

De ene bladveer is de andere niet!

Door: Jochum van der Honing

Over bijzonderheden die je eigenlijk niet hoort te weten en waarschijnlijk ook niet wilt weten. Vergeet de formules! Onthoud de uitkomsten!

Model

Een half elliptische bladveer kan gezien worden als een star recht stukje bij de as, waarbij aan ieder uiteinde een torsiearm werkzaam is met een lengte van driekwart van de lengte van het voorste stuk van de bladveer en het achterste stuk. Dus $\frac{3}{4} a$ en $\frac{3}{4} b$, bij een symmetrisch veer geldt $a = b$ ¹. Bij een symmetrische bladveer (achterveer van de TC) staat de veerweg loodrecht op de oog/oog verbinding. Bij een asymmetrische veer beschrijft de veerweg een deel van een flauwe cirkel (bij de voorveer van de TC), waarbij het middelpunt op de oog/oog verbinding ligt zo'n twee meter voor de as van het voorwiel.

Metten van de veersterkte

Het ruw meten van de veersterkte aan de TC lijkt simpel; om te beginnen ga je hangen op het reservewiel waarbij de TC 0.8-0.9 cm inzakt, vervolgens op de grille waarbij de TC slechts 0.4-0.5 cm inzakt. De sterkte van de voorveer lijkt verdubbeld! Met mijn 80 kg heb ik goede resultaten aan de achterkant omdat de veerweg loodrecht staat op de verbindinglijn tussen de ogen van de achterveer, een symmetrische veer, en nagenoeg horizontaal. Zo niet bij de voorveren: de veren lopen naar voren toe op met 5 cm of 4°, bovendien hebben we te maken met asymmetrische veren. De asymmetrische voorveren hebben een veerweg welke zorgt dat de as roteert met een straal R van 2 m: $R = (K1 \times a^2 + K2 \times b^2) / (K1 \times a - K2 \times b)$.

Bij het inveren van de voorkant tengevolge van de 80 kg moet de as zich naar achteren bewegen, zodat de voortrein naar achteren wordt geduwd, de wielbasis moet ingekort worden, dit vereist een zekere kracht. De verkregen horizontale kracht tengevolge van de extra 80 kg is slechts $80 \times \sin(4^\circ) = 5.5$ kg, veel kleiner dan het benodigde. Willen we de TC verplaatsen op een horizontale vloer dan moeten we tenminste een trekkracht van 25 kg uitoefenen, met een unster van 25 kg lukt het net. De inverting van plusminus 0.8 mm wordt niet bereikt tengevolge van de niet verticale veerweg, de extra veerkracht wordt geleverd door de polyurethaan bussen in de veerschommels. Al rijdend is het natuurlijk geen probleem!

De TC voorveer

De veersterkte is evenredig met het aantal bladen en de bladbreedte, de bladdikte tot de derde macht en omgekeerd evenredig met de lengte tot de derde macht. De sterkte van de voorveer berekend uit die van de achterveer, waarbij we even aannemen dat de voorveer ook symmetrisch is: $6/9 \times (5.2/5.7)^3 \times (93/70)^3 \times 40.7 = 48.3$ kg/cm. De ontwerpwaarden zijn 40.7 en 49.3 kg/cm. Het klopt al aardig! Uitgaande van de kwart elliptische symmetrische achterveer (veer sterkte $40.7/2 = 20.35$ kg/cm) kunnen we de veersterkte van de halve bladveer met een lengte van 32 cm en 38 cm berekenen, hieruit volgt dan de veersterkte van de asymmetrische voorveer: $K = K1 \times K2 \times (a + b)^2 / (K1 \times a^2 + K2 \times b^2) = 49$ kg/cm. Dit klopt dus erg goed!

¹ Gegevens: achterveer: 9 bladen, lengte 93 cm, dikte 5.7 mm; voorveer: 6 bladen, lengte 70 cm, voorste stuk 32 cm (= a), achterste stuk 38 cm (= b), dikte 5.2 mm. K1 = veersterkte van het voorste deel: K2 voor achterste deel, bij symmetrische veren is K1 = K2 en K (veersterkte bladveer) = K1 + K2.

Veerschommel

Bij normale belasting van een bladveer wordt er vaak gezegd dat de veerschommel verticaal behoort te staan. Dit is niet altijd het geval, zo ook niet bij mijn TC; de schommelarmpjes bij de achterveren leunen wat naar achteren met een hoekje van 15 - 20°, aan de voorzijde slechts 6°. Indien je een elastiekje neemt met in het midden een gewichtje, dan zakt het elastiekje wat door. Span je het elastiekje nu wat verder dan zie je dat het gewichtje minder doorzakt. De veersterkte van het elastiekje is toegenomen indien het elastiekje meer gespannen wordt. Metaal is ook elastisch dus als je een bladveer spant dan zou de veersterkte moeten toenemen. Nu blijkt dat je een bladveer een voorspanning kunt geven door de veerschommels niet verticaal te monteren, maar ze naar achteren te laten leunen. De veersterkte neemt dan als volgt toe: de trekspanning is $0.5 \times W \times \tan(\text{hoekafwijking van verticaal}) = 0.5 \times 175 \times \tan(20^\circ) = 31.8 \text{ kg}$, de toename van veersterkte = $\text{belasting}^2 \text{ van de veer} \times \tan(\text{hoekafwijking van verticaal}) / (0.375 \times \text{lengte bladveer})$. Voor de achterveren van mijn TC zou dit uitkomen op: $175 \times \tan 20^\circ / (0.375 \times 93) = 1.8 \text{ kg/cm}$. Een toename van 4.5 % in de veersterkte. Voor zwaardere auto's met kortere veren en grotere afwijkingen van de verticaal kan het echter wel meer worden, zo dat de veerweg merkbaar korter wordt. Indien je onverhoopt een hoek van 45° zou hebben voor de TC dan is de bijdrage 5 kg/cm, zo'n 12%. De "sliding trunnion" van de TA/TB heeft dit allemaal niet.

Drie veersterkten aan het wiel

Voor een bobbel in de weg bijvoorbeeld alleen bij de rechter wielen is de veersterkte a/h wiel = $0.5 \times \text{veersterkte} \times (1 + S^2/T^2)$ voor rollen is de veersterkte aan het wiel = $\text{veersterkte} \times (S/T)^2$. En voor een drempel is de veersterkte aan het wiel de veersterkte^3 . De voorste veren zijn gemonteerd op de chassisbalken terwijl de achterste zich aan de buitenkant bevinden, dit geeft voor de sterkten aan het wiel: rollen 11.2 en 20.7, een bobbel aan één zijde 29.6 en 30.8 kg/cm en drempels, springen en stampen 49.3 en 40.7 kg/cm. Eigen aan starre assen, de onafhankelijke voorwielophanging van de TD/TF heeft maar één veersterkte aan het voorwiel. De veersterkte van de band speelt ook nog een rol, deze is plusminus 200 kg/cm, de totale sterkte volgt dan bijvoorbeeld voor één voorwiel uit de veersterkten van de veer a/h wiel en de band: $1/(1/29.6 + 1/200) = 25.8 \text{ kg/cm}$.

² De voorveer wordt horizontaal bij belasting W van 510 lbs (= $510 \times 0.454 = 231.5$) uitgaande van een free camber van 4.7 cm. De achterveer bij 385 lbs (= 175 kg) en 4.3 free camber.

³ waarin S = de afstand tussen de twee bladveren (voor 55 en achter 81 cm) en T = de spoorbreedte = 114 cm.