

Opdrachtgever:



Directie Gelderland en RIZA

Invloed van nevengeulen
op ijsgang

Verslag bureaustudie

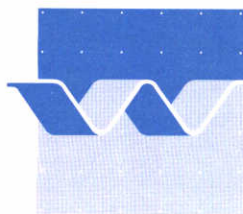
Oktober 1993

R000 13 95

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	62400/62465
WL	VERVALLEN
EXPL	 R0001396

Invloed van nevengeulen op ijsgang

J.H.A. Wijbenga



Inhoud

Rapportsamenvatting

1	Inleiding	1
	1.1 Probleemstelling	1
	1.2 Opdracht	1
	1.3 Uitvoering	2
2	IJs op rivieren	3
	2.1 Ijs algemeen	3
	2.2 De toestand in Nederland	4
	2.2.1 Omstandigheden vóór 1880.	4
	2.2.2 Omstandigheden na 1880	5
	2.3 Bestrijding van ijsdammen.	10
3	Natuurbouw	11
	3.1 Nevengeulen algemeen	11
	3.1.1 Het geulgedeelte	12
	3.1.2 De inlaat	16
	3.1.3 De uitlaat	18
	3.2 Toepassing ooibos	19
4	Toekomstverwachtingen	21
	4.1 Klimaatwijzigingen	21
	4.2 Warmte-emissie	21
5	Conclusies	23

Literatuur

Bijlage

Rapportsamenvatting

Voordat de normaliseringswerken in Nederland werden uitgevoerd konden de Rijn en de Maas vrij meanderen in hun alluviale bed. Afhankelijk van lokale omstandigheden kwamen vaak meerdere ondiepe geulen voor. Op veel plaatsen kon de rivier bij laagwater worden overgestoken. Uit de opgetekende historie blijkt dat het riviereengebied in die omstandigheden gevoelig was voor de vorming van ijssdammen. In de periode vóór 1880 leidde de vorming van ijssdammen tot overstromingen met een gemiddelde frequentie van 1/4 à 1/5 per jaar.

Na 1880 traden er geen overstromingen op als gevolg van ijsgang. Hoewel diverse factoren hierbij een rol hebben gespeeld lijken de uitvoering van de normaliseringswerken, de warmtebelasting op de rivieren en de inmiddels diverse malen verhoogde dijken de belangrijkste factoren.

De normaliseringswerken omvatten naast een scheiding van de stroomgebieden van Maas en Waal vooral de realisatie van een rivier met een enkelvoudige hoofdgeul. De voorgenomen aanleg van nevengeulen, al dan niet gecombineerd met de aanleg van oobossen, is in zekere zin een stap terug in de uitgevoerde regulering. In het voorliggende verslag wordt op kwalitatieve wijze beoordeeld in hoeverre de aanleg van nevengeulen en oobossen het gevaar voor overstroming als gevolg van ijsgang vergroot.

Bij de aanleg van nevengeulen die geen sediment transporteren zal het bodemverhang van de rivier ter plaatse van de nevengeul licht toenemen om hetzelfde sedimenttransport te kunnen realiseren bij een kleinere afvoer. Door de aanwezigheid van de nevengeul ontstaat meer variatie in stroomsnelheden in de hoofdgeul. Bij lineaire processen zou de snelheidsvariatie van dezelfde orde zijn als de afvoervariatie. Door het niet-lineaire proces zijn de snelheidsvariaties kleiner dan de afvoervariaties. Als gevolg van variaties in het dwarsprofiel elders in de rivier komen eveneens variaties in snelheden voor, die in orde van grootte minstens zo groot zijn. Ten opzichte van die natuurlijk variaties in snelheden leidt de aanwezigheid van nevengeulen niet tot een belangrijke toename van de variaties in stroomsnelheden. Indien er bij de keuze van de lokatie voor nevengeulen voor wordt gezorgd dat de variatie in stroomsnelheden door de nevengeulen de reeds aanwezige variatie in de lokale stroomsnelheden niet versterkt, neemt het gevaar voor de vorming van ijssdammen niet toe. Verwacht wordt dat de meeste problemen zich zouden kunnen voordoen als er sprake is van afvoeren met vol ("bankfull") zomerbed. De invloed van de nevengeul op de ijsgang bij hoge afvoeren, als de uiterwaard volop meestroomt, lijkt in elk geval klein te zijn.

Verwacht mag worden dat het ijs in de nevengeul eerder bevriest, waarbij de aanwezigheid van oobos dit nog zal versterken. Hierdoor zal de nevengeul geen noemenswaardig aandeel hebben in ijssdamvorming van het opvriezende type in de hoofdgeul. Het aandeel van het debiet door de nevengeul ten opzichte van het debiet door de hoofdgeul kan worden gesteld op circa 5% bij vol zomerbed; dit aandeel zal bij opvriezen verder afnemen en kan als marginaal worden beschouwd.

Omgekeerd mag worden verwacht dat het ijs in de nevengeul later opbreekt dan in de hoofdgeul. Hierdoor kan het ijs in de hoofdgeul eerst worden afgevoerd voor het ijs uit de nevengeul(en) vrij komt. Is het ijs eenmaal opgebroken dat dient dit wel zo snel mogelijk te worden afgevoerd.

Ten aanzien van de vormgeving van de inlaat naar de nevengeul worden eisen gesteld aan de inname van sediment. Het is wenselijk bij de vormgeving van de inlaat, als daarvoor modelonderzoek wordt uitgevoerd, tevens enige aandacht te besteden aan de mogelijkheid tot afvoer van drijfijis. Dit is met name van belang omdat er een conflict is ten aanzien van de reductie van sedimentinname en verkleining van ijsbezwaar.

Voor de vormgeving van de uitlaat is het van belang dat het ijs aan het eind van de vorstperiode zonder problemen kan worden afgevoerd. Speciale aandacht moet worden besteed aan de afvoer van ijs indien de uiterwaarden vol water hebben gestaan. Ter plaatse van de uitlaat kunnen bestaande zomerkaden bij het opbreken mogelijk tot blokkades in de nevengeulen leiden.

Ooibossen kunnen zonder problemen in gebieden met stroomschaduw worden aangelegd. Aanleg van ooibossen in gebieden waar de bandijken relatief dicht bij elkaar liggen moet in verband met ijsgang worden ontraden. Bij de keuze voor de aanleg van ooibossen in gebieden waar de bandijken relatief ver uit elkaar, maar niet in de stroomschaduw liggen moet de nodige voorzichtigheid worden betracht. Zonodig kunnen voor de afvoer van ijs in het landschap passende geleidedammen voorzien van lichte begroeiing worden aangelegd.

Ten aanzien van klimaatwijzigingen en wijzigingen in de bestaande warmte-emissie op de rivieren is het goed om de vinger aan de pols te houden. Substantiële wijzigingen kunnen leiden tot een vergroting van problemen met ijsgang op de rivieren; dit lijkt van relatief groter belang dan de aanwezigheid van nevengeulen in de uiterwaarden.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Door de toenemende belangstelling voor natuur in Nederland, onder meer tot uiting komend in doelstellingen als "Ecologisch Herstel van de Rijn" en het plan "Levende Rivieren" van het Wereld Natuur Fonds (WNF), zijn studies gaande naar de effecten van nevengeulen langs de Nederlandse rivieren. In zekere zin betekent dit een terugkeer naar een rivierlandschap zoals dat er in de vorige eeuw uit moet hebben gezien. Hierbij bestond de rivier uit meerdere geulen.

In de vorige eeuw hebben zich echter veel overstromingen voorgedaan waarbij drijfjjs, dat zich tijdens de strenge vorstperiodes vormde, niet voldoende kon worden afgevoerd. Er ontstond een vast ijsdek en/of er traden ijssdammen op, waardoor de waterstand in de rivier belangrijk toenam. De vorming van ijssdammen is deels bestreden door het uitvoeren van normaliseringswerken waarbij secundaire geulen werden gesloten. Door de aanleg van nevengeulen ontstaan echter weer secundaire geulen, die mogelijk aanleiding kunnen geven tot problemen bij de afvoer van (drijf)jjs. Het is van belang na te gaan in hoeverre de aanleg van nevengeulen het gevaar van overstroming door ijs vergroot.

Aangezien de aanleg van nevengeulen vrijwel steeds gecombineerd wordt gedacht met de aanleg van oobossen is het tevens van belang de invloed hiervan op het gedrag van ijs te beschouwen.

Het is in dit verband niet mogelijk in kwantitatieve zin uitspraken te doen ten aanzien van toe- of afname van ijsbezwaar, zodat beschouwingen over dit onderwerp vooral een beschrijvend karakter zullen dragen.

1.2 Opdracht

Voor de onderhavige studie heeft WL op verzoek van Rijkswaterstaat, Directie Gelderland en RIZA, offerte uitgebracht (WL-kenmerk RS2457/Q1674/GJA/eb d.d. 19 maart 1993). Voor de uitvoering van de werkzaamheden is op 3 mei 1993 opdracht verleend door middel van Rijkswaterstaat kenmerk 12090/AOF. Het onderzoek is van de zijde van Rijkswaterstaat begeleid door ir. E. van Velzen.

1.3 Uitvoering

In het voorliggende verslag geven wij in hoofdstuk 2 een beschrijving van de wijze waarop zich ijs in een rivier vormt. Vervolgens geven wij een overzicht van de omstandigheden waaronder vóór 1880 in Nederland veel overstromingen ontstonden waarbij ijsvorming een rol speelde. Daarop aansluitend volgt een kort overzicht van de aspecten die er toe hebben bijgedragen dat er zich sinds 1880 geen overstromingen meer hebben voorgedaan als gevolg van ijsgang. We achten deze informatie noodzakelijk om de wijzigingen die de aanleg van nevengeulen en oobossen met zich mee brengen in hoofdstuk 3 in het juiste perspectief te kunnen beoordelen. Tenslotte beschrijven we in hoofdstuk 4 welke factoren in de toekomst invloed kunnen uitoefenen op de vorming van ijs op de Nederlandse rivieren.

Van de zijde van Rijkswaterstaat is het project begeleid door ir. E.H. van Velzen. Het onderzoek is uitgevoerd door ir J.H.A. Wijbenga onder leiding van ir G.J. Akkerman; In adviserende zin is bijgedragen door drs J.J.P. Lambeek.

2 IJs op rivieren

2.1 IJs algemeen

In het navolgende geven wij een globale samenvatting van het ontstaan van ijssdammen. De beschrijving kan binnen het kader van deze opdracht slechts globaal zijn. Voor een meer uitgebreide beschrijving verwijzen wij naar Termes (1991a, en 1991b). Voort is er een "Monograph on River Ice Jams" in voorbereiding, die zal worden uitgegeven door de National Research Council Canada (NRCC). Delen van deze monograph zijn inmiddels beschikbaar en zijn gebruikt in deze studie, zie Beltaos (1986) en Burrell, (1989).

In stilstaand water vormt zich zonder windinvloed in het algemeen aan de rand van het water randijs. Bij aanhoudende kou breidt dit ijs zich snel over de hele oppervlakte uit.

In stromend water is de vorming van ijs een ingewikkelder proces. In een doorsnede zijn de verschillen in watertemperatuur relatief klein. Bij watertemperaturen rond het vriespunt vormt zich tijdens (streng) vorst naast randijs ook zweefijs dat over de hele doorsnede verspreid is. Het zweefijs vormt zich het eerst rond kristallisatie-kernen, die in de vorm van zwevend materiaal in het water voor komen. Bij aanhoudende koude vriest het zweefijs ook vast aan de bodem en vormt op deze wijze grondijs. Bij het toenemen van het volume van het grondijs neemt de opdrijvende kracht toe totdat het ijs gaat drijven. Het opgedreven grondijs vormt samen met het zweefijs afgeronde schollen drijfjij, waarvan de randen wit zijn opgevroren. De ijsschollen worden door de stroom getransporteerd tot zij ergens tegen een hindernis tot stilstand komen. Daar kunnen ze aan andere schollen vastvriezen, waardoor een vast ijsdek ontstaat dat zich in stroomopwaartse richting opbouwt. Doordat bij een vast ijsdek de stroming zowel langs de bodem als langs het ijsdek weerstand ondervindt nemen de waterstanden bij gelijkblijvende afvoer sterk toe. Er vindt opstuwung plaats.

Ter plaatse van het zich vormende ijsdek kan drijfjij door de stroom onder het ijsdek worden getrokken, waardoor het doorstroomprofiel verder verkleint en de stroomsnelheden lokaal toenemen. Het gevaar bestaat dat steeds meer drijfjij onder het ijsdek vast komt te zitten waardoor een ijssdam ontstaat. Dit type ijssdam wordt gekarakteriseerd naar de omstandigheden waaronder deze zich vormt, namelijk tijdens het opvriezen van water: "freeze-up jam". Als de ijsconcentratie (= bezettingsgraad van het oppervlak door ijs) groter is dan 0,8 ontstaat dit type ijssdam onder meer op plaatsen waar het (energie)verhang van de rivier afneemt. Hier neemt de snelheid van het drijfjij, en daardoor de transportcapaciteit, af. Bij streng kou kunnen de schollen in gebieden met lagere stroomsnelheden makkelijker aan elkaar vriezen dan op plaatsen met hogere stroomsnelheden. Heeft zich eenmaal een ijssdam gevormd, dan hangt het van diverse factoren, zoals de dikte van het drijfjij en het verval over de ijssdam, af of de dam kortere of langere tijd intact blijft.

Als het invallen van de dooi het eind van een (zeer streng) vorstperiode inluit neemt de grootte van de afvoer in de rivier en bijgevolg ook de waterstand toe. Het vaste ijsdek valt in stukken uiteen en wordt door de stroom meegenomen. Globaal kan worden gesteld dat het ijs zonder problemen kan worden afgevoerd als de bezettingsgraad van het oppervlak minder is dan 0,8.

Bij hogere bezettingsgraden bestaat het gevaar dat ijsschotsen vast komen te zitten. Net als bij het opvriezen kan er dan een ijssdam worden gevormd. Omdat hier sprake is van een ijssdam tijdens het opbreken van het vaste ijsdek, is de dam van het opbrekende type: "break-up jam". Dit type ijssdam doet zich in het bijzonder voor op plaatsen waar de stroomvoerende breedte wordt beperkt, bijvoorbeeld door kribben en brugpijlers. Overigens wordt in de literatuur, zie Ettema (1989), ook melding gemaakt van de vorming van ijssdammen zonder dat er sprake is van een duidelijke obstructie.

Ijssdammen van het break-up type leiden doorgaans tot grotere problemen dan ijssdammen die ontstaan tijdens het opvriezen. Bij het dichtvriezen van de rivier is de afvoer van de rivier aan het afnemen. Immers, de neerslag valt in vaste vorm en komt niet onmiddellijk tot afstroming. Bij dooi daarentegen hebben we te maken met stijgende afvoeren, deels doordat in vaste vorm opgeslagen neerslag smelt en deels doordat de dooi gepaard gaat met regen.

Met betrekking tot het vormingsproces van ijssdammen wordt eveneens onderscheid gemaakt in dammen die ontstaan in relatief smalle waterlopen en dammen die gevormd worden in relatief brede waterlopen. Het beschikbare waarnemingsmateriaal wijst erop dat dammen die ontstaan tijdens het opbreken van het ijs van het "brede" type zijn. Deze dammen hebben doorgaans een grotere dikte en leiden tot een sterkere toename van de waterstanden dan waterstanden die optreden bij dammen die tijdens het opvriezen worden gevormd.

De analyses voor de "Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen" (1993) hebben geleid tot de conclusie dat zich sinds 1880 in Nederland geen ijssdammen van het opbrekende type meer hebben voorgedaan. Wel kwamen ijssdammen tijdens het opvriezen voor. Gelet op de geringere verhoging van de waterstanden bij dammen tijdens het opvriezen is dit één van de verklaringen waarom sinds 1880 calamiteiten tijdens zware ijsvorming zijn uitgebleven.

2.2 De toestand in Nederland

2.2.1 Omstandigheden vóór 1880.

Nederland ligt in de delta van de Maas en de Rijn, waarbij vóór 1880 beide rivieren op meerdere plaatsen met elkaar in verbinding stonden, zoals door de Andelse Maas en de overlaat bij Heerewaarden. Het water van de rivieren werd via verschillende takken naar zee afgevoerd, waardoor de stromingsomstandigheden om water, ijs en sediment af te voeren niet uniform waren. De rivieren waren vóór 1880 ook niet vastgelegd, waardoor binnen de aanwezige bedijking een rivierstelsel ontstond met meerdere geulen. De breedte van het rivierstelsel varieerde van orde 300 m tot 700 m. Als gevolg hiervan varieerde de diepte ook sterk. Tussen de geulen bevonden zich eilanden waarop zich begroeiing kon ontwikkelen.

Het rivierstelsel van vóór 1880 was tamelijk complex en was, gelet op de opgetekende geschiedenis, niet in staat in de rivier gevormd ijs zonder problemen af te voeren.

Sinds 1780 heeft de Sociëteit van Nijmegen in haar verslagen gegevens opgenomen over waterstanden en ijsgang op de Nederlandse rivieren en de Rijn tot aan Keulen. De ijsbezetting op de Nederlandse rivieren in de periode van 1879 tot 1955 is vastgelegd in de Verslagen van Openbare Werken (vow's). Voor de periode na 1939 bestaan er ook jaarlijkse ijsverslagen, die door de Rijkswaterstaat worden uitgegeven.

Uit de gegevens van de Sociëteit van Nijmegen kunnen we afleiden dat het merendeel van de problemen met ijs gepaard gingen met invallende dooi. Dit houdt in dat de ijssdammen die zich in de periode vóór 1880 vormden en waarbij zich overstromingen hebben voorgedaan van het break-up type zijn.

Aan het eind van een vorstperiode, waarbij zich op de rivier een vast ijsdek heeft gevormd, neemt de dikte van het ijs geleidelijk af tot de sterkte van de ijsslaag niet groot genoeg meer is om de erop werkende krachten te weerstaan. Het ijsdek zal in delen uiteen vallen, waarbij de grootte van de ijsschotsen sterk kan variëren. Oude ijsverslagen maken melding van zeer grote drijvende schollen, die vermoedelijk in de uiterwaarden zijn losgekomen. Het drijvende ijs wordt door het water in benedenstroomse richting afgevoerd. Als het ijsdek daar nog niet is gebroken loopt het drijfijz vast en bestaat er kans op de vorming van een ijssdam. Als het ijs vast gaat zitten bouwt zich over de ijssdam een verval op waardoor de ijssdam onder druk komt te staan. Afhankelijk van onder meer de ijssdikte en de lokale omstandigheden kan zo'n dam enige tijd stand houden. Zodra hij echter doorbreekt komt er een grote massa water en ijs los, die zich als een translatiegolf door de rivier verplaatst. Het is bekend dat in een aantal gevallen het ijs verder benedenstrooms opnieuw vast kwam te zitten, hetzij doordat daar nog een vast ijsdek aanwezig was, of doordat de riviergeometrie (breedte, diepte en/of obstructies) daar aanleiding toe gaf.

Er zijn uit de literatuur ook gevallen bekend waarbij grote platen ijs min of meer de hele breedte van het zomerbed bestreken. Een dergelijk plaat die in een recht gedeelte van de rivier is losgekomen kan bekneld raken in een van de volgende bochten. Het drijfijz bovenstrooms hiervan heeft dan geen uitweg, waardoor een ijssdam kan ontstaan.

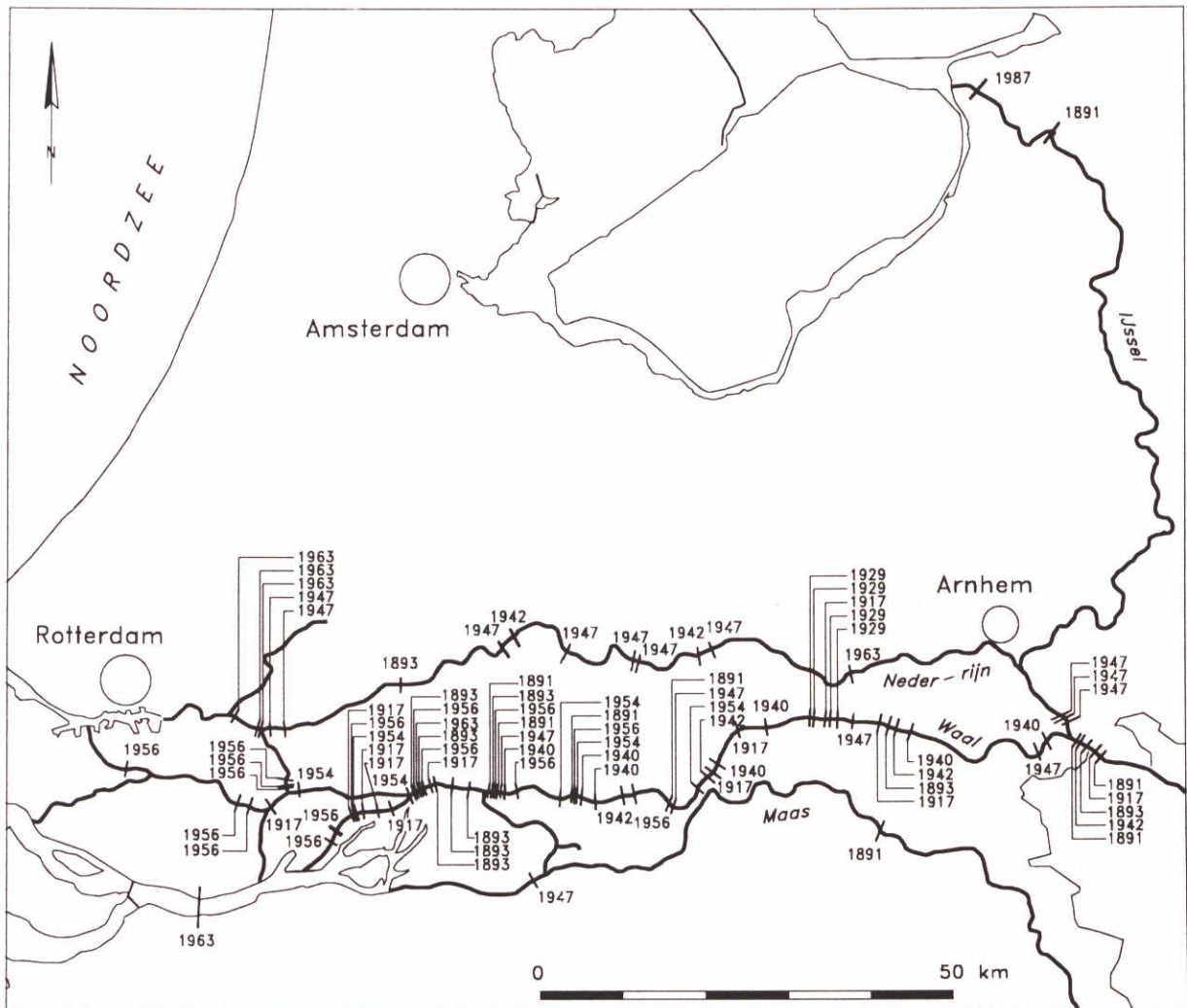
Treedt er eenmaal een ijssdam op van het break-up type dan lopen de waterstanden snel op doordat de afvoer aan het toenemen is door de voortgaande dooi.

In de periode vóór 1880 moeten zich in de rivier ook ijssdammen van het opvriezende type hebben gevormd. Hierover is echter weinig of niet gerapporteerd. De conclusie daaruit kan zijn dat dit type ijssdam ook voor de toenmalige geometrie niet tot problemen leidde. Het is aannemelijk dat de ijssdikte tijdens het opvriezen gemiddeld dunner is dan de gemiddelde ijssdikte aan het eind van de vorstperiode. De stabiliteit van ijssdammen wordt mede bepaald door de dikte van de ijsschotsen; hoe dikker het ijs, hoe steviger de ijssdam kan zijn.

2.2.2 Omstandigheden na 1880

De vele overstromingen in de jaren vóór 1880 hebben mede geleid tot de instelling van de Rijkswaterstaat. Om het gevaar van ijssdammen te verminderen heeft Rijkswaterstaat diverse maatregelen voorgesteld om de rivier zodanig te veranderen dat ijs beter kan worden afgevoerd (zie hiervoor ook hoofdstuk 2 van het rapport over de maatgevende belastingen van de Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen (WL/EAC-RAND, 1993).

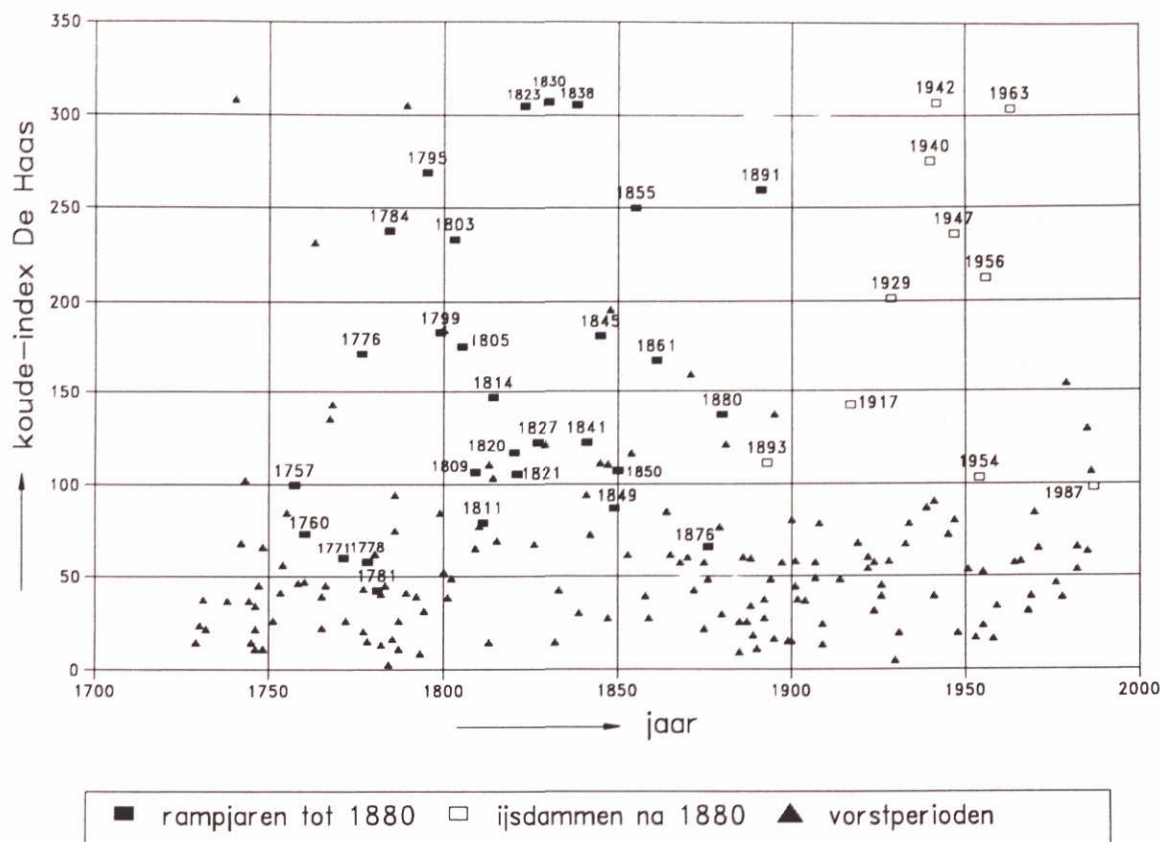
Tijdens deze studie is geïnventariseerd waar, en hoe vaak zich in Nederland ijssdammen hebben voorgedaan, zie Figuur 1. In de periode na 1880 komen ijssdammen nog voor met een gemiddelde frequentie van 1/9 per jaar. Uit de beschrijvingen in de ijsverslagen maken we op dat de ijssdammen na 1880 van het opvriezende type zijn. Het karakter van de beschreven ijssdammen van vóór 1880 wijkt dus af van het karakter van de beschreven ijssdammen ná 1880.



Figuur 1 Lokatie ijsdamvorming na 1880 (WL/EAC-RAND, 1993)

In de WL/EAC-RAND studie is onderzocht welke factoren hebben bijgedragen aan een vermindering van het gevaar voor overstrooming door ijsdammen.

Getoetst is of de individuele vorstperioden vóór 1880 qua strengheid afwijken van de individuele vorstperioden na 1880. Voor de vergelijking is in de studie uitgegaan van een koude-index volgens De Haas (1986a en 1986b). De koude-index bestaat uit een sommatie van de gemiddelde dag- en nachttemperaturen, voor zover het gemiddelde onder het vriespunt ligt. Het komt echter voor dat een tweede vorstperiode na een relatief korte dooiperiode aansluit op de voorgaande vorstperiode. In dat geval wordt de sommatie voor de koude-index gewoon voortgezet, zie De Haas (1986a), waarbij de grootte van de koude-index wordt aangepast voor de opgetreden dooi. Gemakshalve wordt de absolute waarde uitgezet van de koude-index, zie Figuur 2. Hoe hoger het getal, hoe strenger de beschouwde vorstperiode.



Figuur 2 Relatie koude-index De Haas en de vorming van ijsdammen in de periode 1734 tot 1991

Uit een vergelijking van koude-indexen van beide perioden, zie Figuur 2, hebben wij geconcludeerd dat er geen significante verschillen bestaan in de strengheid van de vorstperiodes vóór en na 1880. Voor de gemiddelde temperaturen van de vorstperiodes is eveneens geen verschil aan te geven voor beide types. Wel treden ijsdammen tegenwoordig pas op bij hogere waarden voor de koude-index, hetgeen inhoudt dat het thans langer moet vriezen voordat er ijs op de rivier verschijnt. Ijsdammen kunnen thans pas optreden als de koude-index ongeveer de waarde 100 overschrijdt (tegen een koude-index van 40 rond 1780) en de gemiddelde temperatuur van de vorstperiode lager is dan $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Voor de vermindering van het gevaar voor overstrooming als gevolg van ijsdammen noemden wij in de studie "Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen" de volgende factoren:

a De uitgevoerde normaliseringswerken.

De normalisering van de rivieren in Nederland had als doel de vorm van de stroombanen van de rivieren te verbeteren, waardoor ijs sneller en gemakkelijker kan worden afgevoerd. Bij de normalisatie werden eilanden die vóór de normalisatie nog in de rivier aanwezig waren opgeruimd, of met de oever verbonden en werden secundaire geulen afgesloten. Op deze wijze werd het meer-geulensysteem omgezet in het huidige systeem met maar één geul.

b Overige rivierwerken.

Voorts werden nog andere rivierwerken uitgevoerd, waarbij onder meer het stroomgebied van de Maas en de Waal werd gescheiden (afdamming Andelse Maas in combinatie met het verleggen van de monding van de Maas naar de Amer en het hoogwatervrij maken van de overlaat bij Heerewaarden). Andere maatregelen waren erop gericht een betere uitstroming naar zee te bewerkstelligen, zoals verbetering van de uitmonding van de IJssel en het verdiepen van de Nieuwe Merwede.

c Warmte-emissie op de rivieren.

De invloed van warmte-emissie op de aanwezigheid van ijs op de Nederlandse rivieren is betrekkelijk complex. Uit de studie naar de "Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen" blijkt dat het percentage winters waarin een vast ijsdek voorkomt is afgenomen van orde 40% à 65% tot orde 7% à 9%, zie Tabel 1. Dat een vast ijsdek in Nederland thans minder vaak voorkomt is voor een deel het gevolg van het minder vaak voorkomen van strenge vorstperiodes en het feit dat een vast ijsdek nu minder makkelijk tot stand komt als gevolg van de toegenomen warmte-emissie en de toegenomen scheepvaart.

rivier	1854-1901	1901-1948	1948-1991
IJssel	66	51	9
Nederrijn	55	32	7
Waal	40	15	9
Maas	62	30	7

Tabel 1 Percentage van winters waarin een vast ijsdek op de rivieren aanwezig was.

Daarnaast blijkt dat het gemiddeld aantal dagen per ijsperiode waarin een vast ijsdek bestaat niet of nauwelijks is veranderd. Alleen voor de Waal lijkt het aantal dagen significant lager te zijn. In de periode 1854 tot 1901 varieert het gemiddeld aantal dagen met een vast ijsdek van 20 op de Maas tot 28 op de IJssel, zie Tabel 2. In de naoorlogse periode 1948 tot 1991 varieert het gemiddeld aantal dagen met een vast ijsdek van 14 op de Waal tot 27 op de IJssel. De conclusie hieruit is dat de warmte-emissie in het algemeen geen grote invloed heeft gehad op de duur van het vaste ijsdek.

Op grond van de overwegingen in de Bijlage heeft een verhoging van de warmte-emissie vooral invloed op de *dikte* van de ijslaag. Bij een grotere warmte-emissie neemt de dikte af. Door diverse factoren blijft de invloed van de warmte-emissie echter niet beperkt tot de dikte van de ijslaag.

rivier	1854-1901	1901-1948	1948-1991
IJssel	28	23	27
Nederrijn	24	21	26
Waal	23	27	14
Maas	20	20	23

Tabel 2 Gemiddeld aantal dagen per ijsperiode met een vast ijsdek op de rivieren.

Vanwege de wat hogere temperatuur van het water tijdens het begin van de vorstperiode vangt het moment van ijsvorming ook wat later aan. De dunnere ijslaag en de grotere warmte-emissie zorgen er voor dat het ijsdek ook weer eerder opbreekt. Beide aspecten zouden leiden tot een kortere duur van het vaste ijsdek. Alleen de cijfers voor de Waal lijken dit te bevestigen. Voor de overige riviertakken is nauwelijks een verandering in de duur van het vaste ijsdek te constateren. Op het mechanisme van de vorming van ijssdammen van het opvriezende type heeft de verschuiving van het tijdstip van dichtvriezen waarschijnlijk weinig invloed, zij het dat de snelheid waarmee ijs aangroeit bij veel warmte-emissie kleiner is. Voor ijssdammen die tijdens het opbreken van het vaste ijsdek kunnen ontstaan heeft de warmte-emissie echter wél invloed. De volgende factoren spelen hierbij een rol:

- Er vormt zich in de Rijn bovenstrooms van Nederland minder ijs. Jansen (1983) laat zien dat het aantal dagen met een vast ijsdek benedenstrooms van Keulen sinds 1782 is afgenomen van gemiddeld ca. 8 dg/jaar tot ca. 0,5 dg/jaar. In deelrapport 2 van de "Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen" wordt voor het gemiddeld aantal dagen met vast ijsdek op de Waal een afname gemeld van ca. 9 dg/jaar naar ca. 1 dg/jaar.
- De dikte van het vaste ijsdek in Nederland is kleiner geworden, waardoor het eerder opbreekt. Het ijs in Nederland is daardoor voor een belangrijk deel reeds afgevoerd vóórdat eventueel ijs uit Duitsland tot problemen zou kunnen leiden.
- Doordat het ijs minder dik is is de stabiliteit van mogelijke ijssdammen kleiner waardoor ze eerder doorbreken.

In de beschouwingen van de Bijlage gaan we uit van een directe en volledige menging van de uitgestoten warmte. Het proces is echter veel ingewikkelder.

In de praktijk wordt de warmte steeds als een soort puntlozing in het systeem gebracht, bijvoorbeeld ter plaatse van elektriciteitscentrales. Doordat de warmte-emissie lokaal erg groot is zal daar geen, of slechts een dunne, ijslaag kunnen vormen. De dikte van de ijslaag zal in benedenstroomse richting asymptotisch toenemen totdat de oorspronkelijke dikte weer wordt bereikt.

Voorts moet men zich bedenken dat het ijsdek vooral 's nachts, wanneer de temperaturen het laagst zijn, dichtvriest. Het dichtvriezen wordt bemoeilijkt door wind en golven. Een pas gevormd ijsdek kan door sterke wind en de golfwerking weer worden opgebroken. Dit houdt ook in dat een pas gevormd ijsdek, dat thans door de warmte-emissie dunner is dan vroeger, vaker en eerder zal opbreken door wind en golven. Dit aspect zal er mede toe bijdragen dat het percentages winters waarin een vast ijsdek op de rivieren voorkomt is afgenomen, zie Tabel 1.

d Hogere dijken

Grote overstromingen in Nederland hebben ertoe geleid dat de dijken regelmatig werden verhoogd. Als we de lopende dijkverhoging buiten beschouwing laten heeft de laatste plaatsgevonden na het hoogwater van 1926. Hogere dijken geven een betere bescherming tegen hoogwater tijdens hoge afvoeren, maar ook een betere bescherming tegen overstromingen die veroorzaakt worden door ijs.

e Invloed opgeloste stoffen

Door het oplossen van stoffen in water kan een vriespuntsverlaging worden bewerkstelligd. Voor een merkbare vriespuntsverlaging zijn echter in vergelijking tot de thans in de Rijn opgeloste stoffen veel grotere concentraties vereist. De aanwezigheid van opgeloste stoffen heeft dan ook niet bijgedragen aan een vermindering van de problemen met ijsgang op de Nederlandse rivieren.

2.3 Bestrijding van ijssdammen.

Om te beoordelen in hoeverre de aanleg van nevengeulen en oobossen het gevaar van overstromingen door ijs vergroot is het zinvol te weten op welke wijze ijssdammen in algemene zin worden bestreden. Bestrijding van ijssdammen vindt plaats op basis van verschillende principes:

- i ijssdammen tijdens opvriezen.
 - Normalisering van de rivier waardoor in lengterichting variaties in het energieverhang zo veel mogelijk worden beperkt.
 - Het treffen van constructieve maatregelen waarmee bovenstrooms van een ijssdam-gevoelige lokatie in een vroeg stadium een vast ijsdek wordt geforceerd.
- ii ijssdammen tijdens opbreken van een vast ijsdek.
 - Normalisering van de rivier waardoor breedte- en dieptevariaties worden beperkt.
 - Van benedenstrooms af het vaste ijsdek breken. Het tempo waarin dit kan gebeuren is afhankelijk van de snelheid waarmee ijsschotsen kunnen worden afgevoerd.
 - Door additionele maatregelen proberen zolang mogelijk een ijsdek te handhaven. Het doel hiervan is tweeledig. Enerzijds geeft het vasthouden van ijs de gelegenheid om het ijs benedenstrooms van dit punt op natuurlijke wijze op te breken en af te voeren en anderzijds zal de dikte van de ijsschotsen minder zijn, waardoor het gevaar van ijssdammen verder reduceert. Een van de maatregelen om ijs vast te leggen is het aanleggen van eilanden in de uiterwaarden. De oppervlakte van het vaste ijsdek wordt hierdoor verkleind. Het ijs zal hierdoor pas later breken (bij gelijkblijvende belasting op het ijs is de weerstand tegen breken groter). In deze zin zou ook de aanwezigheid van oobos gunstig kunnen zijn.

Samenvattend kan worden gesteld dat een veelheid aan factoren mee heeft gespeeld in de reductie van de ijsproblematiek in Nederland. De invloed van het aanleggen van nevengeulen en/of oobossen op het gevaar voor overstroming door ijs moet tegen het licht van deze factoren worden beoordeeld.

3 Natuurbouw

Vanuit de toenemende belangstelling voor de herinrichting van de uiterwaarden wordt hier aandacht besteed aan twee maatregelen, namelijk de aanleg van nevengeulen en de aanleg van ooibossen. Nevengeulen en ooibossen hebben onder meer invloed op de afvoer van ijs door de rivier. Aanleg ervan mag niet leiden tot ongewenste wijzigingen van deze functie. In het navolgende geven we een kwalitatieve beschouwing van de mogelijke consequenties van de aanleg van nevengeulen en ooibossen op de afvoer van ijs.

3.1 Nevengeulen algemeen

De aanleg van nevengeulen verandert de stroming in de rivier. De grootte van de veranderingen in de stroming van de rivier hangt onder meer af van de afmetingen van de nevengeulen. Nevengeulen takken af van het laagwaterbed. Kenmerkende afmetingen zijn, zie Figuur 3:

- lengte circa 3 km,
- "bankfull" breedte tot circa 200 m bij een diepte van 4 m,
- taluds 1:40 en 1:10,
- afvoer door de nevengeul ca. 5% van de totale afvoer; voor de Waal betekent dit enige honderden m³/s,
- maximum stroomsnelheid circa 0,5 m/s en
- niveau bodem nevengeul circa 1 m onder OLR (circa 2,5 m boven rivierbodem).

Doordat een deel van de afvoer door de nevengeul gaat zullen de stroomsnelheden in de hoofdgeul aanvankelijk wat afnemen. De nevengeul kan naast water ook wat sediment innemen. De inname van sediment kan onder meer worden beperkt door de inlaat in het benedenstroomse deel van een buitenbocht te plaatsen, zie Akkerman (1993). Lokaties in het benedenstroomse deel van een buitenbocht genieten, indien de mogelijkheid daartoe bestaat, daardoor de voorkeur.

De kleinere stroomsnelheden zullen leiden tot sedimentatie in de hoofdgeul, totdat het evenwicht voor het doorgaande sedimenttransport weer is hersteld, waarbij in de evenwichts-situatie een deel van het doorgaande sedimenttransport door de nevengeul kan plaatsvinden.

Voor de kwalitatieve beoordeling van het effect van de aanleg van nevengeulen op de afvoer van ijs maken we onderscheid in drie hoofdcomponenten, te weten:

- het geulgedeelte
- de inlaat
- de uitlaat

Dit onderscheid achten we noodzakelijk omdat op deze lokaties verschillende aspecten van belang zijn. Voor het geulgedeelte is de vorming van een vast ijsdek en/of ijsdam van belang. Afhankelijk van de vormgeving vormt de inlaat wel of geen obstructie voor het inlaten van drijfijis. Bij de uitlaat moet gezorgd worden voor een gemakkelijke afvoer van ijs, zodra het vaste ijsdek opbreekt.

3.1.1 Het geulgedeelte

We maken onderscheid tussen een afvoer waarbij de nevengeul en het zomerbed vol water staan en een afvoer waarbij ook het winterbed meestroomt.

Situatie met vol zomerbed

We gaan uit van een permanente situatie in de rivier, waarbij evenwicht bestaat tussen afvoer en sedimenttransport, ook ter plaatse van de nevengeul. Voorts veronderstellen we dat de hoofdgeul een constante breedte heeft. Doordat een deel van de afvoer door de nevengeul wordt getransporteerd is de diepte van de hoofdgeul tussen de inlaat en de uitlaat van de nevengeul iets kleiner dan de diepte bovenstrooms van de inlaat en benedenstrooms van de uitlaat.

Het lijkt aannemelijk dat de nevengeul zó kan worden aangelegd dat er vrijwel geen sediment wordt ingenomen. In dat geval zal de bodemligging tijdens evenwicht overeenkomen met die van Figuur 4b. Benedenstrooms van de uitlaat is er in de bodemligging niets gewijzigd. Tussen de in- en uitlaat van de nevengeul moet een steiler bodem- en energieverhang bestaan om bij een kleinere afvoer hetzelfde sedimenttransport te garanderen. Bovenstrooms van de inlaat vinden we weer hetzelfde bodem- en energieverhang als benedenstrooms van de uitlaat. Ook de waterdiepte bovenstrooms van de inlaat is in een evenwichtssituatie gelijk aan de waterdiepte benedenstrooms.

In gedachten doorlopen we nu een vorstperiode. Het ijs vormt zich het eerst in de stilstaande delen, die in verbinding staan met de nevengeul. In de geul zelf zal zich eerst randijs vormen langs de meest ondiepe delen, dat wil zeggen langs het talud 1:40 en aan de rand van het talud 1:10. Het diepste deel van de geul zal dan nog open water bevatten. Op de bodem vormt zich grondijs dat na verloop van tijd zal opdrijven. Het grondijs dat in de buurt van de inlaat naar boven komt, kan bij het transport in benedenstroomse richting verder aangroeien. Afhankelijk van de snelheid van aangroei en de omstandigheden in de geul en bij de uitlaat, kan het ijs al dan niet vast komen te zitten. Tevens kunnen ijsschotsen via de inlaat naar de nevengeul toe stromen.

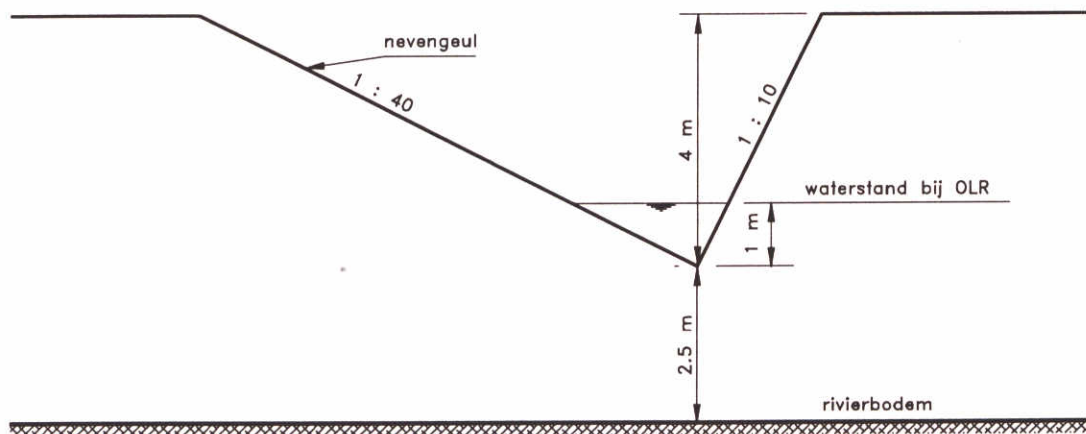
Op zeker moment zal het niet-bevroren deel van de geul een kleinere transportcapaciteit hebben dan het aanbod van ijs en gaat zich een vast ijsdek vormen (in het geval dat in de geul een vast ijsdek ontstaat door het uitgroeien van randijs bestaat in principe dezelfde situatie).

Bij Froude-getallen (v/\sqrt{gh} , waarin v =snelheid, h =waterdiepte en g =versnelling zwaartekracht), tussen de 0,05 en 0,15 kan drijfijis zich ontwikkelen tot een ijssdam. Bij een gemiddelde waterdiepte van 2,5 m en een stroomsnelheid van 0,5 m/s bedraagt het Froude-getal 0,1. De vorming van een ijssdam(metje) in de nevengeul lijkt dus mogelijk. Er kunnen zich nu twee omstandigheden voordoen:

- a er vormt zich alleen een vast ijsdek, en
- b er vormt zich naast een vast ijsdek ook een ijssdam(metje) in de nevengeul.

Naar alle waarschijnlijkheid zal de hoofdgeul op dit moment nog open zijn, waarbij er in de rivier sprake kan zijn van drijfijis.

Voor het in Figuur 3 gegeven dwarsprofiel berekenen wij een open waterafvoer van ca. $240 \text{ m}^3/\text{s}$ voor een k-waarde van $0,25 \text{ m}$ en een verhang van $1,2 \times 10^{-4}$. Vormt zich in de nevengeul een vast ijsdek dan neemt de afvoer af door de grotere weerstand en de kleinere hydraulische straal. Als we voor het dwarsprofiel van Figuur 3 aannemen dat de ruwheid van het ijs gelijk is aan die van de bodem dan bedraagt de afvoer ca. $160 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 3 Dwarsprofiel nevengeul (geschematiseerd)

In de berekening zijn we daarbij uitgegaan van de veronderstelling dat de waterdiepte in de nevengeul niet verandert en dat de hoofdgeul nog geen vast ijsdek heeft. Om aan de continuïteit te voldoen moet bij een afname van de afvoer in de nevengeul de afvoer in de hoofdgeul toenemen. Voor de hoofdgeul is de afvoertoeename echter marginaal, waardoor de waterstanden daar vrijwel niet veranderen. Overigens leidt een iets grotere afvoer door de hoofdgeul bij een gelijkblijvende benedenwaterstand tot een iets groter verhang in de hoofdgeul. Hierdoor stijgt de waterstand bij de inlaat waardoor de afvoer door de nevengeul wat toeneemt, zie de aangegeven opstuwung in Figuur 4b.

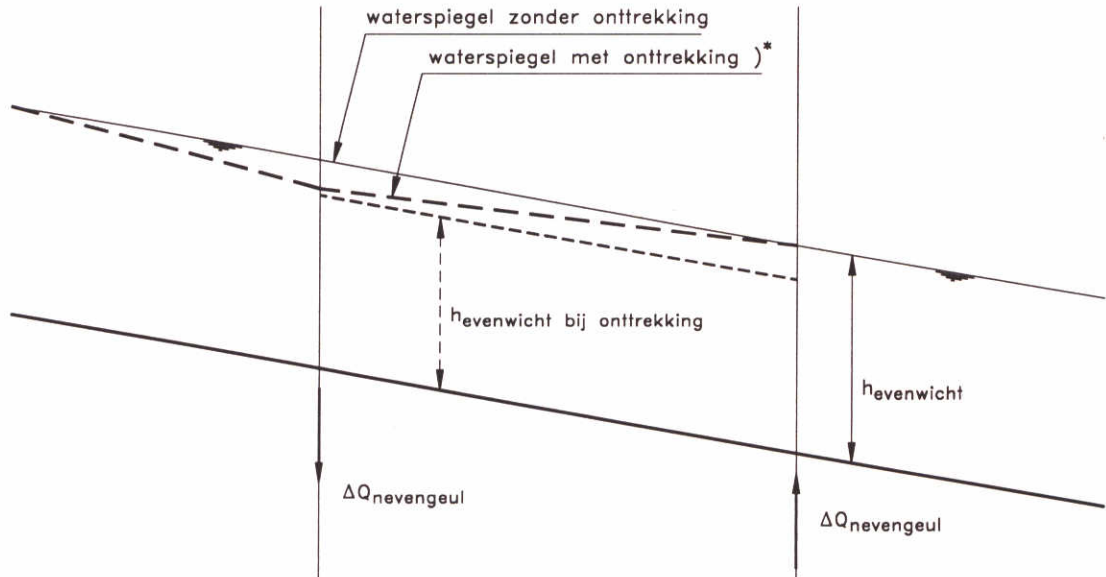
Voor de nu beschreven situatie proberen we te beoordelen in hoeverre de capaciteit voor het transport van ijs toe- of afneemt in de stromingsrichting.

De volgende factoren spelen een rol:

- Bovenstrooms van de inlaat en benedenstrooms van de uitlaat is het energieverhang in de hoofdgeul kleiner dan tussen de inlaat en uitlaat, zie Figuur 4b.
- Ten opzichte van deze evenwichtssituatie leidt een vast ijsdek in de nevengeul bij een open rivier tot stuwkrommen bovenstrooms van de uitlaat en de inlaat waardoor en lichte opstuwung ontstaat die ter plaatse van de inlaat maximaal is, zie Figuur 4b. Gelet op de geringe toename in de afvoer van de hoofdgeul (orde $80 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een afvoer door de hoofdgeul van orde $2200 \text{ m}^3/\text{s}$) is de opstuwung waarschijnlijk erg klein.

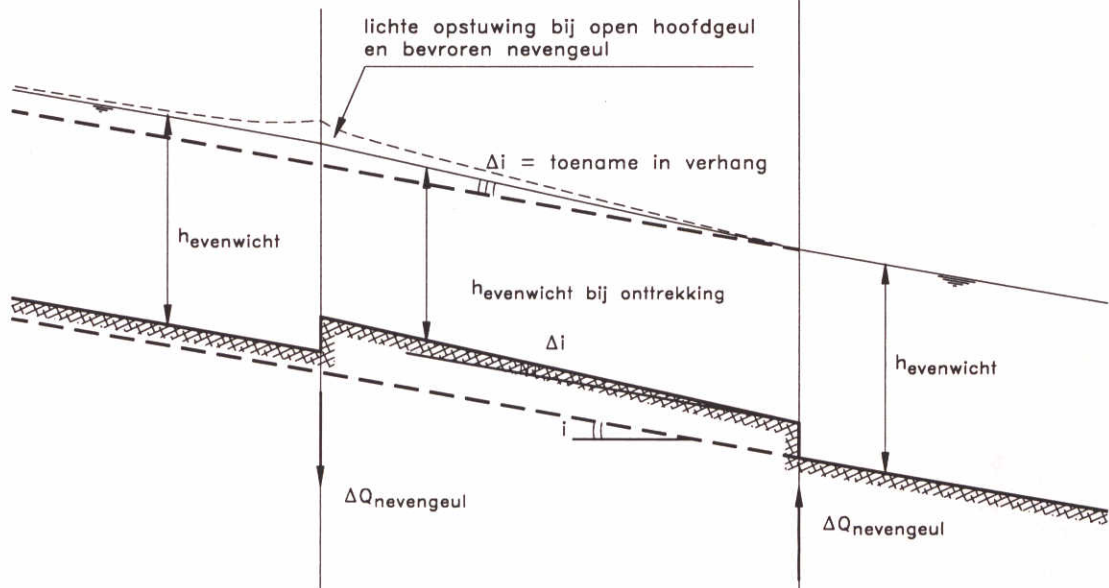
Volgen we het drijfijis dan neemt de transportcapaciteit van het ijs juist bovenstrooms van de inlaat wat af. Voorbij de inlaat wordt de transportcapaciteit groter en benedenstrooms van de uitlaat wordt ze weer kleiner. De kleinste transportcapaciteit vinden we direct bovenstrooms van de inlaat. Dit is het gebied waar wij in de hier beschouwde schematische

weergave de vorming van een vast ijsdek verwachten. In de praktijk zal dit beeld door diverse factoren, zoals wind(golven) en getij, sterk kunnen worden verstoord waardoor het voorspellen van de lokatie waar een vast ijsdek (en/of ijsdam) zich begint te vormen, niet goed mogelijk is.



)* door de relatief korte lengte zal de waterspiegel niet op het niveau van de evenwichtsdiepte uitkomen

a: situatie direct na aanleg nevengeul



b: evenwichtssituatie na aanleg nevengeul

Figuur 4 Bodemligging en waterstanden na aanleg nevengeul

Bij een onregelmatig aanbod van drijfijis in de hoofdgeul kan het zijn dat het ijs het inlaatpunt van de nevengeul zonder problemen passeert. Omdat de transportcapaciteit van het ijs benedenstrooms van de uitlaat afneemt kan zich daar eveneens een vast ijsdek (en/of ijsdam) vormen.

Heeft zich eenmaal een vast ijsdek gevormd, en laten we even aannemen dat er zich geen ijsdam heeft gevormd, dan leidt het vaste ijsdek tot een kleinere hydraulische straal en een grotere hydraulische ruwheid. De waterstanden in de rivier en de nevengeul zullen stijgen, zie stippellijn in Figuur 4b. Het hangt van de lokale omstandigheden af of de uiterwaarden onder zullen lopen. Doordat de hydraulische weerstand van de rivier bij een vast ijsdek is vergroot zal de afvoer door de deels bevroren nevengeul weer wat toenemen.

Aan het eind van de vorstperiode zal naar onze verwachting het ijs op de rivier het eerst breken. Het water in de rivier en de nevengeul zal dan weer zakken tot het niveau dat hoort bij een open waterloop, mits het opgebroken ijs zonder verdere problemen kan worden afgevoerd. Sinds 1880 hebben zich geen ijsdammen meer voorgedaan tijdens het opbreken van een vast ijsdek aan het eind van de vorstperiode. De aanleg van nevengeulen geeft op het niveau van vol zomerbed een vergroting van het ijsoppervlak, wat de vorming van ijs zal bevorderen (groot afkoelingsoppervlak). Als in een strenge vorstperiode dit ijs tegelijk los komt met het ijs in de hoofdrievier kan de bezettingsgraad van ijs benedenstrooms van de uitlaat tot boven de kritische waarde van 0,8 stijgen. Er bestaat dan gevaar voor de vorming van ijsdammen.

De principiële vraag bij de beoordeling is echter of het opbreken van het ijs in de nevengeul samen zal vallen met de afvoer van drijfijis van de hoofdgeul zelf. Naar verwachting zal de geul eerder dichtvriezen dan de hoofdgeul. Bij aanhoudende vorst zal de dikte van het ijs in de nevengeul verder toenemen terwijl de hoofdgeul ook dichtvriest. Omgekeerd verwachten wij aan het eind van de vorstperiode dat het ijs in de nevengeul later opbreekt dan het ijs in de hoofdgeul. Hierbij spelen verschillende overwegingen een rol.

- Enerzijds is de dikte van het vaste ijsdek in de nevengeul groter dan in de hoofdgeul, waardoor het ijs daar sterker is en later breekt.
- Anderzijds zal door de geringere diepte van het water en de kleinere breedte van de nevengeul (orde 200 m tegen orde 300 à 400 m voor de Waal) de invloed van wind en golven kleiner zijn dan in de hoofdgeul. De krachten die op het vaste ijsdek worden uitgeoefend zullen in de hoofdgeul groter zijn dan die in de nevengeul. Het lijkt daarom niet waarschijnlijk dat het ijs op de nevengeul tegelijk opbreekt met het ijs op de hoofdgeul.

Als de hoofdgeul geen grote hoeveelheden drijfijis meer afvoert op het moment dat het ijs in de nevengeul los komt verwachten wij geen problemen met de afvoer van dit drijfijis uit de nevengeulen.

Voorts moet in gedachten worden gehouden dat sinds 1880 geen overstromingen meer hebben plaatsgevonden als gevolg van het tijdens het opbreken niet voldoende kunnen afvoeren van het ijs. Deze verbetering is niet alleen te danken aan het sluiten van secundaire geulen, maar ook aan overige factoren zoals het realiseren van een min of meer constante rivierbreedte, hogere dijken en warmte-emissie.

Eventueel moet aan het eind van een vorstperiode, waarbij zich een vast ijsdek op de rivier heeft gevormd, het ijs van beneden af kunstmatig worden gebroken om te bevorderen dat ijs in de hoofdgeul eerst zoveel mogelijk wordt afgevoerd alvorens de toevoer van ijs vanuit de nevengeulen op gang komt.

Situatie met stromend winterbed

Bij hoge afvoeren staat de gehele uiterwaard onder water. Het oppervlak dat bloot staat aan afkoeling is in dit geval met en zonder nevengeul gelijk. Op stilstaande delen en ondiepe plekken zal het eerst ijs verschijnen. Ter plaatse van de nevengeul zal het water door de grotere diepte en de daar optredende stroming langer open blijven dan in de ondiepe delen van de uiterwaard. De nevengeul zal in de uiterwaard als laatste dichtvriezen en het ijs ter plaatse van het diepste deel zal dunner zijn dan elders in de uiterwaard.

Tijdens het opvriezen neemt de afvoer in de rivier af doordat neerslag in het bovenstroomse stroomgebied in vaste vorm blijft liggen. Door de afnemende afvoer nemen ook de waterstanden af. Tijdens het opvriezen zal in het algemeen de waterstand aan het dalen zijn. Zodra zich echter een vast ijsdek heeft gevormd nemen de waterstanden in de rivier weer sterk toe, doordat de hydraulische straal afneemt en de hydraulische weerstand toeneemt.

Het einde van een vorstperiode wordt in Nederland ingeluid door de nadering van een depressie die gepaard gaat met neerslag. Een belangrijk deel van deze neerslag komt tot afstroming waardoor de afvoer in de rivier toeneemt. Door de hogere temperatuur smelt ook de neerslag die in de voorgaande vorstperiode(s) is gevallen. Door de toename van de afvoer nemen de waterstanden toe. De toename van de waterstanden oefent op het ijs druk uit waardoor het opbreken van het vaste ijsdek wordt ingeleid. Het ijsdek van de hoofdgeul zal daarbij eerder breken, enerzijds omdat het dunner is en anderzijds omdat de breedte van de hoofdgeul groter is, waardoor minder krachten nodig zijn om het te breken.

Vergelijken we de vorming van en het opbreken van ijs bij stromend winterbed voor de situatie zonder en met een nevengeul dan zien we dat er weinig of geen verschil bestaat.

3.1.2 De inlaat

Aan de bovenstroomse zijde van de nevengeul moet het water worden ingelaten. Dit kan gebeuren door een min of meer natuurlijk splitsingspunt aan te brengen, al dan niet voorzien van maatregelen ter beperking van sedimentinname, en/of door het aanbrengen van een constructie waarmee de hoeveelheid in te laten water kan worden gereduceerd. Eventueel kan in de constructie een regelwerk worden aangebracht om de grootte van het in te laten debiet te regelen.

Bij de kwalitatieve beschouwingen maken we onderscheid tussen afvoer van ijs bij vol zomerbed en afvoer van ijs bij situaties met ondergelopen uiterwaarden.

Lokatie van de inlaat

Bij windstil weer volgt eventueel drijfjz de richting van de stroming aan het oppervlak. De richting van de stroming aan het oppervlak is afhankelijk van de riviergeometrie. In bochten wordt een spiraalstroming opgewekt, waardoor de stroming aan het oppervlak naar de

buitenzijde van de bocht is gericht. Het drijfijis (en ook het drijvend vuil) wordt hierdoor naar de buitenbocht getransporteerd. Een inlaat in een binnenbocht krijgt daardoor minder drijfijis aangeboden dan een inlaat in een buitenbocht. In deze zin is een lokatie aan het eind van een buitenbocht ongunstiger, terwijl die lokatie juist voor beperking van de sedimentinname zeer gunstig is.

Situatie met vol zomerbed

Zodra zich bij vol zomerbed drijfijis voordoet hangt het van de lokatie af in hoeverre ijs bij de inlaat van de nevengeul tot problemen leidt.

a Binnenbocht

Door de spiraalstroming wordt geen ijs naar de binnenbocht getransporteerd. Voor een inlaatlokatie in een binnenbocht verwachten wij tijdens het transport van ijs, bij windstil weer, geen problemen. Wel kan het noodzakelijk zijn om een eventuele inlaatconstructie te beschermen tegen vorstschade. Dit valt echter buiten het kader van deze studie. Door harde wind kan er echter toch ijs bij de inlaat terecht komen. Er ontstaat dan een met de buitenbocht vergelijkbare situatie.

b Buitenbocht

Door de spiraalstroming zal drijfijis naar de buitenbocht worden gedirigeerd. Drijfijis dat zich even bovenstrooms van de inlaat bevindt zal door de stroom naar de nevengeul toe worden getrokken. Als het drijfijis groter is dan de beschikbare breedte van het inlaatwerk, kan dit de toevoer naar de nevengeul voor een deel blokkeren. We gaan er voorlopig vanuit dat niet de gehele opening wordt geblokkeerd. Door de blokkade neemt de weerstand wat toe. De afvoer in de nevengeul vermindert wat en het verval over de inlaat neemt toe. De doorstroomoppervlakte neemt af, maar de stroomsnelheden door de resterende opening nemen toe. Het lijkt waarschijnlijk dat hierdoor andere schotsen kunnen worden aangezogen waardoor een volledige blokkade van de inlaat kan ontstaan. Als de ijsbelasting vóór het kunstwerk geen problemen oplevert zal er in de nevengeul tijdelijk een stilstaand bekken ontstaan dat, als het nog niet was dicht gevoren, snel dicht vriest.

Een belangrijk uitgangspunt bij de vormgeving van de inlaat is dat eventueel drijfijis dat niet door de opening kan geen aanleiding zal geven tot het blokkeren van de stroom in de hoofdgeul.

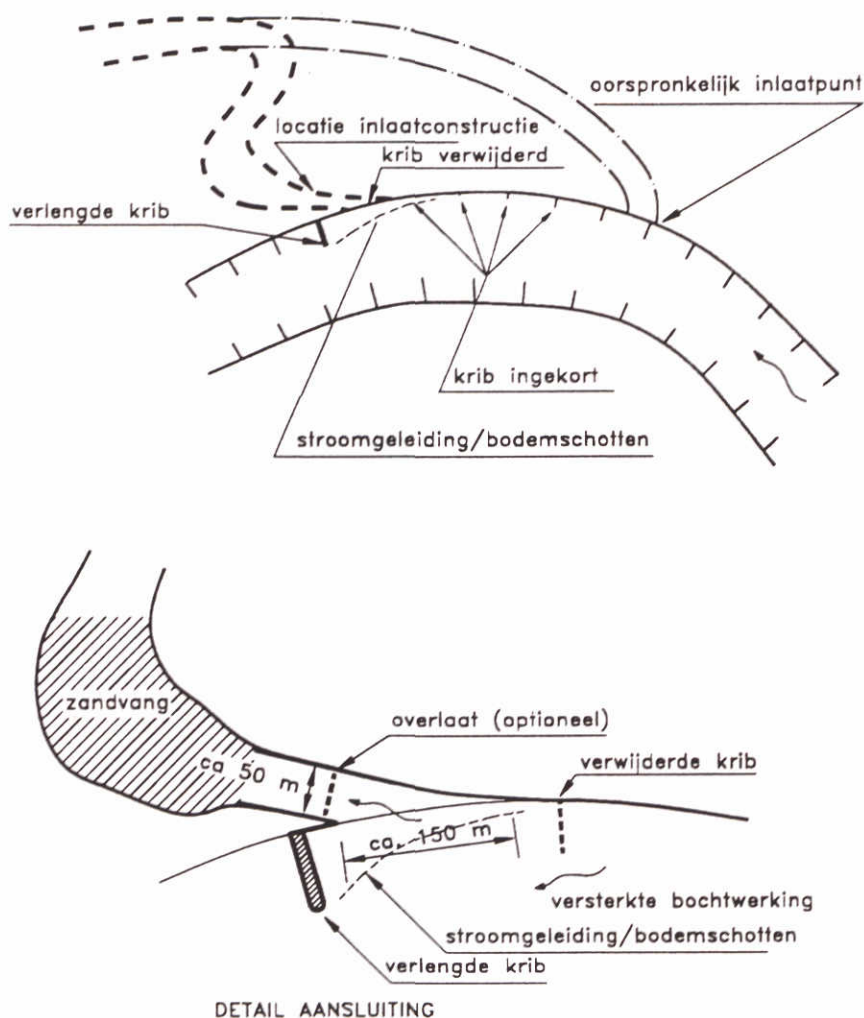
Beschouwen wij de door Akkerman (1993) gegeven globale schets voor een inlaat van een nevengeul, zie Figuur 5, dan is de situatie voornamelijk bepaald door de wens om de inname van sediment te beperken. De afvoer van ijs in de vormgeving is nog niet verwerkt. Even bovenstrooms van de inlaat lijkt een inkorting van de kribben gewenst om een goede toestroming naar de nevengeul te realiseren. Direct benedenstrooms van de inlaat hebben de kribben weer hun oorspronkelijke lengte dan wel wordt een verlengde krib toegepast om een versterkte bochtwerking te verkrijgen. Aldus kan voor het ijs een obstructie in de buitenbocht ontstaan waar zich ijs kan ophopen. Het is niet goed te voorspellen of de kans op de vorming van een vast ijsdek en/of ijsdam hierdoor belangrijk toeneemt. Voorzichtigheid lijkt echter geboden. Indien voor een concrete lokatie, in verband met het stroombeeld en de inname van sediment, in een hydraulisch model wordt onderzocht wat de meest

gunstige vormgeving is voor de inlaatconstructie kan door enkele extra proeven met drijvend materiaal worden onderzocht hoe de vormgeving zich gedraagt als drijfijis wordt afgevoerd.

De vormgeving heeft invloed op de afvoer van drijfijis tijdens opvriezen en tijdens opbreken.

Situatie met stromend winterbed

Bij stromend winterbed bevindt de inlaatconstructie zich onder water. Er lijkt dan nauwelijks verschil te bestaan met de huidige aanwezige situatie. Mogelijk dat ijs ter plaatse van de inlaat wat gemakkelijker de uiterwaard zal instromen als het waterniveau net iets hoger is dan het niveau van de zomerkaden.



Figuur 5 Mogelijke oplossing inlaat nevengeul (met het oog op beperking sedimentinname (Akkerman, 1993)

3.1.3 De uitlaat

Voor de samenvloeiing van de nevengeul met de hoofdgeul zijn geen bijzondere constructies voorzien.

Situatie met vol zomerbed

Voor de afvoer van ijs door de nevengeul is minimaal een constante breedte van de nevengeul ter plaatse van de uitlaat gewenst. In dit geval kan ook het opbrekende ijs aan het eind van de vorstperiode goed worden afgevoerd. Eventueel kan worden overwogen om een drijvende constructie (in de internationale literatuur wordt hiervoor de term "ice-boom" gebruikt) aan te brengen waarmee de vorming van een vast ijsdek kan worden bevorderd en het ijs aan het eind van de vorstperiode zolang mogelijk kan worden vastgehouden. Hierdoor kan het drijfijz uit de hoofdgeul het eerst worden afgevoerd en kan het in de nevengeul verder in dikte afnemen voordat het in de hoofdgeul terecht komt.

Situatie met stromend winterbed

De omstandigheden bij afvoeren waarbij het winterbed gevuld is, zijn sterk afhankelijk van de wijze waarop de nevengeulen worden aangelegd. Het gaat daarbij niet zozeer om de uitlaat zelf als wel om de zomerkaden in de directe omgeving van de uitlaat van de nevengeul. Wordt ter plaatse van de uitlaat alleen de zomerkade doorgestoken, dan kan de rest van de zomerkaden fungeren als obstructie voor de afvoer van ijs juist vóór de vorming van een vast ijsdek en tijdens het afvoeren van het ijs wanneer het opbreekt. Het gevaar bestaat dat zich juist bovenstrooms van de kaden ijs ophoopt en op deze wijze de uitlaat blokkeert en de vorming van een ijsdam initieert. Overigens kunnen de zomerkaden ook in de huidige situatie afvoer van ijs uit de ondergelopen uiterwaarden blokkeren. Het afvoerend vermogen van het ijs bij de aanwezigheid van nevengeulen zal als gevolg van de doorsnijdingen van zomerkaden eerder toenemen.

3.2 Toepassing ooibos

De aanleg van nevengeulen wordt gecombineerd met het aanleggen van ooibossen. Ooibossen in de uiterwaarden leiden lokaal tot een belangrijk hogere hydraulische ruwheid. Hierdoor zal er ter plaatse van een ooibos nauwelijks stroming optreden. Zonder ijs leidt een ooibos tot hogere waterstanden dan de vastgestelde MHW-standen. Werkzaamheden in het buitendijkse gebied, die aanleiding geven tot een verhoging van waterstanden, moeten in het huidige rivierbeheer worden gecompenseerd door aanvullende werken, bijvoorbeeld door vergroting van het dwarsprofiel elders. Een dergelijke vergroting van het dwarsprofiel kan bestaan uit de aanleg van een nevengeul, vandaar de combinatie ooibossen en nevengeulen.

Voor de beoordeling van de invloed van ooibossen op de afvoer van ijs nemen we aan dat ooibossen alleen in het water komen te staan tijdens hoogwater als de rivier buiten het zomerbed is getreden.

Hoe het proces van opvriezen zal verlopen is niet duidelijk. Wij hebben daarover in de literatuur geen beschrijvingen kunnen vinden. Wel verwachten we dat het water in het ooibos sneller dichtvriest dan in de open uiterwaard met een gelijke waterdiepte, omdat de stroomsnelheden en de waterstanden in het ooibos kleiner zullen zijn dan in de open gedeelten.

Bij de aanvang van de vorstperiode zal in het ooibos relatief snel randijs ontstaan. Bij het verschijnen van het drijfijz zal in vergelijking tot een situatie zonder ooibos een deel van de breedte tussen de bandijken niet voor de afvoer van ijs beschikbaar zijn. Het ooibos blokkeert

het dwarsprofiel. Een ooibos wordt echter bij voorkeur niet in uiterwaarden aangelegd waar de afstand tussen de bandijken klein is. Vanwege de vereiste compensatie-werkzaamheden is dit waarschijnlijk ook niet eens goed realiseerbaar. Een goede keuze voor de aanleg van ooibossen zijn de gebieden met stroomschaduw waar de bandijken relatief ver uit elkaar liggen. Voor dergelijke lokaties kunnen ook de vereiste compensatie-werken beperkt van omvang zijn en wordt de afvoer van ijs nauwelijks of niet beperkt. Een nadeel van deze keuze kan zijn dat de ooibossen dan tegen de bandijk aan komen te liggen. De variatie in het landschap is dan beperkt. We moeten er daarom rekening mee houden dat om andere redenen ooibossen ook zullen worden aangelegd op plaatsen waar geen stroomschaduw bestaat, maar waar de afstand tussen de bandijken wel relatief groot is.

De aanleg van ooibossen buiten de gebieden van stroomschaduw kan op tweeërlei wijze invloed hebben op de afvoer van ijs.

De eerste invloed is een gunstige. De literatuur maakt melding van de toepassing van kunstmatige eilanden om de vorming van ijssdammen tegen te gaan. De werking berust op het idee dat de aanleg van een of meerdere eilanden de breedte van de uiterwaard beperkt, zie Burrell (1989), waardoor de krachten op het ijs in de uiterwaard reduceren. Doordat het ijs van de uiterwaard langer op zijn plek blijft kan het verder afsmelten. Het dunnere ijs is makkelijker af te voeren en leidt minder snel tot blokkades. Ooibossen zouden een overeenkomstige, zij het wat zwakkere, functie kunnen vervullen.

De tweede invloed is een ongunstige. Door de blokkering van de stroming kan de afvoer van ijs, als dit eenmaal is opgebroken, worden bemoeilijkt. In hoeverre het gevaar voor de vorming van ijssdammen feitelijk toeneemt moet aan de hand van het bestaande stroombeeld en de te kiezen lokatie voor de ooibossen worden beoordeeld. Men moet zich bedenken dat de krachten die bij het transport van ijs worden opgewekt relatief groot kunnen zijn. Mogelijk dat door de aanleg van geleidewerken, passend in het landschap, het risico van ijsophoping kan worden verminderd en schade aan ooibossen kan worden beperkt.

Het is op voorhand niet aan te geven welke van de twee invloeden zal overheersen. Een en ander is daarbij afhankelijk van de lokale geometrie en de daar optredende ijsproblematiek.

4 Toekomstverwachtingen

De eventuele aanleg van nevengeulen en oobossen is beoordeeld op grond van de huidige omstandigheden waarbij is aangenomen dat de omstandigheden niet zullen wijzigen. Het lijkt echter gepast hier iets te zeggen over de mogelijke wijzigingen die een relatief belangrijke invloed kunnen hebben op ijsgang in de rivier. Een tweetal aspecten zijn hierbij van belang:

- a klimaatwijzigingen en
- b het niveau van de warmte-emissies.

4.1 Klimaatwijzigingen

Tijdens de studie naar de "Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen", zie WL 1993, is nagegaan wat de huidige stand is bij de voorspellingen van klimaatwijzigingen. Klimaatstudies worden nu uitgevoerd aan de hand van "Global Circulation Models" (GC-model), de zogeheten "wereld-omvattende" modellen. Met de huidige computers bedraagt de maaswijdte in dergelijke modellen orde 500 km. Voor de Rijn is deze maaswijdte nog dusdanig grof dat geen betrouwbare voorspellingen voor de wijziging van het klimaat kunnen worden gedaan.

Er wordt thans op diverse plaatsen gewerkt aan zogenaamde "geneste" modellering, waarbij lokaal veel meer detail kan worden weergegeven door een veel kleinere maaswijdte. Deze modellen zijn dan niet langer wereld-omvattend. De randvoorwaarden moeten worden toegeleverd door het GC-model. Door de relatief grove maaswijdte van het GC-model kan deze randvoorwaarde niet in detail worden bepaald. Onnauwkeurigheden in de randvoorwaarden drukken hun stempel op de voorspellingen van de geneste modellen. Wij verwachten dat het nog enkele jaren zal duren voordat er op deze wijze betrouwbare voorspellingen als gevolg van wijzigingen in het klimaat kunnen worden gedaan.

4.2 Warmte-emissie

Het feit dat er zich sinds 1880 geen overstromingen hebben voorgedaan als gevolg van ijsgang op de rivier schrijven wij in hoofdzaak toe aan een tweetal factoren, namelijk de uitgevoerde rivierwerken en de toegenomen warmte-emissie op de rivier. Door de menselijke activiteiten in West-Europa wordt het milieu aanzienlijk belast. Geprobeerd wordt de grootte van deze belasting terug te dringen. Dit kan inhouden dat de warmte-emissie in de toekomst aan strengere regels gebonden kan zijn dan thans het geval is. De strengere regels zijn waarschijnlijk voor de zomerperioden noodzakelijk, maar zullen mogelijk ook voor de winterperioden gelden. Hierdoor kan ten opzichte van de huidige situatie de totale emissie van warmte reduceren en is een toename van de ijsdikte onder gelijkblijvende vorstomstandigheden te verwachten.

Anderzijds zal de bevolkingsdruk in de komende decennia nog verder toenemen. Bij gelijkblijvend waterverbruik per individu zal de hoeveelheid huishoudelijk afvalwater dat in de toekomst moet worden afgevoerd naar verwachting eveneens verder toenemen. De temperatuur van het huishoudelijk afvalwater zal in een vorstperiode al gauw hoger zijn dan

de temperatuur van het rivierwater. De toename van de bevolkingsdruk zal dus leiden tot een toename van de warmte-emissie. Daarnaast is ook een toename te verwachten van de lozing van proceswater.

Het is op voorhand niet duidelijk welke van de twee invloeden groter is. Met het oog op de belangrijke invloed van de warmte-emissie op het ijsbezwaar in de rivieren is het raadzaam de toekomstige ontwikkelingen nauwgezet te blijven volgen.

5 Conclusies

Op grond van de hier uitgevoerde bureaustudie kunnen we de navolgende conclusies formuleren ten aanzien van de invloed van nevengeulen en oobossen op ijsgang.

- 1 Ijsdammen kunnen op twee manieren ontstaan, namelijk tijdens het opvriezen en tijdens de dooi. De overstromingen door ijsdammen vóór 1880 traden tijdens de dooi op. Ná 1880 hebben zich geen overstromingen meer voorgedaan door de vorming van ijsdammen. Dit is in hoofdzaak het gevolg van de uitgevoerde normalisatie en de lozing van warmte op de rivier, waardoor de dikte van het ijs tijdens vorstperiodes nu kleiner is dan voor 1880.
- 2 Ijsdammen kunnen ontstaan op plaatsen waar de capaciteit voor het transporteren van drijfijz afneemt. Dit zijn plaatsen waar de stroomsnelheid van het water afneemt. In de huidige geometrie is er sprake van een natuurlijke variatie van stroomsnelheden. Zolang de aanleg van nevengeulen niet leidt tot een versterking van de variatie in snelheden zal het gevaar voor de vorming van ijsdammen niet belangrijk toenemen door de aanleg van nevengeulen.
- 3 In principe verhoogt het drijfijz uit de nevengeulen het gevaar voor de vorming van ijsdammen in de hoofdgeul, wanneer het ijs tegelijkertijd met het ijs van de hoofdgeul moet worden afgevoerd. Wij verwachten echter dat het ijs uit de hoofdgeul eerder zal opbreken dan het ijs van de nevengeulen, waardoor het aanbod van ijs uit de nevengeulen niet zal samenvallen met het transport van ijs uit de hoofdgeul. Door het aanbrenen van een zogenaamde "ice-boom" kan het drijfijz van de nevengeul nog enige tijd worden tegengehouden.
- 4 Speciale aandacht moet worden besteed aan de vorm van de inlaat van de nevengeulen. De vormgeving moet zo worden gekozen dat zich vóór de inlaat in de hoofdgeul geen blokkade van ijs kan vormen. Dit probleem speelt met name in buitenbochten, waar het drijfijz zich door de spiraalstroming zal kunnen ophopen.
- 5 Oobos kan zonder probleem worden gesitueerd in gebieden met stroomschaduw. Situering van oobos in het stroomvoerend profiel brengt meer weerstand met zich mee, waarvoor in het kader van de rivierenwet moet worden gecompenseerd door bijvoorbeeld een vergroting van het dwarsprofiel. Bij de afvoer van drijfijz vormt oobos een fysieke belemmering. De lokatie voor oobos moet daarom met zorg worden gekozen.

Literatuur

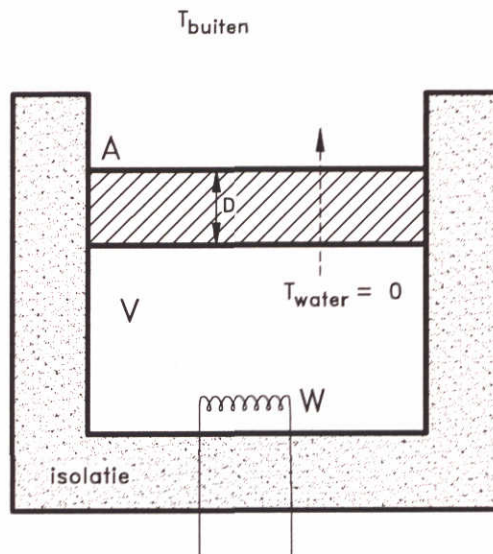
- Akkerman, G.J., 1993: Zandverdeling bij splitsingspunten; Literatuurinventarisatie voor inlaten van nevengeulen. Waterloopkundig Laboratorium, verslag Q1573.
- Beltaos, S., 1986: Monograph on River Ice Jams; Ice Jam Processes. National Research Council Canada, Working group on River Ice Jams, Canada.
- Burrell, B.C., 1989: Monograph on River Ice Jams; Ice Jam Mitigation. National Research Council Canada, Working group on River Ice Jams, Canada.
- Ettema, R., 1989: Jam Initiation in Unobstructed Channels. Proc. seminar 1, Ice jams and flooding: Analysis and control methods, 13th Congr. IAHR Ottawa, Canada.
- Haas, A.W., 1986a: Ijsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, algemeen gedeelte en ijsafvoerstrategie. Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren, AX38/ml.
- Haas, A.W., 1986b: Ijsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, bijzondere onderwerpen, Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren, AX18/ml.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Maatgevende belastingen, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Wijbenga, J.H.A., 1990: Ecologisch herstel van de Rijn; case-study nevengeul Bemmelerwaard, de tweedimensionale waterbeweging, Waterloopkundig Laboratorium, verslag Q921.

Bijlage

Invloed warmte-emissie op ijsvorming

De invloed van warmte-emissie op vermindering van ijsbezwaar op de rivier is tamelijk complex. De complexiteit wordt veroorzaakt door het feit dat processen afhankelijk zijn van tijd en ruimte. In deze bijlage wordt voor een zeer schematische situatie aangegeven wat de invloed is van warmte-emissie op ijsvorming.

Voor onze beschouwingen gaan we uit van een volume water dat aan alle zijden, met uitzondering van het wateroppervlak, volledig is geïsoleerd, zie Figuur I-1. In het watervolume bevindt zich een warmtebron W . Buiten het beschouwde volume is de temperatuur T_{buiten} lager dan het vriespunt.



Figuur I-1: Schematische weergave van de warmtestroom.

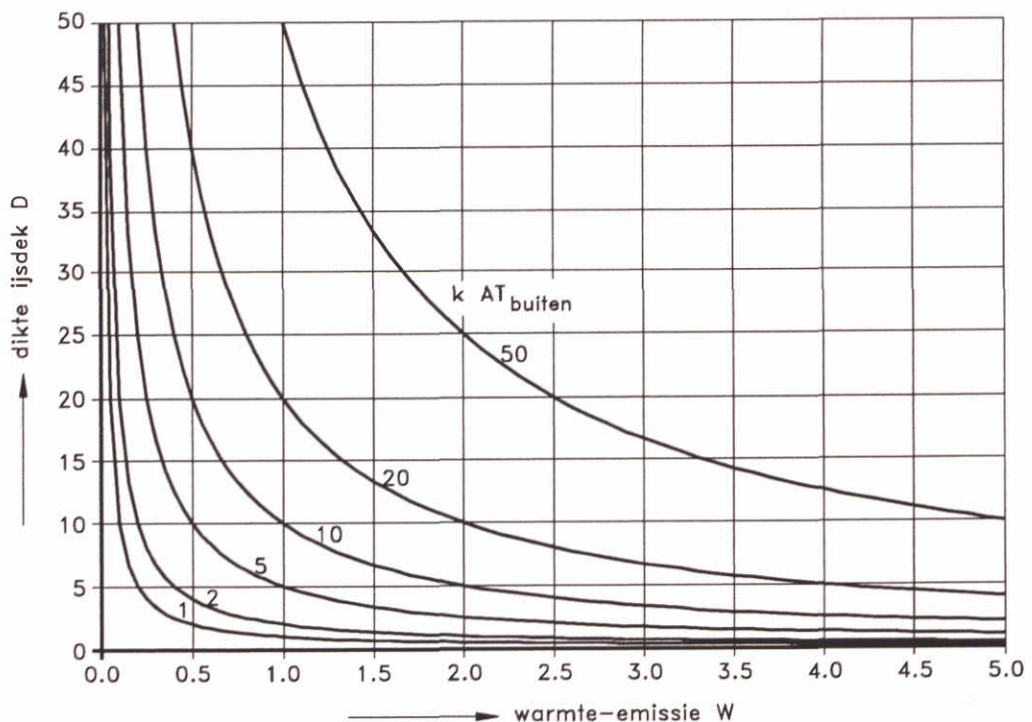
We beschouwen alleen een evenwichtssituatie waarbij de in het volume geproduceerde warmte als een constante warmtestroom door het oppervlak A naar de buitenlucht stroomt. We veronderstellen dat zich op het water een vast ijsdek heeft gevormd met een dikte D . Voor de warmteweerstand van het ijs nemen we een constante waarde k aan en we stellen de watertemperatuur onder het ijsdek op 0° .

De warmte-stroom kan worden beschreven door:

$$W = \frac{k A (T_{\text{buiten}} - T_{\text{water}})}{D} = \frac{k A T_{\text{buiten}}}{D}$$

In Figuur I-2 is het verband van bovenstaande vergelijking in grafische vorm weergegeven. Uit Figuur I-2 kunnen we afleiden dat in de evenwichtssituatie altijd ijs op het volume voorkomt. Als de warmtebron heel groot is, dus grote waarden voor W , wordt de ijslaag heel dun. Hetzelfde effect ontstaat als de buitentemperatuur of de uitwisselingsoppervlakte klein is. Een dik ijspakket ontstaat bij geringe warmte-emissie, een groot temperatuurverschil en een groot uitwisselingsoppervlak (de waarde voor de warmteweerstand beschouwen we hier als constante.)

Een verdubbeling van de warmte-emissie geeft in dit voorbeeld een halvering van de ijsdikte.



Figuur I-2: Verband tussen warmte-emissie en ijsdikte afhankelijk van uitwisselingsoppervlaken temperatuurverschil.



hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

