

De transportverliesfactor

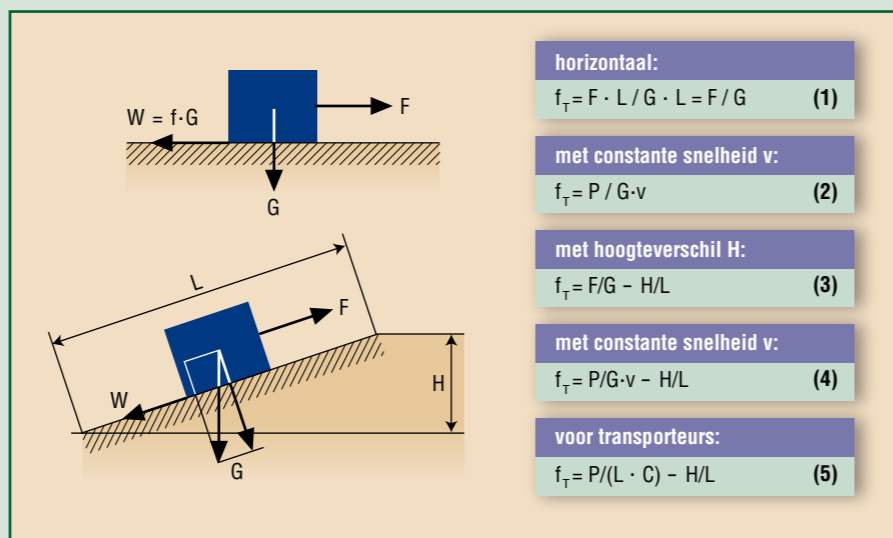
Voor het transport van materialen en goederen of het vervoer van mens en dier, bestaat een ruime keuze aan mogelijkheden, bijvoorbeeld vervoer per schip, trein, auto of vliegtuig, dan wel transport per pijpleiding, transporteur, of bulkwagon. Welke mogelijkheid wordt gekozen, hangt vaak samen met het streven naar zo laag mogelijke, totale kosten. In dit artikel een methode die eigenlijk wat op de achtergrond is geraakt maar door de focus op energie opnieuw aandacht verdient.

Ir. Gerard Haaker en Ir Piet van der Kooi.

De totale kosten worden bepaald door de investeringskosten en de bedrijfskosten. Bij de laatste gaat het energieverbruik een steeds grotere rol spelen. Niet alleen vanwege de alsnaar toenemende directe brandstofprijzen, maar mede met het oog op de milieukosten die in toenemende mate als echte kosten zullen worden doorberekend. Om deze reden zal een redelijk simpele vergelijkmethode van het energieverbruik van de diverse systemen nuttig kunnen zijn voor een juiste keuze. Eind zeventiger jaren is hiervoor door Prof. C.O. Jonkers (Universiteit Twente) een methode voorgesteld, de zogenaamde 'transportverliesfactor'. Deze is in de loop der tijd echter wat in de vergetelheid geraakt. Het lijkt zinnig om deze methode, zonnig in wat aangepaste vorm, weer te belichten.

Bepaling

Bij vervoer of transport is steeds sprake van het verplaatsen van een bepaald gewicht G over een bepaalde afstand L. De



Figuur 1: Berekeningsmethode voor de transportverliesfactor f_T

geleverde transportprestatie is dan simpel aan te geven met gewicht maal afstand. Vanwege altijd optredende wrijving is voor het verrichten van deze transportprestatie een zekere hoeveelheid arbeid nodig. De transportverliesfactor f_T is dan de verhouding tussen deze benodigde arbeid en de transportprestatie. Transport in vroeger tijden bestond hoofdzakelijk uit het slepen van een last over de grond. Is het te slepen gewicht hierbij G en de benodigde trekkracht F, dan blijkt de transportverliesfactor ook gelijk aan F/G (zie figuur 1), en is dus in dit geval niets anders dan de wrijvingscoëfficiënt f tussen last en bodem. Indien de verplaatsing van de last met constante snelheid v plaatsvindt en met een benodigd vermogen $P = F \cdot v$, kan de factor ook rechtstreeks hieruit worden berekend (zie ook figuur 1).

Wanneer het transport niet alleen horizontaal gebeurt maar ook een hoogteverschil H moet worden overwonnen, dan moet de hefarheid van de totaal verrichte arbeid worden afgetrokken. Ook deze situatie is in figuur 1 aangegeven. De aangeven vergelijking (4) is algemeen geldig voor het met constante snelheid v verplaatsen van discrete lasten met gewicht G over afstand L waarvoor een vermogen P nodig is. De waarde van G is hierbij alleen de nuttige last en niet tevens het gewicht van een eventueel toegepast transportmiddel.

Berekening

Voor het transport met schepen, vrachtauto's of treinen is vergelijking 4 de aangewezen methode om de verliesfactor te berekenen en zo op een simpele manier het energiegebruik te vergelijken. Bij straalvliegtuigen is meestal niet het motorvermogen P maar de stuwkracht F gegeven, en kan beter vergelijking 3 worden gebruikt.

Ook voor het transport van continue materiaalstromen met bijvoorbeeld bandtransporteurs of via een pijpleiding kan de berekening worden toegepast. Voor een dergelijke transporteur zijn meestal de transportcapaciteit C (ton/uur of kg/s), het aandrijfvermogen P en de transportlengte L bekend. Op basis hiervan kan vergelijking 5 worden afgeleid, waarmee voor continue transporteurs de verliesfactor kan worden bepaald.

Met behulp van de hierboven gegeven vergelijkingen kan dus voor in principe elk transport- of vervoermiddel de transportverliesfactor worden berekend en de

voor transport benodigde hoeveelheid energie worden vergeleken. In figuur 2 zijn voor een aantal van de meest gebruikte transportmiddelen de globale waarden van de verliesfactor op logaritmische schaal uitgezet. Deze waarden zijn allen in de tachtiger jaren berekend op basis van het benodigde mechanisch vermogen voor een volbelaste transporteur in normale gebruikssituaties. Omdat per transportmiddel steeds een aantal uitvoeringen zijn bekeken, wordt niet één enkele waarde voor de verliesfactor gevonden maar een zone waarin voor het beschouwde type transportmiddel de factor zal liggen. Ter vergelijking zijn in dezelfde figuur nog enkele waarden opgenomen die gelden voor het transport van personen. Hierbij is voor de personenauto een nuttige belasting van vier personen met bagage aangehouden en snelheden van 80 tot 120 km per uur. De sportwagen vervoert twee personen en rijdt circa 160 km per uur, en de fietser rijdt 15 tot 20 km/h.

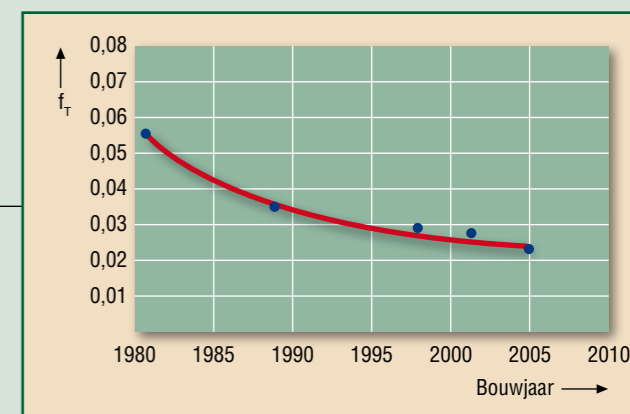
Vergelijking

Bij beschouwing van figuur 2 vallen direct de lage waarden van de verliesfactor op die optreden bij het transport van vloeistoffen via een pijplijn of wanneer vloeistof als drager wordt gebruikt, zoals bij een schip of een slurry-pijplijn. De laagste waarden worden hier bereikt bij grote schepen en pijpleidingen met grote diameters. Daar de weerstand globaal afneemt met het kwadraat van de snelheid, zouden nog lagere verliesfactoren kunnen worden bereikt door de transportsnelheden te verlagen. Maar de winst in energiekosten wordt dan meestal weer meer dan teniet gedaan door een stijging van andere kosten volgens het principe: tijd is geld. De hier aangehouden berekeningen geven dan ook de praktisch nog te realiseren ondergrenzen aan.

Een volgende groep die we als mogelijkheden met ongeveer gelijke verliesfactor kunnen beschouwen, wordt gevormd door het transport per vrachttrein, truck en lange bandtransporteur (gedragen door rollen of lucht). Hier is het energiegebruik al wel duidelijk hoger, maar nog niet inacceptabel gestegen. Wel begint bij trein en truck de snelheid, en daarmee de wrijvingsweerstand een grotere rol te spelen. Bij bandtransporteurs maakt dit minder uit vanwege de relatief lage snelheden. De laagste waarden worden hier verkregen

bij de luchtbandtransporteur. Maar wanneer ook een hoogteverschil moet worden overwonnen valt dit verschil bijna weg. Een factor 10 slechter wordt gevonden bij tril- en glijbandtransporteurs en het transport per vrachtvliegtuig. Bij de transporteurs is het vooral de droge wrijving die dit hoge verlies veroorzaakt. Maar omdat de transportlengte meestal niet al te groot is, wordt een al te excessief energiegebruik voorkomen. Bij het vliegtuig is weer hoofdzakelijk sprake van lucht-wrijving, maar de snelheid is hier hoog om voldoende liftkracht te behouden. De laagste waarden worden hier bij de grootste (vracht)vliegtuigen gevonden. In deze groep hoort qua personenvervoer ook de auto thuis. De vrij hoge verliesfactor wordt hier mede bepaald door de lage nuttige last ten opzicht van rol- en luchtweerstand. De gekozen bezetting met vier personen ligt daarbij nogal aan de optimistische kant.

Als laatste resteren de echte energieverslinders als schroeftransporteurs en pneumatisch transport. De schroeftransporteur is een al lang bekende en meestal betrouwbare transporteur, maar het is wel een echte wrijvingsmachine met veel energieverlies. De lengtes blijven in de praktijk meestal tot slechts enkele meters beperkt. Anders is dit bij pneumatisch transport waarbij materiaal via een buizensysteem met behulp van luchtstroom wordt getransporteerd en over veel grotere afstanden. Hoewel deze systemen qua energiegebruik zeker niet de voorkeur verdienen, maken de bijkomende voordelen het toch vaak een aantrekkelijke optie. De in de figuur berekende waarden zijn, zoals vermeld, gebaseerd op volbeladen transportmiddelen. Dit zal in de praktijk natuurlijk lang niet altijd het geval zijn. In principe zou ook met een gemiddelde beladingsgraad kunnen worden gerekend, waarmee de verliesfactoren wat hoger uit zullen vallen en wat meer het echte mechanische energieverbruik zullen aangeven. Ook zou eigenlijk niet alleen naar de mechanische energie moeten worden gekeken, maar naar het werkelijke totale energiegebruik zodat ook het rendement van de aandrijfbron (elektrisch, directe motoraandrijving etc.) een rol speelt. Voor een onderlinge vergelijking zal het weinig verschil maken of van een vol- of deelbelaste situatie wordt uitgegaan daar dit voor alle transporteurs ongeveer in de-



Figuur 3: Verandering van de ondergrens van f_T voor lange transportbanden in de laatste 25 jaar (Lodewijks TU Delft 2006)

zelfde mate het geval zal zijn. Hetzelfde geldt in grote lijnen voor het omzettingrendement van de aandrijving.

Nieuwe ontwikkelingen

De waarden zoals vermeld in figuur 2 zijn gebaseerd op de situatie in de tachtiger jaren. Twee onderzoeken in de sectie Transporttechniek van de Universiteit Delft brachten aan het licht in hoeverre door technische ontwikkelingen de waarden van de verliesfactoren zijn veranderd. M. Lamers (2005) heeft uitgebreide berekeningen gemaakt voor het discontinue vervoer van zowel personen als goederen, zowel volbelast als met deelbelasting. De door hem gevonden waarden zijn voor de vergelijkbare situaties wat lager dan de vroegere waarden. Dit komt voornamelijk door verbeterde rendementen, lager eigen gewicht, betere stroomlijning en lagere rolweerstand door toepassing van betere rubbersoorten. Ook het verschil tussen vracht- en personenvervoer blijkt aanzienlijk door de lage, nuttige belasting bij personenvervoer.

G. Lodewijks (2006) onderzocht bandtransporteurs waarbij hij een alternatieve berekening van de verliesfactor ontwikkelde voor slechts ten dele belaste banden. Toepassing op een aantal uitgevoerde lange bandsystemen toonde aan (figuur 3) dat de ondergrens van de verliesfactor in een periode van 25 jaar is gedaald van 0,055 naar een waarde van 0,024, de ondergrens die oorspronkelijk voor de luchtbandtransporteur gold. Belangrijkste oorzaken zijn de ontwikkeling naar betere rubbersoorten, een beter ontwerp, betere uitlijning van de banden en een hogere belading door bijvoorbeeld ook het retourpart voor transport te benutten. We kunnen er van uitgaan dat ook voor andere transporteurs een dergelijke verlaging zal zijn opgetreden zodat de onderlinge verhoudingen zoals in figuur 2 in grote lijnen nog steeds gelden.

Als conclusie kan worden gesteld dat de transportverliesfactor in zijn oorspronkelijke en simpele vorm, dan wel volgens een wat modernere manier berekend, een snelle en duidelijke vergelijkmethode geeft voor het energiegebruik van de verschillende transportmogelijkheden. ■

Figuur 2: De transportverliesfactor f_T voor diverse transportmiddelen. (1986 TU Twente)

