

BRUGOPLEGGINGEN

Dr. A. Romeijn – TU-Delft

Dit artikel betreft grotendeels een samenvatting van een gedeelte van het afstudeerwerk, met als titel "Slijtage aan brugopleggingen", van Ir. J. Driessen – TU-Delft, 3 maart 2003. De samenstelling van de afstudeercommissie was: Prof. J. Wardenier, Dr. A. Romeijn, Dr. C. van der Veen (allen TU-Delft), Ing. J.S. Leendertz (Bouw-dienst Rijkswaterstaat), Ir. G.M.M. Touw (Holland Railconsult) en Dipl.-ing. C. Schürmann (Maurer Söhne). Voor geïnteresseerden is het mogelijk kennis te nemen van het totale werk [1].

1. Functies

Bruggen bestaan globaal gezien uit twee onderdelen: de overspannende draagconstructie met het rijdek en de onderbouw voor het afdragen van de belastingen naar de ondergrond. Tussen deze onderdelen bevinden zich de brugopleggingen, ze zorgen voor een gecontroleerde krachtafdracht naar de onderbouw en ze maken het mogelijk dat de brug zo vrij mogelijk kan bewegen. Immers de verkeersbelasting, windbelasting, temperatuur-effecten, tijdsafhankelijk gedrag van beton, etc. resulteren in translaties en rotaties van met name de overspannende draagconstructie. Algemeen gesteld is het wenselijk dat deze verplaatsingen zo vrij mogelijk kunnen optreden zodat dwangkrachten worden voorkomen. Door het brugopleggsysteem, het geheel van opleggingen, zo te kiezen dat beweging in bepaalde richtingen voorkomen wordt, blijft een plaatsvast systeem gewaarborgd.

De opleggingen worden dus toegepast voor:

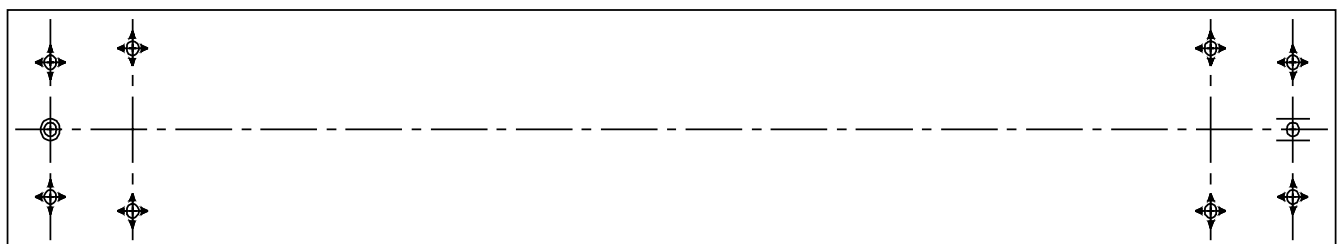
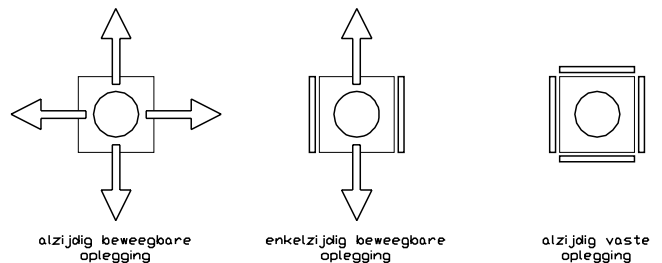
- het gecontroleerd doorgeven van belastingen van de bovenbouw naar de onderbouw
- het toestaan van verplaatsingen van gedeeltes van de bovenbouw
- het garanderen van de plaatsvastheid van de brug in z'n geheel.

Een sprekend voorbeeld van een brugopleggsysteem toegepast bij de Werkspoorbrug (2de Demkabrug), onderdeel van de spooruitbreiding tussen Amsterdam en Utrecht over het Amsterdam-Rijnkanaal en gelegen pal naast de reeds bestaande Demkabrug, is gegeven in de afbeeldingen 1 – 3. De Werkspoorbrug is uitgevoerd in staal-beton, heeft een overspanning van 237 en is daarmee de grootste spoorwegoverspanning van ons land.

De brug is opgelegd op potopleggingen, in horizontale richting alzijdig beweegbaar. De plaatsvastheid wordt gegarandeerd door twee dokken, geplaatst in het midden



1. Invaren van de Werkspoorbrug.



2. Oplegschema van de Werkspoorbrug.



3. Werkspoorbrug: van boven naar beneden: Overzicht werkspoorbrug, landhoofd, oplegging van de boog, detail van potoplegging van de boog.

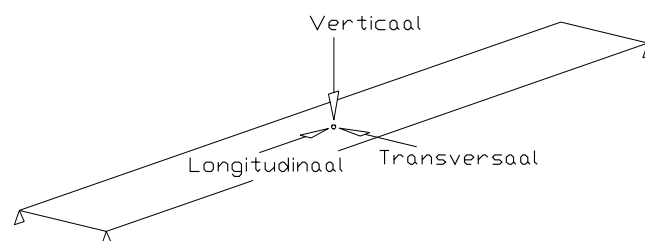
van de brug in dwarsrichting gezien. Één oplegging is in alle horizontale richtingen geblokkeerd tegen transleren, en de andere is alleen in dwarsrichting geblokkeerd.

2. Belastingen

In alle drie richtingen, verticaal, transversaal en longitudinaal kunnen en zullen belastingen optreden. In figuur 4 zijn de richtingen aangegeven.

Verticaal

In verticale richting bestaat de belasting vooral uit eigen gewicht en verkeersbelasting. In deze gevallen gaat het om neerwaarts gerichte belasting. Bij een brug met een relatief korte zijoverspanning kan het voorkomen dat de uiteinden van de zijoverspanningen willen "opwippen". Een voorbeeld van een brug met een relatief korte zijoverspanning is de Muiderispoorbrug bij Weesp.



4. De drie richtingen waarin belastingen en verplaatsingen optreden.

Een beschrijving van hoe "opwippen" bij de Muiderispoorbrug is voorkomen staat o.a. beschreven in het Tijdschrift "Bouwen met Staal" nr. 123, maart/april 1995. In het algemeen geldt dat opleggingen die met opwippen te maken krijgen, en dus een trekkracht moeten kunnen opvangen, relatief complex zijn. Daarom wordt getracht dit zoveel mogelijk te voorkomen, bijv. door ter plaatse van de landhoofden een voorreactie per oplegpunt aan te brengen.

Steunpuntzakkingen leiden ook tot belastingen op de opleggingen, zowel op de oplegging waar de zakking optreedt als op de andere.

Longitudinaal

In lengterichting van de brug kunnen t.g.v. temperatuurverandering grote krachten in de brug ontstaan. Deze krachten worden vrijwel altijd voorkomen door het toepassen van een geschikt opleggsysteem. Een betonnen rijvloer is onderhevig aan krimp en kruip, hetgeen een verkorting oplevert. Afremmend en versnellend verkeer levert ook belastingen in deze richting; vooral bij spoorbruggen kan dit een aanzienlijke kracht veroorzaken. Verder kunnen aanzienlijke belastingen optreden, veroorzaakt door wind op de brug en het verkeer.

Transversaal

Loodrecht op de lengterichting van de brug in het horizontale vlak treedt een windbelasting op. Net als in de longitudinale richting gelden in deze richting de invloeden van temperatuurveranderingen en ook krimp/kruip in het geval van betonnen constructies. Ook dient in vele gevallen rekening gehouden te worden met horizontale belastingen door aanvaringen en botsingen.



5. Muiderspoorbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Weesp.

3. Verplaatsingen

Verplaatsingen bestaan uit translaties en rotaties; ze hangen nauw samen met de belastingen. Ten eerste is er de doorbuiging van de brug, dit leidt tot rotaties bij de opleggingen. Het zwaartepunt van de doorsnede van de brug bevindt zich meestal hoger dan de opleggingen; als neveneffect treden er bij de opleggingen dus ook translaties in lengterichting van de brug op.

Als gevolg van de doorbuiging treden er tenslotte ook verplaatsingen in transversale richting op. Dit is het gevolg van een hooggelegen dwarskrachtencentrum. De invloed van het eigen gewicht op de verplaatsingen in de opleggingen verschilt tussen betonnen en stalen bruggen. Bij een betonnen brug wordt over het algemeen de oplegging geplaatst en vervolgens wordt de brug gestort. De doorbuiging nadat de bekisting is verwijderd en de effecten van krimp en kruip moeten opgevangen worden door de opleggingen. Door voorinstelling is dit probleem te omzeilen; de oplegging wordt dan zodanig geïnstalleerd, dat in de uiteindelijke situatie de oplegging in de nulstand staat. De initiële verplaatsingen hebben nauwelijks invloed op de slijtage van de opleggingen. Het gaat tenslotte om een eenmalige beweging. Bij stalen bruggen is de bouwvolgorde meestal andersom. De brug wordt gebouwd en op vjzels boven de steunpunten gezet. Vervolgens worden de opleggingen op hun plaats geschoven, eventuele ruimte wordt opgevuld met hellingplaten.

Veranderlijke belastingen leiden tot slijtage van de oplegging. De wind oefent een zijdelingse kracht uit op de brug, waardoor de brug in het horizontale vlak uit zal buigen. Temperatuurbelasting is er in vele varianten. Een algehele temperatuurverandering leidt tot translaties, de brug zet in z'n geheel in alle richtingen uit. Een temperatuurgradiënt, bijvoorbeeld wanneer de bovenkant van de brug warmer is dan de onderkant, leidt tot kromming van de brug, in het voorbeeld in het verticale vlak. Ook

een temperatuurgradiënt in dwarsrichting als gevolg van laagstaande zon leidt tot kromming van de brug in het horizontale vlak. Zoals toegelicht in figuur 6 treden dus zowel translaties, als rotaties op.

Het klassiek oplegschema, figuur 6 (a), heeft als voordeel dat horizontale belastingen verdeeld over de twee opleggingen worden opgenomen. Het nadeel van een dergelijk schema is dat vasthoudkrachten H_R optreden bij o.a. windbelasting en temperatuurgradiënt in dwarsrichting van de brug.

Om bovenstaande redenen beschouwen veel ontwerpers het oplegschema gegeven in figuur 6 (b) als een beter systeem. Bij dit systeem bestaat slechts op één plaats een fixatie in lengterichting van de brug.

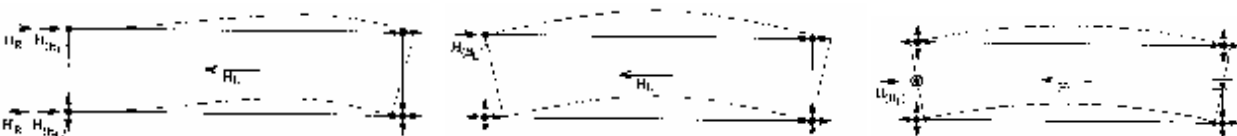
Bij brede bruggen, zie figuur 6 (c), wordt steeds vaker gekozen voor een systeem met horizontale fixatie enkel in het symmetrievlak van de brug. De vervormde toe-stand, weergegeven in figuur 6, laat tevens zien dat de keuze van soort voegovergang (overgangconstructie brug – wegdek) gekoppeld is aan het brugoplegsysteem.

Met name een verplaatsingsverschil in dwarsrichting, op te nemen door de voegovergang, kan snel tot aanzienlijke schade leiden. Dergelijke vervormingen zijn te voorkomen door een oplegsysteem te kiezen waarbij de brug in dwarsrichting ter plaatse van een voeg-overgang is gefixeerd. De in 1977 gebouwde verkeers-brug in de A27 over de Lek bij Hagestein (zie figuur 7), ca. 7 km ten zuiden van Utrecht, is een voorbeeld van een niet optimaal gekozen oplegsysteem. Al tijdens de bouw van de brug bleek als gevolg van temperatuurveranderingen de brug krom te trekken in het horizontale vlak. Dit gaf bij de bruguiteinden zulke grote translaties haaks op de brugas, dat de montage van de voegovergangen niet goed mogelijk was. De opleggingen zijn bij de voegovergangen nog voor ingebruikname van de brug vervangen door enkelzijdige beweegbare opleggingen.

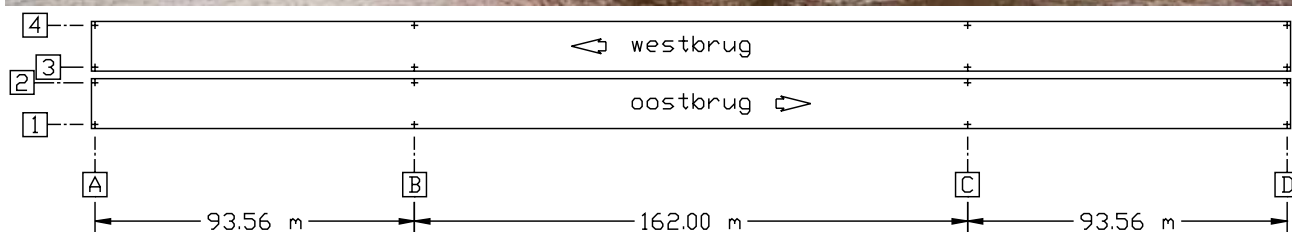
Het toegepaste materiaal is van invloed op de verplaatsingen, vooral bij verkeersbruggen. Een stalen brug vervormt over het algemeen meer dan een betonnen brug.

4 Klassieke opleggingen

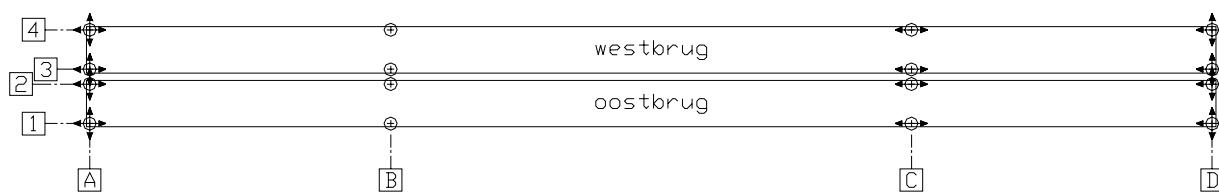
Tot halverwege de vorige eeuw werd uitsluitend gebruik gemaakt van "klassieke" opleggingen. Dit zijn over het algemeen volledig stalen constructies met vaak een relatief grote inbouwhoogte en een beperkte belastingafdracht per element. Daarnaast zijn de bewegingsvrijheden vaak beperkt (bijv. rotatie in één richting, of geen translatie mogelijk). Deze nadelen zorgen ervoor dat de klassieke opleggingen bij grote vaste bruggen tegenwoordig weinig gebruikt worden. Enkele voorbeelden van klassieke opleggingen worden gegeven.



6. Voorbeelden van oplegschema.

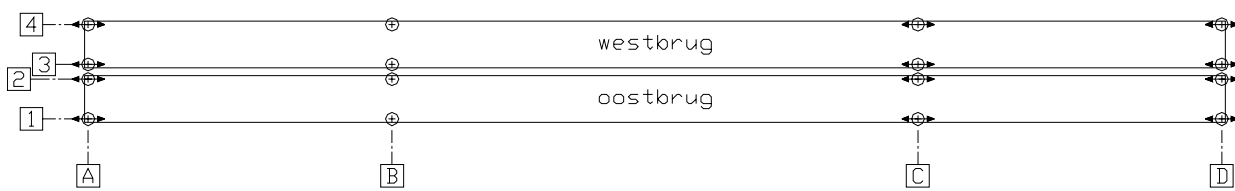


7. De brug over de Lek bij Hagenstein en oplegsysteem

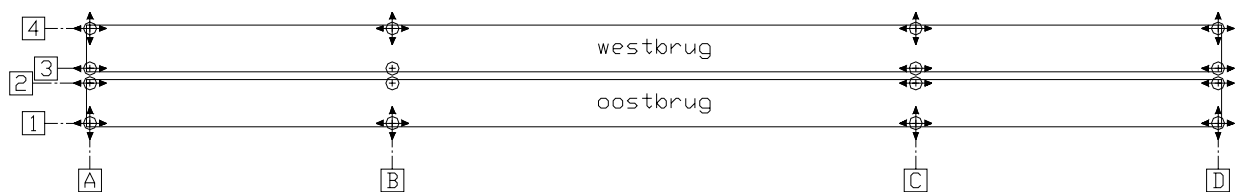


oplegsysteem in de ontwerpfase (1977)

Balsegmentopleggingen:	
○	vast
◁○▷	enkelzijdig beweegbaar
◁○▷	alzijdig beweegbaar



oplegsysteem van 1977 tot 1999



huidig oplegsysteem

8. Hagensteinse brug: toegepast oplegsysteem.

Glijoplegging

Twee stalen platen glijden over elkaar heen. In het geval van vlakke glijoppervlakken zijn translaties mogelijk; indien gebogen oppervlakken worden toegepast, zijn tevens rotaties mogelijk. Door de hoge wrijvingsweerstand (0,1 – 0,6) zullen relatief grote schuifkrachten ontstaan; vooral bij pijlers is dit niet wenselijk.

Lijntaats- en puntaatsoplegging

Beide opleggingen bestaan uit twee stalen gebogen vlakken, eventueel is één vlak niet gebogen. Bij een lijntaatsoplegging is er slechts rotatie in één richting mogelijk, om de lengteas van de oplegging; het gebogen vlak van de oplegging is cilindrisch gebogen. Een puntaatsoplegging heeft een sferisch gebogen oppervlak; hierdoor is rotatie in alle richtingen mogelijk. Translaties kunnen geblokkeerd worden door een deuvel.

Roloplegging

Een roloplegging bestaat uit één of meer stalen rollen tussen twee stalen platen; de rollen zijn van massief staal (eventueel met vlakke zijanten) of het zijn stalen cilinders met beton gevuld. Translaties en rotaties (in het geval van een enkele rol) zijn mogelijk in één richting. Rotaties in de andere richting kunnen niet opgenomen worden. De rol zou dan extreem belast worden en kan bezwijken. Om te voorkomen dat de rol scheef gaat liggen (roteren om de verticale as), kan gebruik gemaakt worden van een borging aan de zijkant van de rol. Deze borging voorkomt tevens dat een rol tussen de platen uitgeperst wordt a.g.v. grotere rotaties om de lengteas van de rol. Om zijdelings wegschuiven van de rol te voorkomen kan gebruik gemaakt worden van een geleiderail. Een roloplegging met meerdere rollen wordt toegepast indien een grotere last gedragen moet worden.

Scharnieroplegging

Een scharnieroplegging bestaat uit een stalen as, opgesloten tussen twee stalen halve cilinders. Door het glijden van de cilinders over de as is rotatie in één richting mogelijk. Door de wrijving ontstaat een kracht in de oplegging. Translaties in langsricting zijn in principe niet mogelijk.

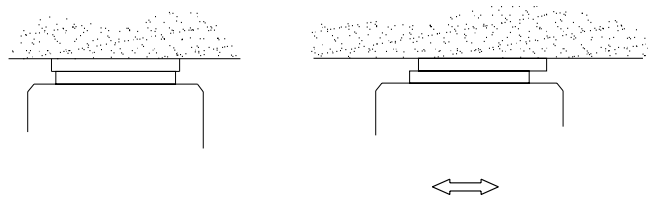
Bladoplegging

Dit is in feite een scharnieroplegging, echter, geschikt voor het opnemen van trekkrachten. De verbinding bestaat uit meerdere ogen; een aantal stalen platen die in elkaar grijpen. Rotatie is alleen in één richting mogelijk.

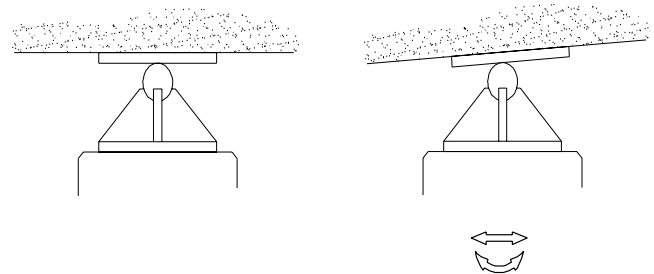
Pendeloplegging

Bij dit type zijn twee assen verbonden door middel van een plaat of een balk, waarbij rotaties en horizontale translaties in één richting mogelijk zijn. Naast drukkrachten is de oplegging ook geschikt voor opnemen van trekkrachten.

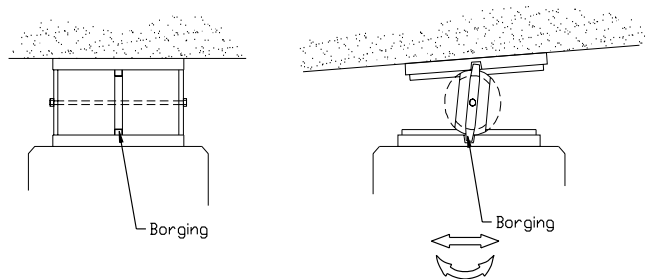
Enkele voorbeelden van klassieke opleggingen zijn gegeven in figuur 9, spoorbrug Oosterbeek, en in figuur 10, de Demkaspoorbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal.



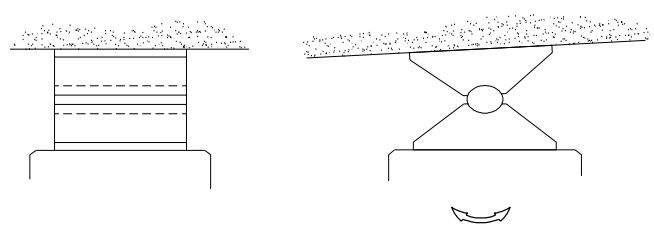
Glijoplegging



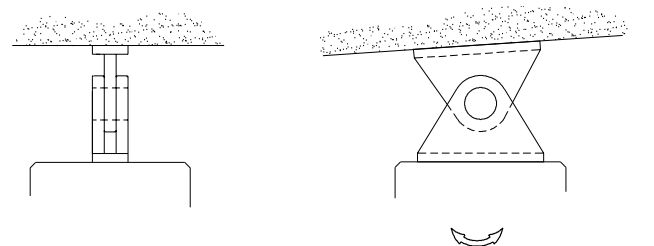
Lijntaats- en puntaatsoplegging



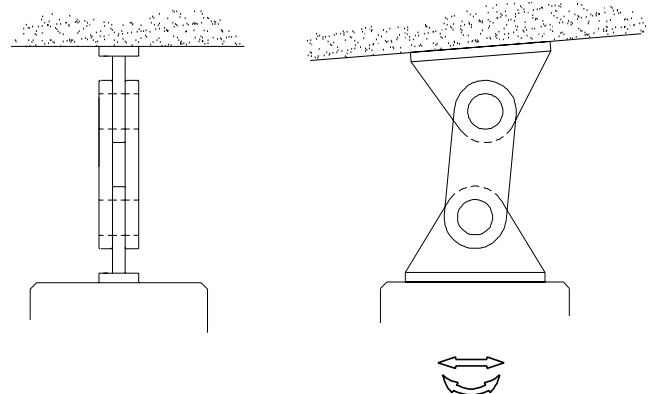
Roloplegging



Scharnieroplegging



Bladoplegging



Pendeloplegging



9. Klassieke oplegging toegepast bij de spoorbrug Oosterbeek

links boven: oplegging hoofdoverspanning

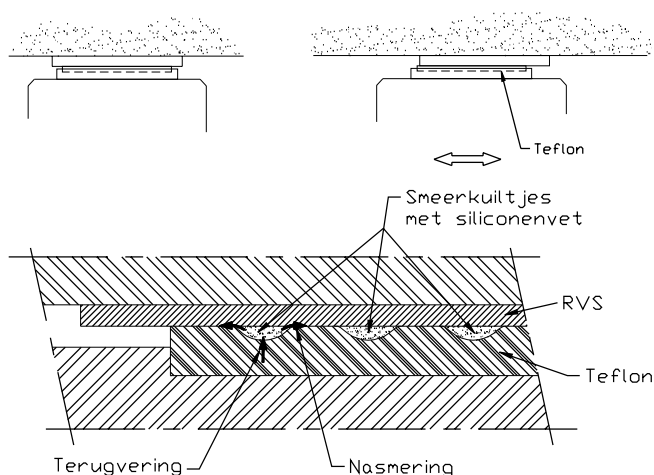
links onder: oplegging aanbrug op pijler

rechts boven: oplegging aanbrug op landhoofd

rechts onder: totaaloverzicht van de brug



10. Klassieke opleggingen toegepast bij de Demkaspoorbrug Utrecht.
links boven: totaaloverzicht van de brug
rechts boven: oplegging hoofdoverspanning
rechts: oplegging zijoverspanning.



11. Teflon glijoplegging

5 Moderne opleggingen

Moderne opleggingen worden gekenmerkt door een hogere draagkracht en meer gelijkmatige krachtafdracht in combinatie met grotere verplaatsingsmogelijkheden, voornamelijk grotere rotaties. Dit is nodig van-wege de steeds groter wordende overspanningen (vooral bij betonnen bruggen kan dit tot aanzienlijk oplegkrachten leiden) en grotere vervormingen. Verder is de bouwhoogte gering. Polymeren, zoals rubber en teflon, in plaats van staal, zorgen voor de gunstiger eigenschappen van moderne opleggingen t.o.v. de klassieke. Grofweg zijn er vier soorten moderne opleggingen.

Glijoplegging

Voor het mogelijk maken van (grote) horizontale translaties zijn glijvlakken geschikt. Er zijn in ieder geval drie soorten glijvlakken: PTFE, UHMWPE en DU-A/DU-B plaat. PTFE wordt op dit moment het meest gebruikt bij glijvlakken.

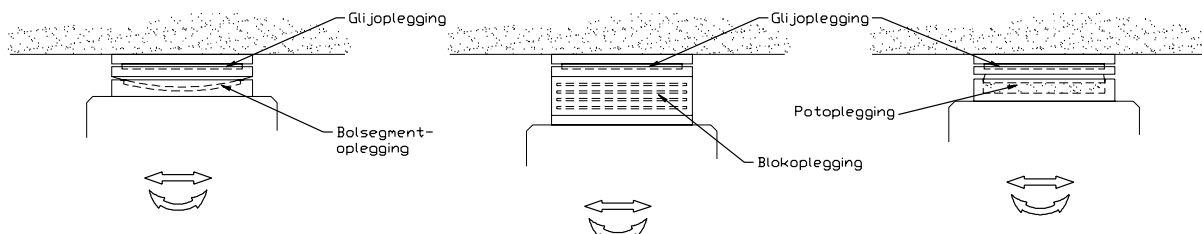
PTFE: polytetrafluorethyleen (merknaam: teflon)
UHMWPE: ultra high molecular weight polyethylyene (merknaam hakorith)
DU-A/DU-B: matrix materialen bestaand uit teflon, lood en poreus brons.

Het gebruik van teflon glijoplegging.

De teflon vlakken met smeerkuiltjes en siliconenvet worden gebruikt in combinatie met gepolijst roestvast staal, verchroomde vlakken of soms met geanodiseerd aluminium. De wrijvingscoëfficiënt neemt af bij toenemende contactdruk en bij toenemende temperatuur. Daarnaast is de coëfficiënt kleiner bij statische of langzame belasting(wisseling) dan bij snelle verplaatsingen. De wrijvingscoëfficiënt is het grootst bij de eerste bewegingen. Door te smeren met bijvoorbeeld siliconenvet neemt de wrijving af. Om de smering op z'n plaats te houden bij cyclische bewegingen wordt de PTFE plaat voorzien van kuiltjes. Vooral bij pijlers zijn a.g.v. wrijving horizontale krachten ongewenst, omdat er dan een groot moment in de pijler ontstaat dat afgevoerd moet worden naar de fundatie.

Bolsegmentoplegging

Deze oplegging bestaat uit een gebogen glijoppervlak in een schaal (onderzadel) waarop een bolsegment (bovenzadel) glijdt; hierdoor zijn grote rotaties in alle richtingen mogelijk met een lage weerstand. Een tussenform tussen de glijoplegging en de bolsegmentoplegging is de cilindersegment oplegging. Dit is een in één richting gebogen glijoplegging geschikt voor rotaties in één richting en translaties in de andere. Rotaties geschieden om het middelpunt van een denkbeeldige bol. Het draagvermogen is bovengemiddeld en er is zonder een toegevoegd teflon glijvlak geen translatie mogelijk. Daarom wordt vaak aan een oplegging, zowel bij de blokoplegging als bij de bolsegmentoplegging en potoplegging een teflon glijvlak toegevoegd zodat translaties wel goed mogelijk zijn.



12. Combinaties (v.l.n.r.: bolsegment-, blok- en potoplegging met teflon glijvlak).



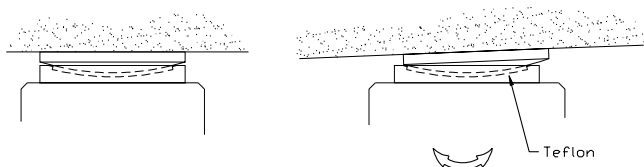
13. Bolsegmentoplegging.

Foto: <http://www.maurer-soehne.de>.



14 Gewapende rubber blokoplegging.

Foto: <http://www.maurer-soehne.de>.



Bolsegmentoplegging

De fabricagekosten van een bolsegmentoplegging zijn hoog. Dit vanwege de benodigde precisie van het gekromde glijvlak. De onderhoudskosten zijn gemiddeld. De reactiekrachten bij verplaatsingen zijn zeer klein. Er wordt gerekend in de uiterste grenstoestand met een spanning van 60 N/mm^2 in het teflon.

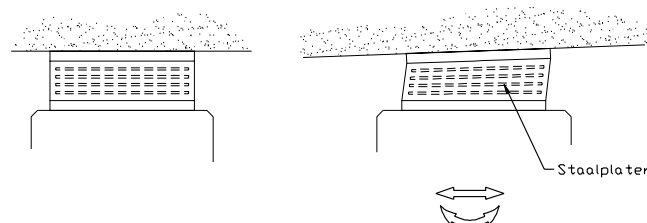
Blokoplegging

Een blokoplegging is een rubberblok; het kan door te vervormen zowel rotaties als translaties opvangen. Er zijn twee soorten: ongewapend en gewapend. Beide zijn, tot een bepaalde grootte, zeer eenvoudig te fabriceren en te installeren. Er zijn natuur- en synthetische rubbers (zoals chloropreen en chlorobutyl). De synthetische rubbers zijn beter bestand tegen ozon en andere weersinvloeden. Natuurrubbers zijn geschikter bij lagere temperaturen, chloropreen neigt naar bros gedrag bij lage temperaturen. Er zijn ook opleggingen waarbij beide rubbersoorten gecombineerd worden; het gaat dan om een natuurrubberen blok met een laag synthetische rubber eromheen.

Van natuurrubber is de glijdingsmodulus G minder dan $1/1000$ van de bulkmodulus B (maat voor de samendrukbaarheid). Dit houdt in dat het rubber nauwelijks samengedrukt wordt, terwijl grote afschuifvervormingen mogelijk zijn. Bij snel veranderlijke belasting gedraagt het rubber zich aanzienlijk stijver.

Ongewapende blokoplegging

De ongewapende blokoplegging wordt zelden bij bruggen toegepast om de volgende reden. Als gevolg van de drukkracht en het Poisson-effect wil het rubber uitpuilen. De schuifweerstand aan de bovenkant en onderkant reduceert dit effect enigszins. De relatief grote rek van het rubber limiteert de maximale



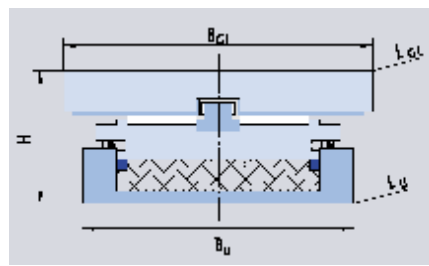
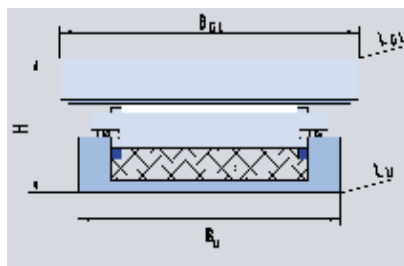
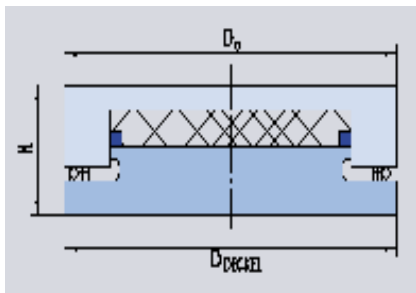
Blokoplegging

belasting, dit hangt af van de vorm van het blok. Het gevolg van een dunne laag rubber is dat de verplaatsingen en rotaties niet groot kunnen zijn en er dus grote krachten in de constructie ontstaan.

Gewapende blokoplegging

Er is wapening in vele varianten; bijvoorbeeld "Cotton Duck", glasvezelmatten of staalplaten.

Rubberopleggingen gewapend met staalplaten bestaan uit lagen rubber en staal, tijdens vulkanisatie met elkaar verbonden. Het rubber is flexibel onder schuifspanning, maar stijf onder drukspanning als gevolg van de staalplaten. Dit resulteert in een hoge verticale draagkracht en grote horizontale vervormingscapaciteit. De belastbaarheid is, vergeleken met pot- en bolsegmentopleggingen, klein; mogelijke translatie is groot en de mogelijke rotatie is afhankelijk van de grootte van de oplegging. Hoe groter de oplegging, hoe kleiner de rotatie. De kosten voor fabricage en onderhoud zijn relatief laag, mits de oplegging niet te groot is. Bij een grote oplegging wordt de kans op fabricagefouten groter. Daarom moet de oplegging op ware grootte worden getest; hierdoor kan de oplegging alsnog duur worden. Er wordt gerekend in de bruikbaarheidsgrenstoestand met een spanning van 15 N/mm^2 . Bij een te lage verticale spanning samen met een horizontale verschuiving van de brug kan de oplegging "terugschieten"; het rubberblok slijpt ten opzichte van constructie. Als de brug weer in de neutrale stand terugkeert, is het rubberblok vervormd. Bij verdere vervorming van de brug kan het rubber de beweging niet opvangen. Bij het gebruik van rubberopleggingen hoeft er geen vast punt te zijn. Door de opgebouwde weerstand uit vervorming, neemt het rubber de horizontale krachten op. Een teflon glijvlak kan toegevoegd worden voor een groter translatievermogen.

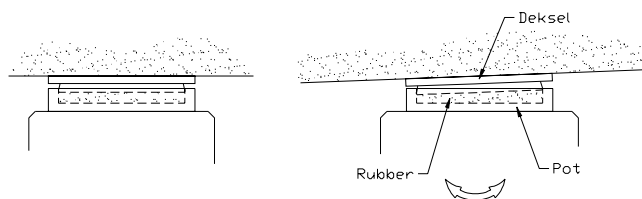


15. Potoplegging. Foto's: <http://www.maurer-soehne.de>.
 van links naar rechts: in het horizontale vlak geen translatie mogelijk,
 in het horizontale vlak wel translatie mogelijk,
 translatie slechts in één richting mogelijk,
 rechts: potoplegging.



Potoplegging

Een potoplegging bestaat uit een lage cilinder (de zgn. pot), een (ongewapend) rubber schijf, een afdichtring en een deksel. Zonder een toegevoegd glijvlak staan de potopleggingen geen horizontale verplaatsing toe. Grote verticale lasten en rotaties worden goed opgenomen.



Potoplegging

Onder hoge druk gedraagt het rubber zich bij langzame rotatie als een vloeistof; bij een rotatie wordt het rubber vervormd, maar nauwelijks samengedrukt. Bij langzame rotatie treedt nauwelijks weerstand op. Het rubber kan zowel natuurrubber als synthetische rubber zijn. Omdat het deksel moet kunnen roteren in de pot, is er ruimte tussen de rand van het deksel en de pot. De afdichtring zorgt ervoor dat het rubber niet uit de pot wordt geperst. Horizontale belastingen worden direct opgevangen doordat de neus van het deksel tegen de rand van de pot komt. De neus kan zowel vlak als gekromd zijn uitgevoerd. De potopleggingen kunnen zeer grote belastingen dragen, maar hebben een beperkte rotatie-capaciteit. De fabricagekosten zijn gemiddeld; daarentegen zijn de kosten voor onderhoud hoog. Er wordt gerekend in de uiterste grenstoestand met een spanning van 47 N/mm² in het rubber.

Om werkzaamheden aan opleggingen mogelijk te maken zijn een aantal maatregelen noodzakelijk. Ten eerste moeten de opleggingen eenvoudig verwijderd kunnen worden. Dus bijvoorbeeld geen vaste verbinding tussen de oplegging en de brug; om er toch voor te zorgen dat de oplegging niet verplaatst, kan de oplegging opgesloten worden tussen nokken of vastgezet met bouten. Ten tweede moeten vizelpunten in de constructie worden meegenomen in het ontwerp. Hierdoor kan de brug opgezet worden, zodat de oplegging vervangen kan worden.

6 Enkele recent gebouwde spoorbruggen

Bij het ontwerp van een spoorbrug zal in eerste instantie bekeken worden of met staalplaten gewapende rubber blokopleggingen voldoen. Is dit niet het geval, bijvoorbeeld als het te dragen gewicht zo groot is dat een blokoplegging niet op de pijler zou passen, dan voldoen

potopleggingen meestal wel. Korte bruggen, met doorgaande spoorstaven, worden opgelegd op relatief stijve rubber blokken en zonder fysiek horizontaal vasthoudpunt in langsrichting. Dat zijn blokken, of schijven, met een zo groot mogelijk oppervlak en een zo klein mogelijke hoogte. Het oppervlak mag niet te groot worden, omdat dan de verticale spanning te laag wordt en de plaatsvastheid van de oplegging zelf niet meer verzekerd is. Langere bruggen hebben vaak een horizontaal vasthoudpunt in langsrichting nodig. Omdat de horizontale langskrachten door dit vasthoudpunt worden opgenomen, wordt de brug verder voorzien van slappere blokken, met een klein oppervlak en een grotere hoogte.

De uiteinden van de brug mogen geen translaties in dwarsrichting ondergaan. De bruguiteinden worden daarom voorzien van doken; deze "pennen" voorkomen translaties in één of meer richtingen. De glijelementen bij de potopleggingen kunnen worden beperkt in hun vrijheid door middel van geleidingen.

Dintelhavenspoorbrug

In 1999 is deze verstijfde staaftoogbrug met als hoofdligger een vollewandligger in gebruik genomen. Hiermee is de Havenspoorlijn tussen Maasvlakte en Botlekspoortunnel geheel dubbelsporig geworden. De hoofdover-spanning bedraagt ca. 170 meter, de twee zijoverspanningen zijn 50 meter lang. De brug is opgelegd op potopleggingen.

De Muiderspoorbrug

Op het oog een kopie van de eerste spoorbrug bij Weesp, een dubbelsporige verstijfde staaftoogbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal, zie figuur 5. De nieuwe brug is echter voor het grootste gedeelte gelast; bovendien wijkt het profiel van de hangers af. De hoofdoverspanning is 188 meter, de zijoverspanningen zijn ieder 31



Dintelhavenspoorbrug.



2e spoorbrug bij Weesp.



Rubber oplegging toegepast bij de staal-betonnen brug Veghel.

meter lang. De eerste brug gebouwd in 1972 ligt op taatsopleggingen en de tweede gebouwd, in 1995, ligt op potopleggingen met een maximale belasting van 24.000 kN.

Hemboog

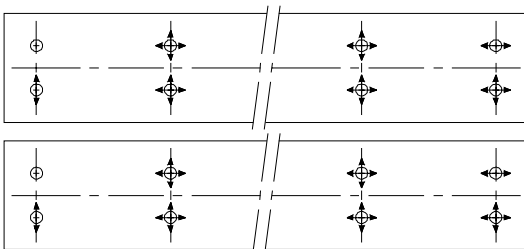
De bouw van de Hemboog zal eind 2003 afgerond worden. De nieuwe brug koppelt de spoorlijn Zaandam-Amsterdam Sloterdijk rechtstreeks aan de lijn Amsterdam Sloterdijk-Schiphol.

Het grootste gedeelte van het traject bestaat uit twee enkelsporige bruggen; aan de kant van Schiphol komen

de twee bruggen samen. Er is gebruik gemaakt van een aantal verschillende brugtypes, alle met een lengte van ca. 90 meter, bestaande uit meerdere overspanningen per brug:

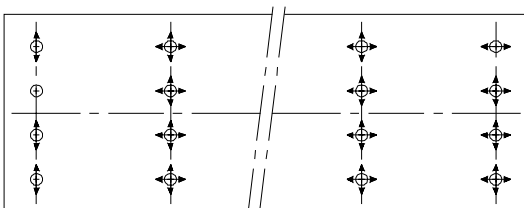
- betonnen plaatliggers, overspanning ca. 25 meter
- staal-betonnen kokerliggers, overspanning ca. 35 meter.
- betonnen trogliggers, overspanning ca. 35 meter.

Bij alle liggers is gebruik gemaakt van potopleggingen aan de uiteinden van de brug vanwege de integraties met vasthoudpunten in langs- en dwarsrichting. De



Enkelsporige plaatliggers:

De opleggingen bij de uiteinden zijn potopleggingen; bij de tussenliggende steunpunten ligt de constructie op rubber blokopleggingen (behalve bij de staal-betonnen kokerliggers, daar ook potopleggingen t.p.v. de tussensteunpunten).



Tweesporige plaatligger:

De opleggingen bij de uiteinden zijn potopleggingen; bij de tussenliggende steunpunten ligt de constructie op rubber blokopleggingen.

Oplegschema's van de Hemboog.



De bouw van de Hemboog.

links boven: schuiven van stalen kokerligger over bestaand spoortraject, rechts boven: doorsnede opbouw van de staal-betonnen kokerligger, links onder: betonnen trogligger, rechts onder: eindoplegging trogligger.

maximale oplegkracht (V_{max}) varieert tussen de 2.000 en 9.500 kN. De tussenpijlers zijn voorzien van gewapende blokopleggingen. Dit met uitzondering van de staalbetonnen kokerliggers, waar ook de tussenpijlers voorzien zijn van potopleggingen. Bij de uiteinden is gekozen voor potopleggingen omdat het oppervlak van de pijlers zo klein is dat de opleggingen voor de verticale krachtafdracht gecombineerd moeten worden met de vasthoudkracht in langs- en dwarsrichting.

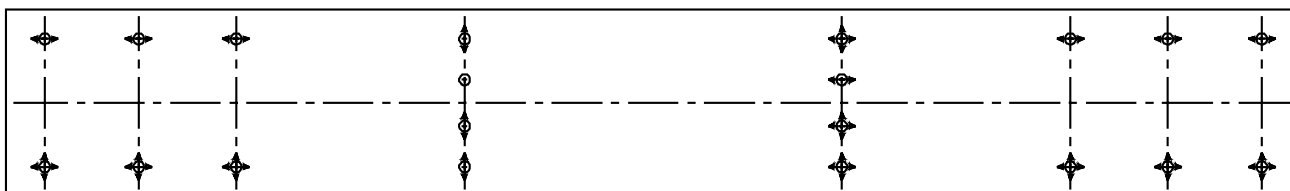
Bij kleine stalen bruggen worden nog wel eens stalen taatsopleggingen gebruikt. Dit omdat het gevaar bestaat dat door de hoge eigenfrequentie en het lage gewicht, de brug onder een belasting alle kanten op danst.

Lekbruggen bij Vianen

De brug uit 1935 voldoet niet meer aan de eisen. Daarom is in 1998 begonnen met de bouw van twee

7 Enkele recent gebouwde bruggen voor wegverkeer

Ook voor de bruggen voor wegverkeer wordt veel gebruik gemaakt van rubber blokopleggingen. De grote voordelen van rubber opleggingen zijn: goedkoop in aanschaf en lange levensduur. Echter, vooral bij (zeer) grote rubber opleggingen (groter dan 700 mm diameter), wordt de kans op constructiefouten groter. Fouten zijn bijvoorbeeld bindingsfouten tussen het rubber en de staalplaten, stijfheidsverschillen van het rubber, of onvolledige vulkanisatie in het midden van de oplegging. Bij grote opleggingen gaat daarom de voorkeur naar potopleggingen.



Oplegschema van de Lekbruggen bij Vianen.



Eilandbrug. (Foto: Bouwdienst Rijkswaterstaat)

nieuwe (vrijwel identieke) betonnen kokerbruggen, waarvan één nu in gebruik is. De hoofdo overspanning is 165 meter. De opleggingen verschillen; de tweede brug is opgelegd op potopleggingen, de derde brug op bolsegmentopleggingen (V_{\max} tussen 8.000 en 38.000 kN). In figuur 20 is het oplegschema gegeven.

Er is geen technisch achtergrond voor de verschillende opleggingen. De twee aannemers die deze bruggen bouw(d)en, hebben voor verschillende opleggingen bij verschillende fabrikanten gekozen, waarschijnlijk vanwege kosten of ervaringen.

Eilandbrug bij Kampen

De Eilandbrug voert vanaf 21 jan. 2003 de N50 van Zwolle naar Emmeloord over de IJssel. De brug bestaat uit een tuibrug, een ophaalbrug en twee aanbruggen. De hoofdo overspanning is 150 meter, bestaande uit een stalen balkrooster met betonnen rijvloer. De hoofdo overspanning is opgelegd op potopleggingen met een maximale belasting van 5.000 kN. De betonnen aanbruggen zijn opgelegd op rubber blokopleggingen met een maximale belasting van ca. 11.000 kN (soms van vijf opleggingen in dwarsrichting).

8 Trends en Europese fabrikanten van brugopleggingen

Bij het ontwerp hebben de kosten een grote invloed op de keuze van het type oplegging. Rubber blokopleg-

gingen zijn wat betreft ontwerp, installatie en onderhoud relatief goedkoop. In eerste instantie wordt daarom bekeken of blokopleggingen voldoen. Tweede keuze is de potoplegging. Toepasbaar voor grotere overspanningen (grotere belastingen). De bolsegmentoplegging tot slot, is vooral geschikt indien grote hoekverdraaiingen mogelijk moeten zijn. Andere opleggingen worden minder vaak toegepast.

Fabrikanten van brugopleggingen bieden meestal een standaard assortiment. Daarnaast zijn in het verleden opleggingen op maat geleverd. Enkele Europese bedrijven zijn te vinden onder:

<http://www.maurer-soehne.de>
<http://www.mageba.ch>
<http://www.freyssinet.com>
<http://www.sollingerhuetten.de>
<http://www.proceq.com>
<http://www.alga.it>

Met name een bezoek aan de internetsite van Maurer Söhne is zeer de moeite waard.

Referenties

[1] Afstudeerwerk "Slijtage van brugopleggingen", Ir. J. Driessen, TU-Delft, Fac. Civiele Techniek, archief Staal&Houtconstructies.