur. Onze ervaring is dat de in tabel 1 voorgestelde moduluswaarden voor de onderfundering en de fundering vrij goed overeenkomen met de waarden die over het algemeen in de werkelijkheid kunnen worden waargenomen (afgeleid uit de werkelijke op het terrein gemeten waarden voor het draagvermogen M1 en gebruik makend van de formules van Palmer en Barber). We merken op dat deze waarden gelden voor voldoende verdichte materialen. Voor grond met een laag draagvermogen ($M1 < 11$ MPa) bijvoorbeeld, zal het moeilijk zijn de waarden van 100 tot 150 MPa voor de onderfundering te bereiken.

De gegevens van de plaatbelastingsproef worden dan ingevoerd: de straal van de plaat op 0,08 m of 0,155 m (de grote plaat met een straal van 0,155 m is voorgeschreven in **CCT Qualiroutes** (SPW, Mobilité & Infrastructures, 2021) voor het baanbed en de onderfundering) en het belastingsinterval op 0,1 MPa.

Op basis van deze gegevens kan worden vastgesteld dat met de gebruikelijke diktes voor wegconstructies draagvermogens worden teruggevonden die voldoen aan de eisen van **CCT Qualiroutes** (SPW, Mobilité & Infrastructures, 2021):

- voor de grond alleen (met een elasticiteitsmodulus van 15,5 MPa en een Poisson-factor van 0,30) wordt een modulus M1 van 17 MPa verkregen;
- voor de grond en een onderfunderingslaag van 20 cm dikte wordt de modulus M1 geschat op 35 en 42 MPa (voor elasticiteitsmoduli van respectievelijk 100 en 150 MPa);
- voor een combinatie grond - onderfundering (30 cm) - fundering (20 cm) wordt de modulus M1 (bij de kleine plaat) geschat op 93 en 115 MPa (respectievelijk voor elasticiteitsmoduli van 200 en 250 MPa voor de fundering).

Toepassingsvoorbeelden

Voorbeeld 1: geen onderfundering voor een trottoir

Het bestek voor een trottoir voorziet geen onderfundering. Welk draagvermogen kan worden verwacht aan de bovenzijde van de fundering?

Als we een conforme grond beschouwen ($M_1=17$ MPa), kunnen we met de formule van Palmer en Barber berekenen dat het draagvermogen dat op een fundering met een dikte van 20 cm kan worden bereikt, slechts 73 tot 82 MPa zal bedragen. Een grond met een draagvermogen van ten minste 35 MPa is immers vereist om een draagvermogen van 110 MPa te verkrijgen op een fundering met een dikte van 20 cm.

Voorbeeld 2: ontoereikend draagvermogen van de onderfundering

Een plaatbelastingsproef uitgevoerd op een onderfundering van 20 cm geeft een draagvermogen van 25 MPa. Welk draagvermogen kan worden verwacht aan de bovenzijde van de fundering?

Als we een conforme grond beschouwen ($M_1=17$ MPa), kan de formule van Palmer en Barber worden gebruikt om de elasticiteitsmodulus van de onderfundering te berekenen. De elasticiteitsmodulus moet worden verminderd tot een waarde van 40 MPa om een draagvermogen van 25 MPa aan de bovenzijde van de onderfundering te bereiken. De extreem lage waarde van 40 MPa lijkt erop te wijzen dat de grond waarschijnlijk niet het vereiste draagvermogen van 17 MPa had. De berekening kan dus worden herhaald met bijvoorbeeld een grondmodulus van 10 MPa en een modulus van 100 MPa voor de onderfundering, wat resulteert in een M_1 van 27 MPa. Een grondmodulus van 9 MPa geeft een M_1 van 25 MPa. Uitgaande van elasticiteitsmoduli van 9 MPa voor de grond, 100 MPa voor de onderfundering en 200 MPa voor de fundering, verkrijgen we door middel van de formule uiteindelijk een draagvermogen van 72 MPa.

Deze voorbeelden tonen duidelijk de invloed aan van de dikten (of het gebrek aan dikte) van de verschillende lagen, hun verdichtingsgraad (uitgedrukt door de waarde van de elasticiteitsmodulus) en het draagvermogen van de grond. Zij tonen ook aan dat berekeningen met deze formule van Palmer en Barber slechts een gemodelleerde benadering van de werkelijkheid zijn en daarom slechts grootteorden geven van het draagvermogen dat op de verschillende lagen van een wegconstructie zou kunnen worden bereikt.



Mohamed Oualmakran

E m.oualmakran@brrc.be

T +32 2 766 03 18



Frank Theys

E fr.theys@brrc.be

T +32 2 766 03 20



Audrey Van der Wielen

E a.vanderwielen@brrc.be

T +32 2 766 03 87

Literatuur

Marchand, J.-P., Dauzats, M., Lichtenstein, H. & Kobisch, R. (1983). Mécanique des chaussées. Thème 1: Modèles de chaussées. 1: Quelques formules utiles pour le calcul des chaussées sur petites calculatrices programmables. *Bulletin de liaison des Laboratoires des ponts et chaussées*, (125), 53-67.

Service Public de Wallonie, Mobilité & Infrastructures. (2021). *CCT Qualiroutes: Cahier des charges-type* (geconsolideerde versie 2021). http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html