

Det stora islastmysteriet



Rikard Hellgren, Svk (tidigare KTH)

Marie Westberg Wilde, AFRY & KTH (Jord- och bergmekanik)



Don't remove a fence
until you understand
why it was put there



Det finns många typer av islast

Mot **fasta** och **rörliga** objekt

Tyngd
Från ispåväxt



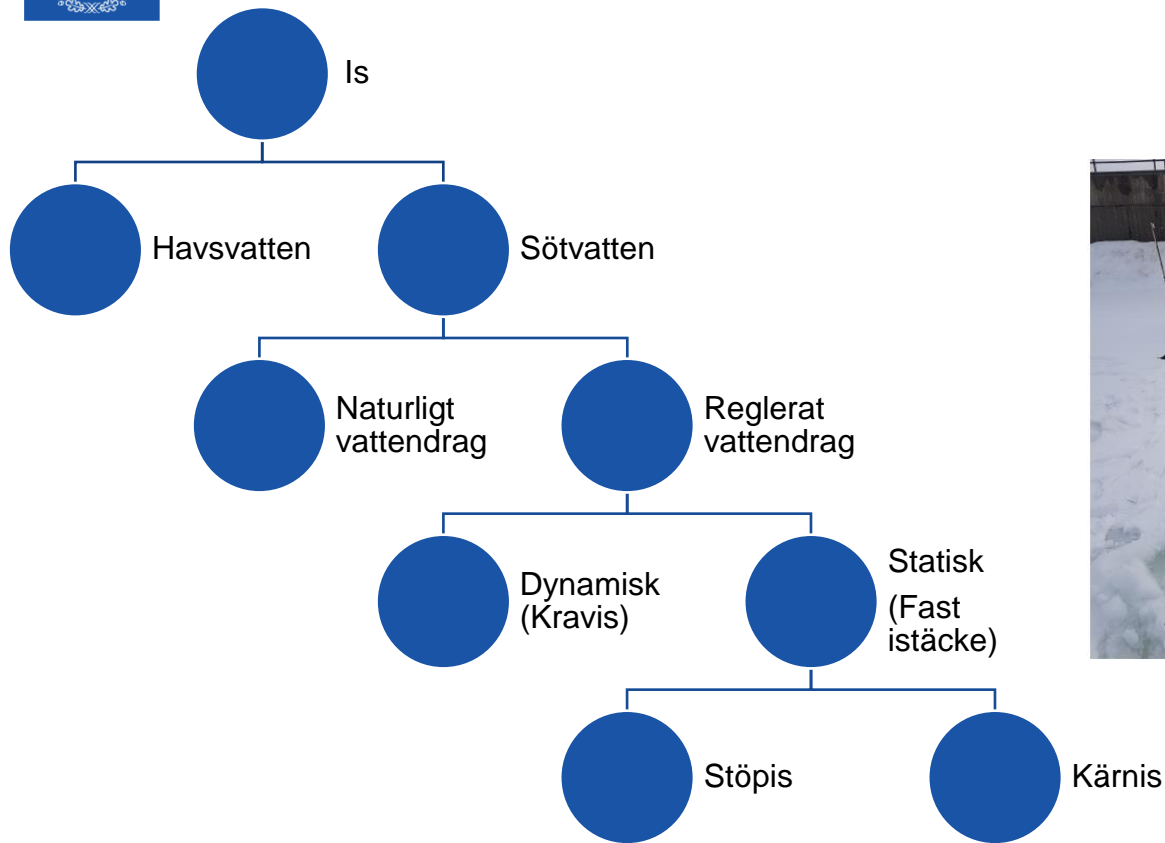
Dynamisk
Från isflak i rörelse



Statisk
Från ett fast istäcke



Det finns många typer av is



Is är ett komplicerat material

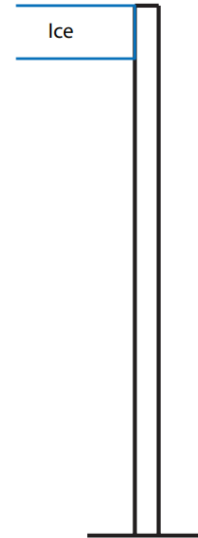


Islasten är en tvångslast

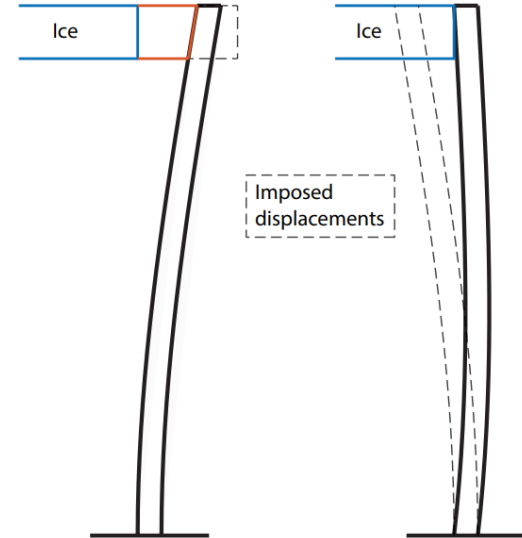
- Is och damm befinner sig i en "spänningsfri" jämvikt.
- En yttre påverkan får:
 - Isen att "vilja" röra sig eller expandera i nedströmsriktningen
 - Dammen att vilja röra sig i uppströmsriktning
- Is och damm uppnår en ny jämvikt i ett deformerat läge.

Islast är den kraft som krävs för att skapa deformationen i is och damm.

Initial stress-free state

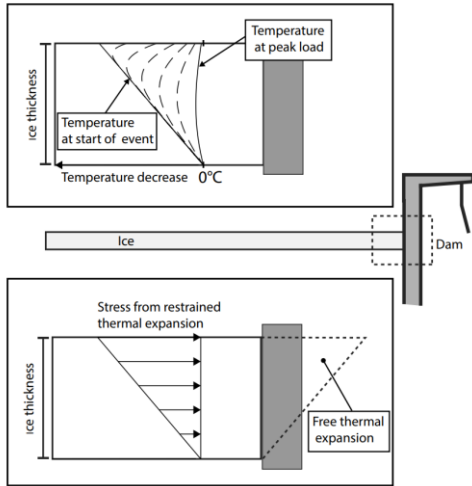
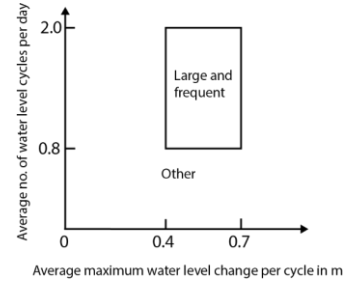


New equilibrium

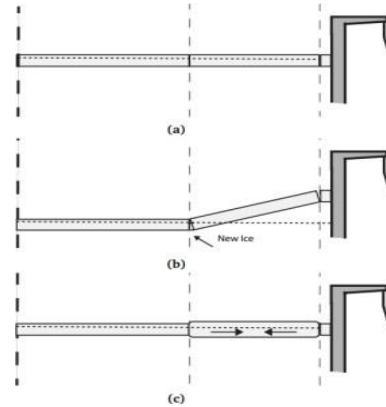


Vad skapar islast?

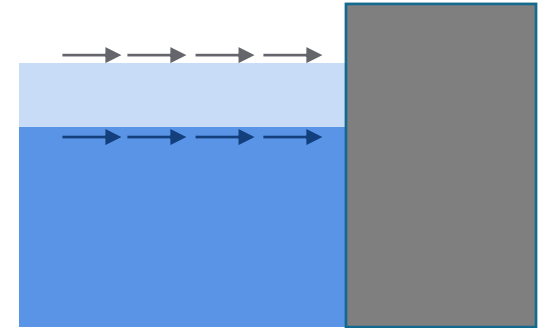
Vatten expanderar 9% när det fryser
 Is expanderar 0.005% när den värms 10 °C



Temperaturförändringar



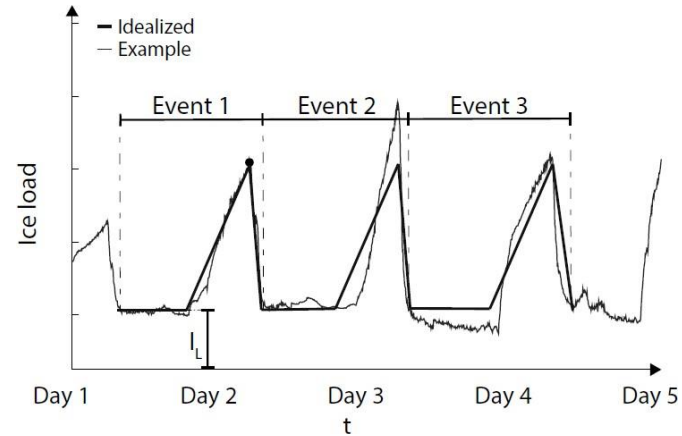
Vattennivåförändringar



Flöden och vind
(Snedställning)

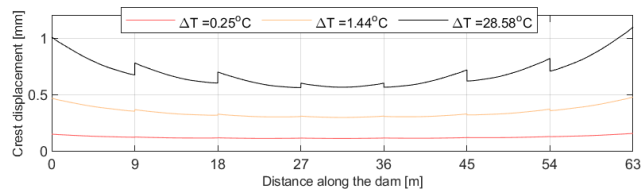
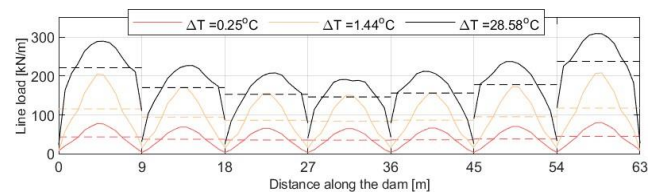
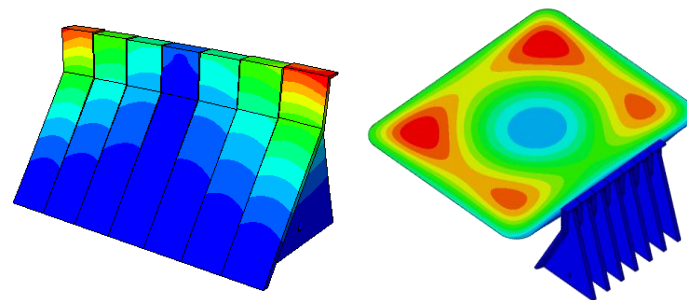
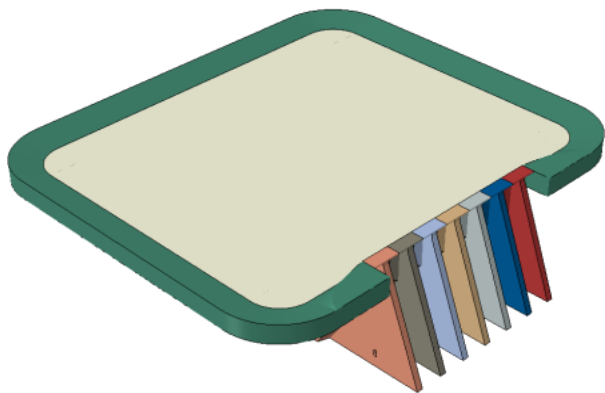
Islaster uppstår som event

- Islastevent består av
 - en ökning från en initial låg nivå
 - en topp
 - en efterföljande kraftig avlastning



Figuren visar en jämförelse mellan islastevent enligt ISO-19906- Arctic offshore structures och mätresultat från Rätan

Islasten varierar längs dammen



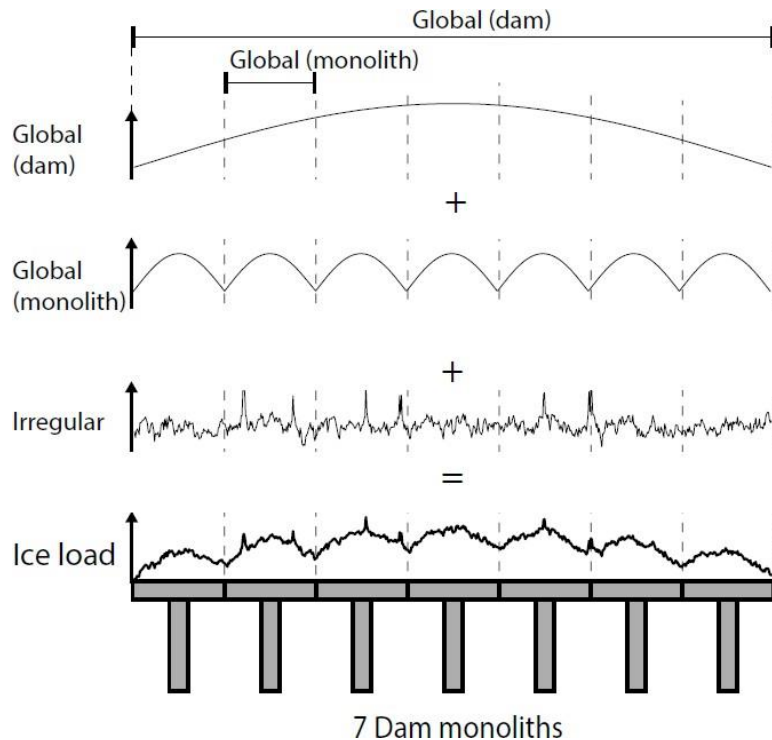
Variation längs dammen

Islasten verkar vara en summa av tre variationer

- Strukturellt skapad variation
 - Global (damm) från "strand till strand"
 - Global (monolit) variation över enskilda byggnadsverk

- Irreguljära slumpmässiga fluktuationer

Formen, storleken och skalan på dessa är okänd.



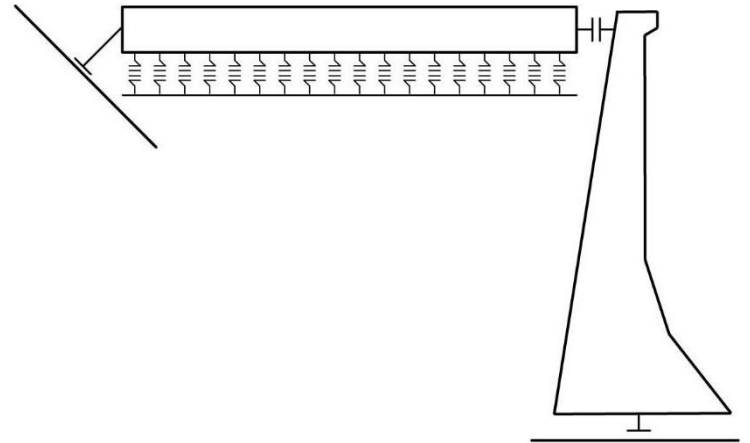
Vad begränsar islastens storlek?

- **Limiting load**

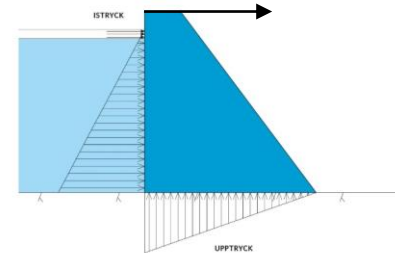
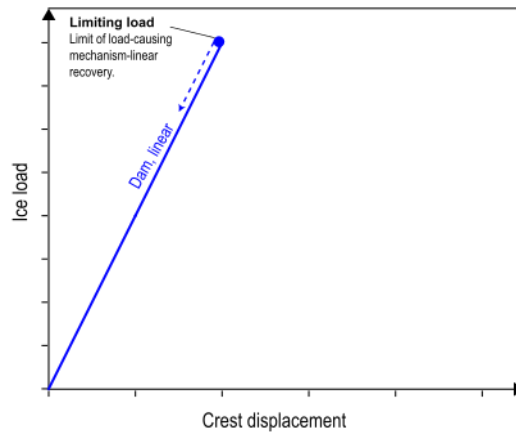
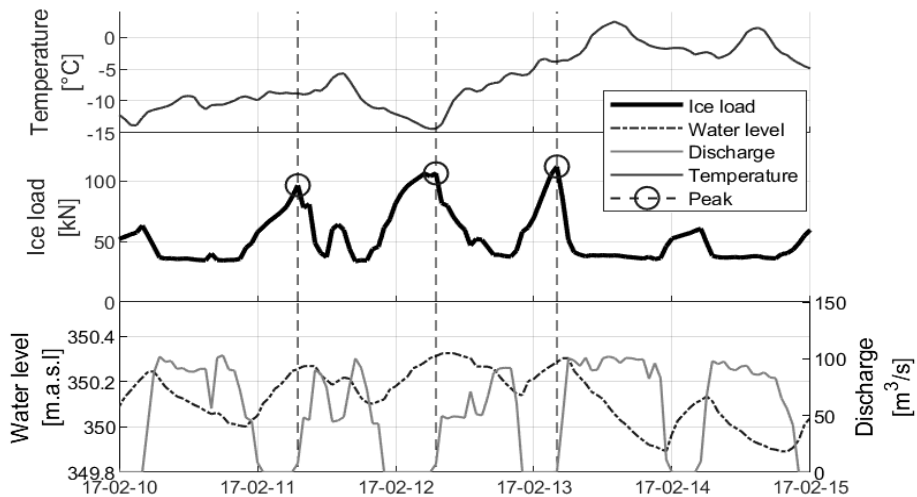
Begränsningar i den lastskapande förmågan hos yttre faktorer

- **Limiting strength**

Isen eller dammen går sönder

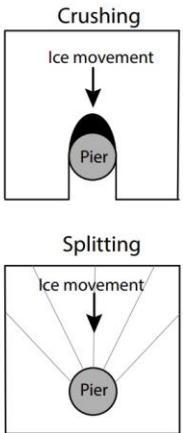


Limiting load (energy)

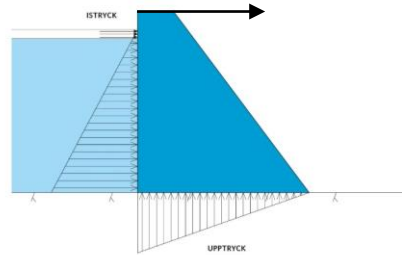
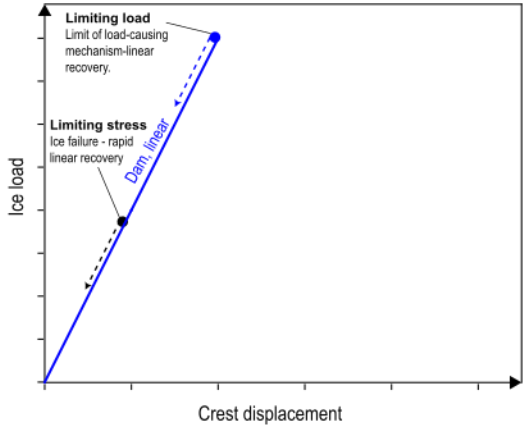
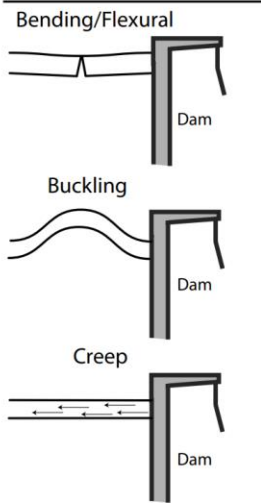


Limiting strength (ice)

Confined structure

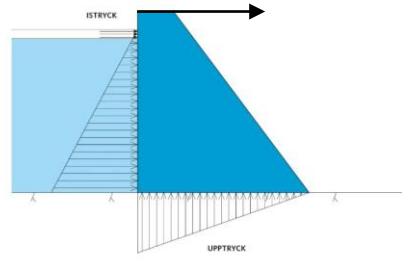
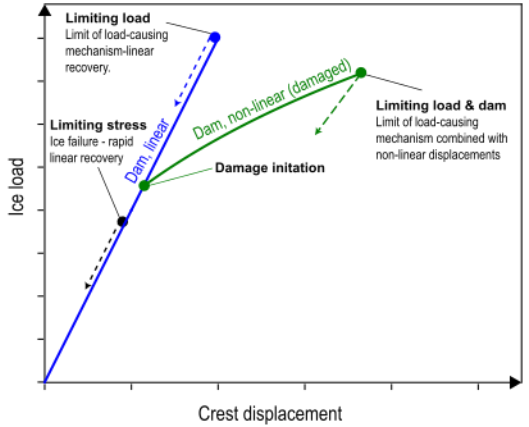
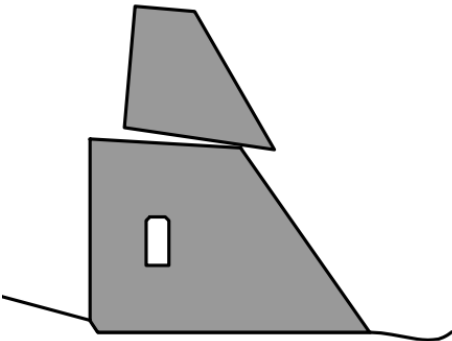


Wide structure





Limiting strength (dam)



Limiting strength (dam)

U.S.

Water pouring out of 60-foot crack in Utah dam as city of Panguitch prepares to evacuate

April 11, 2024 / 5:41 AM EDT / CBS/AP

Från CBS News 2024-04-11

Salt Lake City – Workers hurriedly tried to shore up a rural Utah dam after a 60-foot crack sent water pouring into a creek and endangering the 1,800 residents of a downstream city.

State and local leaders don't think the Panguitch Lake Dam is in imminent danger of breaking open but have told residents to be prepared to evacuate if conditions worsen. Emergency management officials passed out a list of evacuation procedures to worried residents at a Wednesday evening town meeting meant to mitigate panic.



In this photo provided by the Utah Division of Water Rights, crews use heavy machinery to place boulders downstream of the cracked Panguitch Lake Dam to reinforce the wall on April 10, 2024.

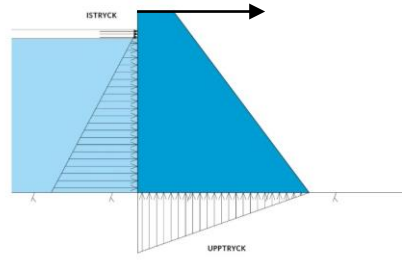
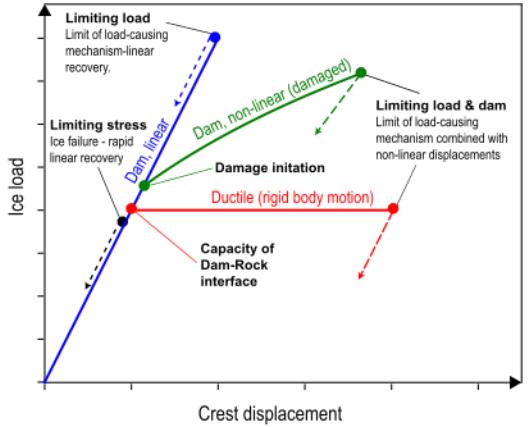
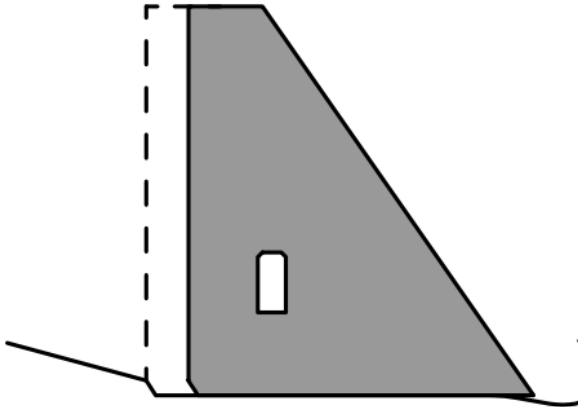
MATT CALL / UTAH DIVISION OF WATER RIGHTS VIA AP

An ice sheet on the reservoir had pushed up against the dam, causing **the top to crack and tilt downstream....**

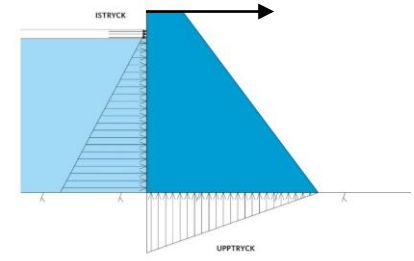
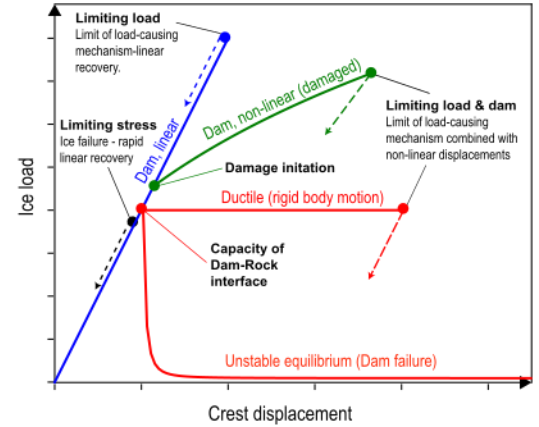
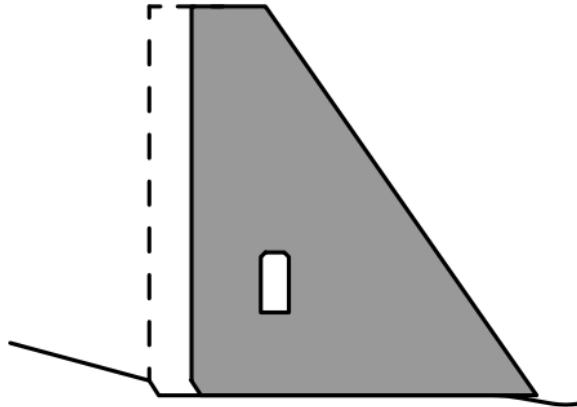
.... His staff was able to relieve some of the pressure against the dam by making large cuts across the ice sheet. The ice has now pulled away, and the top of the dam has tilted back, he said.



Limiting strength (foundation)



Limiting strength (foundation)





Austin dam (Bayless)

January 1910

The top centre portion of the dam was displaced 0.8 m and the bottom-centre 0.5 m in the downstream direction.

The early report states that the displacement was caused by ice load

Austin dam (Bayless)

Dammen återtog i drift och
havererade sedan i **September
1911**

Haveriet beskrivs bero på att
dammen inte var dimensionerad för
uptryck.



1931: Järnbestämelserna - 20-30 ton per meter

Istryck.

Vid beräkning av istryckets storlek skall hänsyn tagas till de lokala förhållandena och till, huruvida vattnet kommer att på konstlad väg hållas isfritt invid konstruktionerna samt om nedisning genom vattenstänk eller genom kondensation kan befaras.

Storleken av istrycket från ett på vattnet liggande istäcke kan uppskattas till 30 ton vid 1 m tjocklek och 20 ton vid 0,75 m tjocklek, allt räknat per längdmeter av konstruktionen.

Istryck hänföres till *exceptionella belastningsfall*.

1970: Internationella nätverk för isforskning bildas

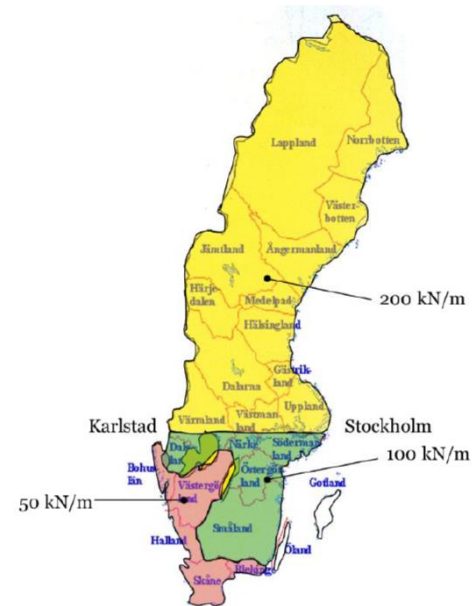
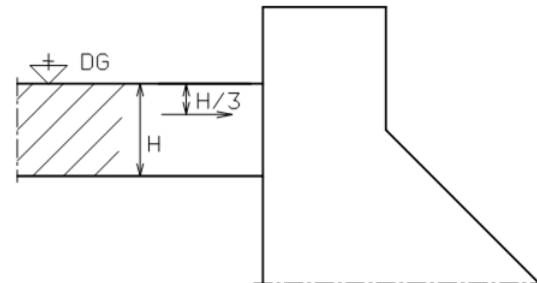


1987: Vägverkets "Istryck mot broar"

Bestämmelser och antaganden om istryck som under årens lopp tillämpats för broar har från början tillkommit utan någon faktisk kunskap om istryckets mekanism. Sedan dessa regler i stort sett utan bakslag tillämpats en längre tid får de dock ett **empiriskt värde** vid ifrågavarande förutsättningar

RIDAS om islaster

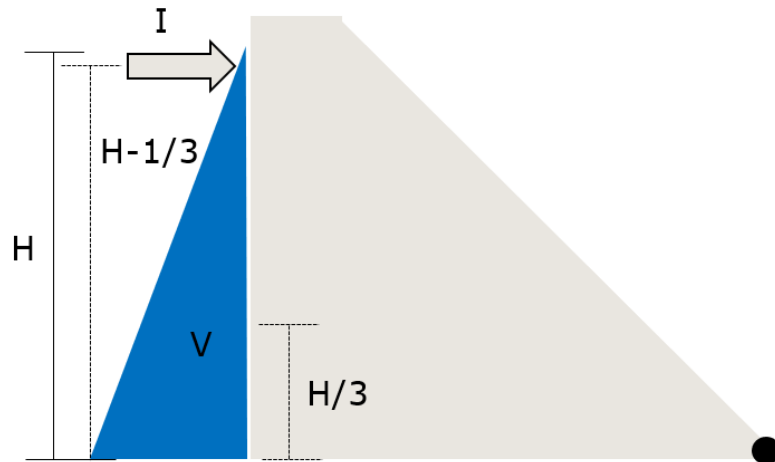
- Istjocklek enligt aktuella förhållanden (riktvärde 0,6-1,0 m)
- Variabel last
- Dimensioneringssituation oftast varaktig
- Islast normalt 50-200 kN/m damm
- Angreppspunkt 1/3 av istjocklek från ö.k.



Figur 23. Geografisk indelning för islaster i Sverige.

Islastens inverkan på konstruktioner av olika höjd

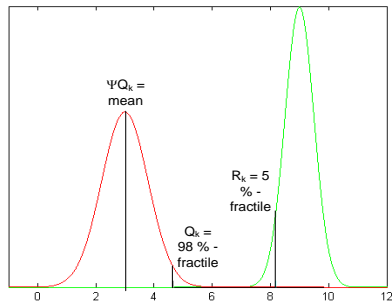
Höjd [m]	7	10	15	20	30
V [kN]	245	500	1125	2000	4500
I [kN]	200	200	200	200	200
V_M [kNm]	572	1667	5625	13333	45000
I_M [kNm]	1333	1933	2933	3933	5933
I/V	0,82	0,40	0,18	0,10	0,04
I_M/V_M	2,33	1,16	0,52	0,30	0,13



Dimensioneringsprinciper, allmänt

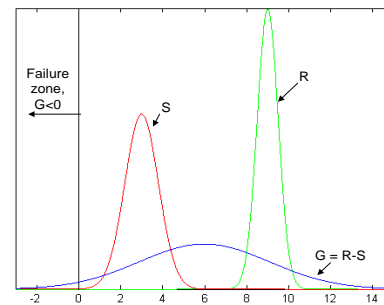
- RIDAS utgår från ett totalsäkerhetstänk
- $R =$ Stabiliserande krafter/moment
- $S =$ pådrivande krafter/moment
- $sf =$ säkerhetsfaktor
- Eurokoderna tittar på gränstillstånd och använder ett probabilistiskt eller semi-probabilistiskt säkerhetskoncept

$$R / S > sf$$



$$\frac{R_k}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \geq \gamma_{fG} \cdot G_k + \gamma_{fQ1} \cdot Q_{1k} + \gamma_{fQ2} \cdot \psi_{Q2} \cdot Q_{2k} + \gamma_{fQ3} \cdot \psi_{Q3} \cdot Q_{3k} + \dots$$

semiprobabilistiskt



$$p_f = P(G(X_i) < 0) < p_{f\text{target}} = \Phi(-\beta_{\text{target}})$$

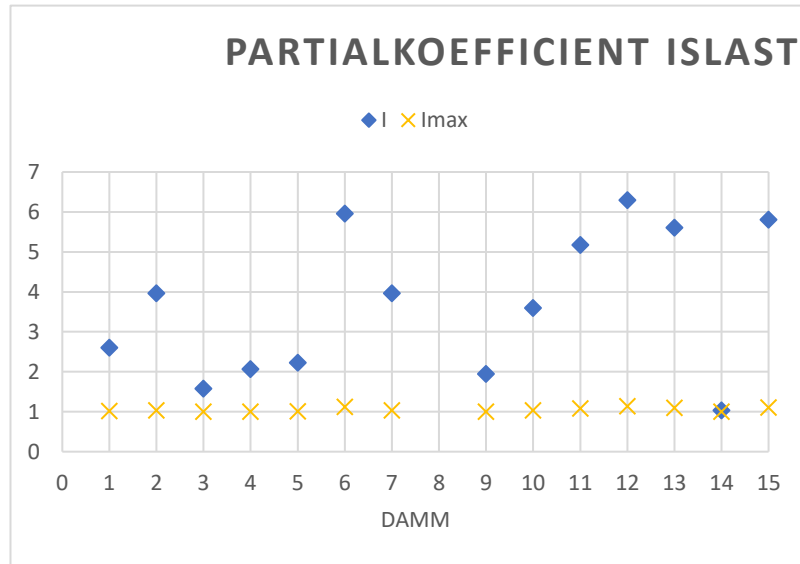
probabilistiskt



Eurokod om islaster

- Nej.

Kalibrering av partialkoefficienter för islast

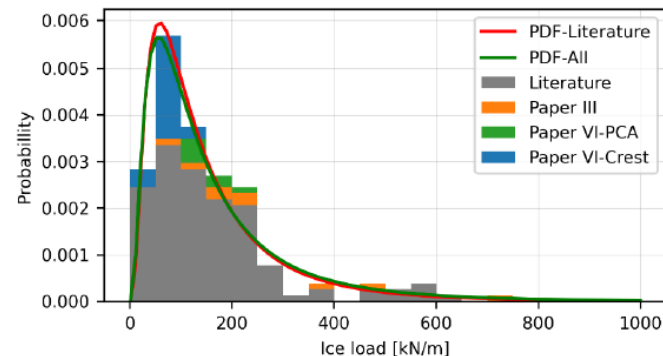
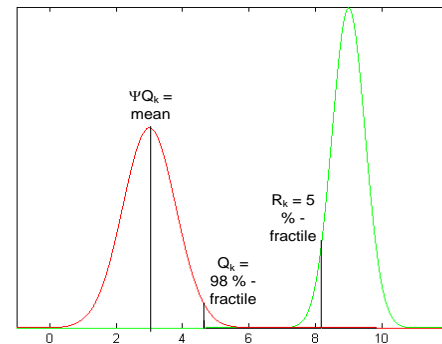


- Exjobb utfört för ca 10 år sedan.
- Islast antogs med medelvärde och standardavvikelse (80;80)kN
- Det var inte möjligt att definiera en partialkoefficient, variationen blev för stor 1,03-6,3

Partialkoefficienter för stabilitetsanalys av betongdammar (2015), Alexander Wängberg, KTH

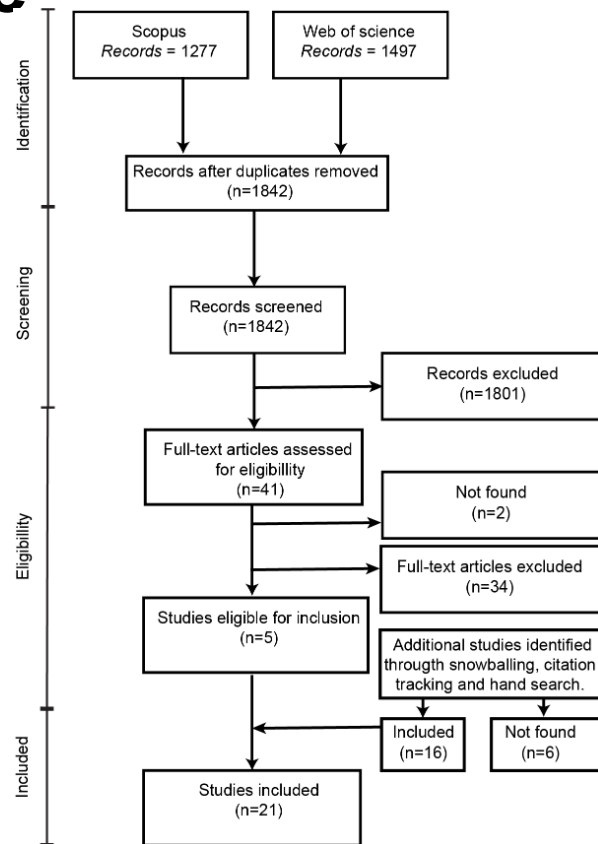
Vad behöver vi?

- Definiera islastes storlek.
- Helst veta islastens statistiska fördelning och utifrån det sätta karakteristiskt värde.
- Hitta en pålitlig metod för att bedöma storlek.



Systematisk litteraturstudie

- Systematisk litteraturstudie efter mätning av islaster på dammar
- Samlade in
 - Maximalt obeserverad islaster
 - Metadata (från 33 ytterligare källor och databaser)
 - > *Mätinformation*
 - > *Damm och masgasin*
 - > *Metrologisk data*

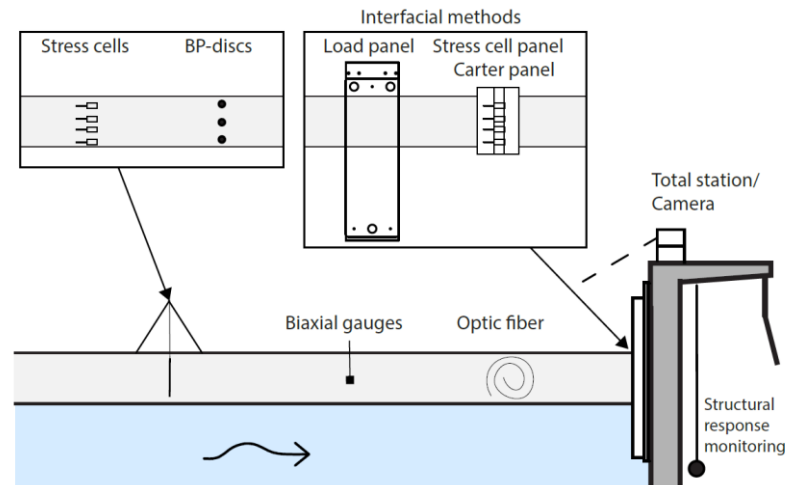


Results

- **127** mätningar, 33 dammar, 57 vintrar

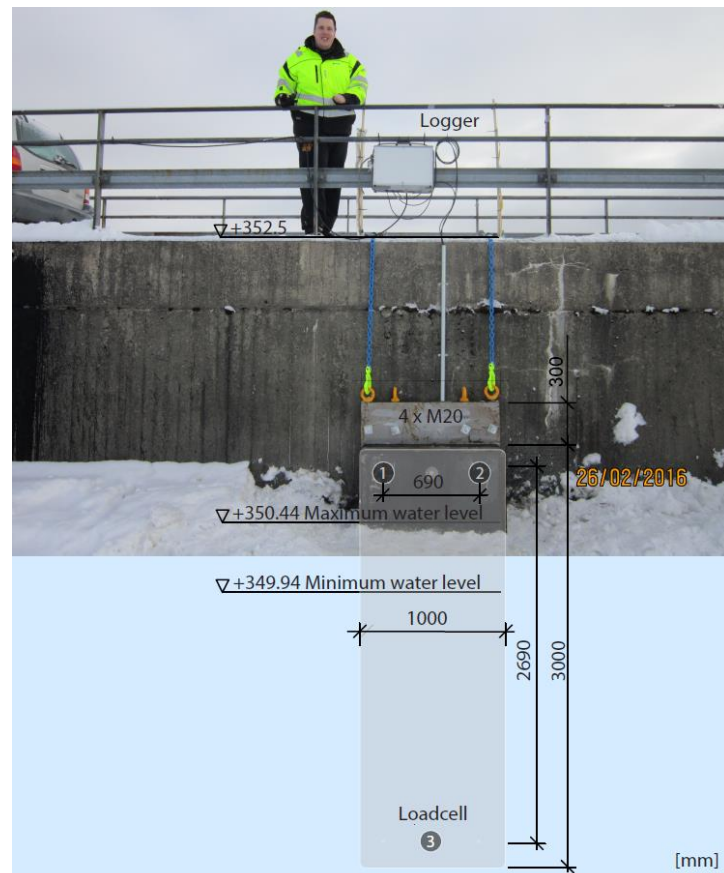
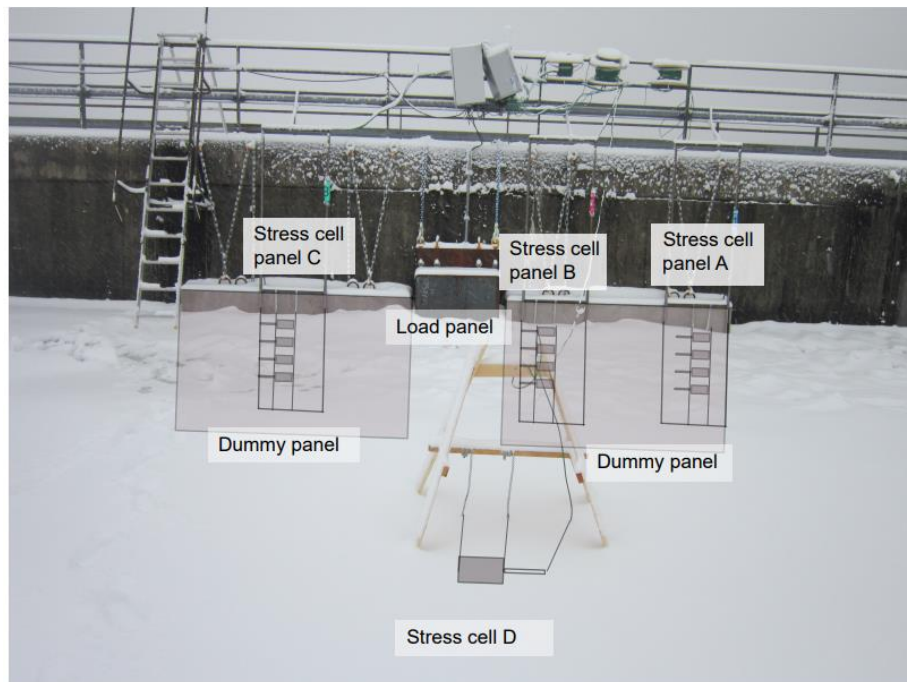
Under 13 vintrar mättes islasten på flera ställen på samma damma

- Slumpartad variation.
- **Stora laster och stor variation (> 600 kN/m).**



Dam	Year	N	max	min	mean	std
Barrett Chute	2011	12	202	105	156	29
Beaumont	2009	8	778	171	422	196
Eleven Mile Canyon	1949	2	204	204	204	0
Grande mere	1996	2	175	90	132	60
Hastings Lock and Dam	1935	3	73	20	53	29
La Gabelle	1996	2	135	135	135	0
	2008	3	40	15	27	13
	2009	5	603	235	446	187
La Grande-1	1998	3	148	60	114	47
Rätan	2020	4	720	202	450	216
Taraldsvik	2014	3	170	105	145	35
	2015	3	270	220	237	29
	2017	2	177	84	131	65

Islastpanel 1 Rätan (2016)



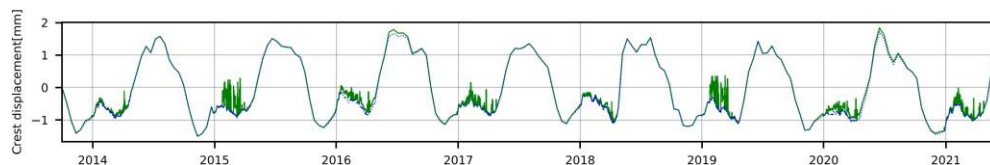
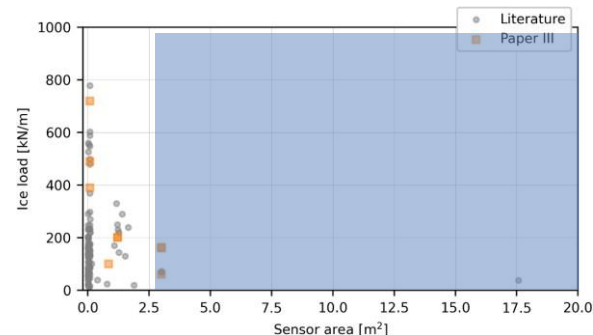
Skaleffekt

Synbar **skaleffekt** bland upmätta islaster

- Maximal storlek minskar med ökad mätarea.

Även med lastpanelerna saknas mätningar i rätt skala.

- ”Unik” möjlighet i Sverige med flexibla välisolerade lamelldammar i strömkraftverk.
- Det finns metoder för bakåtberäkning av islaster från strukturens respons.



Figuren visar en simulering av dammen där lastpanelen sitter med 3 timmars tidssteg med uppmätta temperaturer och vattennivå.

- Med islast (Grön)
- Utan islast (Blå)

Islasterna är tillräckligt stora för att deras inverkan på betongdammar ska vara märkbar i traditionella dammövervakningsmätningar.

Islast på dammar

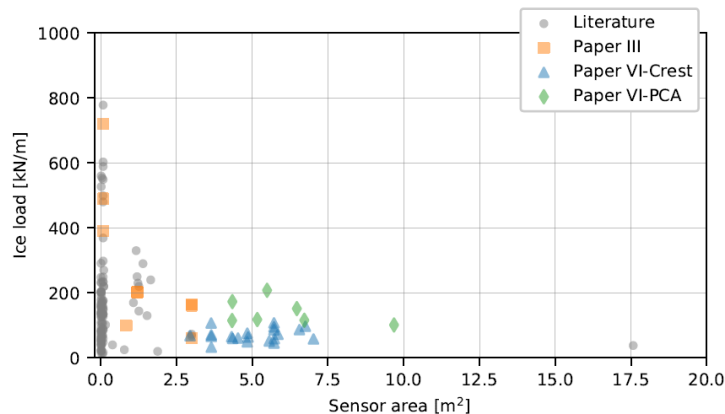
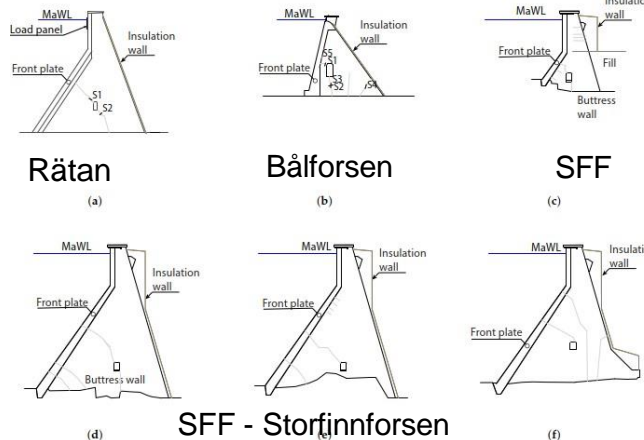
Bakåtberäkning och identifikation av islast hos åtta Svenska dammar, totalt 30 vintrar.

Konservativ metod som "övertolkar" dammrörelser (och brus) som islaster.

Dom uppskattade islasterna dammarna har utsatts för är små och jämt fördelade över året.

Mest trolig tolkning:

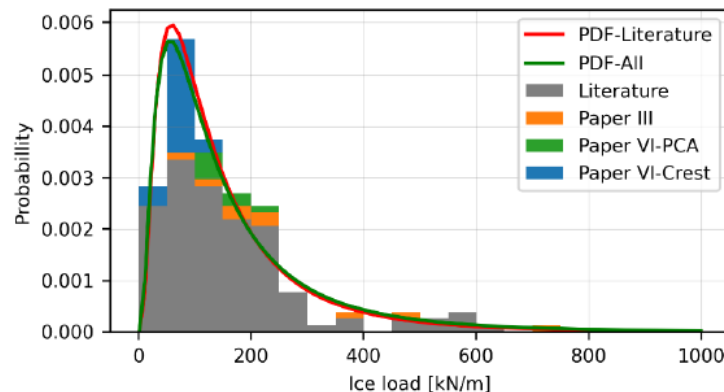
Inga eller små spår av islast kan observeras i den uppmätta responsen från de flesta dammarna.



Var står vi?

- Nuvarande riktlinjer har ingen kunskapsbaserad grund:
- Anekdotisk uppfattning i branschen om att islasten är för hög.
- Få haverier och incidenter kopplas till islast.
- Inga eller små spår av islast på dammars uppmätta beteende
- Samtidigt som
 - Dammägarna lägger stora pengar på att förstärka dammar mot islast.
 - Teoretiska modeller och empirisk data indikerar att islasten borde höjas.

	Årlig sannolikhet att överträffas = 1/50 [kN/m]
Innan SVC-projekt	720
Efter SVC-projekt	620





Konsekvens av att inte veta mer

- Förstärker vi dammar ”i onödan”?
- Förstärker vi dem inte tillräckligt?



Diskussion om designvärden

I en avhandlingen föreslås en metod som kan användas för att modifiera dimensionerande last.

Inkluderar faktorer som avhandlingen visar påverkar lastens storlek

Istjocklek

Vattennivåförändring

Dammens egenskaper

Baseras på metod för islast från ISO-19906

Metoden går att anpassa till nuvarande riktlinjer

$$LL_D = c_D c_{WL} h_{I,D} p_G$$

c_D är en koefficient för egenskaperna hos dammen

c_{WL} är en koefficient för regleringskategori

$h_{I,D}$ är dimensionerande istjocklek

p_G är globalt istryck

$$p_G = \left(\frac{w_D h_{I,D}}{A_{REF}} \right)^{-\alpha} p_{REF}$$

w_D är dammens bredd

α är en koefficient för skaleffekter

p_{REF} och A_{REF} är referenstryck på en referens area

Diskussion om designvärden

Dimensionerande istjocklek kan anges:

- geografiskt
- baseras på frekvensanalys från mätningar eller modeller.

Det finns enkla modeller för att uppskatta istjocklek (T.ex. Stefans ekvation).

Dimensionerande istjocklek kan variera mellan månader för att ta hänsyn till att reglering varierar isen angreppspunkt.

Finns publicerade förslag hur den kan väljas.

p_{REF} , A_{REF} och α är värden som anges i riktlinjen

$p_{REF}=200$ kpa och $\alpha = 0$ ger nuvarande riktlinjer.

$$LL_D = c_D c_{WL} h_{I,D} p_G$$

c_D är en koefficient för egenskaperna hos dammen

c_{WL} är en koefficient för regleringskategori

$h_{I,D}$ är dimensionerande istjocklek

p_G är globalt istryck

$$p_G = \left(\frac{w_D h_{I,D}}{A_{REF}} \right)^{-\alpha} p_{REF}$$

w_D är dammens bredd

α är en koefficient för skaleffekter

p_{REF} och A_{REF} är referenstryck på en referens area

Varför fortsatt forskning på området ?

• Kvarstående frågeställningar

- Dimensionerande islast?
- Styrande parametrar för islastens storlek?
- Varaktighet?
- Vilken återkomsttid har den?
- Rumslig fördelning längs en dam?
- Hur mäta islastens storlek bäst?
- Vad behöver en prediktionsmodell innehålla för att förutspå islasten vid en specifik anläggning ?

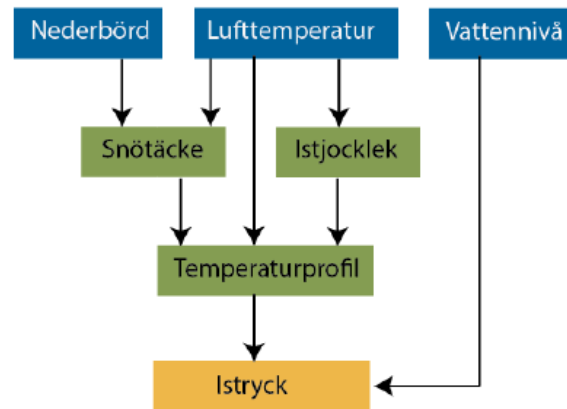


Energiforsk

VATTENFALL 



SVENSKT CENTRUM FÖR
HÅLLBAR VATTENKRAFT



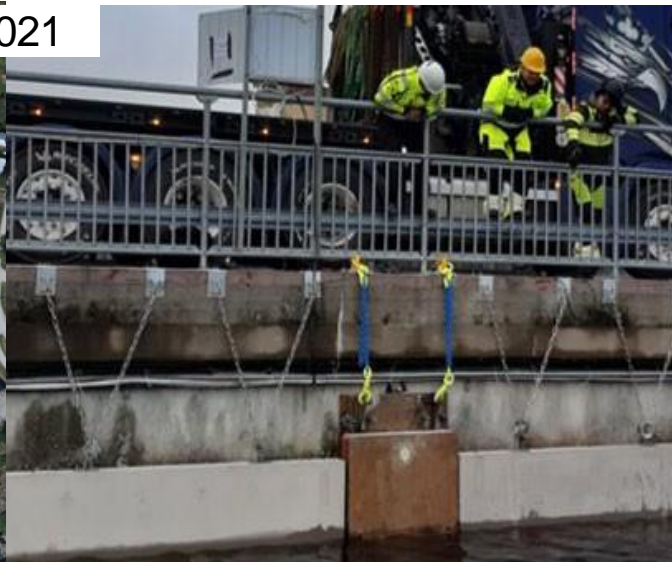
[Hellgren, Malm, Wilde, 2019]

Islastpanel 2 Stornorrfors

– Ny panel tillverkat av Vattenfall R&D



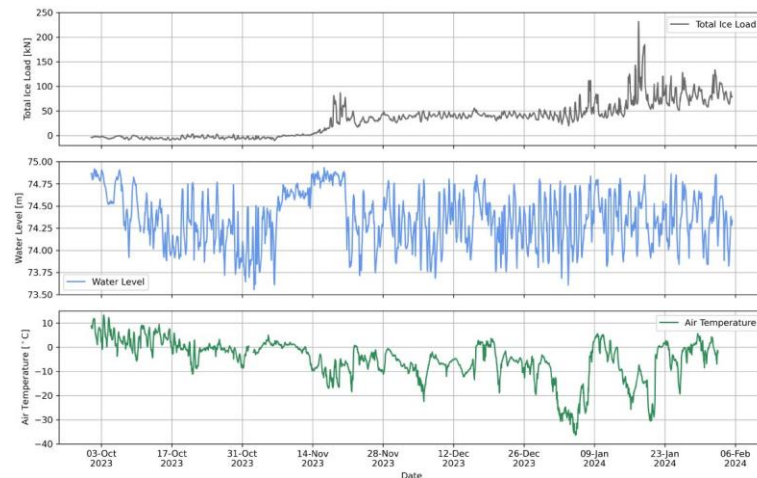
2021



Pågående forskning på KTH Betongbyggnad

Seniorforskarprojekt - Andreas Sjölander + Erik Nordström

- 2023 – 2027
- Fortsatta mätningar vid Rätan och Stornorrfors
- Analys av mätdata islast, istjocklek, istemperatur etc.
- Fokus på fortsatt utveckling av prediktionsmodell
- Demonstrera potentiella skillnader längs en älvsträcka
- Utreda förekomst av rumslig spridning av islasten längs en damm + ev. utveckla mätkoncept
- Examensarbete (analys mätdata, numerisk modellering)



Slutord

- Is ger stora laster mot våra dammar
 - Kanske inte märkabar på grund av många andra konservativa antaganden
- Vi vet inte riktigt hur stora och lasten varierar med istjocklek, isegenskaper, vattenståndsvariationer, snötäcke, ständer, damm mm
- Det pågår fortsatt arbete, kanske kan vi använda den metod som föreslås av ISO för offshoreplattformar i arktiskt klimat

Ännu ingen lösning på islastmysteriet!

