

De invloed van het ijs op de waterstanden der groote rivieren

door

ir. P. J. WEMEISFELDER.

Wanneer onze groote rivieren in het begin van een vorstperiode met drijfijis overdekt zijn, en dit ijs begint zich op zeker oogenblik vast te zetten, dan gaat dit nageuoeg zonder uitzondering gepaard met een zeer markante verticale waterbeveging. De waterstanden loopen kort vóór het vastzetten onregelmatig en sprongsgewijs omhoog met af en toe een was van 50 cm à 1 m in een paar uur tijds, afgewisseld met kleinere dalingen. Het geheele verschijnsel neemt een paar dagen in beslag, waarbij een totale was van 1,5 à 2,5 m optreedt, en het ijs veelal nog bewegingen vertoont tot aan het einde van de stijging ter plaatse; eerst daarna zit het werkelijk vast.

Zoolang de vorst aanhoudt volgen de waterstanden, ondanks het ijsdek, de normale, veelal kleine veranderingen van den afvoer.

Bij het invallen van den dooi treedt soms weer even plotseling een soortgelijke opvallende was op als bij het vastworden, die onmiddellijk gevolgd kan worden door een val van meerdere meters, waarmee de rivier weer terugkomt ongeveer op het niveau van vóór de ijsbezetting.

In groote trekken kunnen deze verschijnselen als volgt worden verklaard.

Wanneer de rivier alleen nog maar overdekt is met drijfijis, dan maakt dit laatste gewoon deel uit van het opperwater. Maar wanneer het ijs zich vastzet, gebeuren er twee dingen, die voor den afvoer van het opperwater van belang zijn. In de eerste plaats vormt het vaste ijsdek met, vooral in het begin, een stellig groote ruwheid aan de onderzijde, een plotselinge rem op de waterbeveging. Bij gelijkblijvend verhang (voor langere riviertrajecten is het verhang altijd gelijkblijvend aan het bodemverhang) zal de snelheid van het water verminderen. Om het opper-

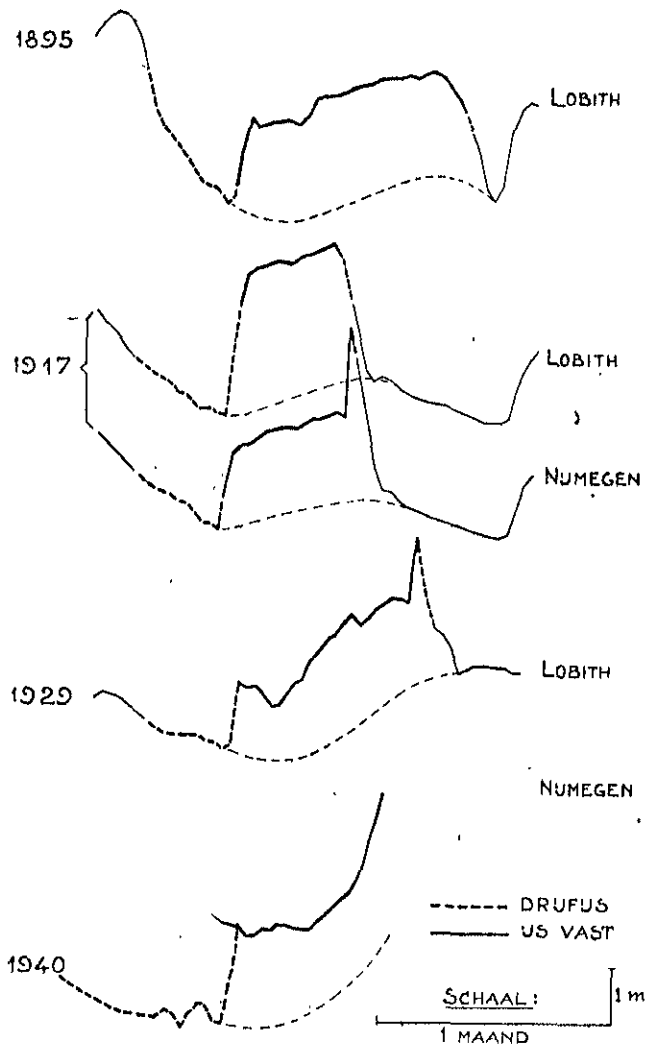


Fig. 1. Het verloop der waterstanden tijdens 4 groote ijsperioden.

water, dat gedurende den vorst meestal vrij constant is, te kunnen afvoeren is dan een grooter profiel, dus een grootere diepte noodig. Bijna zonder uitzondering ziet men dit verschijnsel bij het vast worden optreden. In fig. 1 zijn enkele voorbeelden weergegeven. De lijn der waterstanden zooals die zich zou hebben voortgezet, is in elke kromme gestippeld. Wij zien dan dat het vast ijsdek zich een paar meter hooger bevindt dan de vrije waterspiegel geweest zou zijn. Een eenvoudige verklaring volgt uit de toepassing van een afvoerformule.

De toestand met vast ijsdek brengt met zich mede, dat de hydraulische straal de helft is van de waterdiepte. Is h_1 de diepte der rivier vóór het vast worden en h_2 de diepte erna (zie fig. 2), dan moet, met voor C de waarde volgens STRICKLER:

$$bC \sqrt{I} h_1^{1/3} = bC \sqrt{I} h_2^{1/3} \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}$$

waaruit volgt dat

$$h_2 = 1,32 h_1$$

In de tweede plaats is te bedenken, dat de dikte d van het vaste ijsdek niet meetelt voor den afvoer doch voor 0,9 wel meetelt voor de hoogte der waterstanden, afgelezen aan een peilschaal. De aan een peilschaal gemeten waterstand h'_2 is dus:

$$h'_2 = 1,32 h_1 + 0,9 d$$

d.w.z. dat de plotselinge was $1/3$ der bestaande waterdiepte bedraagt plus de ijsdikte die wordt gevormd.

Bij een waterdiepte $h_1 = 5$ m en $d = 50$ cm vinden wij dat uit zuiver hydraulisch oogpunt over de geheele rivierlengte een sprong van 210 cm zal optreden.

Op de rivieren vindt men inderdaad waterstandssprongen van die grootte, b.v.:

1895	160 cm
1917	150 à 270 cm
1920	130 cm
1940	250 cm

De overeenstemming is voldoende om, ook zonder nader onderzoek naar de in elk geval weer andere ijsdikte en

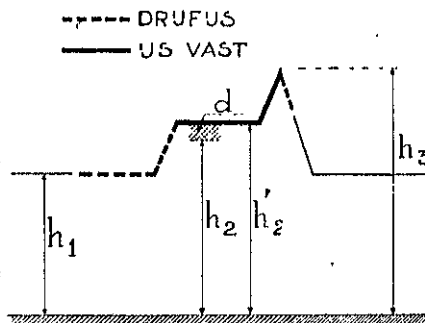


Fig. 2. Principeschema van den was bij vastworden en weer losraken.

VERHANGLUNEN WAAL

19 JAN. DRUFUS
25 JAN. US VAST

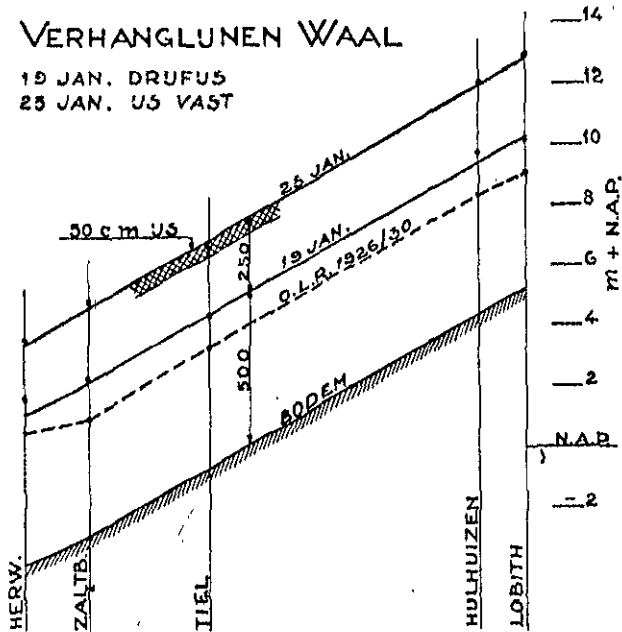


Fig. 3. Verhanglijnen op de Waal op 19 en 25 Januari 1940

ruwheid van het ijsdek, te zien dat deze gedachtengang het verschijnsel in hoofdzaak verklaart.

Bij de juist afgelopen ijsperiode 1940 ging op de geheele Waal het niveau vrij regelmatig 250 cm omhoog; zie fig. 3. Interessant is om het vast worden meer tot in details na te gaan aan de hand van de peilschaalkrommen van de peilschalen

Lobith
Hulhuizen
Tiel
Zaltbommel
Herwijnen

die in fig. 4 zijn verzameld. Men kan in deze figuren opmeten, dat het vastzetten zich voortplantte met een snelheid van 1 km per uur. Aannemende dat de bovenrivieren het drijfijis aanvoerden met een snelheid van 5 km/uur en dat de dichtheid van het drijfijis 0,8 bedroeg, dan volgt daaruit dat door het incenschuiven der schollen het vaste

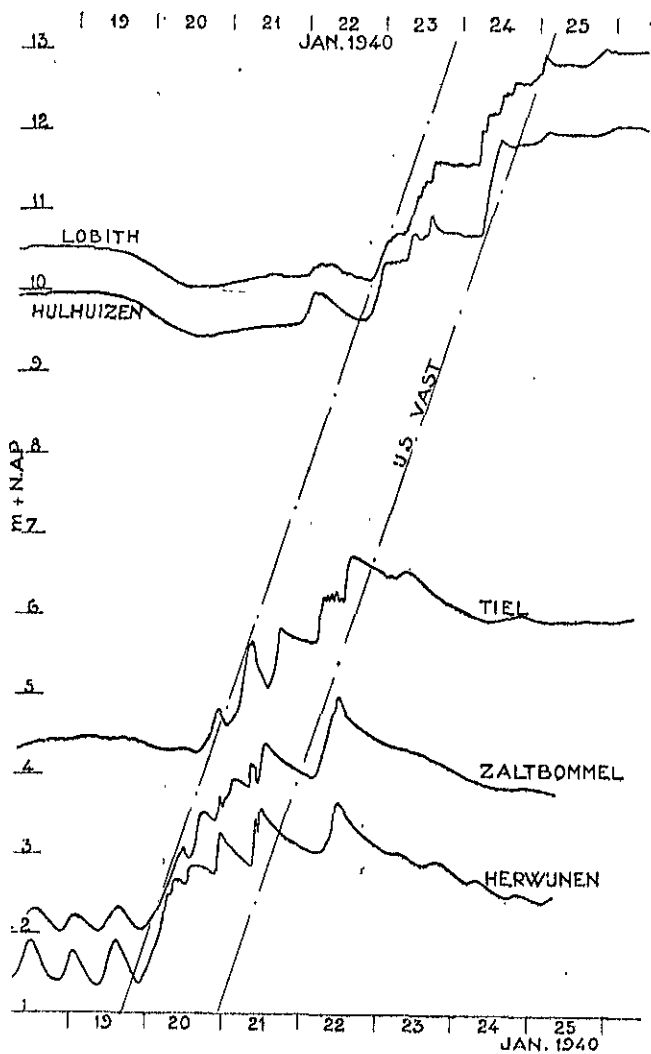


Fig. 4. Het oploopen der waterstanden tijdens het zetten van het ijs op de Waal in Januari 1940,

ijs ($5 + 1$). $0,8 = 5$ maal dikker werd dan het drijfijis tevoren was.

De opstuwung van 250 cm. deed zich in opwaartsche richting rond 35 km eerder gevoelen, d. i. op een peil van de rivier dat overcenkomt met het dubbele van de opstuwung boven het punt, waar het ijs juist vast was geworden. Dit komt overeen met den gangbaren vuistregel omtrent den bovenstroomschen invloed van opstuwungen. Men krijgt dus op een bepaalde plaats eerst een sterken was, en aan het einde van dien was wordt het ijs ter plaatse geheel vast. Een en ander hangt ten nauwste samen.

De kracht, waarmee het onder het ijsdek stroomende water dit ijsdek tracht mee te nemen bedraagt bij een verhang van 12 cm/km, bij 7,5 m diepte en 260 m breedte tussehen de normaallijnen rond 120 kg per strekkenden meter of 60 kg/m aan elken oever of juister gezegd, in de normaallijnen, want die schuifkracht zal wel zekten door de oevers zelf worden opgenomen. Om de ijsplaat van de grens tot Gorinchem met menschelijke kracht tegen te houden, zou men in totaal 400.000 man noodig hebben, aan elken oever schouder aan schouder staande en met een kracht van 30 kg trekkende in stroomopwaartsche richting.

Wanneer nu de dooi plotseling krachtig invalt kunnen er twee merkwaardige toestanden optreden. In de eerste plaats deze, dat langs de geheele rivier het ijs overal gelijktijdig loslaat, alsof de 400.000 man allen tegelijk naar huis gaan. Het losgelaten tijdelijk opgehouden water vloeit dan normaal weg, het ijs meenemende. Het rivierpeil keert dan in zeer korten tijd terug tot het niveau dat bij een normale ijsvrije rivier behoort. Men vindt dit geval terug in de kromme van 1895 (Lobith) en 1917 (Lobith) in fig. 1. Zonder stoornis valt hier de rivier weer terug in den normalen toestand. Maar ook een geheel ander beeld kan ontstaan eveneens bij regelmatige afvloeiing, dus zonder dat zicht ergens ijsdammen vormen die groote opstuwung geven. Het bedoelde geval is dat van de grafieken van 1917 (Nijmegen) en 1920 (Lobith). Alvorens los te raken en te worden afgevoerd als drijfijis wordt het ijsdek eerst in zeer korten tijd bijna 2 m opgeheven. Wij kunnen dit verschijnsel, dat ook verleden week in het klein telkens was op te merken, eveneens verklaren uit den hydraulischen toestand. Stellen wij ons daartoe voor, dat de dooi zich het eerst op de bovenrivier doet gelden en het water een weinig doet wassen, waardoor het dooiende ijs losraakt en in beweging komt. Plotseling neemt dan de afvoer van de bovenrivier toe met een laag water ter dikte van het oorspronkelijke ijsdek,

terwijl bovendien de remmende kracht van het eerste vaste ijsdek plotseling wegvalt. Het is alsof ineens over de bovenste km de mannen die het ijs vast hielden en daarmee de rivier in bedwang hielden, naar huis gaan. Dit water zet zich nu in beweging, alsof er een opperwaterafvoer was van

$$Q' = bC\sqrt{I}h_2^{1.4} = 1,5 Q$$

De afvoer neemt dan plotseling met 50 % toe. Dit water spoedt zich naar beneden, maar om onder het nog vaste ijsdek beneden te kunnen doorstromen, moet dit profiel veel groter worden en wel volgens de voorgaande berekening (zie fig. 2):

$$h_3 = 1,32^2 h_1 + 1,32 \cdot 0,9 d$$

Bij $h_1 = 5$ m en $d = 50$ cm geeft dit een hoogwaterpiek van 435 cm boven het oorspronkelijk rivierpeil, of 215 cm boven het vaste ijsdek! Door deze was raakt het ijs meer beneden ook los en het geheele verschijnsel plant zich met groote snelheid voort. Het is alsof, nadat de eerste mannen zijn heengegaan, de beneden hen staande moeten vluchten voor de aanrollende vloedgolf. Hun werk aldus in den steek latend dwingen zij de na hen staande mannen om te vluchten, en zoo vervolgens. De schijf water tusschen de hoogten h_1 en h'_2 is als het ware onderworpen aan een versnelling door een kracht gelijk aan de reeds genoemde 120 kg/m. Als een hoogwaterpiek vloeit dit teveel weg, en daar er geen aanvulling van boven plaats vindt valt de rivier terug op het oorspronkelijk niveau. Een dergelijke merkwaardige toestand treedt natuurlijk alleen op als er nergens oponthoud in de afstroming door ijssdammen voorkomt. Twee prachtige voorbeelden leveren de krommen van 1917 te Nijmegen en 1929 te Lobith van fig. 1.

Een tweetal eveneens fraaie voorbeelden geven de meer volledig weergegeven waterstandsgrafieken van de Lek in 1921 en 1933, in fig. 5. In beide jaren zat de Lek alleen vast in het benedendeel. Duidelijk ziet men dat de standen te Emmerik niet de oorzaak zijn van den plotselingen was voor de stations Wijk bij Duurstede, Eek en Wiel en Grebbe. Anderzijds is het merkwaardige beeld dezer drie stations geen gevolg van een ijssdam in de Lek, hetgeen men kan zien uit het regelmatig verhang. Blijkbaar treedt hier op zeer zuivere wijze het theoretische beeld van fig. 2 naar voren: een plotselinge was bij het vast worden en kort daarop een ongeveer even groote plotselinge was bij het losschieten.

Wat het slot van de „ijsperiode 1940” te zien zal geven

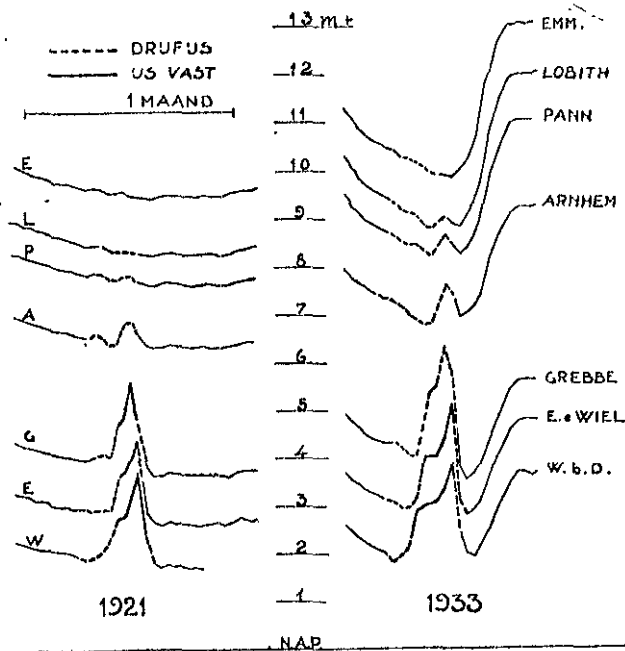


Fig. 5. De invloed van het ijs op de waterstanden in de Lek in 1921 en 1933.

is nog niet te bepalen. Gedurende den dooi van 6 t/m 9 Februari trad op meerdere plaatsen kruien van het ijs op en ontstonden er ijsophoogingen. De hierdoor optredende was is van geheel ander karakter en slechts van plaatselijke beteekenis. Men zou kunnen zeggen, dat de afvoer van ijs volgens het principe van fig. 2 en fig. 5 dynamisch en regelmatig in zijn werk gaat, doch dat de opstuwingen door ijsdammen storingen zijn van statisch karakter.

Door den tijdelijken dooi is er een sterke was in de rivier opgetreden. Wanneer straks opnieuw dooi invalt en het hier geschetste verschijnsel zou optreden, dreigen zeer hooge standen, zelfs wanneer geen ernstig kruien optreedt en de ijsdammen gemakkelijk in beweging komen.

Anderzijds is het zeer wel mogelijk dat de zoo gevreesde ijsdammen het bedoelde merkwaardige verschijnsel juist zullen kunnen verhinderen en de afstroming van het „te veel” aan water in de rivier zullen verdeelen over meerdere dagen.