

# Stalen Buispaal: efficiënte oplossing in de kleine ruimte



ing. H.F.C. Weijde  
(Geo)advies & Expertise



ing. J. van der Sluis  
v/h Mos Grondmechanica b.v.



ing. R.J. Schippers  
Mos Grondmechanica B.V.



Figuur 1 - Mini heistelling met inwendig valblok (lummel).

## Inleiding

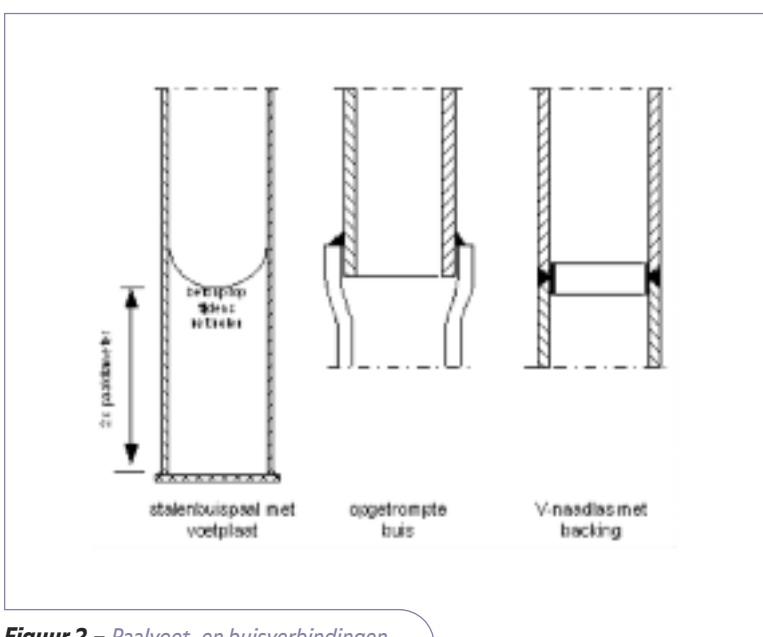
Inwendig geheide stalen buispalen worden al lange tijd toegepast in onze dagelijkse bouwpraktijk. De toepassing ervan zal in Nederland, onder andere door de toenemende druk op efficiënt gebruik van de beschikbare ruimte (voornamelijk in binnenstedelijk gebied) ongetwijfeld verder toenemen. Stalen buispalen kunnen worden toegepast waar sprake is van een beperkte werkhogte, zoals bijvoorbeeld op fabrieksterreinen, in gebouwen of onder hoogspanningslijnen, of op moeilijk bereikbare locaties, zoals uitbouwen aan bestaande panden of tuilmuren. Dit paaltype kan bovendien succesvol worden toegepast op plaatsen waar het veroorzaken van overlast door heitruillingen ontoelaatbaar is. Stalen buispalen zijn tenslotte uitermate geschikt om constructies waarop bijzondere belastingen werken (zoals druk-, trekbelasting in combinatie met horizontale belasting en/of (kop-)momenten) zoals bijvoorbeeld geluidsschermen, offshore constructies, leidingbruggen, etc. te funderen.

In dit artikel wordt ingegaan op alle uitvoerings- en ontwerpaspecten die een succesvolle toepassing van het systeem garanderen.

## Algemene beschrijving van het systeem

Stalen buispalen worden opgebouwd uit een of meerdere segmenten. De buis is aan de onderzijde veelal afgesloten met een gelaste stalen voetplaat, die al dan niet iets uitsteekt. De voetplaat moet voorkomen dat er tijdens de installatie grond en/of water in de buis komt. De verschillende buissegmenten worden aan elkaar gelast. Meestal wordt een trompverbinding gebruikt. De tromp wordt tijdens het heien aan de bovenzijde gehouden. De inwendige diameter van deze tromp is gelijk of iets groter dan de uitwendige diameter van de inkomende buis. De verbinding wordt door (elektrisch) lassen tot stand gebracht.

De range van (standaard)diameters voor stalen



Figuur 2 - Paalvoet- en buisverbindingen.

buispalen die inwendig worden geheid kan variëren van minimaal  $\varnothing 168$  mm tot maximaal  $\varnothing 609$  mm. Afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, kunnen de segmentlengtes worden aangepast. Doorgaans worden segmentlengtes tussen 0,5 m en 3,0 m toegepast.

De buis wordt met een inwendig valblok (of lummel) op diepte geheid (zie figuur 1). Daartoe wordt een heiprop van droge beton, grind of grof zand onderin het onderste buiselement aangebracht. De prop brengt de energie van het valblok over naar het onderste paalsegment. De diameters tot  $\varnothing 273$  mm, kunnen ook met een snelslaghamer of een heirobot worden geheid. Na het op diepte komen van de buis wordt deze voorzien van een kopwapening en gevuld met beton.

In de volgende hoofdstukjes wordt op de verschillende onderdelen van het paalsysteem ingegaan.

## Samenvatting

Inwendig geheide stalen buispalen vormen een efficiënt funderingssysteem wanneer er restricties gelden met betrekking tot werkruimte of trillingsoverlast. De mogelijkheden van het systeem zijn groot, maar niet oneindig. In dit artikel wordt een complete beschrijving gegeven van het systeem en wordt de nodige aandacht besteed aan het ontwerp en de wijze van uitvoering. Het belangrijkste doel van het artikel is om een compleet beeld te schetsen van de uitvoeringspraktijk, waarmee zoveel mogelijk kan worden voorkomen dat er problemen

ontstaan tijdens de uitvoering bij toepassing van het systeem. Eerst worden alle benodigde onderdelen voor de installatie onder de loep genomen en wordt de afwerking van de paal behandeld. Vervolgens wordt ingegaan op mogelijke oorzaken voor problemen tijdens de installatie. Verder wordt aangegeven welke oplossingen er zijn, mochten er onverhoopt toch problemen ontstaan. Tenslotte wordt ingegaan op de geotechnische en constructieve ontwerpaspecten zoals (spannings)corrosie waarmee rekening dient te worden gehouden.

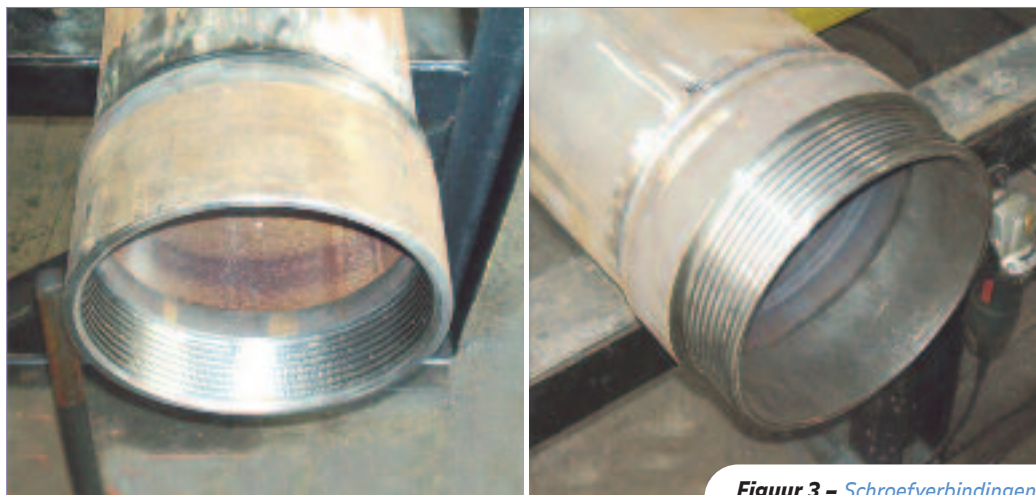
## De stalen buis

De te hanteren dikte van de stalen buis is meestal afhankelijk van de verwachte zwaarte van het heiwerk en niet van de eisen die er vanuit het toekomstig gebruik van de paal aan worden gesteld. Omdat iedere extra millimeter benodigde wanddikte een behoorlijke invloed heeft op de prijs wordt vaak de ondergrens opgezocht, waardoor er soms in de uitvoering problemen ontstaan. Bij de bepaling van de minimaal benodigde wanddikte spelen o.a. de gemeten sondeerweerstand, de grondwaterstand en lengte en diameter van de paal een belangrijke rol.

In het algemeen moet ernaar worden gestreefd om de verhouding tussen diameter en wanddikte ( $D/t$ ) kleiner dan 60 te houden (bijvoorbeeld voor een buis 356 mm wordt een minimale wanddikte van  $356 / 60 = 6$  mm geadviseerd). Wanneer zwaar heiwerk wordt verwacht, dan is het verstandig om wat meer zekerheid (extra wanddikte) in te bouwen. Om materiaal te besparen wordt vaak naar boven toe met een geringere wanddikte (verjonging) volstaan.

De verbinding tussen de losse elementen wordt meestal gelast, waarbij een opgetrompte verbinding of toepassing van een bandje met een hoeklas of V-naad (zie *figuur 2*).

Bij wanddiktes tot circa 10 mm kan een opgetrompte verbinding worden gekozen. Het voordeel hiervan is dat de buizen altijd rond zijn, zodat de buizen altijd passen bij het op elkaar plaatsen. Voor getrompte buizen mag geen al te hoge staalkwaliteit worden gebruikt, omdat deze te bros zijn. Vooral op de lassen zal dan snel breuk kunnen optreden. Tijdens het heien ontstaan bij opgetrompte verbindingen nogal grote excentrische krachten in de las, waardoor deze minder sterk is. Bij wanddiktes groter dan 10 mm wordt vaak een 'bandje' in combinatie met een hoeklas of een V-naad gekozen. Indien een V-naad wordt toegepast, wordt een vooropening van ca. 2 mm aangehouden. Bij grotere wanddiktes kan een backing worden aangebracht. Dit is een 2 mm dikke stalen strip die schuin afgeknipt is, zodat hij altijd passend in de buis kan worden aangebracht.



Figuur 3 – Schroefverbindingen.

Deze dient als achterafsluiting van de lasnaad tijdens het lasproces.

In situaties waarbij geen open vuur en/of vonken is toegestaan, zoals bijvoorbeeld bij (petro-) chemische installaties, kunnen buizen met stalen schroefverbindingen worden gebruikt (*figuur 3*).

## De voetplaat

De voetplaat heeft slechts een grond- en waterkerende functie. De dikte ervan wordt op praktische gronden gekozen. De diameter wordt meestal 10 a 20 mm groter gekozen dan die van de buis. Dit is gemakkelijk voor het laswerk van de plaat aan de buis; er kan eenvoudig een hoeklas worden gelegd. Bovendien verloopt het heiwerk er wat gemakkelijker door, omdat de schachtwrijving gedeeltelijk wordt beperkt.

## De heiprop

De functie van de heiprop is het effectief overdragen van energie vanuit het heiblok naar de stalen buis. Om te voorkomen dat de voetplaat kapot wordt geslagen, wordt er in de buis een heiprop aangebracht met een hoogte van ten minste twee maal de buisdiameter. Wanneer zwaar heiwerk wordt verwacht, dan wordt soms een langere prop gekozen. Een heiprop die zich dicht onder een lasverbinding bevindt, spreidt ongelijke trekspan-

ningen onvoldoende over de lasverbinding. Indien over een langer traject hoge conusweerstandens gepasseerd moeten worden, dan wordt een heiprop aangebracht tot 0,5 à 1 m boven de eerste lasverbinding van de buizen, waardoor trekspanningen op de overgang van de buisegmenten (lasverbinding) gelijkmatiger worden gespreid. De heiprop wordt opgebouwd uit droge betonspecie met een hoog percentage grind, bijvoorbeeld 1 deel cement, 1 deel zand en 4 delen grind. Het grind moet wat grof zijn en liefst scherp, bijvoorbeeld gebroken grind of zeegrind. Sommige heibedrijven gebruiken slechts grind, grof zand of een mengsel hiervan. Het is belangrijk dat de materialen droog zijn. De specie mag beslist niet te nat worden, omdat deze anders tijdens het heien verweekt, waardoor het valgewicht erin zakt en aan effectiviteit inboet. In het ergste geval gaat de propwerking verloren en kan de voetplaat worden losgelagen. Er moet dus goede zorg worden besteed aan de opslag van dit materiaal.

## Het valblok

De diameter van het valblok moet ongeveer 4 cm kleiner zijn dan de inwendige buisdiameter. De onderkant kan het beste iets worden afgeschuind, bijvoorbeeld 20° met de verticaal, over een hoogte van ca. 5 cm. Er zijn ook heibedrijven die de voorkeur geven aan een bolle onderkant.

De zwaarte van het blok wordt mede bepaald door de beschikbare werkhogte en -ruimte. Bij voorkeur moet een zo zwaar mogelijk blok worden gebruikt, liefst met een kleine valhoogte. Lange blokken zijn effectiever dan korte (ze 'trekken' beter). Door de trefsnelheid van het blok op de prop laag te kiezen vermindert de kans op het kapotslaan van de buis of het losslaan van de voetplaat. In het verleden werden de blokken veelal gemaakt van afgedankte schroefassen van schepen.

Tegenwoordig worden veelal met lood gevulde stalen buizen gebruikt, die kunnen worden geschakeld. Het toepassen van geschakelde blokken maakt het ook mogelijk om te beginnen met een kort blok, zodat beter in ruimtes met een beperkte werkhogte kan worden gewerkt.

### Het heien

De buis, al dan niet voorzien van een voetplaat, wordt met een waterpas verticaal en op de juiste plaats afgesteld. De segmenten moeten goed in de lijn van de as van de paal op elkaar worden geplaatst, anders bestaat het risico dat de paal verloopt of kapot wordt geslagen. Vervolgens wordt de heiprop op de eerder

beschreven manier aangebracht. Als de heiprop verdicht is, wordt er op de heidraad, ter hoogte van de bovenkant van de buis een merkteken op de draad aangebracht. Deze dient om de machinist te laten zien waar hij moet remmen, de valhoogte van het blok zichtbaar en meetbaar te maken en om te kunnen zien of de heiprop nog in tact is.

Als het merkteken langzaam onder in de buis verdwijnt, dan zal de heiprop bezig zijn te verweken. Dit kan worden veroorzaakt doordat er lekkage is ontstaan door het los slaan van een buislas of de voetplaat. Als de voetplaat wordt losgeslagen kan grind en/of specie worden bijgevuld en een nieuwe prop worden opgebouwd. Het afstorten moet dan wel op dezelfde dag plaatsvinden.

Voor met heien wordt begonnen moet het valblok goed centrisk in de buis worden gehangen, zodat de heiprop symmetrisch en homogeen kan worden opgebouwd. Tijdens het heien kan de paal wat verlopen, dus horizontaal verplaatsen, scheef en/of krom de grond in gaan. Dit moet goed in de gaten worden gehouden. Zo nodig moet de stelling worden versteld om het blok weer te centreren.

Er worden tegenwoordig steeds meer heiautomaten gebruikt, waarmee de valhoogte is in te stellen. Door toepassing van een heiautomaat zijn

hogere haalsnelheden mogelijk, waardoor het aantal slagen per tijdseenheid toeneemt. De paal blijft meer in beweging. Dit in combinatie met een zwaar heiblok leidt tot lagere slagwaardes (kalenderwaardes).

### Het afwerken van de palen met beton en wapening

De stalen buis wordt meestal van boven af gevuld met betonspecie. Voordat het vullen begint, moet worden gecontroleerd of de buis droog is, dat wil zeggen dat er geen water in staat. Als het beton in water valt, dan zal het snel ontmengen. De zwaarste delen bezinken het snelst, zodat het cement bovenin komt te zitten. Dit leidt dan tot een zogenaamde schuimkop. De betonkwaliteit bovenin de paal is dan slecht en onderin treedt nauwelijks verharding op. De controle of zich water in de stalen buis bevindt geschiedt visueel met behulp van een (zak-)lamp en/of akoestisch door middel van het laten vallen van een bijvoorbeeld grind in de paal. Daarnaast dient gecontroleerd te worden of er zich geen vreemde objecten in de paal bevinden, zoals houten balken, straatklinkers, trottoirtegels, plastic, etc.

Als de paal over de volledige lengte wordt gewapend, dan wordt de wapening voorafgaand aan het storten geplaatst. Een groot deel van het cement zal aan de (droge) wapening gaan hangen, waardoor het beton onderin de paal dan te schraal wordt, wat een lagere betonkwaliteit oplevert. Deze ontmenging kan deels worden tegen gegaan door voorafgaand aan het storten een emmer cementgrout in de paal te gieten, waardoor de wapeningskorf wordt vertind (bevochtigd).

Wanneer de paal alleen met een kopnet wordt gewapend, dan wordt deze meestal achteraf na het storten van het beton geplaatst (zie figuur 5). Dit moet bij voorkeur gebeuren door de wapening met de hand op diepte te drukken. Indien dit niet gaat kan dit worden gedaan met behulp een klein trilapparaat.

Op het moment dat de specie wordt gestort, dan is het in feite een suspensie. Alle deeltjes zweven in de specie, waardoor deze zich gedraagt als en vloeistof. De speciedruk is dan op alle hoogten ongeveer gelijk aan de vloeistofdruk ( $h \times \gamma_{\text{beton}}$ ). Na verloop van tijd bezinken de deeltjes, zonder dat er ontmenging kan optreden. Het beton gaat zich zetten. De verticale druk is dan gefaseerd (zoals bij grond) en wordt gelijk aan de som van de waterdruk en de korrelspanning. Het gevolg is echter dat hierdoor water wordt verplaatst, wat wil uittreden.

De weg van de minste weerstand daarvoor is naar boven, meestal langs de wapeningstaven. Dit verschijnsel wordt bleeding genoemd. Het water



Figuur 4 – Heistelling met makelaar.

dat achterblijft in de gezette specie wordt geconsumeerd voor de verharding van het beton. Bleeding en/of ontmenging kan bevorderd worden door intrillen van de wapening of het te lang trillen van het beton.

Bleeding kan worden tegengegaan door zo weinig mogelijk water te gebruiken. Dit kan door bijvoorbeeld een plastificeerder toe te voegen, waarbij wordt uitgegaan van specie met een blanco zetmaat van 100 mm. Ook het toevoegen van meer fijne delen, zoals bijvoorbeeld fijner grind (nominaal 16 mm, spramexbeton), vliegias of een fijner cement, kan de bleeding beperken. Het intrillen van wapening of het verdichten van de specie moet waar mogelijk worden vermeden. Een plastificeerder heeft in dit verband het nadeel dat er vrij veel lucht in het beton komt te zitten, wat nadelig is voor de eindsterkte van het beton.

### **Uitvoeringsproblemen - kapot heien van de buis**

Het kapot heien van de stalen buis kan verschillende oorzaken hebben. Het komt in de praktijk maar zelden voor dat de oorzaak van heischade te wijten is aan één specifieke factor. In de praktijk zal meestal een combinatie van meerdere factoren de oorzaak zijn.

#### ■ **Onvolkomenheden in het basismateriaal**

Vaak worden gebruikte stalen buizen toegepast, bijvoorbeeld van pijpleidingen of gesloopte raffinaderijen. Deze kunnen aan de buitenzijde niet zichtbare gebreken vertonen, bijvoorbeeld slijtage of corrosie. Aan deze buizen is ook vaak gelast. De invloed hiervan op de staalkwaliteit is meestal onbekend. Het is niet uitgesloten dat daardoor restspanningen in de buiswand aanwezig zijn. De buizen zijn ook vaak roestig, waardoor zwakke plekken niet opvallen.

#### ■ **Zwaar heiwerk**

Hierdoor kan vermoeiing van het materiaal ontstaan, met brose breuk als gevolg. Ook kan het staal van de wand ter plaatse van de heiprop door de te hoge ketelspanning gaan uitbuiken en daardoor scheuren. Dit gebeurt vaak indien men niet tijdig de heiprop 'ververst'.

#### ■ **Obstakels in de grond**

Doordat de voetplaat afschampt op ondergrondse obstakels, zoals puin, funderingsresten, bomen in veenlagen, kan de paal verlopen. Dit kan grote buigspanningen in de buis veroorzaken.

#### ■ **Gebrekkige kwaliteit van de lassen**

Hierdoor is er geen goede verbinding tussen de verschillende buissegmenten. Dit kan worden veroorzaakt doordat de lassen niet goed zijn inge-



**Figuur 1** - Afwerking paalkop met wapeningsnet.

brand, waardoor er slechts aan één buis is gelast of juist een te hoog voltage van het lasapparaat in combinatie met (te) dunne wanddikte(s), waardoor de buis wordt doorgelast (het motief om een hoger voltage toe te passen is om sneller met lassen klaar te zijn). Door te dikke lassen kunnen ook hoge restspanningen in de buiswand ontstaan.

#### ■ **Gelaagdheid van de ondergrond**

Door het afwisselend gelaagdheid van dichtgepakte zandlagen en slappe lagen, kan de buis tijdens het heien plotseling doorschieten. Dit geeft grote trekspanningen in de buis, waardoor de buis net onder of boven een las kan scheuren. In dichtgepakte zandlagen kan de buis ook worden vastgehouden (kleef). Ook dit veroorzaakt grote trekspanningen en vermoeiing tijdens het heien.

#### ■ **Slechte opbouw van de heiprop**

Door een te natte heiprop kunnen hoge spatkrachten in ontstaan, omdat de klap door het aanwezige water, dat niet samendrukbaar is, direct op de buiswand wordt overgedragen.

#### ■ **Het niet in één lijn plaatsen en lassen van de buissegmenten**

Excentrische belasting van de buissegmenten leidt tot een onevenredige spanningsverdeling over de doorsnede, waardoor de lassen kunnen scheuren.

#### ■ **Verkeerde valhoogte van het heiblok**

Als de valhoogte te groot is, dan treden zeer hoge trekspanningen op in het staal. Ter controle hiervan kan een eenvoudige berekening worden gemaakt, die een goede indicatie geeft van de optredende staalspanning. Deze is afhankelijk van de valsnelheid, de impedantie van de paal en het

paaloppervlak:

$$\sigma_t = v \times Z_p / A$$

De valsnelheid kan worden bepaald uit:

$$v = c \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

Waarin:

- c reductiefactor voor aflopen van de trommel en wrijving van het blok in de buis [-]
- g zwaartekrachtsversnelling [m/s<sup>2</sup>]
- h valhoogte [m]

De impedantie van de paal kan worden bepaald uit:

$$Z_p = A \sqrt{E \times \rho}$$

Waarin :

- A wand doorsnede van de buis [mm<sup>2</sup>]  
( $\pi \times (D^2 - d^2) / 4$ )
- E elasticiteitsmodulus [MPa]  
(voor staal E = 2,1 x 10<sup>5</sup> MPa)
- $\rho$  volumieke massa van het materiaal [N/mm<sup>3</sup>]  
(voor staal 7,85 N/mm<sup>3</sup>)

#### ■ **Te dicht palenplan**

Als palen te dicht op elkaar staan of als tussen bestaande palen moet worden geheid, treedt een hevige grondverdichting op, wat leidt tot zwaar heiwerk. Ook kunnen de palen daardoor van elkaar weglipen of zelfs naar elkaar toe lopen, waardoor de buis krom wordt. Ook dit geeft grote heitechnische problemen, zoals het vastlopen van het blok in de buis.

### **Uitvoeringsproblemen; kromme en/of scheefstaande stalen buispalen**

Inwendig geheide stalen buispalen bieden de mogelijkheid om een eventuele schoorstand en/of kromming waar te nemen, voorafgaand aan het afwerken van de paal. Dit in tegenstelling tot andere

(geprefabriceerde) paalsystemen. In het algemeen worden de Stalen Buispalen axiaal op druk of trek belast. Als de paal na het heien echter niet volkomen recht is, ontstaan er ook buigende momenten in de paal. Scheef en/of krom heien van een Stalen Buispaal kan ontstaan door:

#### ■ *Moeilijke werkomstandigheden*

Dit paalsysteem wordt vaak toegepast onder uitdagende omstandigheden. Er is vaak sprake van beperkingen in de omstandigheden. Er moet bijvoorbeeld onder een trap, in een toilet of in een kelder worden gewerkt, waardoor het te lood plaatsen (en houden) van de paal zeer moeilijk is (ondanks toepassing van een waterpas).

#### ■ *Aanwezigheid van bestaande paalfunderingen en obstakels*

In het geval van de aanwezigheid van bestaande paalfunderingen lopen nieuw te heien palen vaak weg in richting de bestaande palen. De verklaring van dit fenomeen kan worden gezocht in het feit dat in de grond tussen de bestaande paal en de in te heien paal, het water wordt belemmerd om snel te kunnen afvloeien, waardoor eerder een toestand van wateroverspanning optreedt. Hierdoor wordt de horizontale weerstand (sterk) van de grond verminderd.

#### ■ *Gebreken aan gebruikte materialen*

Soms blijken de buissegmenten niet haaks afge-

zaagd te zijn, waarbij het buissegment met aangelaste voetplaat niet te lood blijft tijdens het inbrengen. Soms is de trompverbinding te krap of te ruim uitgevoerd. In beide gevallen is geen goede rechte verbinding mogelijk. Tenslotte kan er sprake zijn van restspanningen in de buis ten gevolge van het lassen, waardoor deze krom kan trekken.

#### ■ *Geologische opbouw van de ondergrond*

Soms kan er sprake zijn van niet horizontale laag-scheidingen in de ondergrond. Doordat vaak in of nabij bestaande gebouwen wordt gewerkt kan er sprake zijn van geroerde grondomstandigheden, waardoor de palen niet rondom dezelfde steun vanuit de ondergrond ondervindt en scheef of krom kan gaan staan.

#### ■ *Onzorgvuldig werken*

Soms worden de palen niet goed te lood geplaatst doordat geen gebruik wordt gemaakt van een waterpas, maar op het oog te werken. De panden waarin gewerkt wordt staan niet per definitie te lood. Het is daarom praktisch niet goed mogelijk om de buissegmenten die volgen in één rechte lijn te plaatsen.

#### *Uitvoeringsproblemen; herstellen van heischade aan de paal.*

Een gescheurde buis of een losgeslagen voetplaat kunnen veelal worden herkend aan een slechte

zakking. Een paal die kapot geslagen wordt, geeft bovendien op het moment van bezwijken een afwijkend geluid. Een ervaren heibaas herkent direct hieraan dat de paal is 'kapot geheid'. Wanneer de schade beperkt is en er slechts een kleine lekkage is ontstaan, dan kan na het intreden van grondwater in de paal een plonsgeluid worden waargenomen tijdens het inheien als het blok in het water valt.

Het heien moet onmiddellijk worden gestopt en de buis moet worden geïnspecteerd om de oorzaak van de problemen vast te stellen. Veelal is de onderste las of de las direct daarboven bezwaken. Met de inspectie moet worden vastgesteld of beide buisdelen nog in elkaar zitten en of er grond en water zijn binnengedrongen.

Wanneer de buis niet vervuild is en de buis niet noodzakelijk dieper behoeft te worden doorgeheid, kan de paal worden afgestort. Dit moet wel op zeer korte termijn gebeuren, om te voorkomen dat de buis later alsnog vol met water en/of grond loopt. Het binnenstromen van water in combinatie met zand vanuit de draagkrachtige laag kan leiden tot ontspanning in deze laag.

Als een las wordt losgeslagen, zal de buis veelal vollopen met grond en water. Als dit niet te snel gebeurt, kan de buis het beste tot aan de rand worden vol gezet met water, zodat hij niet al te erg vervuult. Door het heiblok een paar keer bovenop de buis te laten vallen moet het gedeelte boven de breuk worden aangedrukt.

De ingedrongen grond moet door pulsen of afpompen worden verwijderd. Om te voorkomen dat opnieuw grond in de buis dringt moet de buis gedurende deze werkzaamheden tot de rand gevuld worden gehouden.

Vervolgens kan de benodigde wapening worden gesteld tot ca 0,5 m boven de kapot geheid las.

Hierna wordt onderwaterbeton (hydrocrete) in de buis gestort tot ca. 1,0 m boven de schade. Om een snellere uitharding te bereiken, wordt meestal gewerkt met een R-cement of Aluminiumcement (Calcium-aluminaat-hydraat CAH10) (NEN-EN 197-1). Nadat het beton is verhard, kan de buis worden leeggepompt en een nieuwe heiprop worden opgebouwd. Vervolgens kan de buis worden verder geheid. Indien dit constructief vereist wordt, kan een wapeningskorf van voldoende lengte en zwaarte voor het storten worden aangebracht. De heiprop wordt dan uitgevoerd als zandprop en na het heien van de paal door middel van spuiten en leegpompen van de paal verwijderd. Aansluitend wordt de wapeningskorf verlengd en wordt de paal afgestort.

Als het kapot heien herhaaldelijk gebeurt, is het gewenst voortijdig maatregelen te nemen. Dit kan het geval zijn wanneer zware tussenlagen moeten



**Figuur 6** – Makelaarstelling met inwendig valblok.

worden gepasseerd. Enkele tochten voor de slappe laag wordt bereikt, is dat al merkbaar door het teruglopen van de kalendering. In het zware gedeelte wil de buis bij een geringe valhoogte niet zakken. Bij een grote valhoogte zakt de buis wel, doch bestaat het gevaar dat er, bij plotseling doorschieten van de buis, te grote trekspanningen in de lassen optreden, met breuk tot gevolg. Het kan dan wenselijk zijn het heien te stoppen voordat de kalendering terugloopt en de buis over de ingeheid lengte met beton vol te storten (zgn. 'doorheipaal'). Bij verder heien wordt de kritieke las dan altijd op druk belast, waardoor hij minder snel afscheurt. Het is wel zaak de wanddikte van het deel waarin opnieuw een prop wordt gevormd even groot te kiezen als het onderste deel.

**Ontwerpaspecten: Geotechnisch ontwerp**

Het geotechnisch ontwerp voor inwendig geheide stalen buispalen moet worden uitgevoerd volgens NEN-EN-1997-1 (Hfs. 7). In Tabel 7.e en 7.g zijn de voor dit paaltype geldende bekende factoren opgenomen, zoals hieronder weergegeven.

Paalpunt	$\alpha_p = 1,0$
Paalvoetvormfactor $\beta$	conform Figuur 7.h
Schachtwrijving druk	$\alpha_s = 0,010$
Schachtwrijving trek	$\alpha_t = 0,007$

Als aanvullende bepaling bij berekeningen van de paal draagkracht dient bij een relatief ver buiten de paalschacht uitstekende voetplaat (verder dan 10 mm) rekening te worden gehouden met een reductie van de schachtwrijving. Er is echter niet vastgelegd hoe groot deze reductie precies moet zijn. In de praktijk wordt daarom meestal met standaardafmetingen gewerkt, waarbij aan deze voorwaarde wordt voldaan.

De standaardafmetingen met bijbehorende paalvoetvormfactor zijn weergegeven in tabel 1.

**Ontwerpaspecten: Constructief ontwerp**

Het constructief ontwerp voor inwendig geheide stalen buispalen moet worden uitgevoerd volgens NEN-EN-1992. Hierbij dient te worden getoetst of de optredende normaaldrukspanning en/of normaal trekspanning door de doorsnede kan worden opgenomen. Indien er sprake is van buigende momenten, bijvoorbeeld door paalmisstanden, optredende grondvervorming, of windbelastingen, dan dient de snede te worden getoetst op de meest ongunstige combinatie van normaalspanningen en buigend moment. Afhankelijk van de omstandigheden kan de aanwezigheid van de stalen buis al dan niet in de berekening van de doorsnede worden meegenomen. In de meeste gevallen zal deze toetsing worden uitgevoerd door een constructeur, zodat hier verder in dit artikel niet gedetailleerd op in wordt gegaan.

**Ontwerpaspecten: Spanningscorrosie van de buis**

Zowel gelijkstroom als wisselstroom kunnen een grote invloed op metalen hebben. Zowel onbeschermde als kathodisch beschermde constructies kunnen versneld corroderen of onderhevig zijn aan spanningscorrosie. Het traditionele Nederlandse spoornet is ingericht op 1,5 kV gelijkstroom (Direct Current). De HSL en de Betuwelijn rijden op 25 kV wisselspanning (Alternating Current).

Zwerfstromen als gevolg van gelijkstroom (DC) kunnen worden veroorzaakt door retourstroom van bijvoorbeeld spoor- en tramwegen die niet via de rails, maar via de bodem en daarin liggende leidingen naar het voedingsstation terugloopt. Vooral op plaatsen waar de retourstromen een in de grond aanwezige constructie verlaten kan versnelde corrosie optreden. Daarom moet aan dit aspect, voor op buiging belaste stalen buispalen in de buurt van tram- en spoorwegen, extra aandacht worden besteed. Wanneer deze zwerfstromen niet op tijd worden onderkend en gecontroleerd, kan in korte tijd aanzienlijke corrosieschade ontstaan. Om dit te voorkomen moeten extra maatregelen worden genomen.

Hiervoor geldt de norm NEN-EN-50162 'Bescherming tegen corrosie door zwerfstromen uit gelijkspanningssystemen'. Maatregelen kunnen worden genomen door de veroorzaker (zwerfstromen beperken), of door te voorkomen dat contact ontstaat tussen de bron en de palen, maar dat is meestal relatief duur. Een andere (en de meest gebruikte) maatregel is de aanwezigheid van de buis te verwaarlozen in de berekening, zodat zelfs volledige corrosie van de buisdoorsnede geen nadelige gevolgen heeft. Direct contact met een stroombron moet te allen tijde worden vermeden. Een recente ontwikkeling zijn enkele gevallen waarbij aan hoogspanning gerelateerde corrosie geconstateerd is, die werd veroorzaakt door wisselspanning (AC). Daardoor is er in verschillende onderzoeken momenteel veel aandacht voor AC beïnvloeding op met name stalen leidingconstructies.

AC beïnvloeding op buisleidingen kan ontstaan door hoogspanningsverbindingen in de vorm van lijnen (door de lucht) of kabels (in de grond) maar ook door treinen met een AC voeding, zoals de HSL en de Betuwelijn. Zowel parallelle als kruisende leidingconstructies kunnen op verschillende manieren worden beïnvloed. De invloed op verticaal in de grond geplaatste elementen is onbekend, maar naar verwachting zal dit een stuk beperkter zijn, omdat deze niet over een grote horizontale afstand in de grond staan. Hierdoor zijn ze minder gevoelig voor zwerfstromen als

Tabel 1 – Overzicht standaardafmetingen

D buis [mm]	D voet [mm]	$\beta$ [-]	D buis [mm]	D voet [mm]	$\beta$ [-]
168	185	0,87	406	420	0,90
219	235	0,88	457	470	0,90
273	290	0,89	508	525	0,90
324	340	0,89	559	575	0,92
356	370	0,90	610	625	0,93

bijvoorbeeld leidingen of stalen damwandconstructies.

Voor wat betreft de aanraakveiligheid moet rekening worden gehouden met de NPR 2760 - 'Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningsverbindingen'. Voor AC corrosie is momenteel in de Europese Normen eigenlijk niets vastgelegd, afgezien van een aanbeveling in de bijlage van NEN-EN-12954 'Kathodische bescherming van metalen constructies in de grond of in het water'. Verder kan ten aanzien van gelijkstroomcorrosie NEN-EN-50122-2: Spoorwegtoepassingen - Vaste opstellingen - Deel 2 - 'Beschermende maatregelen tegen effecten van zwerfstromen veroorzaakt door gelijkstroomtractiesystemen' worden geraadpleegd.

Indien bij het ontwerp komt vast te staan dat een fundering in de beïnvloedingssfeer van een hoogspanningsverbinding komt te staan met kans op ontoelaatbare risico's, dan zijn volgens de NPR 2760 berekeningen vereist.

**Conclusie**

In dit artikel zijn de belangrijkste zaken met betrekking tot de uitvoering van inwendig geheide stalen buispalen behandeld. Stalen Buispalen vormen een efficiënte oplossing voor de realisatie van funderingen onder uitdagende omstandigheden. Er is getracht een zo volledig mogelijk beeld te schetsen van de dagelijkse uitvoeringspraktijk. Dit heeft tot doel om problemen en risico's tijdens de uitvoering zoveel mogelijk in een vroeg stadium te kunnen signaleren. Tevens is aangegeven welke oplossingen er zijn mocht er toch nog iets mis gaan. Geconcludeerd wordt dat wanneer men zich tijdens het ontwerp al terdege rekenschap van geeft van de mogelijkheden en onmogelijkheden van het systeem de uitvoeringspraktijk van Stalen Buispalen kwalitatief beter kan gaan verlopen. In de toekomst is voor dit systeem een belangrijke rol weggelegd als oplossing voor het funderen onder uitdagende omstandigheden, aangezien er steeds meer druk komt te liggen op efficiënt ruimtegebruik en steeds strenger worden eisen die worden gesteld aan de overlast die wordt veroorzaakt door het heiwerk. ●