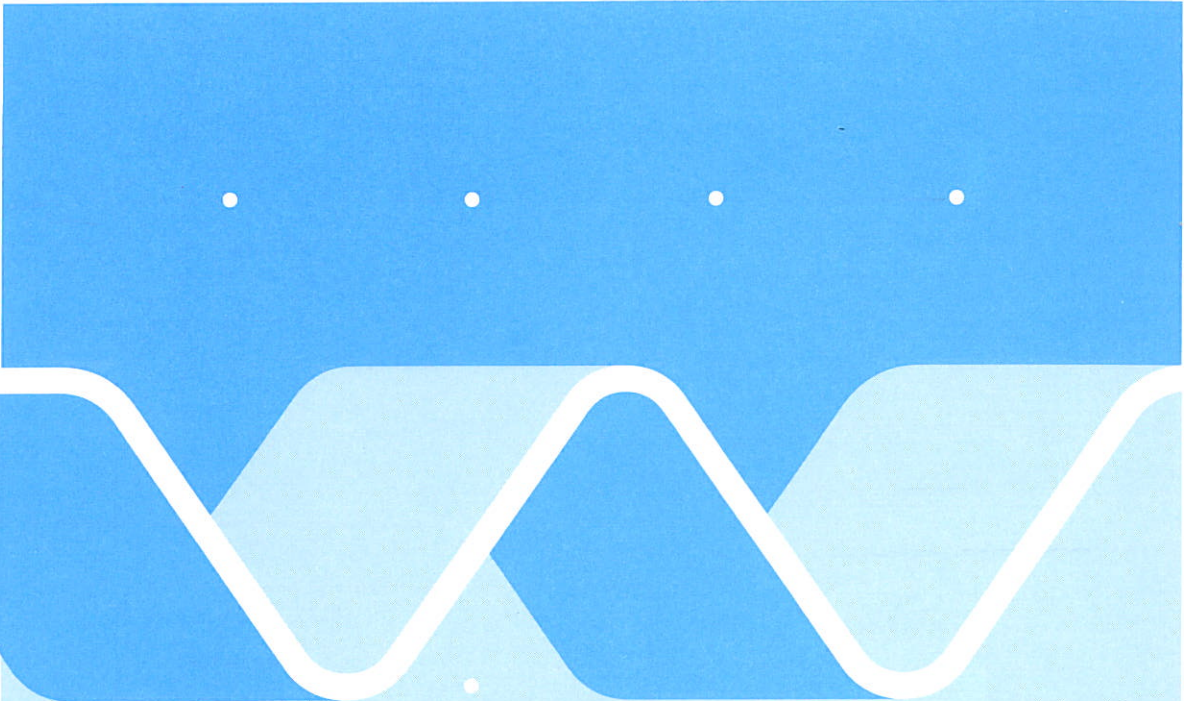




opdrachtgever:

Rijkswaterstaat

Dienst Binnenwateren / RIZA

voorkomen van ijs op de
Nederlandse Rijntakken

oriënterend literatuuronderzoek

deel I, verslag literatuurstudie

juni 1991

ARCHIEF

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	0003968
WL	Q 1064 . 1
EXPL	WL/Delft Hydraulics

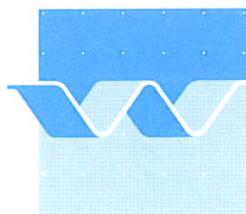
c 100903



voorkomen van ijs op de Nederlandse Rijntakken

oriënterend literatuuronderzoek

A.P.P. Termes en A. Boogaard



waterloopkundig laboratorium|WL

INHOUD

1.	Inleiding	1
2.	Omschrijving van de processen	3
2.1	Algemeen	3
2.2	De vorming van ijs	3
2.3	Het transport van ijs	4
2.4	De vorming van een ijsdam	4
2.5	De hydraulica rond een ijsdam	5
2.6	De morfologie rond een ijsdam	5
2.7	Het bezwijken van een ijsdam	5
2.8	Het voorkomen van een ijsdam	6
3.	Bestudeerde literatuur	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Algemeen	8
3.3	Transport van ijs	9
3.4	Vorming van ijsdammen	14
3.5	Bestrijding van ijsdammen	19
4.	Conclusies en aanbevelingen	23

REFERENTIES

LITERATUURLIJST

Figuur 1 Definitie zomerbed/winterbed

SAMENVATTING

Mede naar aanleiding van het optreden van een ijsdam bij Kampen in de winter 1986-1987 verleende Rijkswaterstaat opdracht tot het uitvoeren van een literatuurstudie over het ontstaan en de bestrijding van ijsdammen. Aansluitend werd opdracht gegeven voor een bureaustudie om de kans op overstromingen ten gevolge van ijsdammen te schatten. De resultaten zijn in een tweedelig verslag vastgelegd.

De resultaten van de literatuurstudie zijn vastgelegd in het onderhavige deel I, dat begint met een beschrijving van de verschillende processen, vanaf het vormen van ijs, tot en met het bezwijken van een eventueel ontstane ijsdam, (hoofdstuk 2).

Uit de verzamelde recente literatuur (86 titels, voornamelijk na 1980) is een selectie gemaakt die, gerubriceerd naar (hoofd-)onderwerp, nader wordt beschreven (hoofdstuk 3).

Er worden conclusies geformuleerd over de toepasbaarheid van gevonden methoden, modellen, enz. voor de Nederlandse situatie. Het beeld is veelbelovend, maar vaak is een nadere ijking nog gewenst. Het vormen van ijsdammen is sterk afhankelijk van de plaatselijke vorm en afmetingen van de rivier maar evenzeer van factoren als rivierafvoeren en temperaturen. Voor bestrijding van ijsdammen zijn in Nederland vooral de stuwen (als afvoerregelaars) geëigend (hoofdstuk 4).

Aanbevolen wordt het onderzoek voort te zetten om tot praktische voorspellingsmethoden te komen.

Deel 1: Oriënterend literatuuronderzoek

1. Inleiding

In vroeger tijden vrozen de belangrijke waterwegen in Nederland dicht gedurende strenge vorstperioden. De scheepvaart was dan gestremd en het wachten was op de dooi. Mede door de sterk toegenomen scheepvaart en koelwaterlozingen vriezen de hoofdwaterwegen in Nederland tegenwoordig nauwelijks meer dicht.

Een ander fenomeen dat geregeld optrad op de Nederlandse Rivieren was de vorming van ijsdammen. Aan het begin en eind van een vorstperiode werd er veel drijfijis getransporteerd op rivieren.

Als ijs zich ergens ophoopt, kunnen ijsdammen ontstaan die de afvoer van water in een riviertak gedeeltelijk blokkeren. De waterstand bovenstrooms van een ijsdam neemt dan zo sterk toe dat soms zelfs overstroming optreedt. In veel gevallen bezwijkt de ijsdam door de grote waterdruk of door dooi voordat overstroming optreedt.

Nu de rivierbedding en -oeveren door de jarenlange normalisering¹ en regulering² een veel gelijkmatiger verloop hebben gekregen, doen zich over het algemeen weinig problemen meer voor met de afvoer van ijs. Met de grote sluizen in het beneden-rivierengebied en stuwen in de Nederrijn-Lek is de afvoer van ijs ook enigszins te beïnvloeden. Verder is door opwarming van het Rijnwater het ontstaan van drijfijis en ijsdammen op de Nederlandse Rijntakken tegenwoordig alleen mogelijk tijdens zeer strenge winters.

In de winter van 1986-1987 is echter in de IJssel bij Kampen toch een ijsdam ontstaan die hoge waterstanden bij de stad veroorzaakte. De ijsdam bezweek voordat overstroming van de plaatselijke waterkering optrad, zie het ijsverslag van Rijkswaterstaat (1987). Hieruit blijkt dat met het optreden van ijsdammen in de Nederlandse Rijntakken nog steeds rekening

¹; normaliseren = de laagwatergeul van een rivier een bepaalde norm-breedte geven; zie P. Ph. Jansen, Principles of River Engineering, Londen, 1979.

²; reguleren = het riverbed een regelmatige vorm geven door het vastleggen van de rivierloop, het afsnijden van scherpe bochten en sluiten van secundaire geulen in het laagwaterbed.

moet worden gehouden.

Mede door deze ervaring uit 1987 wil Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/Riza, onderzoek doen naar de vorming van ijsdammen, het transport van ijs en bestrijdingsmethoden van ijsdammen. Met de brief van Rijkswaterstaat van 12 juli 1989, kenmerk 7330, is opdracht verleend aan WL (Waterloopkundig Laboratorium) voor het verrichten van een oriënterende literatuurstudie. In de studie is een beperkt aantal recente publicaties geëvalueerd. Daaruit is een aantal veelbelovende publicaties geselecteerd die voor de Nederlandse situatie bruikbaar zijn. In de brief van het Waterloopkundig Laboratorium van 19 mei 1989 met kenmerk RS3223/Q1064/AW/wg is de oriënterende literatuurstudie aangeboden. Naar aanleiding van de bevindingen uit het literatuuronderzoek verleende Rijkswaterstaat aan WL ook opdracht voor het geven van een aanzet tot het berekenen van de kansen op potentiële gevaarlijke situaties als gevolg van ijsdammen.

De studie is uitgevoerd door ir. A.P.P. Termes, waarbij geadviseerd is door ir. J.H.A. Wijbenga. Van de zijde van Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/Riza te Dordrecht, is het project begeleid door ir. A. van Urk en ir. E.H. van Velzen.

Het verslag van de studie bestaat uit twee delen:

In deel 1 van het verslag is een korte omschrijving van de relevante processen gegeven. De bestudeerde literatuur is geëvalueerd en opgenomen in de referentielijst. Een uitgebreid overzicht van alle verzamelde literatuur is opgenomen in de literatuurlijst. De methoden en theorieën die behandeld zijn in de verzamelde literatuur, zijn toepasbaar voor alle Nederlandse rivieren.

In deel 2 van het verslag is een aanzet gegeven voor het bepalen van de kans op overstroming van de waterkeringen langs de Nederlandse Rijntakken ten gevolge van ijsdammen. Omdat de beschikbare gegevens betrekking hebben op de Rijntakken, en nauwelijks op de Maas of andere rivieren in Nederland, is deze aanzet tot kansberekening alleen gericht op de Nederlandse Rijntakken.

2. Omschrijving van de processen

2.1 Algemeen

Bij de vorming van ijsdammen zijn een aantal hoofdprocessen te onderscheiden:

- de vorming van ijs,
- het transport van ijs,
- de vorming van een ijsdam,
- de hydraulica rond een ijsdam,
- de morfologie rond een ijsdam,
- het bezwijken van een ijsdam.

De beheerder en gebruiker van een rivier zijn naast de natuurlijke processen ook geïnteresseerd in:

- hoe het ontstaan van een ijsdam kan worden voorkomen.

Een globale omschrijving van deze aspecten is hieronder gegeven. In Zijlmans (1980) is een uitgebreidere beschrijving van alle processen opgenomen.

2.2 De vorming van ijs

Wanneer de temperatuur van het rivierwater daalt onder de 0°C zullen zich ijskristallen gaan vormen in het water. Door turbulente uitwisseling kan het water over de gehele diepte 0°C worden. Deze kristallen groeien aan rond deeltjes in het water en vormen op deze wijze kleine ijsklonten in het water, het frazil-ijs. In rivieren gebeurt dit vaak aan de bodem rond zandkorrels (grond-ijs). Daarna groeien de ijsdeeltjes aan elkaar tot grotere vormen, die (ijs is lichter dan water) aan het wateroppervlak drijfsijs gaan vormen. De verdere afkoeling van het water wordt dan gereduceerd omdat het drijfsijs plaatselijk als isolatie gaat werken.

Voor het ontstaan van ijs moet het water voldoende koud zijn. In gedeelten met langzaam stromend of stilstaand water vindt bevriezing plaats aan het wateroppervlak. Het warmere water, dat bij 4°C de grootste dichtheid heeft, zakt naar de bodem en bevriest pas als het de warmte afdraagt aan de lucht via het bovenliggende ijsdek.

Een vast ijsdek ontstaat het eerst op plaatsen met stilstaand water. Daarna volgen plaatsen waar de stroomsnelheden klein zijn. Bij aanhoudend lage temperaturen zal ook stromend water en water in getijgebieden geheel kunnen dichtvriezen.

2.3 Het transport van ijs

Drijfijis wordt met de stroom meegevoerd. In het algemeen bevindt het ijs zich aan het wateroppervlak, waar de stroomsnelheden het grootst zijn. Het ijs wordt daarom met een grotere snelheid dan de gemiddelde stroomsnelheid getransporteerd. In bochten zal door centrifugale krachten het ijs naar de buitenbocht worden gedreven waardoor de concentratie van het drijfijis daar groter is dan in binnenbochten. Vooral in kribvakken en op uiterwaarden waar de stroomsnelheden en de waterdiepte klein zijn, kan het ijs vast komen te zitten. Verder kunnen pijlers in de rivier het transport van drijfijis bemoeilijken, waardoor dan lokaal de concentratie van het drijfijis toe kan nemen.

2.4 De vorming van een ijssdam

Onder een ijssdam wordt verstaan: een opeenhoping van ijs die de afvoer van rivierwater en eventueel drijfijis geheel of gedeeltelijk blokkeert. Omdat een ijssdam zich vaak over een groot oppervlakte uitstrekt, wordt hij soms ook wel aangeduid als "ijsdek".

Ijssdammen ontstaan in het algemeen in gebieden waar de stroomsnelheid in de rivier afneemt. Daardoor neemt de transportcapaciteit van het water af en de concentratie van het drijfijis toe. De losse elementen pakken samen en vriezen aan elkaar tot grotere elementen. Aan de oevers, of bij ondiepten, lopen elementen vast en blokkeren de doorgang voor ander drijfijis. Op deze wijze groeit de rivier over de breedte dicht en vormt zich tenslotte een vast ijsdek of ijssdam. Een soortgelijk proces kan zich voordoen in scherpe rivierbochten, bij pijlers, bij rivierverbredingen, bij splitsingspunten en samenvloeiingen en bij de uitloop van rivieren in meren.

Als een ijssdam zich eenmaal gevormd heeft, kan deze zich in stroomopwaartse richting over enkele kilometers uitbreiden door de aanvoer van drijfijis. Als de stroomsnelheden voldoende groot zijn kan aangevoerd drijfijis door de stroom onder de ijssdam terecht komen en daar vast komen te zitten. Op deze wijze neemt de dikte van de ijssdam snel toe tot enkele meters.

Ijssdammen vormen zich aan het begin van een vorstperiode uit drijfijis, maar

ook aan het einde van een vorstperiode als stroomopwaarts het vaste ijsdek losraakt en als drijfijis wordt afgevoerd.

2.5 De hydraulica rond een ijsdam

Door de vorming van een ijsdek en/of ijsdam neemt de lokale weerstand van een rivier toe doordat:

- het ijs de rivier van boven afdekt waardoor de hydraulische straal afneemt (globaal halveert),
- de onderkant van het ijsdek, net als de rivierbodem ruw is,
- het doorstroomprofiel verkleind wordt door het aanwezige ijs.

Deze effecten reduceren de afvoer van ijs en water, waardoor het lokale verval toeneemt, en daardoor ook de waterstand bovenstrooms van de ijsdam. Wanneer de ijsdam lang genoeg standhoudt en er van bovenstrooms voldoende water wordt aangevoerd, zal door opstuwing de waterstand over een grote afstand bovenstrooms van de ijsdam stijgen. Uiteindelijk kan dit overstrooming van de rivierdijken tot gevolg hebben.

2.6 De morfologie rond een ijsdam

Het extra verval óver de ijsdam (zie 2.5) geeft grote stroomsnelheden onder de ijsdam, ondanks de toegenomen ruwheid en het kleinere doorstroomprofiel. Daardoor kan onder de ijsdam het water meer sediment meenemen en zal erosie van de bodem kunnen optreden. Benedenstrooms van de ijsdam neemt de stroomsnelheid af en zal het getransporteerde bodemmateriaal neerslaan. Het resultaat is dat onder de ijsdam de waterdiepte toeneemt en benedenstrooms van de ijsdam de waterdiepte lokaal afneemt. Deze ondiepte kan problemen geven voor de scheepvaart (ijsbrekers, beroepsvaart) ook nadat al het ijs gesmolten is.

2.7 Het bezwijken van een ijsdam

Een ijsdam bezwijkt als de uitwendige krachten groter zijn dan de sterkte van de ijsdam. Krachten op de ijsdam worden onder andere veroorzaakt door het verval over de ijsdam, stroomkrachten, wrijvingskrachten, opwaartse krachten van het water en het gewicht van het ijs. De sterkte van een ijsdam wordt onder andere beïnvloed door de lucht- en watertemperatuur, de zonnestraling, de porositeit van het ijs, en de geometrie van de opleg-

punten van de ijsdam. De sterkte van een ijsdam neemt toe als kleinere ijs-elementen aan elkaar vriezen tot grotere elementen.

De ijsdam zal bezwijken als de sterkte afneemt tijdens de dooi, de oplegpunten de krachten niet meer kunnen opnemen of als de krachten op de ijsdam te veel toenemen. De ijsdam kan dan in zeer korte tijd bezwijken, waardoor het opgestuwde water bovenstrooms ervan plotseling versnelt en een translatiegolf benedenstrooms kan veroorzaken. Als het ijs na bezwijken van de ijsdam niet afgevoerd kan worden door de benedenstroomse rivier, is er kans op het ontstaan van een nieuwe ijsdam.

2.8 Het voorkómen van een ijsdam

Een belangrijk hulpmiddel tegen ijsdammen is het reguleren van de rivier. Door het reguleren krijgt namelijk de laagwatergeul een veel gelijkmatiger verloop; door het afsnijden van bochten en het sluiten van secundaire geulen verdwijnen veel oneffenheden waar zich ijs op zou kunnen vastzetten. Een eventuele ijsdam zal ook eerder bezwijken bij gebrek aan steunpunten. Ook het winterbed moet zo glad mogelijk zijn. Daar is dan ook sinds jaar en dag het beheer op gericht, overeenkomstig de Rivierenwet 1908.

Verder is effectief: voorkómen van stroomvertraging, toevoegen van koelwater, vergroten van de warmte-opname van het ijs, afvoeren van ijs naar zee in combinatie met het breken van ijs, of het laten ontstaan van een egaal ijsdek. Dit laatste behoeft enige toelichting:

Een egaal ijsdek (de rivier over grotere afstand gewoon dichtgevroren) veroorzaakt wel weerstand, maar blokkeert de stroming in de rivier niet. Een gesloten ijsdek werkt isolerend en remt daardoor de ijsvorming. Een gebroken ijsdek daarentegen geeft juist extra ijsvorming in de gevormde open plekken. Tijdens de dooi zal van een egaal ijsdek eerst de dikke gelijkmatig afnemen (waardoor minder ijs overblijft) en pas in een later stadium zal het dunne ijsdek losbreken tot schotsen. De kans op het ontstaan van ijsdammen is dan relatief klein omdat de hoeveelheid ijs niet groot meer is.

Als zich toch een ijsdam heeft gevormd, kan de ijsdam gebroken worden met ijsbrekers of springstoffen, maar voorwaarde is dat het drijfijis daarna afgevoerd kan worden door de rivier.

3. Bestudeerde literatuur

3.1 Inleiding

In de onderhavige oriënterende literatuurstudie is voornamelijk recente literatuur van na 1980 behandeld. Een gedeelte van de recente literatuur op het gebied van ijsdammen wordt in dit hoofdstuk besproken. De literatuur is geselecteerd op basis van de vragen die Rijkswaterstaat DBW/Riza stelt:

- Hoe en wanneer ontstaan ijsdammen in de verschillende regio's (bovenrivieren, benedenloop IJssel, Noordelijk Deltabekken, semi-stagnante bekkens).
- Wat is de invloed van wind op het gedrag van ijsschotsen (mogelijkheden voor ijsafvoer in benedenrivieren bij kleine rivierafvoer).
- Wat zijn gevolgen van sterke wind tijdens ijs op semi-stagnante bekkens.
- Wat is de invloed van koelwaterlozingen en hoe kan hiervan gebruik gemaakt worden bij het voorkomen van ijsdammen.
- Welke voorspellingsmethoden voor de vorming van ijs op rivieren en semi-stagnante bekkens zijn beschikbaar.
- Als een ijsdam is ontstaan, hoe kan deze dan het beste worden bestreden.

Aan de hand van deze vragen is literatuur verzameld waaruit een aantal publikaties is gekozen die bestudeerd zijn. Het oriënterend literatuuronderzoek richt zich op een aantal hoofdaspecten van de gestelde vragen, namelijk:

- Transport van ijs,
- Vorming van ijsdammen,
- Bestrijden van ijsdammen.

De bestudeerde literatuur is per hoofdaspect in de volgende paragrafen kort geëvalueerd en aangegeven is welke artikelen mogelijk te gebruiken zijn voor verdere studie. Voor ieder artikel is de waarde voor de Nederlandse situatie aangegeven. De nadruk van de evaluatie van de artikelen ligt op het beschikbaar zijn van methoden waarmee processen gekwantificeerd kunnen worden.

Aan het eind van dit verslag zijn twee lijsten opgenomen:

1. de referentielijst, die de bestudeerde literatuur omvat,
2. de literatuurlijst, die alle verzamelde literatuur omvat.

3.2 Algemeen

Het meest interessant is literatuur op basis waarvan processen gekwantificeerd kunnen worden. Er zijn echter ook een aantal interessante studies gevonden waarin de processen meer kwalitatief worden beschreven. Deze studies worden hieronder kort besproken.

Zijlmans (1980)

Een zeer interessante studie waarin onder andere behandeld worden de vorming van ijs en ijsdammen, bestrijdingsmogelijkheden van ijsbezwaar en veranderingen in de ijsbezetting op de Nederlandse rivieren in deze eeuw. In het verslag van de studie zijn gegevens van vele ijswinters opgenomen. De studie geeft een duidelijk overzicht van de belangrijkste processen bij de vorming van ijs en bij ijsbestrijding en een historisch overzicht van de Nederlandse situatie van 1890 tot 1980. Het verslag bevat een uitgebreide literatuurlijst, die voornamelijk Nederlandse literatuur bevat.

De Haas (1986, a en b):

De nota "IJsafvoerproblematiek" behandelt vrijwel alle aspecten van ijs voor de Nederlandse situatie. Beschreven zijn de fasen in een ijswinter, de afvoer van de Bovenrijn, gevaren in een ijswinter en bevordering van de ijsafvoer.

De nota is bedoeld om een strategie op te stellen voor de ijsafvoer op de Nederlandse rivieren. In de nota is een historisch overzicht gegeven van ongeveer twee eeuwen ijswinters in Nederland. Naast de onderwerpen die direct met ijsvorming en ijsbestrijding op rivieren te maken hebben, zijn onderwerpen opgenomen zoals: de gevolgen voor de ecologie, het milieu en drinkwater-inname, alsmede de gevolgen van het opwarmen van het Rijnwater en het voorkomen van ijsvorming aan constructies. Een belangrijk onderdeel van de nota is een verhandeling over de frequentie van voorkomen van ijsgang op de Nederlandse Rijntakken in de huidige tijd.

WL (1976)

Met deze studie is getracht de gevolgen van ijsvorming voor de waterstanden op de Nederlandse Rijntakken te kwantificeren. IJsvorming en ijsbestrijding zijn behandeld voor de Nederlandse situatie, gebaseerd op beschikbare (nationale en internationale) literatuur. De verschillen tussen de situatie vóór en na het verwezenlijken van de Deltawerken, en de opwarming van het Rijnwater zijn behandeld. Het blijkt dat het gebruik van explosieven voor het opruimen van ijssdammen voor de Nederlandse situatie ongeschikt is.

De IJssel is relatief gevoelig voor vorming van ijssdammen doordat de ijsafvoercapaciteit bij de IJsselmond nihil is. In het verslag is een methode gepresenteerd voor het voorspellen van waterstanden langs de IJssel in ijswinters. De methode is gebaseerd op de enkele beschikbare gegevens van ijswinters sinds 1890 en heeft daardoor een betrouwbaarheidsinterval met ver uiteen liggende grenzen.

3.3 Transport van ijs

Ackermann et al (1981), [Transportation of ice in rivers]

Als het aantal ijsschotsen aan het wateroppervlak klein is, vindt het transport van ijs plaats met de watersnelheid aan het oppervlak. Bij toename van het aantal ijsschotsen vindt onderlinge beïnvloeding plaats. Er ontstaan schuifspanningen tussen de ijsschotsen onderling, en tussen de schotsen en de oevers. Deze schuifspanningen verkleinen de stroomsnelheid aan het wateroppervlak, waardoor de ijstransport-capaciteit afneemt. Bij verdere toename van het aantal ijsschotsen neemt de ijstransport-capaciteit uiteindelijk af tot nul.

Het ijstransport aan het wateroppervlak is afgeleid uit de continuïteits-vergelijking voor het ijsdek. Verder is het water onder het ijsdek verdeeld in twee gedeelten. De stroming in het bovenste gedeelte wordt beïnvloed door de ruwheid van het ijs, en in het onderste gedeelte door de bodemruwheid. Dit levert een uitdrukking op voor de ijssnelheid aan het wateroppervlak en een totaal (water)debiet.

De verhouding van het ijstransport en het debiet is met behulp van dimensie-analyse bepaald. Voor verschillende stromingsomstandigheden is de relatie tussen het ijstransport en de ijsconcentratie bepaald. Voor toenemende ijsconcentratie neemt het ijstransport toe. Het blijkt dat een maximum ijstransport-capaciteit optreedt voor ijsconcentraties tussen de

0,6 en 0,7 (concentratie = bezetting van het wateroppervlak door ijs). Bij verdere toename van de ijsconcentratie neemt het ijstransport af. De maximum ijsconcentratie voor de dichtste pakking van cirkelvormige ijschotsen is 0,84 waarbij het ijstransport nul is.

In het artikel zijn voor verschillende trapeziumvormige doorstroomprofielen relaties gegeven voor de verhouding van het maximum ijstransport en het totale (water)debiet. Deze verhouding hangt af van:

- de afmetingen (diameter, dikte) van de ijsschotsen,
- de breedte bij de bodem van het trapeziumvormige doorstroomprofiel,
- de oeverhelling,
- het debiet,
- het bodemverhang langs de stroomas.

De relaties zijn bepaald op basis van berekende resultaten waarbij deze parameters zijn gevarieerd. De grenzen waarbinnen de verschillende parameters zijn gevarieerd, zijn aangegeven. Er is geen vergelijking gemaakt tussen het berekende en gemeten maximum ijstransport.

Conclusie:

De relaties voor het maximum ijstransport zouden toegepast kunnen worden voor de Nederlandse situatie. Bij gegeven doorstroomprofiel en bodemhelling op een lokatie kan het maximum ijstransport berekend worden als het debiet en de afmetingen van de ijsschotsen bekend zijn. De ijsconcentratie aan het wateroppervlak kan vanuit de lucht worden bepaald en geeft direct een indicatie of het maximum ijstransport optreedt (ijsconcentratie tussen 0,6 en 0,7). Er kan ook bepaald worden of bij toename van de ijsconcentratie stagnatie van de ijsafvoer kan optreden (ijsconcentratie groter dan 0,8). Dit vereist het geregeld uitvoeren van verkenningsvluchten boven de Nederlandse Rijntakken in een winter waarin drijfijis voorkomt.

Ashton (1986), [River and lake ice engineering]

In dit boek is uitgebreid ingegaan op verschillende aspecten van ijs. Het omvat de volgende onderwerpen:

- IJsfysica (ijsstructuur, dichtheid, rheologie, thermische en mechanische eigenschappen)
- IJsmechanica (krachten op ijs, ijskrachten verticaal en op oevers, bezwijken van ijsschotsen door knik, oscillaties van constructies door ijsbelasting, sterkte van ijsschotsen)

- Thermisch regiem van meren en rivieren (variaties in thermisch regiem, warmte-uitwisseling, ontstaan van ijs, dooi, menselijke ingrepen)
- Hydraulica (soorten ijsdek, frazil-ijs en grondijs in rivieren en meren, weerstand door ijsdek, dooi, voorspellen van ijs)
- Modelleren van ijs (ijseigenschappen, schaalregels, modelleren van interacties tussen ijs en constructie)
- Beperking van ijsvorming (hydraulische, thermische en mechanische methoden)
- Remote sensing (radar, luchtfoto's, satellietbeelden)
- Ijsbrekers (ontwerpregels, testen in schaalmodel, moderne ijsbreekapparatuur)

Het boek geeft van al deze onderwerpen een uitgebreide kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving. Per hoofdstuk is een uitgebreide literatuurlijst opgenomen.

Conclusie:

Het is een zeer nuttig recent handboek waarin onder andere de verschillende aspecten van ijstransport en het ontstaan van ijsdammen beschreven zijn, alsmede het bestrijden van ijsdammen. Opgemerkt wordt dat in het boek schaalregels zijn gegeven voor het modelleren van ijstransport in schaalmodellen.

Maas et al (1990), [Vorming en transport van ijs op rivieren]

In dit afstudeerverslag is een wiskundig model gepresenteerd dat het ontstaan en de ontwikkeling van een ice-jam (ontstaan van een vast ijsdek) simuleert. Een ice-jam bestaat uit ijsschollen die ineengeschoven worden door de stromings- of windkracht. De stroming kan zowel sub- als superkritisch zijn. Het model is gebaseerd op de ééndimensionale vergelijkingen voor waterbeweging en ijsvorming zoals beschreven in Ashton (1986) en Shen et al (1988). Als een vast ijsdek is ontstaan, berekent het model de dikte van de ice-jam, waterstanden en het sedimenttransport onder het ijsdek. De waterbeweging voor een situatie met een geul in het ijsdek (gevormd door brekers) kan ook met het model berekend worden. Een aanzet is gegeven voor de ijsverdeling over splitsingspunten op basis van de debietverdeling. Het model is niet getoetst met praktijkgegevens en er is geen analyse van de nauwkeurigheid en stabiliteit van de numerieke methode uitgevoerd.

Conclusie:

Het numerieke model voor een ice-jam is voor de Nederlandse situatie ontwikkeld. Toepassing voor uitstroming in een meer en bij breedteverandering in een rivier geeft redelijke resultaten. Het model is eenvoudig van opzet en doorzichtig en bevat enkele interessante opties.

Shen et al (1988), [Dynamic transport of river ice]

In het artikel is een tweedimensionaal (horizontaal) theoretisch model geformuleerd voor het dynamische transport van drijfsijs, gebaseerd op de bewegingsvergelijkingen en continuïteitsvergelijking voor het ijs. In de vergelijkingen is de invloed van wind opgenomen en de toe- of afname van ijs (door bevroering of dooi). Voor de schuifspanning tussen ijsschotsen onderling en de schuifspanning aan de oevers zijn bestaande uitdrukkingen uit andere literatuur gebruikt.

Uit de algemene vergelijkingen voor het ijs is een ééndimensionaal wiskundig model afgeleid. Met het wiskundige model zijn berekeningen uitgevoerd waarvan resultaten gepresenteerd zijn. Uit de resultaten is als functie van de ijsconcentratie af te leiden: de ijssnelheid, het ontstaan van een ijssdam (snelheid nul) en de dikte van de ijssdam. In de conclusies van het artikel is opgemerkt dat een tweedimensionaal model betere voorspellingen zal geven. De resultaten zijn niet vergeleken met meetresultaten. Dit artikel is een korte beschrijving van de dissertatie van Tsai (1989, zie hieronder).

Conclusie:

Het ééndimensionale wiskundige model kan gebruikt worden voor de Nederlandse situatie, zie Maas et al (1990). Voor een riviertak kan berekend worden wat het ijstransport is en wanneer en waar een ijssdam ontstaat en hoe dik de ijssdam wordt. Indien voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan het model aan een Nederlandse situatie getoetst worden.

Tsai (1989), [Dynamic transport of river ice]

In deze dissertatie is uitgebreid ingegaan op de volgende aspecten:

- Formulering van het ijstransport op rivieren (theorie van de volledige vergelijkingen voor het ijstransport)
- Weerstand tussen ijsschotsen en oeverkrachten (vergelijkingen voor de schuifspanning tussen ijsschotsen en schuifspanning opgewekt aan de oever.

- Berekende relaties onder verschillende condities zijn gepresenteerd)
- Numerieke oplossing voor de ijstransportvergelijkingen (numerieke schema's voor de verschillende vergelijkingen, voorbeelden van berekeningen waaronder berekening van de dikte van het ijsdek)
- Numerieke oplossing van de gekoppelde vergelijkingen voor ijstransport en waterbeweging (behandeling schuifspanningen aan de grenzen, relatie tussen stroom- en ijssnelheid, voorbeelden)

Het ééndimensionale model waarmee berekeningen zijn uitgevoerd, is achter in de dissertatie opgenomen en voorzien van een gebruikershandleiding. Het programma is geschreven in FORTRAN. De juistheid van het model is nog niet aangetoond door vergelijking met meetresultaten. Een samenvatting van de dissertatie is gegeven in Shen (1988).

Conclusie:

Een interessante dissertatie waarin het ijstransport theoretisch duidelijk is behandeld en gekwantificeerd. In feite is de dissertatie gebaseerd op een deel van de recente literatuur die de verschillende aspecten van het ijstransport behandelt. De theorie geldt algemeen en is een goede hulp om het mechanisme van ijstransport te begrijpen. Het ééndimensionale model kan gebruikt worden om de gevoeligheid van verschillende parameters te bestuderen bij het voorspellen van ijstransport en is in principe toepasbaar voor de Nederlandse situatie. Het model is nog niet getoetst aan metingen.

Yapa et al (1984), [An unsteady flow model of river ice hydraulics]

In het artikel is een ééndimensionaal wiskundig model gepresenteerd voor het berekenen van de waterbeweging in een rivier die bedekt is met ijs. Het model bestaat uit:

- de ééndimensionale tijdsafhankelijke waterbewegingsvergelijkingen,
- een empirische relatie die de groei en afname van de dikte van het ijsdek voorspelt, en
- een empirische relatie die de weerstand van het ijsdek voorspelt.

Het model is geijkt voor de St. Lawrence rivier in het noorden van de VS, en het is geverifieerd met gegevens over een periode van vijf jaar. Het model voorspelt de dikte van het ijsdek, waterstanden en het ontstaan van ijssdammen in de rivier gedurende de gehele winterperiode.

Conclusie:

Een eenvoudig wiskundig model dat voor een rivier in de VS is opgezet, maar in de Nederlandse situatie in principe gebruikt kan worden. Echter, het model moet daartoe eerst voor de Nederlandse situatie geijkt en geverifieerd worden met beschikbare gegevens van ijsdikte, bodem- en ijsruwheid, rivierafvoeren en waterstanden.

3.4 Vorming van ijsdammen

Ackermann et al (1979), [Mechanics of river ice jams]

Een zelfde artikel als Ackermann (1981), zie Paragraaf 3.2.

Baginska et al (1989), [Proceedings of ice seminar - Warsaw 1989]

Een aantal interessante artikelen, gepresenteerd op een congres, over verschillende aspecten van ijsdammen. Interessant zijn vooral de artikelen over:

- Beheersing van het ontstaan van ijsdammen
- Verandering van het thermische regime van een rivier
- Schatting van evaporatie voor het berekenen van warmteverlies van een ijsdek
- Instationaire stroming van water onder een ijsdek
- Hydraulica van ijsdam-ontwikkeling
- Modelstudie van een drijvende ijsversperring

Conclusie:

Bevat interessante artikelen waarin details van het gedrag van ijs behandeld zijn. De resultaten kunnen in principe gebruikt worden voor de Nederlandse situatie.

Beltaos (1983), [River ice jams: theory, case studies and applications]

Het artikel geeft een duidelijke beschrijving van de hydraulica rond ijsdammen. De theoretische achtergrond van de stroming onder een ijsdam is behandeld. Het doorstroomoppervlak is verdeeld in twee gedeelten. De stroming in het onderste gedeelte wordt beïnvloed door de bodemruwheid en in het bovenste gedeelte door de ruwheid van de onderzijde van het ijsdek. Een empirische relatie voor het bepalen van de ruwheid van de onderzijde van het ijsdek is gegeven.

Voor het ontstaan van een ijsdam is een krachtenbalans opgesteld waarin een aantal coëfficiënten zijn opgenomen. Voor de coëfficiënten zijn waarden gegeven, die gebaseerd zijn op meetresultaten van rivieren in Canada. De analyse levert een uitdrukking op voor de dikte van de ijsdam als functie van de stromingsomstandigheden. De relatie blijkt goed overeen te komen met (Canadese) meetresultaten.

Ten slotte zijn twee methoden beschreven om de dikte van het ijsdek te berekenen, alsmede de waterdiepte.

Conclusie:

Zeer bruikbaar artikel dat een goed overzicht geeft van de processen rond het ontstaan van ijsdammen. De relaties voor de dikte van het ijsdek, de ijsruwheid en de waterdiepte zijn opgesteld voor rivieren in Canada maar zouden voor de Nederlandse situatie gebruikt kunnen worden. De relaties moeten daartoe evenwel geijkt en geverifieerd worden met meetresultaten van Nederlandse rivieren.

Calkins (1983), [Ice jams in shallow rivers with floodplain flow]

In het artikel is de dikte van ijsdammen behandeld. Gebaseerd op een krachtenbalans voor een drijvend ijsdek, is een relatie gegeven voor de evenwichtsdikte van het ijsdek als functie van de stromingsomstandigheden. De relatie is in uitgebreide vorm ook geldig voor een rivier met stroming in het winterbed. De relatie is vergeleken met meetresultaten van rivieren in het noorden van de VS.

Voor het bepalen van maximum waterstanden die opgetreden zijn tijdens de aanwezigheid van ijsdammen is een handige methode gegeven: er wordt na de winter gekeken tot welke hoogte de bomen langs de rivier beschadigd zijn door ijsgang. Vergelijking met normaal gemeten waterstanden laat zien dat de methode redelijk betrouwbare informatie oplevert.

Conclusie:

Een bruikbaar artikel dat eenzelfde aanpak heeft als het artikel van Beltaos (1983). De methode, mits geijkt en geverifieerd, kan gebruikt worden voor de Nederlandse situatie.

Ettema (1989), [Jam initiation in unobstructed channels]

In dit artikel zijn de resultaten gepresenteerd van een serie laboratorium proeven, waarin het ontstaan van ijsdammen is onderzocht in goten zonder obstakels. In het algemeen ontstaan ijsdammen in een rivier bovenstrooms

van een vast ijsdek. Met de proeven is in een rechte goot en in een sinusvormige goot onderzocht hoe een ijsdam ontstaat onder stationaire stromingsomstandigheden. In het artikel wordt gesteld dat er weinig bekend is over het principe van het ontstaan van ijsdammen, vandaar de proeven-serie.

Met dimensie-analyse is een relatie afgeleid tussen de ijsafvoer en het Froude-getal, de gootbreedte en de ijsschots-afmetingen. Deze parameters zijn in de proeven gevarieerd. Het ontstaan van een ijsdam is in het artikel zeer goed beschreven en in duidelijke schetsen gepresenteerd. De resultaten van de proeven zijn kwalitatief, maar geven inzicht in het mechanisme waardoor ijsdammen ontstaan. Er zijn geen schaalrelaties gegeven, noch een uitgebreide beschrijving van de proeven.

Conclusie:

Zeer duidelijk maar kort artikel waarin het principe van het ontstaan van ijsdammen in goten zonder obstakels beschreven is. Het artikel is zeer geschikt voor het verkrijgen van een duidelijk inzicht in het principe van het transport van drijfijis en het ontstaan van ijsdammen.

Majewski et al (1988,a),

[Hydraulic conditions in open channels with ice cover]

In dit artikel is een wiskundig model behandeld waarmee het verloop van de waterspiegel berekend kan worden, wanneer ijs op een rivier aanwezig is. Het doorstroomprofiel is in een aantal stroombanen verdeeld en per stroombaan is onderscheid gemaakt in de bodem- en ijsruwheid. Het model is gebaseerd op de Bernoulli-vergelijking. Voor verschillende stromingssituaties zijn berekeningsresultaten vergeleken met meetresultaten van een reservoir in de Vistularivier in Polen. Het blijkt dat de ruwheid van het ijsdek grote invloed heeft op de resultaten van het model, zie daarvoor Majewski (1988,b). Na calibratie van het model zijn goede resultaten te verkrijgen.

Conclusie:

Het wiskundig model voor het berekenen van de waterbeweging in een rivier met ijsdek of ijsdam lijkt in principe toepasbaar te zijn voor de Nederlandse situatie, mits het geijkt en geverifieerd wordt. De informatie over het model is echter te summier voor direct gebruik.

Majewski et al (1988,b), [Determination of roughness coefficient of the underside of ice cover]

Het artikel beschrijft twee eenvoudige methoden om de ruwheid van de onderzijde van het ijs te meten.

De ruwheid van de onderzijde van een ijslaag kan bepaald worden door het meten van het stroomsnelheidsprofiel onder het ijs. Er is uitgegaan van een logaritmisch stroomsnelheidsprofiel waarvoor de twee coëfficiënten bepaald zijn uit gemeten snelheden.

De andere methode is opgezet om de (totale) ruwheid van een riviertak te bepalen met behulp van een wiskundig model. Met een ééndimensionaal model, zie Majewski (1988,a) voor de waterbeweging is de verhanglijn berekend. De berekende verhanglijn is vergeleken met de gemeten verhanglijn. De ruwheid in het wiskundig model wordt zo aangepast dat de berekende verhanglijn goed overeenkomt met de gemeten verhanglijn.

Conclusie:

De beschreven methoden zijn eenvoudig toe te passen, maar vereisen (moeilijke) meetmethoden:

- of er moeten waterstanden gemeten worden op een groot aantal plaatsen langs een met ijs bedekte rivier,
- of er moeten op een aantal plaatsen in een riviertak stroomsnelheidsverdelingen (vertikalen) onder het ijsdek gemeten worden.

De meetmethoden lijken in principe uitvoerbaar voor de Nederlandse situatie.

Matousek (1988), [Hypothesis of dynamic ice bridge formation]

Het artikel beschrijft een methode die op theorie en meetresultaten is gebaseerd om een criterium te vinden voor het ontstaan van een ijssdam. De methode gaat uit van een evenwicht tussen stromingskrachten en weerstandskrachten op een ijssdam. In de uitdrukkingen voor de krachten zijn coëfficiënten gebruikt die bepaald zijn met behulp van meetresultaten. Uiteindelijk is een eenvoudige uitdrukking verkregen voor het criterium voor het ontstaan van een ijssdam in een rivier. Het criterium is geverifieerd met observaties in Tsjechische rivieren. De resultaten vertonen nogal wat spreiding.

Conclusie:

Het criterium voor het ontstaan van een ijssdam is zeer eenvoudig en met enkele simpel te bepalen parameters te berekenen. Voor de Nederlandse

situatie is het criterium in principe te gebruiken, alleen zou het voor die situatie geijkt en geverifieerd moeten worden. Het criterium lijkt geschikt voor de Nederlandse situatie om snel lokaties te bepalen waar ijsdammen dreigen te ontstaan, zodat tijdig meetcampagnes of ijsbestrijding kunnen worden gemobiliseerd.

Urroz Aguirre (1988), [Studies on ice jams in river bends]

Een zeer gedetailleerde studie van het transport van ijs door rivierbochten. De studie bestaat uit een theoretisch gedeelte waarin het ontstaan van ijsdammen in rivierbochten is behandeld. De theoretische studie behandelt de evenwichtsituatie van ijsdammen in rivierbochten alsmede de stroming van water en het sedimenttransport in bochten onder een ijsdek.

In het tweede gedeelte van de studie is het onderzoek beschreven dat gedaan is in een gekromde goot met rechthoekige doorsnede alsmede in een gekromde goot met een alluviale (zand)bodem. Onderzocht is de invloed van de ondiepe binnenbocht (point-bars) op het ontstaan van ijsdammen.

In het derde gedeelte van de studie is het gedrag van de sterkte van een drijvend ijsdek behandeld. Naast de theorie zijn resultaten van laboratoriumproeven behandeld.

Conclusie:

De studie lijkt een zeer gedegen onderzoek met interessante aspecten voor de Nederlandse situatie. Voor de directe toepassing is de studie te theoretisch, maar het geeft inzicht in de verschillende processen van ijstransport in rivierbochten.

Zhukova (1979), [Formation of ice jams and their distribution]

In het artikel is op basis van observaties in Russische rivieren een criterium gegeven voor het ontstaan van ijsdammen. Het criterium is gedefinieerd als de kans van optreden van een ijsdam die gerelateerd is aan de variatie in het debiet. Hoe de analyse precies uitgevoerd is en hoe de parameters gedefinieerd zijn, is niet uit het artikel te bepalen.

Conclusie:

De resultaten zijn alleen toepasbaar voor de onderzochte rivieren in Rusland. Voor de Nederlandse situatie is de beschreven methode in het artikel van weinig belang.

3.5 Bestrijding van ijsdammen

Beltaos (1984), [River ice break-up]

In het artikel is een duidelijk overzicht gegeven van de aspecten die een rol spelen bij het natuurlijk afbreken van ijsdammen. De mechanica van ijsdammen en het ontstaan van breukpatronen is kort behandeld, waarbij verwezen is naar Billfalk (1982). Een criterium is gegeven voor de vorming van een ijsdam, alsmede voor de ontwikkeling van een ijsdam tot een evenwichtsituatie. Het artikel van Beltaos (1983) vormt hiervoor de basis. Het blijkt dat het voorspellen van het afbreken van een ijsdam bepaald wordt door vele factoren. Deze factoren zijn moeilijk te meten of zeer variabel.

Conclusie:

Een zeer interessant artikel omdat het een goed overzicht geeft van het ontstaan tot het afbreken van ijsdammen. Er is duidelijk verwezen naar andere artikelen die achtergronden van de kwantitatieve relaties geven.

Billfalk (1982), [Ice cover formation and break-up of solid ice covers on rivers]

In het artikel is een overzicht gegeven van met name de mechanica van het afbreken van ijsdammen. Het afbreken van ijsdammen begint met het vormen van scheuren langs de oevers. Dit begint als de dooi intreedt of kan veroorzaakt worden door stromingsomstandigheden in een rivier. Een overzicht van eerdere studies op het gebied van de afbraak van het ijsdek is gegeven. In het artikel is uitgebreid ingegaan op de mechanica van het ijsdek. De elasticiteitstheorie voor half-oneindige platen is toegepast waarbij het ijs de eigenschappen heeft van een elastisch materiaal. In het artikel is ingegaan op het gebruik van translatiegolven om scheuren in het ijsdek te initiëren.

Conclusie:

Interessant artikel over de mechanica van ijs en het ontstaan van scheuren. Het vormt een theoretische basis; er is geen vergelijking gemaakt met meetresultaten. De theorie kan in principe gebruikt worden voor de Nederlandse situatie, nadere studie is echter vereist.

Deck (1984), [Controlling river ice to alleviate ice jam flooding]

Artikel waarin het effect van beïnvloeding van het ontstaan van ijsdammen is besproken aan de hand van praktijkvoorbeelden. In het noorden van de VS

veroorzaken ijsdammen soms overstromingen. Eerst is de situatie uitgebreid gemeten en geobserveerd, waarna met behulp van een kunstmatige ijsversperring ijsdammen zijn gecreëerd op gewenste lokaties. Voorbeeld: bovenstrooms van steden zijn enkele versperringen in de rivier aangebracht om zo de overstromingen ten gevolge van de ijsdam niet bij de stad te laten plaatsvinden.

Conclusie:

Het artikel geeft een interessant overzicht van enkele toepassingen van versperrings-constructies in een rivier om ijsdammen op een gewenste lokatie te laten ontstaan. De toepassing zou voor de Nederlandse situatie in principe geschikt kunnen zijn. Het is echter de vraag waar in Nederland nog gebieden langs de rivieren zijn waar gecontroleerde overstromingen mogelijk en toelaatbaar zijn.

Doyle (1989), [Effectiveness of blasting and mechanical removal of ice jams]

Een artikel waarin het effect van het opblazen van ijsdammen met explosieven is behandeld, alsmede het verwijderen van ijsdammen met bulldozers in de praktijk. De algehele conclusie van de beschreven methoden is dat voor toepassing van explosieven het ijsdek begaanbaar moet zijn en dat het gesprongen ijs afgevoerd moet kunnen worden door de rivier. Daarvoor moet de stroomsnelheid groot genoeg zijn en de rivier verder benedenstrooms vrij zijn van ijsdammen en ijsvelden.

Verwijderen van ijsdammen met bulldozers kan gevaarlijk zijn in verband met het plotseling doorbreken van de ijsdam. Voor smalle rivieren kan deze methode toegepast worden. De effectiviteit van de methode blijkt gering te zijn en verder moeten de weersomstandigheden meewerken (dooi, voldoende stroomsnelheid).

Conclusie:

De beschreven methoden zijn voor de Nederlandse situatie niet direct geschikt. Gebruik kan in overweging genomen worden, misschien dat de methoden in het uiterste geval, bij een gevaarlijke situatie, uitkomst kunnen bieden om een ijsdam te verwijderen.

Hou et al (1988), [Numerical model of ice regime analysis in a canal]

In het artikel is een warmtebalans opgesteld voor het ijs. In de balans zijn opgenomen de zonnestraling, andere straling, verdamping-condensatie-

warmte, warmtegeleiding, warmtestroom door turbulente stroming en warmtestroom vanuit de rivierbodem. Voor deze grootheden zijn uitdrukkingen gegeven met bijbehorende coëfficiënten. Voor vereenvoudigde gevallen zijn oplossingsmethoden gegeven. De berekende resultaten blijken goed overeen te komen met resultaten van metingen in rivieren in China. Er is geen uitgebreide vergelijking van gemeten en berekende resultaten gepresenteerd.

Conclusie:

De beschreven warmtebalans kan interessant zijn voor de Nederlandse situatie. Het gebruik van relatief warm water (koelwater of warmer water uit diepe meren) om ijsdammen te voorkomen kan een toepassing zijn. Met de warmtebalans kan een schatting worden gemaakt van de benodigde hoeveelheid warmer water en de benodigde tijd om ijsdammen op een bepaalde lokatie te voorkomen of te doen verdwijnen.

Jain et al (1988), [River-flow regulation for controlled ice-cover formation]

In het artikel zijn de berekeningsresultaten van een ééndimensionaal wiskundig model gepresenteerd. Het model bestaat uit de ééndimensionale waterbeweging in een rivier met ijsdek en een ééndimensionale warmtebalans voor dat water. Met het model is de groei van de ijslaagdikte berekend onder variërende waterafvoer en luchttemperatuur. De berekeningsresultaten zijn niet vergeleken met meetresultaten.

Conclusie:

Het model lijkt interessant voor toepassing in de Nederlandse situatie. Met het model kan snel een indruk gekregen worden van de ontwikkeling van een ijsdek in de tijd. De plaats waar ijsdammen of een vast ijsdek ontstaan, kan niet berekend worden met het gepresenteerde model. Het model lijkt wel geschikt voor het bepalen van de gemiddelde ijslaagdikte en -lengte op de Nederlandse rivieren tijdens vorst- en dooiperiodes.

Ruggles et al (1988), [Modelling the ice cover break-up on the Susquehanna River near the Safe Harbor hydro-electric facility]

In het artikel is een eenvoudig semi-empirisch model gepresenteerd voor het berekenen van het afgevoerde ijsvolume in een rivier tijdens de dooiperiode. Het model is opgezet voor de Susquehanna-rivier in de VS en is geijkt met meetgegevens van die rivier. Berekende relaties voor de ijsafvoer als functie van het debiet en de temperatuur zijn vergeleken met meetresulta-

ten. De overeenkomst tussen beide resultaten zijn (uiteraard, want geijkt) goed.

Conclusie:

Het artikel geeft een interessant overzicht van de mogelijkheden van een eenvoudig wiskundig model voor het berekenen van de ijsafvoer tijdens de dooiperiode. Het model kan toegepast worden om de tijd te bepalen die nodig is na het inzetten van de dooiperiode, voordat de rivier grotendeels ijsvrij is. Het gepresenteerde model is echter alleen geschikt voor een bepaalde rivier in de VS. Voor de Nederlandse situatie zou het model opnieuw geijkt en geverifieerd moeten worden.

Sanderson (1988), [Ice mechanics; Risk to offshore structures]

In dit boek zijn vele aspecten van ijs behandeld die voornamelijk gericht zijn op ijsvorming rond kusten en offshoreconstructies. De theoretische beschouwingen over ijs zijn echter algemeen geldig. De behandelde onderwerpen in het boek zijn:

- Soorten ijs
- Wereldwijd voorkomen van ijs
- Mechanische eigenschappen van ijs, laboratorium studies
- Metingen en resultaten uit de praktijk
- Theoretische analyse van bezwijken van ijs
- Berekenen van ontwerp-ijsbelastingen

Het boek geeft van deze onderwerpen een uitgebreide omschrijving en bevat vele figuren en fotos.

Conclusie:

Een interessant naslagwerk dat een goed inzicht geeft in de structuur en het gedrag van ijs.

Met name de relaties waarmee de sterkte van ijs bepaald kunnen worden, zijn belangrijk voor de Nederlandse situatie. Met deze informatie kan bijvoorbeeld de bezwijksterkte van een ijsdam geschat worden.

4. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

1. Uit het oriënterend literatuuronderzoek blijkt dat er een groot aantal artikelen en boeken is waarin met name het transport van ijs gekwantificeerd is. Eéndimensionale wiskundige modellen waarin de waterbeweging, het ijstransport en een warmtebalans voor het ijs zijn opgenomen, zijn beschikbaar. Vooral het wiskundige model van Maas et al (1990), dat voor de Nederlandse situatie is ontwikkeld, lijkt veelbelovend.
2. De wiskundige modellen bevatten in vele gevallen empirische relaties voor de ijsruwheid, de warmte-uitwisseling en de dikte van het ijsdek. Deze relaties zijn geijkt met informatie van bepaalde (buitenlandse) rivieren. De geldigheid van de relaties is meestal beperkt tot de rivieren waarop ze geijkt zijn. De relaties zijn daarom niet direct toe te passen op de Nederlandse situatie.
3. De ijsconcentratie aan het wateroppervlak (vanuit de lucht waar te nemen) is een maat voor de ijstransportcapaciteit: bij een ijsconcentratie van 0,6 à 0,7 is de transportcapaciteit maximaal; bij een ijsconcentratie $\geq 0,8$ stagneert de ijsafvoer.
4. Het vormen van ijsdammen is sterk afhankelijk van de lokale geometrie van een rivier. In het algemeen zijn constructies, rivierverwijdingen en bochten plaatsen waar een ijsdam kan ontstaan. In de benedenloop van de IJssel kunnen ijsdammen ontstaan door de geringe ijstransportcapaciteit van het Ketelmeer. Het vormen van ijsdammen is echter ook afhankelijk van diverse andere factoren zoals ijs-aanvoer, ijs-vorming, stroom, wind, water- en luchttemperatuur en waterstandswisselingen. Relaties waarmee voorspeld kan worden waar een ijsdam ontstaat zullen voor de Nederlandse situatie geijkt moeten worden.
5. Methoden voor het bestrijden van ijs op rivieren zijn sterk bepaald door plaatselijke omstandigheden. De Nederlandse situatie leent zich niet voor het gebruik van springstoffen. Voor de Nederlandse situatie lijken vooral de volgende middelen van belang:
 - 1 waterstand- en afvoerbeheersing (stuwen in de Benedenrijn, Haringvlietsluizen)

2 rivier vrijhouden (maken) van obstakels die ijs kunnen vasthouden.

Aangezien de temperatuur een zeer belangrijke factor is, heeft ook het op de rivier lozen van koelwater, proceswater, of water uit diepe reservoirs (al dan niet met het oog op ijsbestrijding) veel invloed.

Aanbevelingen

1. Aanbevolen wordt de literatuur waarin kwantitatieve informatie is opgenomen op het gebied van:
 - * ijstransport (wiskundige modellen),
 - * warmtebalans voor het ijs,
 - * toename/afname van de dikte van het ijsdek,
 - * ontstaan van ijssdammen,nader te beoordelen op de toepasbaarheid van de methoden en relaties voor de Nederlandse situatie. In Hoofdstuk 3 is in de conclusie bij ieder artikel aangegeven of de inhoud relevant is voor de Nederlandse situatie.
2. Aanbevolen wordt om het ééndimensionaal wiskundig model van Maas et al (1990) te ijken en verifiëren aan de hand van gegevens van Nederlandse ijswinters, omdat het zeer goed toepasbaar lijkt voor het voorspellen van het ijstransport over de Nederlandse Rijntakken. Het model is geschikt voor niet-stationaire stroming in rivieren waarin ijssdammen zich vormen. Verder is een warmtebalans voor het ijs via de ééndimensionale convectie-diffusievergelijking in het model ingebouwd.
3. De beschikbare gegevens van de waterbeweging en het ijstransport op de Nederlandse Rijntakken moeten geschikt gemaakt worden voor ijking en verificatie van de in de literatuur gevonden relaties en voorspellingsmethoden. Met name de totale ruwheid en waterstanden langs de Rijntakken zijn van belang, alsmede de dikte van het ijsdek rond ijssdammen. Bij informatie over vorming van ijssdammen zal ook veel aandacht moeten worden gegeven aan details van de geometrie van de rivier.
4. Aanbevolen wordt ook te onderzoeken in hoeverre locaties waar vroeger relatief vaak ijsconcentraties of zelfs ijssdammen optraden, sedertdien qua geometrie en stroomsituatie veranderd zijn. Op zeer veel plaatsen is ook de afvoercapaciteit van het zomerbed vergroot, waardoor pas bij

vrij grote afvoeren (en dus zeldzamer) het winterbed onder water komt (van belang voor de grootschalige ijsvorming). Vervolgens kan onderzocht worden hoe deze veranderingen de plaatselijke ijsproblemen hebben beïnvloed of zelfs opgelost.

5. Het is niet waarschijnlijk dat in de Rijntakken doorgaande nevengeulen op het niveau van het zomerbed (laagwaterbed) zullen worden gerealiseerd. Als het doorstroomprofiel van het winterbed wordt vergroot (bijvoorbeeld met het oog op gewone hoogwaterafvoeren), dan wordt aanbevolen na te gaan welke invloed dat heeft op de ijs-afvoercapaciteit van de hoofdgeul. Met een ééndimensionaal wiskundig model kunnen daartoe berekeningen worden uitgevoerd. Bovendien zal aandacht moeten worden gegeven aan de detailvormgeving met het oog op vastraken van ijs.

REFERENTIES

Ackermann N.L., Shen H.T., Free A.P. (1979)

Mechanics of river ice jams

Austin, Proceedings 3th Engineering mechanics division speciality conference, ASCE, September 1979

Ackermann N.L., Shen H.T., Ruggles R.W. (1981)

Transportation of ice in rivers

Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, July 1981

Ashton G.D. (1986)

River and lake ice engineering

Water Resources Publications, Littleton, 1986

Baginska M., Majewski W. (1989)

Proceedings of ice seminar - Warsaw 1989

Gdansk, Instytut Budownictwa Wodnego, proceedings, April 1989

Beltaos S. (1983)

River ice jams: theory, case studies and applications

Journal of the Hydraulic Engineering, ASCE, Volume 109, no. 10, October 1983

Beltaos S. (1984)

River ice break-up

Hamburg, Proceedings 7th IAHR international ice symposium, August 1984

Billfalk L. (1982)

Ice cover formation and break-up of solid ice covers on rivers

Royal Institute of Technology, Stockholm, bulletin TRITA-VBI-113, 1982

Calkins D.J. (1983)

Ice jams in shallow rivers with floodplain flow

Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 10, no. 3, September 1983

REFERENTIES (vervolg)

Deck D. (1984)

Controlling river ice to alleviate ice jam flooding

Hamburg, Proceedings 7th IAHR symposium on ice problems, August 1984

Doyle P.F. (1989)

Effectiveness of blasting and mechanical removal of ice jams

Ottawa, Proceedings 23th IAHR congress, seminar 1 ice jams, August 1989

Ettema R. (1989)

Jam initiation in unobstructed channels

Ottawa, Proceedings 23th IAHR congress, seminar 1 ice jams, August 1989

de Haas A.W. (1986,a)

IJsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, algemeen gedeelte en ijsafvoerstrategie

Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, AX38/ml, april 1986

de Haas A.W. (1986,b)

IJsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, bijzondere onderwerpen

Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, AX18/ml, april 1986

Hou J.G., Sheng G.P. (1988)

Numerical model of ice regime analysis in a canal

Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Jain S.C., Ettema R. (1988)

River-flow regulation for controlled ice-cover formation

Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Maas J.F., Roukema D.C. (1990)

Vorming en transport van ijs op rivieren, Een analytisch en numeriek simulatie-model

Technische Universiteit Delft, vakgroep Waterbouwkunde, december 1990

REFERENTIES (vervolg)

Majewski W., Baginska M. (1988)

Hydraulic conditions in open channels with ice cover
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Majewski W., Baginska M., Walczak P. (1988)

Determination of roughness coefficient of the underside of ice cover
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Matousek V. (1988)

Hypothesis of dynamic ice bridge formation
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Ruggles R.W., Falcone L. (1988)

Modelling the ice cover break-up on the Susquehanna River near the
Safe Harbor hydro-electric facility
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Sanderson T.J.O. (1988)

Ice mechanics; Risks to offshore structures
Graham & Trotman, London, 1988

Shen H.T., Shen H., Tsai S.M. (1988)

Dynamic transport of river ice
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Tsai S.M. (1989)

Dynamic transport of river ice
Potsdam, Clarkson University, dissertation, January 1989

Urroz Agguire G.E. (1988)

Studies on ice jams in river bends
Iowa City, University of Iowa, thesis, May 1988

REFERENTIES (vervolg)

WL (1976)

Invloed van ijsvorming op de frequentie van waterstanden langs de Rijn en zijn takken in Nederland

Waterloopkundig Laboratorium, vooronderzoek R1104, juli 1976

Yapa P.N.D.D., Shen H.T. (1984)

An unsteady flow model of river ice hydraulics

Hamburg, Proceedings 7th IAHR symposium on ice problems, August 1984

Zhukova M.A. (1979)

Formation of ice jams and their distribution

Soviet Hydrology, Volume 18, no. 1, May 1979

Zijlmans C.J.A. (1980)

IJsbezetting/IJsbestrijding op de grote rivieren in Nederland

Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, afdeling AXB, literatuurstudie, november 1980

LITERATUURLIJST

Overzicht van de verzamelde recente literatuur, voornamelijk van na 1980, met betrekking tot ijsdammen. Bij iedere publicatie is in code aangegeven welk onderwerp erin behandeld is:

- [1] Transport van ijs
- [2] Vorming van ijsdammen
- [3] Bestrijden van ijsdammen
- [4] Overige onderwerpen

Ackermann N.L., Shen H.T., Free A.P. (1979) [2/3]

Mechanics of river ice jams

Austin, Proceedings 3th Engineering mechanics division speciality conference, ASCE, September 1979

Ackermann N.L., Shen H.T., Ruggles R.W. (1981) [1]

Transportation of ice in rivers

Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, July 1981

Aleinikov S.M., Pekhovich A.I., Razgovorova E.L. (1978) [4]

Effect of ice formation on hydraulic structure elements

Luleaa, Proceedings IAHR symposium on ice problems, August 1978

Andres D.D., Fonstad G.D. (1982) [4]

Freeze-up observations and aspects of the ice anchor on the Bow River at Calgary

Ottawa, Proceedings workshop on hydraulics of ice-covered rivers, June 1982

Ashton G.D. (1986) [1]

River and lake ice engineering

Water Resources Publications, Littleton, 1986

Asmus H., Baehr T., Christiansen H., Werner G. (1987) [1]

Das Eishochwasser in der Elbe oberhalb von Hamburg im Januar 1987

Strom- und Hafenbau, Hamburg, Juni 1987

LITERATUURLIJST (vervolg)

- Baginska M., Majewski W. (1989) [1/2/3]
Proceedings of ice seminar - Warsaw 1989
Gdansk, Instytut Budownictwa Wodnego, proceedings, April 1989
- Beltaos S. (1978) [2]
Field investigations of river ice jams
Luleaa, Proceedings IAHR symposium on ice problems, August 1978
- Beltaos S. (1983) [2]
River ice jams: theory, case studies and applications
Journal of the Hydraulic Engineering, ASCE, Volume 109, no. 10, October 1983
- Beltaos S. (1983) [2]
Ice jams
New York, Proceedings conference on frontiers in hydraulic engineering, ASCE, August 1983
- Beltaos S. (1984) [3]
River ice break-up
Hamburg, Proceedings 7th IAHR international ice symposium, August 1984
- Beltaos S., Wong J. (1986) [1]
Downstream transition of river ice jams
Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Volume 112, no. 2, February 1986
- Bercha F.G., Danys J.V. (1977) [4]
On forces generated by ice acting against bridge piers
Quebec, Proceedings 3th hydrotechnical conference of Canadian Society for Civil Engineering, May 1977
- Berrevoet S.P. (1981) [1]
IJsafvoer via de Haringvlietsluizen
OTAR, Volume 66, no. 7, 1981

LITERATUURLIJST (vervolg)

Billfalk L. (1982) [3]

Ice cover formation and break-up of solid ice covers on rivers

Royal Institute of Technology, Stockholm, bulletin TRITA-VBI-113, 1982

Calkins D.J. (1983) [2]

Ice jams in shallow rivers with floodplain flow

Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 10, no. 3, September 1983

Calkins D.J., Ashton G.D. (1976) [1]

Passage of ice at hydraulic structures

New York, Proceedings 3rd annual symposium on waterways, harbors and coastal engineering division of ASCE, Rivers 76, 1976

Calkins D.J., Sodhi D.S., Deck D.S. (1981) [1]

Port Huron ice control models studies

Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, July 1981

Calman J. (1985) [4]

Convection at a model ice edge

Johns Hopkins APL Tech. Dig., Volume 6, no. 3, 1985

Chen Z., Sun Z., Wang W. (1984) [1]

Analysis of causes for floods during ice run on the lower reaches of the Yellow River

Hamburg, Proceedings 7th IAHR international ice symposium, August 1984

Cheng S.T., Tatinclaux J.C. (1977) [1]

Compressive and shear strengths of fragmented ice covers, a laboratory study

Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, IIHR report no. 206, August 1977

Deck D. (1984) [1]

Controlling river ice to alleviate ice jam flooding

Hamburg, Proceedings 7th IAHR symposium on ice problems, August 1984

LITERATUURLIJST (vervolg)

Deryugin A.G. (1975) [2]

Some methodological problems in the study of ice jam phenomena
Soviet Hydrology, Selected Papers, no.4, 1975

Doyle P.F. (1989) [3]

Effectiveness of blasting and mechanical removal of ice jams
Ottawa, Proceedings 23th IAHR congress, seminar 1 ice jams, August 1989

Ettema R. (1989) [2]

Jam initiation in unobstructed channels
Ottawa, Proceedings 23th IAHR congress, seminar 1 ice jams, August 1989

Fransson L. (1983) [4]

Ice force measurements on a bridge pier in the Lule River
Helsinki, Proceedings 7th international conference on port and ocean
engineering under arctic conditions, POAC 83, 1983

Garbrecht G., Fahlbusch H. (1981) [2]

Formation of ice jams in the Elbe River; a case study
Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, 1981

Garbrecht G., Fahlbusch H., Mertens W. (1983) [2]

Formation of ice jams in the Elbe River; a case study
Beijing, Proceedings 2nd international symposium on river sedimentation,
October 1983

Garbrecht G., Mertens W. (1984) [2]

Simulation of the formation of ice jams in alluvial rivers
Esslingen am Neckar, Symposium on scale effects in modelling hydraulic
structures, September 1984

Gogus M., Tatinclaux J.C. (1981) [1]

Mean characteristics of asymmetric flows; application to flow below ice
jams
Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 8, no. 3, September 1981

LITERATUURLIJST (vervolg)

Gogus M., Tatinclaux J.C. (1981) [2]

Flow characteristics below floating covers with application to ice jams
Iowa City, Iowa Institute of Hydraulic Research, Report no. 233, January
1981

de Haas A.W. (1986,a) [1/3/4]

IJsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, algemeen
gedeelte en ijsafvoerstrategie
Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, AX38/ml, april 1986

de Haas A.W. (1986,b) [1/3/4]

IJsafvoerproblematiek voor de grote rivieren en de Rijndelta, bijzondere
onderwerpen
Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, AX18/ml, april 1986

Henderson F.M., Gerard R. (1981) [1]

Flood waves caused by ice jam formation
Quebec, Proceedings IAHR symposium on ice problems, July 1981

Hou J.G., Sheng G.P. (1988) [4]

Numerical model of ice regime analysis in a canal
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

IAHR (1984) [1/2/3]

IAHR ice symposium 1984
Hamburg, Proceedings 7th international symposium, August 1984

IAHR (1986) [1/2/3]

IAHR ice symposium 1986
Iowa City, Proceedings 8th international symposium, August 1986

Jain S.C., Ettema R. (1988) [2]

River-flow regulation for controlled ice-cover formation
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

LITERATUURLIJST (vervolg)

Kamphuis J.W., Moir J.R. (1983) [2/3]

Ice break-up and jamming observations along the Mackenzie River
Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 10, no. 1, March 1983

Kanavin E.V. (1981) [1]

Fifty years of experience on the field of ice problems for river engineering

Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, 1981

Karnovich V.N., Sokolov I.N. (1978) [2]

Mechanism of artificial ice jamming

Luleaa, Proceedings IAHR symposium on ice problems, August 1978

Kolodko J., Jackowski B. (1984) [1]

Ice floods caused by wind action

1st international conference on hydraulic design in water resources,
Southampton, April 1984; Springer Verlag, Berlin, 1984

Kolodko J., Jackowski B. (1984) [2]

Jamming tendency of floating ice in rivers and reservoirs

Hamburg, Proceedings 7th IAHR international ice symposium, August 1984

Liu G., Xu D. (1984) [1/2]

Analysis of ice dam formation and its forecasting

Hamburg, Proceedings 7th IAHR international symposium on ice problems,
August 1984

Loman G.J.A., de Jong J.J.A., Moir J.R., et al (1983) [2/3]

Man-made islands in the Mackenzie River, numerical modelling of ice jam development and releases

Helsinki, Proceedings 7th international conference on port and ocean engineering under arctic conditions, April 1983

LITERATUURLIJST (vervolg)

Maas J.F., Roukema D.C. (1990) [1/2]

Vorming en transport van ijs op rivieren, Een analytisch en numeriek simulatie-model

Technische Universiteit Delft, vakgroep Waterbouwkunde, december 1990

Majewski W. (1984) [4]

Backwater profiles on hydro-electric reservoir with ice cover

Hamburg, Proceedings 7th IAHR international symposium on ice problems, August 1984

Majewski W., Baginska M. (1988) [4]

Hydraulic conditions in open channels with ice cover

Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Majewski W., Baginska M., Walczak P. (1988) [4]

Determination of roughness coefficient of the underside of ice cover

Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Matousek V. (1988) [2]

Hypothesis of dynamic ice bridge formation

Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Mayer I. (1983) [4]

Determination of the pressure distribution around the leading edge of ice jams and estimation of the moment caused by separation

XX IAHR congress, Moscow, September 1983

Mercer A.G., Cooper R.H. (1977) [2]

River bed scour related to the growth of a major ice jam

Quebec, 3th Hydrotechnical conference of Canadian Society for Civil Engineering, Proceedings, May 1977

Michel B. (1978) [2/3]

Ice mechanics

University Laval, Quebec, 1978

LITERATUURLIJST (vervolg)

Novak P. (1988) [4]

Developments in hydraulic engineering
Elsevier, London, 1988

Pekhovich A.I., Shatalina I.N. (1978) [1]

Formation of frazil ice in the mouths of regulated rivers
Luleaa, Proceedings IAHR symposium on ice problems, August 1978

Qian-ming Lu (1988) [4]

On memoscale modelling of the dynamics and thermodynamics of sea ice
IHE Lyngby, Series Paper no. 44, 1988

Rijkswaterstaat (1987) [1/2/4]

IJsverslag van de winter 1986-1987

Rossinskii K.I. (1987) [4]

Dynamics and thermal regimes of rivers
Balkema, Rotterdam, Russian translation series no. 52, 1987

Ruggles R.W., Falcone L. (1988) [3]

Modelling the ice cover break-up on the Susquehanna River near the safe
harbor hydro-electric facility
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Sanderson T.J.O. (1988) [3/4]

Ice mechanics; Risks to offshore structures
Graham & Trotman, London, 1988

Santeford H.S., Alger G.R. (1983) [1]

Effects of an ice cover - a conceptual model
New York, Proceedings conference on frontiers in hydraulic engineering,
ASCE, August 1983

LITERATUURLIJST (vervolg)

Shen H.T., Van de Valk W.A. (1984) [4]

Field investigations of St. Lawrence River hanging ice dams
Hamburg, Proceedings 7th IAHR international symposium on ice problems,
August 1984

Shen H.T., Shen H., Tsai S.M. (1988) [1]

Dynamic transport of river ice
Sapporo, Proceedings IAHR ice symposium, 1988

Smith C.D. (1981) [4]

Model study of ice movement at Idylwyld traffic bridge
Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, 1981

Smith D.G. (1979) [1]

Effects of channel enlargement by river ice processes on bankfull discharge
in Alberta Canada
Water Resources Res., Volume 15, no. 2, April 1979

Tatinclaux J.C. (1977) [1]

Equilibrium thickness of ice dams
Journal Hydraulic Division, ASCE, Volume 103, no. 9, 1977

Tatinclaux J.C., Cheng S.T. (1978) [2/3]

Characteristics of river ice jams
Luleaa, Proceedings IAHR symposium on ice problems, August 1978

Tatinclaux J.C., Goegues M. (1983) [2]

Asymmetric plane flow with application to ice jams
Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, no. 11, November 1983

LITERATUURLIJST (vervolg)

- Tatinclaux J.C., Lee C.L., Wang T.P., Nakato T., Kennedy J.F. (1976) [2/3]
A laboratory investigation of the mechanics and hydraulics of river ice jams
Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, IIHR report no. 186, March 1976
- Tsai S.M. (1989) [1]
Dynamic transport of river ice
Potsdam, Clarkson University, dissertation, January 1989
- Urroz Agguire G.E. (1988) [2]
Studies on ice jams in river bends
Iowa City, University of Iowa, thesis, May 1988
- Uzuner M.S. (1977) [4]
Stability analysis of floating and submerged ice flows
Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Volume 103, no. 7, July 1977
- Vinogradov O.G., Kentfield J.A.C., Vermeulen P.J. (1979) [3]
Ice-breaking mechanisms for ice breakers and offshore structures
Trondheim, Proceedings 5th International conference on port and ocean engineering under arctic conditions, POAC 79, 1979
- Vlasov V.P. (1977) [2]
Possible use of aerial photo surveys for the study of ice jams
Soviet Hydrology, Volume 16, no. 1, 1977
- Vogel R.M., Root M.J. (1981) [1/2]
The effect of floating ice jams on the magnitude and frequency of floods along the Missisquoi River in northern Vermont
Quebec, Proceedings IAHR international symposium on ice, July 1981

LITERATUURLIJST (vervolg)

Vogel R.M., Stedinger J.R. (1984) [1/3]

Flood plain delineation in ice jam prone regions

Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Volume 110, no. 2, 1984

Votruba L., Patera A. (1984) [1]

Statistic time series analysis and realibility of data describing the occurence and intensity of ice phenomina in rivers and reservoirs

Hamburg, Proceedings 7th IAHR symposium on ice problems, August 1984

Waddington E.D., Walder J.S. (1987) [1]

The physical basis of ice sheet modelling

Vancouver, Proceedings 19th symposium of geodesy and Geophysics, August 1987; IAHS, Wallingford, Publication no. 170, 1987

Wessels H.R.A. (1984) [4]

De temperatuur van de Rijn, 1911-1984

H2O (17), nr.18, 1984

WL (1976) [1/3]

Invloed van ijsvorming op de frequentie van waterstanden langs de Rijn en zijn takken in Nederland

Waterloopkundig Laboratorium, vooronderzoek R1104, juli 1976

4th Workshop of ice (1986) [1/2/3]

4th Workshop on hydraulics of river ice

Montreal, Proceedings, June 1986

Yamashita M., Katayama M., Taguchi Y., et al (1985) [3]

Model test and analytical simulation of fracture mechanism of ice

Hoersholm, Proceedings 8th international conference on port and ocean engineering under arctic conditions, POAC 85, 1985

LITERATUURLIJST (vervolg)

Yapa P.N.D.D., Shen H.T. (1984) [1]

An unsteady flow model of river ice hydraulics

Hamburg, Proceedings 7th IAHR symposium on ice problems, August 1984

Yoe C.E. (1984) [4]

Ice related flood damage estimation

Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Volume 110, no. 2, 1984

Zhukova M.A. (1979) [2]

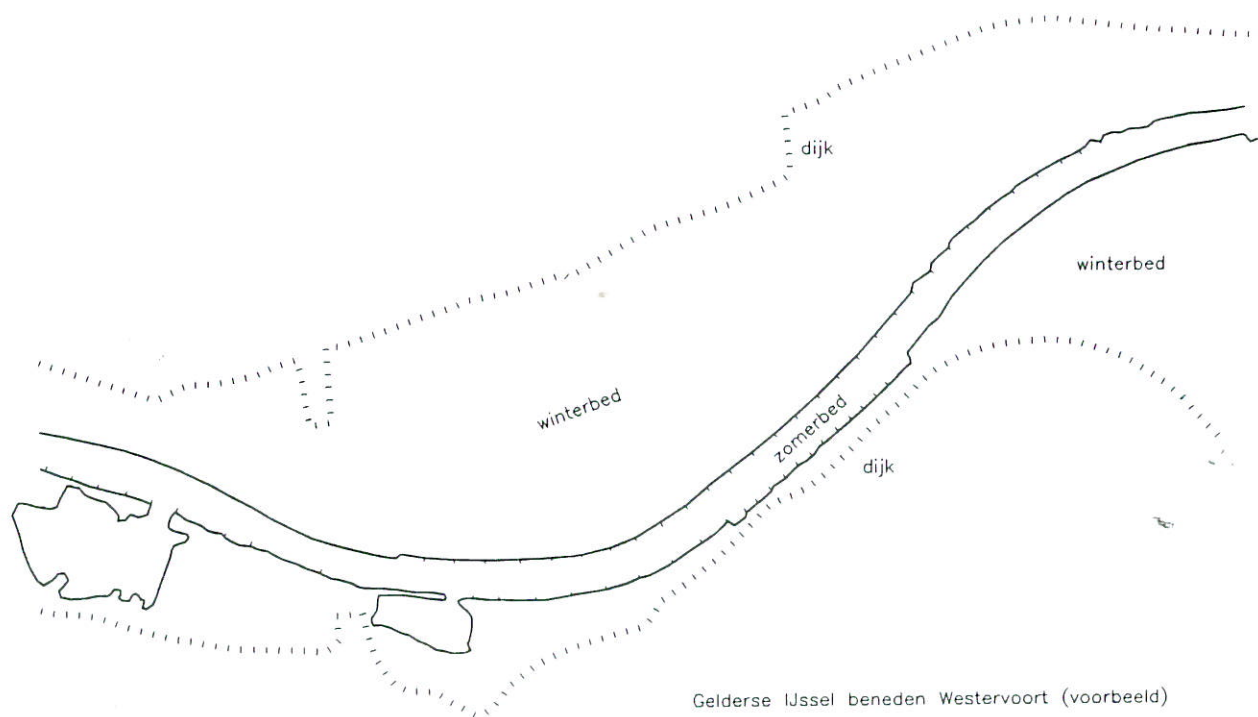
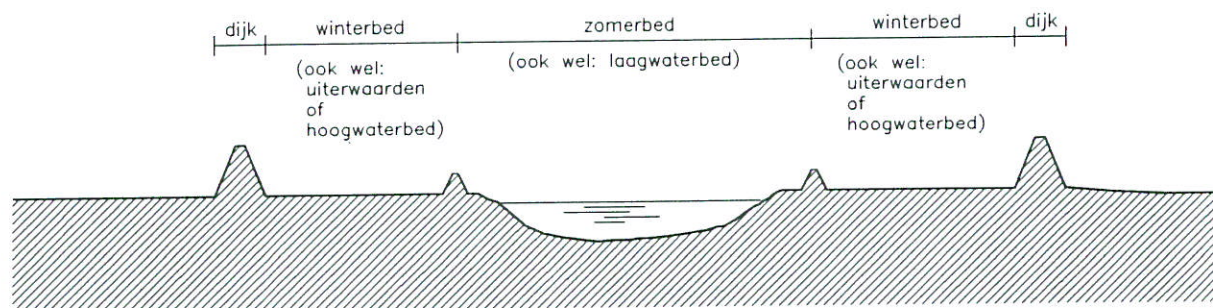
Formation of ice jams and their distribution

Soviet Hydrology, Volume 18, no. 1, May 1979

Zijlmans C.J.A. (1980) [1/2/3/4]

IJsbezetting/IJsbestrijding op de grote rivieren in Nederland

Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren, afdeling AXB, literatuurstudie, november 1980



Gelderse IJssel beneden Westervoort (voorbeeld)

DEFINITIE ZOMERBED EN WINTERBED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1064

FIG. 1



• locatie 'De Voorst'

• hoofdkantoor

waterloopkundig laboratorium | wl

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

