

1 Riem- en kettingaandrijvingen



Wat er aan de orde komt

Riemen en kettingen zijn de belangrijkste typen flexibele vermogenstransmissie-onderdelen. Riemen draaien op schijven of poelies en kettingen op getande wielen genaamd kettingwielen.

Ontdek het zelf

Kijk eens rond en zoek ten minste één mechanisch apparaat met een riemaandrijving en één met een kettingaandrijving.

Beschrijf elk systeem en maak een schets waaruit blijkt hoe het vermogen krijgt toegevoerd van een bron en hoe het vermogen overdraagt aan een aangedreven machine.

Beschrijf de verschillen tussen riemaandrijvingen en kettingaandrijvingen.

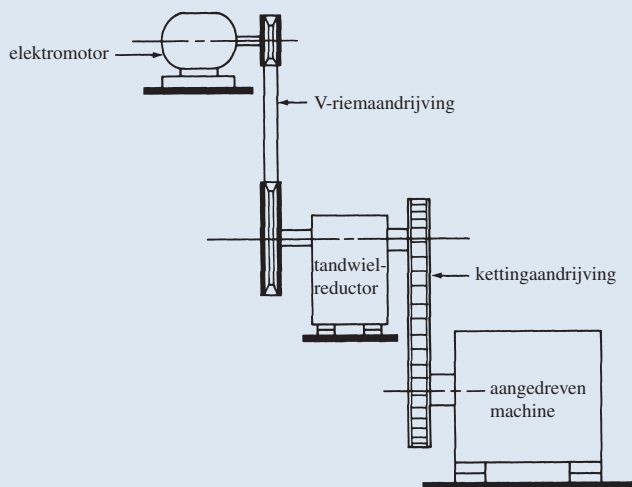
In dit hoofdstuk leer je om geschikte, commercieel verkrijgbare componenten te selecteren voor riemaandrijvingen en kettingaandrijvingen.

Riemen en kettingen vertegenwoordigen de belangrijkste typen flexibele vermogenstransmissieonderdelen. Figuur 1.1 toont een typische industriële toepassing van deze onderdelen in combinatie met een tandwielreductor. Deze toepassing illustreert waar riemen, tandwielaandrijvingen en kettingen elk optimaal kunnen worden toegepast. Een elektromotor ontwikkelt roterend vermogen, maar motoren werken doorgaans op een te hoge snelheid en met een te laag koppel voor de aandrijftoepassing. Bij een bepaalde vermogenstransmissie neemt het koppel echter evenredig toe met de verlaging van de omwentelingssnelheid. Snelheidsreductie is dus meestal gewenst. De hoge snelheid van de motor maakt riemaandrijvingen vaak een goede keuze voor die eerste reductiestap. Een kleine aandrijfpoelie wordt verbonden met de motoras en een poelie met een grote diameter met een parallelle as die daardoor met een overeenkomstig lagere snelheid draait. Poelies voor riemaandrijvingen worden ook schijven genoemd. Wanneer echter aandrijvingen met een zeer grote snelheidsreductie zijn vereist, zijn tandwielreductoren beter geschikt omdat deze doorgaans grote overbrengingsverhoudingen in een klein volume kunnen realiseren. De uitgaande as van een tandwielreductor heeft in het algemeen een lage snelheid en een hoog koppel. Wanneer zowel

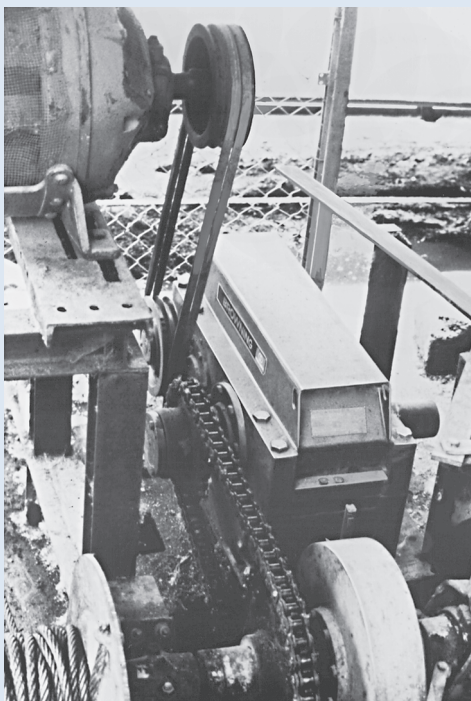
snelheid als koppel geschikt zijn voor de betreffende toepassing, zou deze direct kunnen worden gekoppeld aan de aangedreven machine.

Omdat tandwielreductoren echter alleen verkrijgbaar zijn met discrete reductieverhoudingen, moet de uitgangssnelheid vaak verder worden gereduceerd om te voldoen aan de vereisten voor de machine. Bij toepassingen met lage snelheid en hoog koppel zijn kettingaandrijvingen geschikt. Het hoge koppel veroorzaakt hoge trekspanningen in de ketting. De onderdelen van de ketting zijn doorgaans van metaal en de afmetingen zijn zo gekozen dat ze grote krachten kunnen weerstaan. De schakels van kettingen grijpen aan op getande wielen genaamd kettingwielen voor een slipvrije mechanische aandrijving zoals gewenst onder omstandigheden met lage snelheid en hoog koppel. In het algemeen worden riemaandrijvingen toegepast bij relatief hoge omwentelings-snelheden, zoals bij de eerste snelheidsreductiestap na een elektromotor of verbrandingsmotor. De lineaire snelheid van een riem is doorgaans 750 tot 2000 m/min, resulterend in relatief lage trekspanningen in de riem. Bij lagere snelheden wordt de spanning in de riem te hoog voor typische riemdoorsneden en kan slip optreden tussen de riem en de schijf of poelie waar deze over loopt. Bij hogere snelheden verminderen dynamische effecten, zoals centrifugaalkrachten, 'slaan' van de riem en trillingen de effectiviteit van de aandrijving en de levensduur. Een snelheid van 1200 m/min is in het algemeen ideaal. Sommige riemen worden vezelversterkt en voorzien van een vertanding die aangrijpt op groeven in de poelies zodat ze beter in staat zijn de hoge krachten bij lage snelheden over te dragen. Dergelijke tandriemen concurreren bij veel toepassingen met kettingaandrijvingen.

Waar heb je wel eens riemaandrijvingen gezien? Denk eens aan mechanische apparaten rondom je huis of werk, voertuigen, constructiemachines, verwarming-, airconditioning- en ventilatiesystemen en industriële machines. Beschrijf hoe die er in grote lijnen uitzagen. Waar was de ingaande poelie aan bevestigd? Was de snelheid daarvan vrij hoog? Hoe groot was de volgende poelie? Draaide de tweede as daardoor met een lagere snelheid? Hoeveel langzamer? Waren er nog meer reductietrappen uitgevoerd met riemen of met een ander reductiemechanisme? Maak een schets van de opbouw van het aandrijfsysteem. Probeer, als dat op een veilige manier kan, enkele maten op te meten.



(a) Schematisch voorbeeld van een gecombineerde aandrijving



(b) Foto van een aandrijving. Merk op dat de afschermingen van de riem- en kettingaandrijvingen zijn verwijderd zodat de details zichtbaar zijn.

Figuur 1.1 Gecombineerde aandrijving met V-riemen, een tandwielreductor en een kettingaandrijving (bron voor (b): Browning Mfg. Division, Emerson Electric Co., Maysville, VS)

Waar heb je wel eens kettingaandrijvingen gezien? Een voor de hand liggende plaats is waarschijnlijk je fietsketting, waar het kettingwiel bevestigd aan de trapas vrij groot is en het kettingwiel bevestigd aan het achterwiel veel kleiner. Soms zijn er meerdere aandrijfkettingwielen en aangedreven kettingwielen met verschillende maten zodat de fietser uit veel verschillende overbrengingsverhoudingen kan kiezen voor een optimale aandrijving bij wisselende snelheden en weghellingen. Waar heb je nog meer kettingaandrijvingen gezien? Denk weer aan voertuigen, machines in de bouw en industriële machines. Beschrijf en schets ten minste één kettingaandrijfsysteem. In dit hoofdstuk leer je wat de typische ontwerpkenmerken zijn van commercieel verkrijgbare riem- en kettingaandrijvingen. Je bent dan in staat geschikte typen en maten te specificeren om een bepaald vermogen bij een bepaalde snelheid over te dragen en om een specifieke overbrengingsverhouding te realiseren tussen ingang en uitgang van de aandrijving. Daarnaast worden montageoverwegingen beschreven zodat je met je ontwerpen succesvolle systemen kunt realiseren.



Jij bent de constructeur

Een suikerfabriek in Cuba heeft een aandrijfsysteem nodig voor een machine die lange suikerrietstengels in korte stukken hakt voor verdere verwerking. De aandrijf-as van de machine moet langzaam draaien met 30 omw/min zodat de stengels netjes worden gehakt en niet platgeslagen. De grote machine vereist een koppel van 3600 Nm om de hakmessen aan te drijven.

Jouw bedrijf is gevraagd om de aandrijving te ontwerpen en jij krijgt de klus toegewezen. Wat voor krachtbron ga je gebruiken? Misschien overweeg je een elektromotor, een verbrandingsmotor of een hydraulische motor. De meeste daarvan draaien met een relatief hoog toerental, veel hoger dan 30 omw/min. Er zal dus een vorm van toerentalreductie moeten plaatsvinden. Misschien besluit je wel een aandrijving te gebruiken zoals afgebeeld in figuur 1.1.

Er worden daar drie toerentalreductiestappen gebruikt. De ingaande schijf van de riemaandrijving draait met de snelheid van de motor. De grotere aangedreven schijf draait met een lagere snelheid en levert het vermogen aan de ingang van de tandwielreductor. Het grootste deel van de snelheidsreductie wordt waarschijnlijk gerealiseerd door de tandwielreductor met op de uitgaande as een lage snelheid en een hoog koppel. Onthoud dat wanneer de omwentelingssnelheid van een draaiende as afneemt, het geleverde koppel toeneemt bij een gegeven vermogensoverdracht. Maar omdat er maar een beperkt aantal reductorontwerpen verkrijgbaar is, zal de uitgangssnelheid van de reductor waarschijnlijk niet ideaal zijn voor de ingaande as van de suikerriethakker. De kettingaandrijving voert dan de laatste reductiestap uit. Als constructeur moet je beslissen welk type en welke maat riemaandrijving je gaat gebruiken en wat de overbrengingsverhouding tussen de aandrijvende en de aangedreven schijf moet zijn. Hoe wordt de aandrijvende schijf op de motoras bevestigd? Hoe wordt de aangedreven schijf bevestigd op de ingaande as van de tandwielreductor? Waar moet de motor worden geplaatst ten opzichte van de tandwielreductor en wat wordt de uiteindelijke hartafstand tussen de twee assen? Welke snelheidsreductie levert de tandwielreductor? Welk type tandwielreductor moet worden gebruikt: met schroef tandwielen, met een worm en wormwiel, of met conische tandwielen? Hoeveel moet de kettingaandrijving de snelheid extra verminderen om de juiste snelheid te leveren aan de as van de suikerriethakker? Welke maat en welk type ketting moet worden opgegeven? Wat is de hartafstand tussen de uitgang van de tandwielreductor en de ingang van de hakker? Wat is dan de benodigde lengte van de ketting? Ten slotte, welk motorvermogen is er nodig om het hele systeem aan te drijven onder de vermelde condities? De informatie in dit hoofdstuk helpt je bij het beantwoorden van vragen over het ontwerp van vermogenstransmissies met riemen en kettingen. Tandwielreductoren worden behandeld in de hoofdstukken 2-4.

1.1 DOELSTELLINGEN VAN DIT HOOFDSTUK

Na bestudering van dit hoofdstuk kun je:

1. de basiskenmerken van een riemaandrijfsysteem geven;
2. diverse typen riemaandrijvingen beschrijven;
3. geschikte typen en maten riemen en schijven specificeren om een bepaald vermogen over te dragen bij opgegeven snelheden van de ingaande en uitgaande schijven;
4. de belangrijkste installatievariabelen voor riemaandrijvingen specificeren, inclusief de hartafstand en riemlengte;
5. de basiskenmerken van een kettingaandrijfsysteem beschrijven;

6. diverse typen kettingaandrijvingen beschrijven;
7. geschikte typen en maten kettingen en kettingwielen specificeren om een bepaald vermogen over te dragen bij opgegeven snelheden van de ingaande en uitgaande kettingwielen;
8. de belangrijkste installatievariabelen voor kettingaandrijvingen specificeren, inclusief de hartafstand tussen de kettingwielen, de kettinglengte en de smeervoorschriften.

1.2 TYPEN RIEMAANDRIJVINGEN

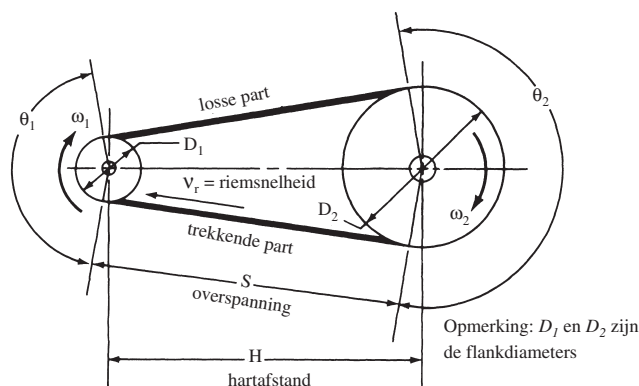
Een riem is een flexibel vermogenstransmissieonderdeel dat strak om een set poelies of schijven wordt gespannen. Figuur 1.2 toont de basisopbouw. Wanneer de riem wordt gebruikt voor snelheidsreductie, wat vaak het geval is, is de kleinste van de twee schijven gemonteerd op de as met de hoge snelheid, bijvoorbeeld de as van een elektromotor. De grootste van de twee schijven is gemonteerd op de aangedreven machine. De riem is zo ontworpen dat hij zonder slip over de twee schijven kan lopen.

Om de riem rond de twee schijven te leggen wordt de hartafstand tussen de twee schijven tijdelijk verkleind. Vervolgens worden de schijven weer uit elkaar gezet zodat de riem onder een vrij hoge aanvangsspanning komt te staan. Wanneer de riem vermogen overdraagt, zorgt de wrijving ervoor dat de riem aangrijpt op de aandrijvende schijf. Daardoor wordt de spanning groter in het zogenoemde ‘trekkende part’ van de aandrijving. De trekspanning in de riem oefent een tangentialkracht uit op de aangedreven schijf en daarmee een koppel op de aangedreven as. De tegenoverliggende zijde van de riem staat nog wel onder spanning, maar minder. Dit wordt daarom het ‘losse part’ genoemd.

Er zijn veel typen riemen verkrijgbaar: platte riemen, gegroefde of vormvertande riemen, standaard V-riemen, dubbelprofiel-V-riemen, enzovoort. Zie figuur 1.3 voor enkele voorbeelden. Referenties 8-15 geven nog meer voorbeelden en technische gegevens.

De *platte riem* is het eenvoudigste type, vaak gemaakt van leer of met rubber bekleed weefsel. Het schijfoppervlak is eveneens vlak en glad, waardoor de aandrijfkraft wordt beperkt door de wrijvingskracht tussen riem en schijf. Sommige constructeurs geven de voorkeur aan platte riemen voor gevoelige machines *juist* omdat de riem zal slippen wanneer het koppel dreigt toe te nemen tot een voor de machine schadelijk niveau.

Tandriemen, soms *synchrone riemen* genoemd [zie figuur 1.3(c)], lopen over tandwielen met groeven waar de tanden van de riem precies in vallen. Dit is een slipvrije aandrijving, uitsluitend beperkt door de treksterkte van de riem en de afschuifsterkte van de tanden.



Figuur 1.2 Basisgeometrie van een riemaandrijving

Sommige vertande riemen, zoals die afgebeeld in figuur 1.3(b), worden gebruikt met standaard schijven met V-groef. De tanden maken de riem flexibeler en verhogen het rendement ten opzichte van standaard riemen. Ze kunnen worden gebruikt op schijven met kleinere diameters.

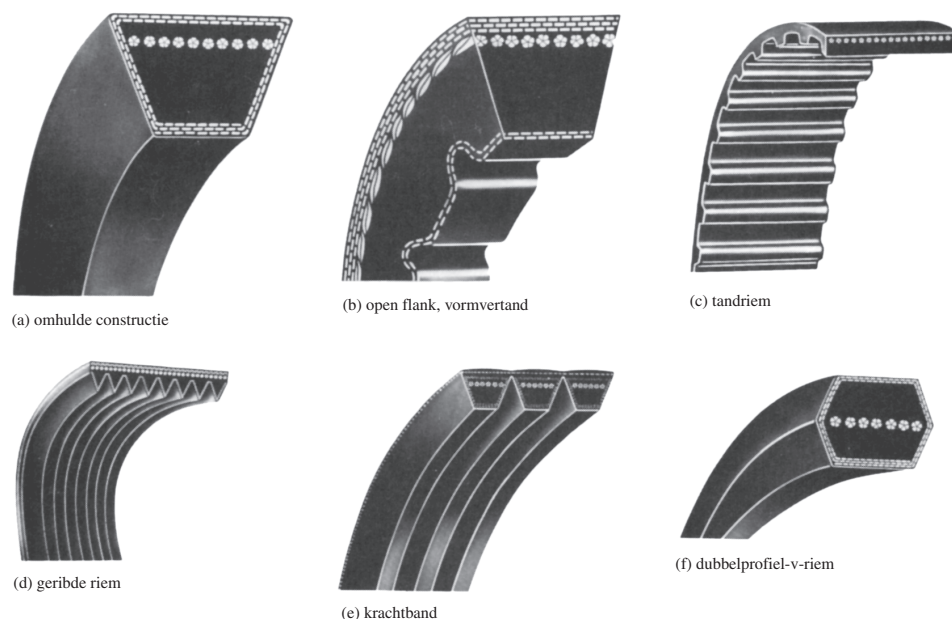
Een wijdverbreid type riem, met name voor industriële aandrijvingen en voertuigtoepassingen, is de *V-riemaandrijving* afgebeeld in figuur 1.3(a) en 1.4. De V-vorm zorgt ervoor dat de riem zich stevig vastzet in de groef waardoor de wrijving toeneemt en hogere koppels kunnen worden overgedragen voordat er slip optreedt. De meeste riemen zijn voorzien van versterkingskoorden op de flankdiameter van de riemdoorsnede om de treksterkte van de riem te verhogen. De koorden, gemaakt van natuurlijke vezels, synthetische draad of staal, zijn ingebed in stevig rubber voor de noodzakelijke flexibiliteit zodat de riem rond de schijf kan lopen. Vaak wordt de buitenzijde voorzien van een weefsellaag voor een hoge duurzaamheid.

De commercieel verkrijgbare typen riemaandrijvingen worden behandeld in de volgende paragraaf.

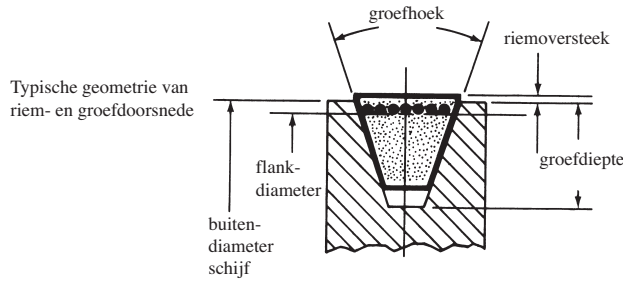
1.3 V-RIEMAANDRIJVINGEN

De typische configuratie van de onderdelen van een V-riemaandrijving is afgebeeld in figuur 1.2. De belangrijkste kenmerken die hieruit kunnen worden afgeleid worden hieronder samengevat:

1. De poelie, voorzien van een groef op de omtrek waarin de riem ligt, wordt *schijf* genoemd.
2. De maat van een schijf wordt aangeduid met zijn flankdiameter of effectieve diameter, die iets kleiner is dan de buitendiameter van de schijf.
3. De overbrengingsverhouding tussen de aandrijvende en de aangedreven schijf is omgekeerd evenredig aan de verhouding tussen de flankdiameters van de schijven. Dit volgt uit het feit dat er geen slip optreedt (onder normale belastingen), waardoor



Figuur 1.3 Voorbeelden van riemconstructies (Dayco Corp., Dayton, VS)



Figuur 1.4 Doorsnede van V-riem en schijfgroef

de lineaire snelheid op de flankontrek van beide schijven hetzelfde is en gelijk aan de riemsnelheid v_r . Er geldt dan:

$$v_r = R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2 \quad (1.1)$$

Maar $R_1 = D_1 / 2$ en $R_2 = D_2 / 2$, dus:

$$v_r = \frac{D_1 \omega_1}{2} = \frac{D_2 \omega_2}{2} \quad (1.1A)$$

De verhouding tussen de hoeksnelheden is:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (1.2)$$

4. De relaties tussen de flankontrek O , de hartafstand H en de schijfdiameters zijn:

$$O = 2H + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4H} \quad (1.3)$$

$$H = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \quad (1.4)$$

waarin $B = 4O - 6,28(D_2 + D_1)$.

5. De omspannen hoek van de riem op beide schijven is

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \arcsin\left(\frac{D_2 - D_1}{2H}\right) \quad (1.5)$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2 \arcsin\left(\frac{D_2 - D_1}{2H}\right) \quad (1.6)$$

Deze hoeken zijn van belang omdat commercieel verkrijgbare riemen worden gespecificeerd met een aangenomen omspannen hoek van 180° . Dit is alleen het geval wanneer de overbrengingsverhouding 1 is (geen snelheidsverandering). De omspannen hoek op de kleinste van de twee schijven zal altijd kleiner zijn dan 180° zodat een lager nominaal vermogen nodig is.

6. De lengte van de overspanning tussen de twee schijven waarover de riem niet wordt ondersteund, is:

$$S = \sqrt{H^2 - \left(\frac{D_2 - D_1}{2}\right)^2} \quad (1.7)$$

Dit is om twee redenen van belang: de juiste riemspanning kan worden gecontroleerd door de kracht te meten die nodig is om de riem in het midden van de overspanning over een bepaalde afstand door te laten buigen. Ook hangt de neiging van de riem om te trillen of te slaan af van deze lengte.

7. De spanning in de riem is opgebouwd uit de volgende bijdragen:

- (a) de trekspanning in de riem, het grootst in het trekkende part;
- (b) de buiging van de riem rond de schijven, het grootst waar het trekkende part van de riem om de kleinste schijf buigt;
- (c) de centrifugale krachten die optreden wanneer de riem om de schijven beweegt.

De grootste totale spanning treedt op waar de riem de kleinste schijf inloopt en de grootste bijdrage komt van de buigspanning. Daarom gelden er voor standaard riemen aanbevolen minimale schijfdiameters. Wanneer kleinere schijven worden gebruikt, gaat de levensduur van de riem drastisch omlaag.

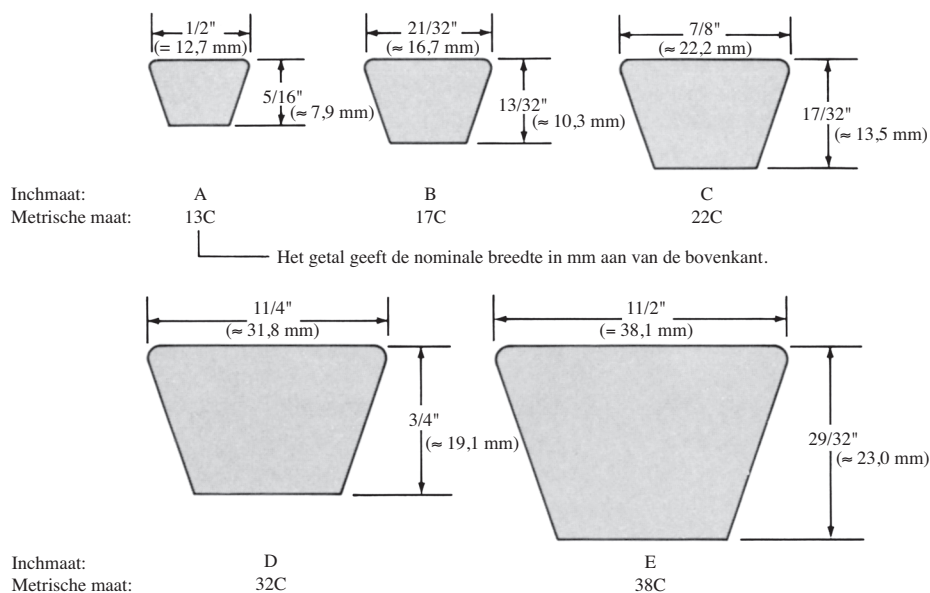
8. De ontwerpwaarde van de spanningsverhouding tussen het trekkende part en het losse part is 5,0 voor V-riemaandrijvingen. De werkelijke waarde kan wel tot 10,0 bedragen.

1.3.1 Standaard riemdoorsneden

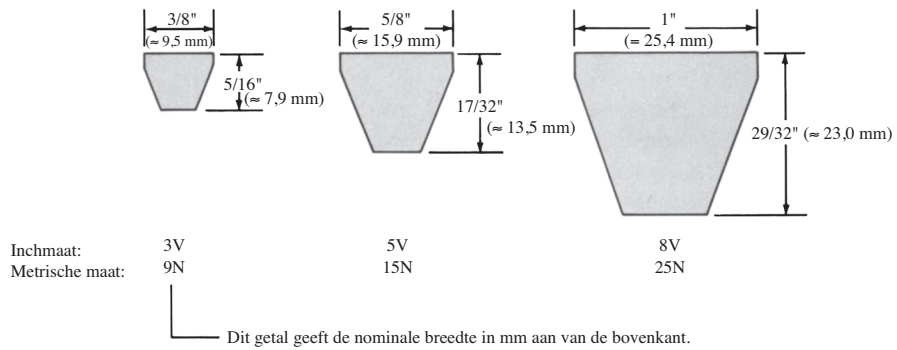
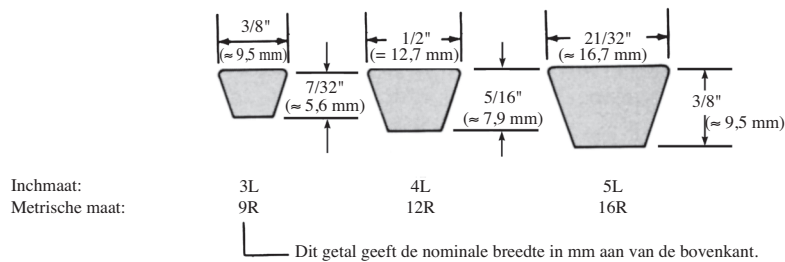
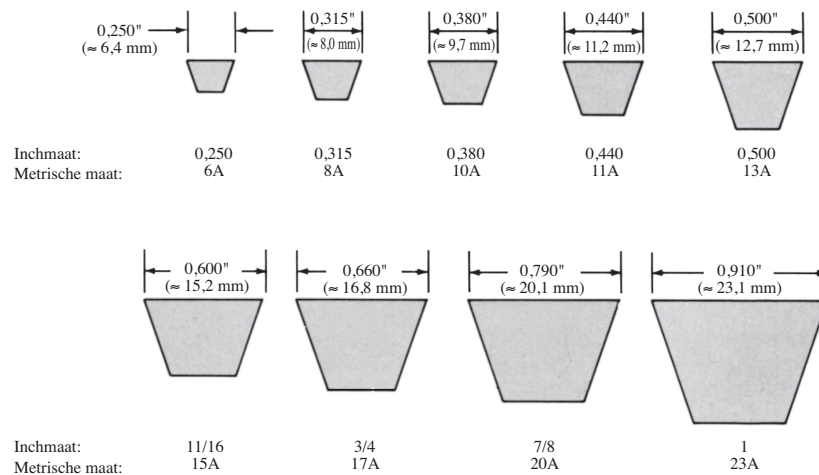
Commercieel verkrijgbare riemen zijn gemaakt volgens een van de standaarden afgebeeld in figuur 1.5 tot en met 1.8. Voor elk paar bij elkaar vermelde inchmaten en metrische maten geldt dat ze dezelfde doorsnede hebben. Er is een 'zachte conversie' toegepast om de inchmaten te koppelen aan de metrische maten waarbij het cijfer de nominale breedte aangeeft van de bovenkant in millimeters.

De nominale waarde van de ingesloten hoek tussen de zijkanten van de V-groef loopt van 30° tot 42°. De hoek van de riem mag iets afwijken zodat een strakke passing in de groef wordt verkregen. Sommige riemen zijn zo ontworpen dat ze iets 'oversteken' uit de groef.

In veel voertuigtoepassingen wordt een *distributieriem* gebruikt, vergelijkbaar met de tandriem afgebeeld in figuur 1.3(c), of een *multiriem*, vergelijkbaar met de geribde riem in figuur 1.3(d).



Figuur 1.5 Industriële V-riemen voor zware toepassingen

**Figuur 1.6** Industriële V-riemen met smalle doorsnede**Figuur 1.7** V-riemen voor lichte toepassingen**Figuur 1.8** V-riemen voor voertuigtechniek

Onderstaande normen van de Society of Automotive Engineers (SAE) geven de afmetingen en prestatienormen voor riemen voor voertuigtoepassingen:

- SAE Standard J636: *V-belts and Pulleys* (V-riemen en poelies);
- SAE Standard J637: *Automotive V-belt Drives* (V-riemaandrijvingen voor voertuigtoepassingen);
- SAE Standard J1278: *SI (Metric) Synchronous Belts and Pulleys* [SI (metrische) tandriemen en poelies];
- SAE Standard J1313: *Automotive Synchronous Belt Drives* (tandriemaandrijvingen voor voertuigtoepassingen);
- SAE Standard J1459: *V-Ribbed Belts and Pulleys* (geribde V-riemen en poelies).

In Europa worden ook Europese en internationale normen gebruikt, bijv:

- DIN 2215: Classical endless V-belts;
- ISO 4184: Belt drives; classical and narrow V-belts.

1.4 ONTWERP VAN V-RIEMAANDRIJVINGEN



Deze paragraaf geeft een samenvatting van de factoren die een rol spelen bij de keuze van een V-riem en de aandrijvende en aangedreven schijven, en bij de juiste installatie van de aandrijving. Ter illustratie worden verkorte voorbeelden gegeven van gegevens die beschikbaar zijn van leveranciers. Catalogi bevatten zeer veel gegevens. Er worden gedetailleerde instructies gegeven om daar gebruik van te maken. De basisgegevens die nodig zijn om een aandrijving te kiezen zijn de volgende:

- het nominale vermogen van de aandrijfmotor of andere aandrijfbron;
- de bedrijfsfactor gebaseerd op het type aandrijving en de aangedreven last;
- de hartafstand;
- het nominale vermogen voor één riem als functie van de maat en de snelheid van de kleinste schijf;
- de riemlengte;
- de maat van de aandrijvende en de aangedreven schijf;
- de correctiefactor voor de riemlengte;
- de correctiefactor voor de omspannen hoek op de kleinste schijf;
- het aantal riemen;
- de aanvangsspanning op de riem.

Veel ontwerpbeslissingen hangen af van de toepassing en de beschikbare ruimte. Hier volgen enkele richtlijnen:

- De hartafstand moet naar beide zijden van de nominale waarde kunnen worden ingesteld. De hartafstand moet kleiner zijn tijdens de installatie om de riem zonder krachtsinspanning in de groeven van de schijven te kunnen leggen. De hartafstand moet groter kunnen worden gemaakt om de riem in het begin op spanning te zetten en om de rek van de riem te compenseren. Deze gegevens staan in de catalogus van de fabrikant. Een makkelijke manier om de instelmogelijkheid te realiseren is het gebruik van een opname zoals afgebeeld in figuur 8.10(b) en (c).
- Wanneer een vaste hartafstand nodig is, moeten spanpoelies worden gebruikt. Het best kan een gegroefde spanpoelie worden gebruikt aan de binnenkant van de riem, dichtbij de grote schijf. Instelbare spanners voor montage van de spanpoelie zijn commercieel verkrijgbaar.
- Het nominale hartafstandbereik moet voldoen aan:

$$D_2 < H < 3(D_2 + D_1) \quad (1.8)$$

- De omspannen hoek op de kleinste schijf moet groter zijn dan 120° .
- De meeste commercieel verkrijgbare schijven zijn van gietijzer; de riemsnelheid moet daarbij lager zijn dan ongeveer 1900 m/min.
- Overweeg een alternatief type aandrijving, met tandwielen of een ketting, wanneer de riemsnelheid lager is dan ongeveer 300 m/min.
- Vermijd hoge temperaturen in de buurt van riemen.
- Zorg ervoor dat de assen van bij elkaar horende schijven parallel zijn en dat de schijven zo zijn uitgelijnd dat de riemen soepel in de groeven lopen.