TOM VAN LOON
Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit van Silezië, Sosnowiec, Polen,
tom.van.loon@wxs.nl

PLOOIPATRONEN IN EEN UITERWAARD VAN DE WAAL

Recente plooiing in Nederland

Sinds het Saalien, toen de ijskap - die Nederland half bedekte - bij het oprukken de sedimentpakketten ervoor (en deels ernaast) opstuwde, zijn er in ons land nauwelijks meer plooien gevormd. Er ontstonden wel gedeformeerde sedimenten (bijv. in de afzettingen die tussen 1200 en 1600 in de voormalige Zuiderzee werden gevormd), maar die zijn vrijwel allemaal toe te schrijven aan processen die samenhangen met instabiliteit van deze met water verzadigde pakketten. Ongetwijfeld zijn er in de min of meer diepe ondergrond ook wel wat plooitjes gevormd bij breukvorming, maar de daarbij gevormde plooien zijn niet zichtbaar aan het aardoppervlak. In de uiterwaarden van de Waal ontstonden in 1995 echter duidelijke plooien, in een regelmatig patroon. De vorming daarvan wordt in deze bijdrage stapje voor stapje gereconstrueerd.

Achtergrond

In januari en februari 1995 steeg het water van de Rijn, en daarmee ook dat van de Waal, tot extreme hoogte vanwege een uitzonderlijk hoge temperatuur in de Alpen waardoor veel sneeuw smolt, in combinatie met zware regenval in het Frans/Duitse grensgebied. Op diverse plaatsen langs de Waal dreigden dijken te bezwijken, en 200.000 mensen werden geëvacueerd. Toen het water weer was gezakt, bleken in de uiterwaard tussen Oosterhout en Slijk-Ewijk plooien te zijn gevormd. Daaraan veranderde niets toen, kort daarna, de uiterwaarden opnieuw overstroomden. Inmiddels zijn de plooien door het gebruik van de uiterwaarden geheel afgevlakt, en nieuwe plooien zijn er sindsdien niet gevormd; dat was ook niet eerder het geval. Het gaat dus om een zeldzame vorm van plooiing. Waardoor kan die zijn veroorzaakt? Het was een merkwaardig gezicht toen, na de eerste overstroming van de uiterwaarden van de Waal in 1995, een stuk droogvallend land van zo'n 4000 m^2 tussen Oosterhout en Slijk-Ewijk plooien vertoonde met amplitudes tot enkele decimeters (Afb. 1). Het ging bovendien niet alleen om een opvallend patroon, maar ook om een opvallende locatie. Tussen de winterdijk en de Waal bevindt zich ter plaatse namelijk het einde van een enkele meters diep en enkele tientallen meters brede geul die in vroeger tijden ontstaan is door afgraving van klei ten behoeve van de toen in groten getale aanwezige baksteenfabrieken. Die geul eindigt abrupt waar de plooien beginnen, en loopt vandaar verder naar het westen (= stroomafwaarts), langzaam minder diep wordend, totdat hij - nog steeds in de uiterwaarden - niet meer

Afbeelding 1.
Plooien met amplitudes van enkele decimeters in de uiterwaard van de Waal. De stok steekt precies 1 m boven het maaiveld uit.

Afbeelding 2.
De plooien hebben duidelijk het einde van de geul (rechts) als basis.

als zodanig herkenbaar is. Het (rechte) oostelijke uiteinde van de geul vormt de basis van het patroon van plooien (Afb. 2).

Plooikarakteristieken

De plooiruggen vertonen een regelmatig patroon van parabolen, die steeds uitgerekter worden naarmate ze zich verder van de geul aan de basis bevinden. Het patroon is in grote lijnen symmetrisch ten opzichte van de lengteas van de geul, en de amplitudes van de plooien nemen af vanuit het 'basispunt' in het midden van het uiteinde van de geul. De afstanden tussen opeenvolgende plooiruggen neemt toe in de lengterichting van de parabolen, maar neemt juist af in de richting loodrecht daarop (Afb. 3). Uiteraard is het beeld in werkelijkheid iets onregelmatiger. Zo splitsen sommige plooiruggen zich op.
Dit patroon van plooien heeft enige gelijkenis met dat van een gesteentegletsjer of een modderstroom. In beide gevallen gaat het om materiaal dat plastisch (met stenen bedekt ijs; waterrijk fijn sediment) onder invloed van de zwaartekracht omlaag glijdt. Daarvan kan bij de plooien in de uiterwaarden van de Waal echter geen sprake zijn, want de plooikoppen zijn niet stroomafwaarts maar stroomopwaarts gericht. Het verhang van de Waal (en dus ook van de uiterwaarden) bedraagt gemiddeld zo'n mm per meter; op de plaats van de plooien is de stroomafwaartse helling van de uiterwaarden hoewel gering - zo'n vijf- tot tienmaal groter: ongeveer 5 -10 mm per meter. Daardoor kan worden uitgesloten dat het gaat om plooien die de helling van de topografie als oorzaak hebben.
Bij plooiing ontstaan altijd ruimteproblemen. Die kunnen soms iets vertellen over de aard van de krachten die werkzaam waren. Daarom zijn enkele handboringen in het geplooide gebied gezet. Uit die boringen kwam niet alleen de opbouw van de uiterwaarden te voorschijn, maar inderdaad ook een interessant gegeven dat met de plooiing te maken moet hebben. De boringen, tot iets meer dan 2 m diep, gaven aan dat het onderste deel bestond uit komgrond (van waarschijnlijk voor de bedijking), met daarop de sedimenten van een oeverwal. Dat wijst op een meanderende rivier, wat dus in overeenstemming is met wat ter plaatse verwacht kan worden. Deze oeverwal-afzettingen lijken overigens twee verschillende sedimentatiefases te vertegenwoordigen. Via een overgangszone gaan de oeverwal-afzettingen over in een toplaag; deze bovenste 20 - 30 cm zijn zo verstoord dat niet meer valt uit te maken of het gaat om komgronden of om een oeverwal (Afb. 4).
Voor een beter begrip van de plooien is de overgangszone onder de toplaag van belang. Dat blijkt namelijk een soort schuifzone te zijn (detachment zone), waarlangs het onder- en bovenliggende materiaal ten opzichte van elkaar zijn verschoven. De verschuiving is uit de boorkernen te interpreteren op basis van het voorkomen van een verbrokkelde zone waarin wortelrestjes min of meer horizontaal liggen. Omdat redelijkerwijs niet kan worden aangenomen dat de bovenlaag op zijn plaats is gebleven en dat de hele ondergrond zou zijn verschoven, moet het omgekeerde worden aangenomen. Dat bekent dus dat de toplaag van zo'n 20 - 30 cm in het geplooide gebied moet zijn verschoven.

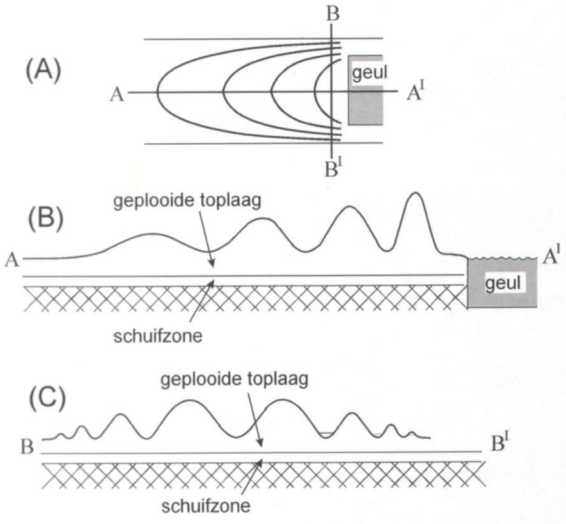
Vloerkleed-effect

Waarom zou die toplaag echter verschoven zijn? Dat het gaat om een pakket met een dikte van zo'n 20 - 30 cm, is op zichzelf niet verwonderlijk: dat is precies het deel van de bodem dat door de wortels van de dichte grasbegroeiing bij elkaar wordt gehouden. Die toplaag vormde dus een soort samenhangend dek. We kennen het verschuiven van zo'n dek over een ondergrond allemaal uit eigen ervaring, bijv. wanneer we een zware stoel of een kast willen verschuiven over een vloer waarop vaste vloerbedekking ligt. Is die niet strak genoeg gelegd, dan schuift het kleed mee, omdat de wrijving tussen kast (of stoel) en vloerkleed groter is dan de wrijving tussen het vloerkleed (dat gewoonlijk een betrekkelijk vlakke onderkant heeft) en de gladde vloer. Bij dat opschuiven

van het vloerkleed ontstaat net zo'n patroon van rimpels als in de uiterwaarden van de Waal. Wie dat nog eens wil controleren, kan dat doen door bijv. een boek op een ruwe doek of een vaatdoek over een glad oppervlak (aanrecht) te schuiven. Ook dan ontstaan paraboolvormige plooien in de doek.
Als de plooiing in de uiterwaarden op zo'n manier tot stand is gekomen, dan rijst natuurlijk direct de vraag wat daarvan de oorzaak kan zijn. Er moet in ieder geval een grote kracht zijn uitgeoefend, want plooiing van een pakket dat een gebied van zo'n 4000 m^2 beslaat en dat zo'n 30 cm dik is, betekent toch al gauw (er rekening mee houdend dat er lucht en water in de poriën zit) een totaal-gewicht van zo'n tweemiljoen kilo!
Het lijkt voor de hand te liggen dat tijdens de extreem hoogwaterstand, toen de Waal snel stroomde, de waterstroom die kracht leverde. Dat kan echter niet het geval zijn geweest, want de plooikoppen zijn naar het oosten (stroomopwaarts) gericht, en dat zou juist andersom moeten zijn. Toch wijst het plooiingspatroon, zeker in combinatie met het schuifvlak, wel degelijk op het meesleuren (dragging) van de toplaag. Bovendien wijst de vorm van de plooien erop dat het verschuiven van west naar oost moet hebben plaatsgevonden, dus tegen de stroomrichting van de rivier in. Verder moet de plooiing hebben plaatsgevonden tijdens de overstroming van de uiterwaarden, want daarvoor bestonden de plooien nog niet, en ze werden geleidelijk zichtbaar tijdens het zakken van het water (Afb. 5).
Het tijdstip van vorming is dus binnen zeer nauwe tijdsgrenzen bekend, en de situatie ook: de geplooide grond stond onder water. Dat betekent dat het geplooide oppervlak tijdens de plooiing het grensvlak vormde tussen de toplaag in de uiterwaard en het water. Omdat er sprake is van een schuifvlak waarbij de toplaag werd verplaatst, moet geconcludeerd worden dat alleen het water de noodzakelijke kracht kan hebben geleverd. En dat water zou, tijdens het hoge water, ter plaatse dus met grote kracht recht tegen de normale stroomrichting moeten zijn gestroomd!

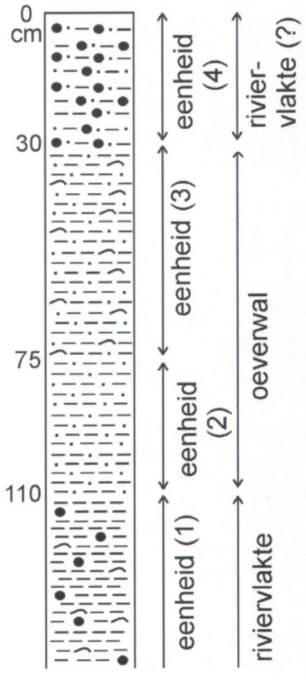
Uitzonderlijke omstandigheden

Deze conclusie lijkt haast onmogelijk, maar het is net als in een detective-story: als eenmaal alle waarschijnlijke verdachten als dader zijn geëlimineerd, blijft uiteindelijk alleen die ene, onvermoede persoon als dader over. In het geval van de Waalplooien zal daar echter ook een aannemelijke verklaring voor moeten worden gevonden.
Geologisch gezien zijn er geen goede redenen waarom de Waal tijdens het hoge water stroomopwaarts gestroomd zou zijn. Er moet dus naar andere oorzaken worden gezocht. En die oorzaken moeten een gevolg zijn geweest van uitzonderlijke omstandigheden, anders zouden dergelijke plooien vaker worden gevonden (maar daarvan is nooit melding gemaakt, in geen enkel land).
Het meest voor de hand ligt daarom om te kijken naar de uitzonderlijke toestand van de rivier zelf: het was extreem hoog water toen de plooien werden gevormd (Afb. 6) en de waterafvoer was extreem groot. Maar, hoewel uitzonderlijk, dat was ook wel in het verleden voorgekomen, en toen werden er geen plooien gevormd. Er moeten dus meer factoren in het spel zijn geweest. Waren er dan meer uitzonderlijke omstandigheden tijdens de fase van hoog water geweest? Dat blijkt inderdaad het geval te zijn geweest, en wel in het optreden van twee zware stormperiodes: één op 16 en 17 januari, en één op 11 en 12 februari. Vooral die laatste, waarbij windsnelheden tot 17,55 m/s werden gemeten, met een urenlange



Afbeelding 3. Schematisch patroon van de plooien in bovenaanzicht (A), lengtedoornede (B) en dwarsdoornede (C).

gemiddelde windsnelheid van 10 m/s in de nacht van 11 op 12 februari, was extreem. De wind kwam toen uit het westen tot zuidwesten, dus precies gericht tegen de stroomrichting van de rivier in.
Ook daarbij geldt echter dat, hoewel uitzonderlijk, dergelijke stormen wel eerder zijn opgetreden zonder dat daarbij plooien in de uiterwaarden zijn ontstaan. Uit analyse van de twee uitzonderlijke omstandigheden bleek echter dat hun combinatie (extreem hoge afvoer en zeer zware storm uit het W-ZW) niet in deze vorm is opgetreden in de historische tijd waarvoor meetgegevens beschikbaar zijn. Toch is ook de combinatie van deze twee omstandigheden onvoldoende voor een verklaring, want de plooiing is slechts op één plaats opgetreden; als afvoer en storm samen verantwoordelijk zouden zijn geweest, dan hadden dergelijke plooien ook elders in de uiterwaarden moeten worden gevormd.
Kennelijk moet er ook een locale factor hebben meegespeeld. Die is niet zo moeilijk te vinden: gezien de configuratie van de plooien, met het uiteinde van de geul als basis en met de lengteas van de geul als symmetrie-as, moet de aanwezigheid van die geul - of liever: van het plotseling eindigen van de geul - wel een rol hebben gespeeld. Daar staat tegenover dat de geul op zichzelf niet de oorzaak van de plooiing kan zijn geweest, want dan zouden de plooien vaker zijn gevormd; de geul bestaat immers al lange tijd.



Afbeelding 4. Boring door de bovenste sedimenten van de uiterwaard in het geplooide gebied.

Afbeelding 5.
Het bij zakkend water geleidelijk zichtbaar wordende plooipatroon.

Afbeelding 6.
Huis in de uiterwaarden bij Slijk-Ewijk gedurende de zomer (A), bij normaal hoog water (B) en tijdens het extreem hoge water begin 1995 (C).

De conclusie moet dan ook zijn dat kennelijk drie factoren gezamenlijk verantwoordelijk waren: de vreemde topografie (einde geul), de extreem hoge waterafvoer, en de zware storm. Maar hoe kunnen die de verplaatsing - met resulterende plooiing - van de toplaag van de uiterwaard in stroomopwaartse richting hebben veroorzaakt?

Tegenstroom

Het is duidelijk dat het water van de Waal ook tijdens de zware storm van 11 en 12 februari 1995 van oost naar west stroomde. Anders zou er een geweldige opstuwing van het water zijn veroorzaakt, met als resultaat een gigantische overstroming. Maar de extreem harde wind moet wel degelijk effect hebben gehad op plaatsen waar het water relatief ondiep was: buiten de rivierbedding zelf, in de bovenste delen van de uiterwaarden.
Het water stond daar in het verplooide gebied (en in het gebied stroomafwaarts) ongeveer drie meter hoog. Dat is ondiep genoeg om daar - zeker plaatselijk - een door de wind aangedreven tegenstroom te ontwikkelen. Dat vond ook inderdaad plaats, zoals waarneembaar was vanaf de dijk (die wel voor verkeer gesloten was vanwege het waterverzadigde karakter dat een doorbraak niet ondenkbaar maakte, maar die wel voor voetgangers toegankelijk was).
Die tegenstroom was uiteraard veel zwakker dan de hoofdstroom, en zeker te zwak om de toplaag van het grasland mee te sleuren, zelfs gedurende de uren dat de storm het hevigst te keer ging. De zwaarste storm vond plaats in het holst van de (winter)nacht, tussen 10 uur 's avonds en 3 uur 's ochtends. Dat betekent dat niemand heeft kunnen waarnemen wat er precies gebeurde, en hoe sterk de door de wind aangedreven tegenstroom toen was. Maar kennelijk was die stroom sterk genoeg om de toplaag van de uiterwaard te verplaatsen, zij het alleen net stroomopwaarts van het einde van de geul.
Als toen ter plaatse van de geul een tegenstroom heeft bestaan, dan vonden de plooiing dus - ten opzichte van die tegenstroom - benedenstrooms plaats!
Maar waarom zou juist daar de tegenstroom sterker zijn geweest dan elders: sterk genoeg zelfs om de plooiing te veroorzaken? Ook daarvoor bestaat een logische verklaring. Als er in de omgeving van de geul een tegenstroom in de uiterwaarden aanwezig was, dan zal ook het water boven de geul aan die tegenstroom hebben meegedaan. Die tegenstroom moet, omdat hij door de wind werd

Afbeelding 7.
Het eind van de geul raakt nu langzamerhand weer begroeid, maar had bij het droogvallen geen grasbedekking meer.

veroorzaakt, de hoogste snelheid hebben gehad in de bovenste waterlaag. Door minder invloed van de wind met toenemende diepte, en vanwege wrijving met de bodem, nam de stroomsnelheid van de tegenstroom overal van boven naar beneden af. Hoe groot die snelheid vlak boven de bodem van de uiterwaard is geweest, is (helaas) onbekend. Gezien de kracht van de wind en de betrekkelijk geringe diepte van het water, mag echter worden aangenomen dat het water van de tegenstroom ook vlak boven het oppervlak van de uiterwaarden nog tegen de normale stroomrichting in bewoog. Als dat het geval was, dan is het vanzelfsprekend dat ook het water in de geul zelf tijdens de zware storm nog tegen de normale stroomrichting in stroomde.
Bij het einde van de geul werd dat water gedwongen over de rand van de geul te stromen, waar ook de hogere delen van de tegenstroom aanwezig waren. Aan het eind van de geul moest dus, per tijdseenheid, een veel grotere watermassa passeren dan elders. Volgens de Wet van Darcy moet, als er meer water per tijdseenheid door eenzelfde vlak moet stromen, de snelheid van dat water toenemen. Dat gebeurde dus ook aan het einde van de geul.
Die sterk toegenomen stroomsnelheid was kennelijk voldoende om het graspakket, waar deze tegenstroom aan het einde van de geul tegenop botste, deels mee te sleuren over het 20 - 30 cm diepe schuifvlak. In eerste instantie werd daarbij de richting van de tegenstroom gevolgd, maar het naar de oppervlakte gedwongen water uit de geul verspreidde zich daar (omdat er als het ware sprake was van een overdruk) ook naar de zijkanten, min of meer als de nerven van een veer. Vandaar dat het plooiingspatroon dat bij het verschuiven van de grasmat optrad de paraboolvorm kreeg die ook optreedt bij het schuiven van een stoel over een vloerkleed.

Theorie en praktijk

Bovenstaande hypothese, die alleen berust op waarnemingen die in een ruimere context zijn geplaatst, is wellicht logisch (en een hypothese behoudt zijn geldigheid totdat hij is gefalsifieerd of totdat er een logischer hypothese is), maar de vraag is of er ook mogelijkheden zijn om die hypothese te testen. Daartoe bestaan in principe twee mogelijkheden.
De eerste mogelijkheid is om in praktijk de eventuele vorming van dergelijke plooipatronen onder de hier geschetste omstandigheden te bekijken. Daarvoor moet dus tijdens extreem hoog water een zeer zware W-ZW storm optreden, en dan moeten tegelijk metingen worden verricht. Juist om op deze wijze de hypothese te kunnen testen is lang gewacht (10 jaar), in de hoop zulke metingen te kunnen verrichten. Gelijktijdige hoge waterstanden en stormen uit het westen deden zich gedurende deze periode echter niet voor in vergelijkbare hevigheid, en nieuwe plooien werden evenmin gevormd. Het wachten op een dergelijke situatie was overigens de reden waarom met de wetenschappelijke publicatie van deze plooiingsverschijnselen zo lang is gewacht (Van Loon, 2006).
De tweede mogelijkheid ligt in verschijnselen in het veld die mogelijk voor of tegen deze hypothese kunnen getuigen. Bij onderzoek daarnaar werd één dergelijk verschijnsel aangetroffen. Dat betreft de kenmerken van het uiteinde van de geul kort na het droogvallen. Dat uiteinde was oorspronkelijk met gras begroeid (dat is ook nu weer het geval), maar er bleek bij het droogvallen een strook gras verdwenen (Afb. 7). Dat was waarschijnlijk niet het gevolg van erosie, want dan zou er geërodeerd materiaal (zoals de kleiballen onder een kwelderklif) te vinden moeten zijn geweest. Dergelijk geërodeerd materiaal werd echter niet aangetroffen. De meest logische verklaring lijkt dat het tegen de rand van de geul op botsende water de toplaag heeft losgescheurd en meegevoerd. In feite kunnen de plooien (waarvan de bovenzijde bestond uit een nog steeds intact lijkend grasveld) ook alleen zijn ontstaan wanneer ergens een scheuring is opgetreden, waardoor voldoende materiaal voor de plooien beschikbaar kwam.
Hoe raadselachtig de plooien aanvankelijk ook leken, ze kunnen dus wel degelijk worden verklaard. Maar het gaat kennelijk wel om een uiterst zeldzaam verschijnsel dat zijn ontstaan te danken heeft gehad aan een samenloop van (topografische en meteorologische) omstandigheden.

LITERATUUR

Van Loon, A.J., 2006. Deformation of a modern alluvial plain. Geomorphology 78, pp. 351-358.