



Staalconstructies voor arctische condities

Bouwen met Staal – Voor en door constructeurs
Leo Oorschot – 23 November 2016



MAMMOET - 1



Conventioneel transport
Saudi Arabie, Sept.2016



SPMT transport Yamal,
Rusland, Maart 2016

MAMMOET - 2



Dubai, Maart 2016



Yamal – Rusland, Maart 2016

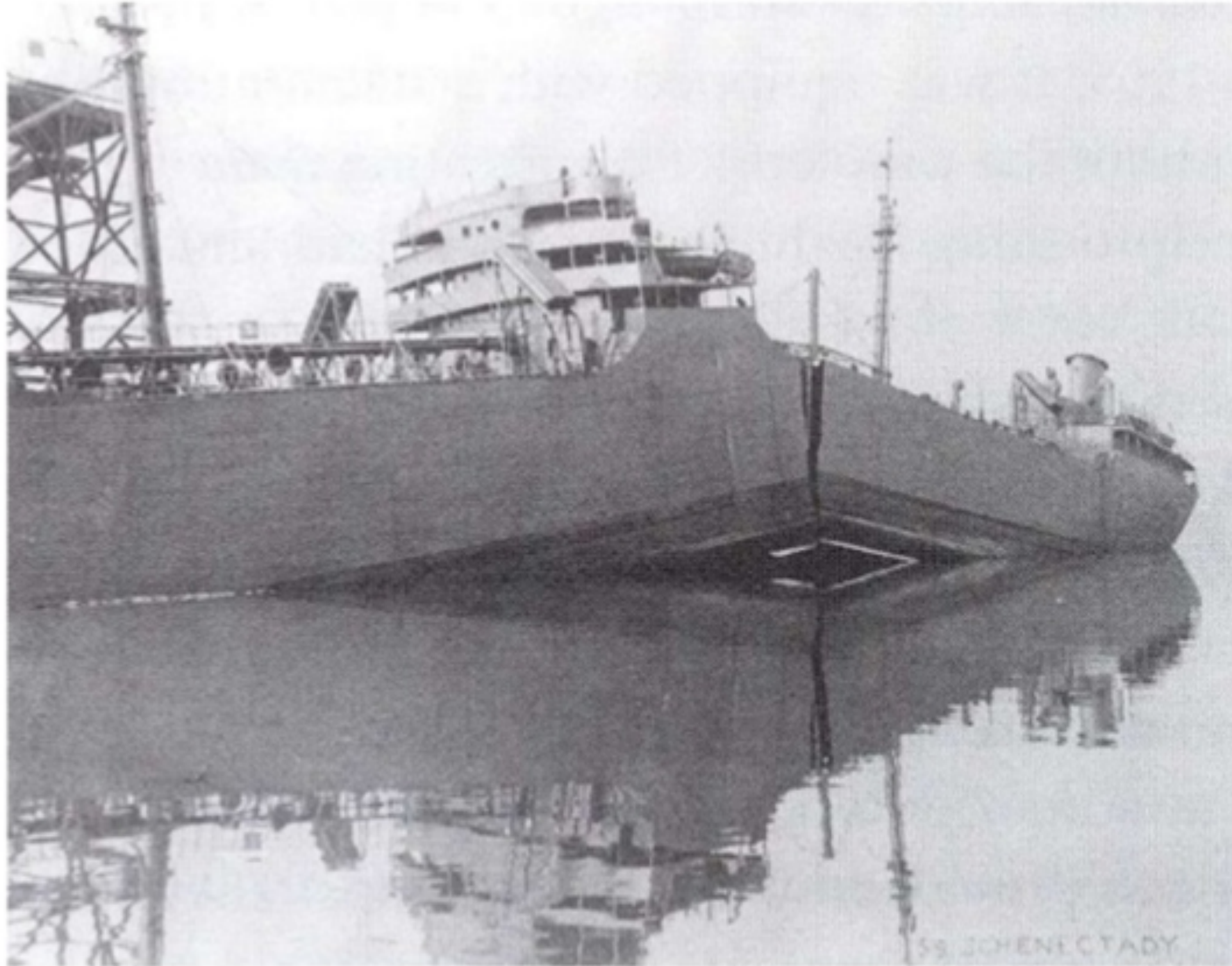
LIBERTY SHIPS - 1

- Tweede Wereldoorlog
- Vrachtschepen voor de bevoorrading van Europa
- Standaardontwerp, geprefabriceerde volledige gelaste constructie
- Korte bouwtijd
- Slechte kwaliteit staal
- Koud water van de Noord-Atlantische Oceaan
- Maximaal beladen



LIBERTY SHIPS - 2

USS Schenectady



USS Ponaganset

- Totale productie in 3 jaar tijd : 2710 schepen
- 30% had last van scheuren
- 140 gevallen van compleet bezwijken

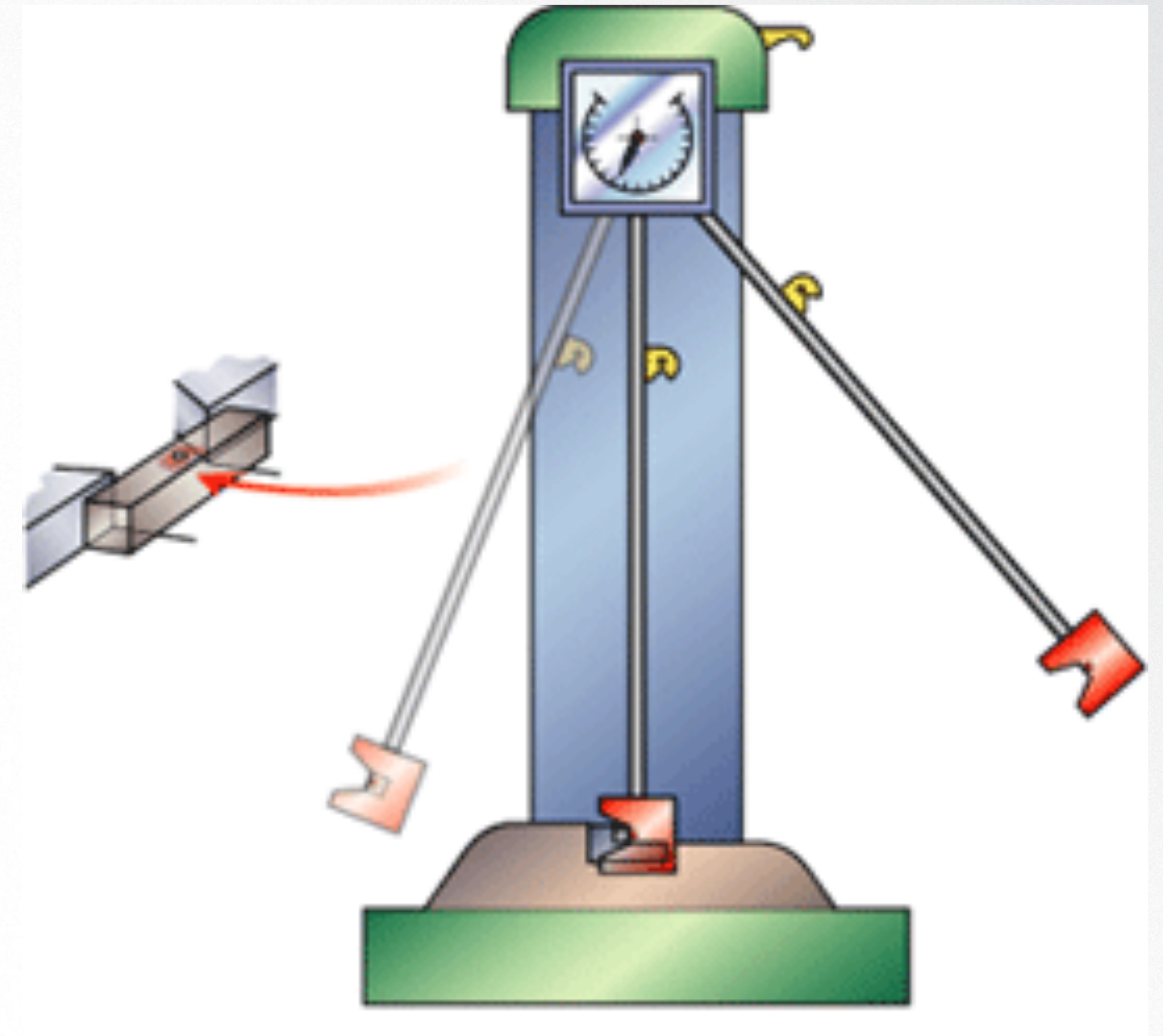
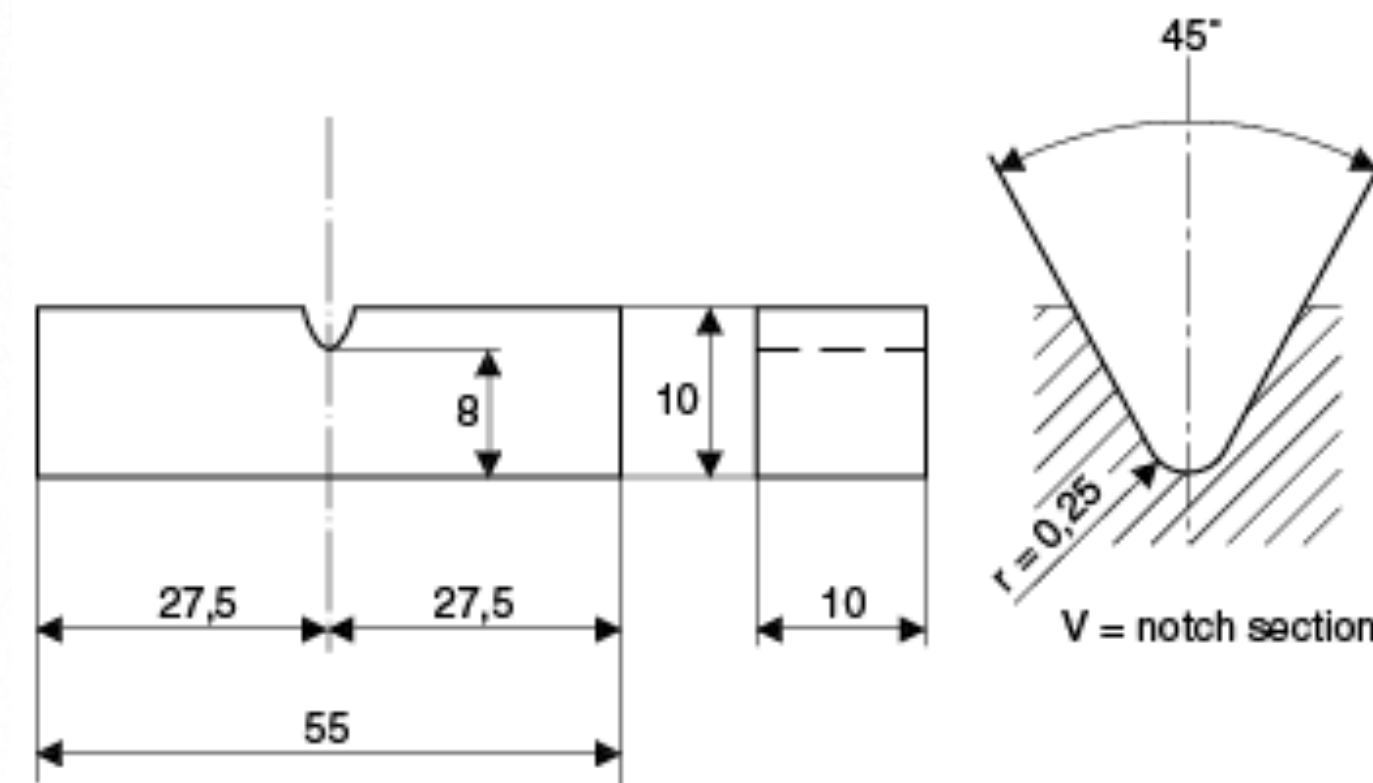
LIBERTY SHIPS - 3

- Alle bezwijkgevallen tijdens koud weer / in koud water
- Altijd scheuren in locaties met hoge spanningen
- Hoge spanningen veroorzaakt door dekluisen, doorgangen en lasfouten
- Geen vermoeiingsschade maar plotseling bezwijken
- Geen taai gedrag van het staal of van de las
- Brosse breuk => 'nieuw' fenomeen voor scheepsbouwers /staalconstructeurs

- Brosse breuk was al bekend van ketel/drukvat explosies
- Georges Charpy => ontwikkelde een simpele testprocedure om de taaiheid van staal te bepalen in 1901

CHARPY V-NOTCH TEST

- Simpel, snel
- Kleine proefstukken
- Drie testen per temperatuur
- Wereldwijd gestandaardiseerd
- EN 10045-1
- ASTM A370



CVN TRANSITION CURVE

- Relatie geabsorbeerde impact energie vs temperatuur
 - 3 Upper shelf = taai (ductile)
 - 1 Lower shelf = bros (brittle)
 - 2 Overgangsgebied = transition zone
- EN definieert bros als minder dan 27 J ($\approx 20 \text{ ft}\cdot\text{lb}$)

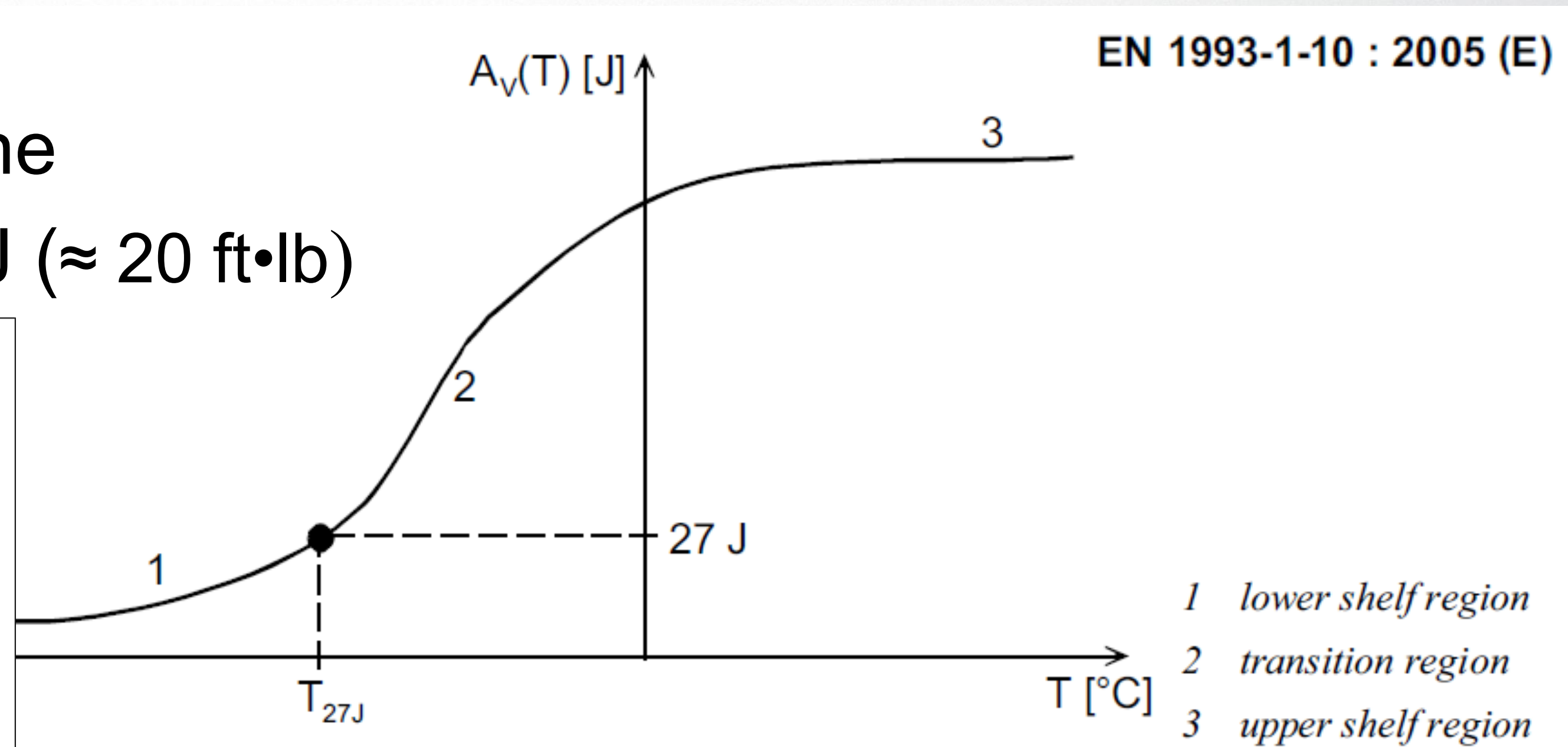
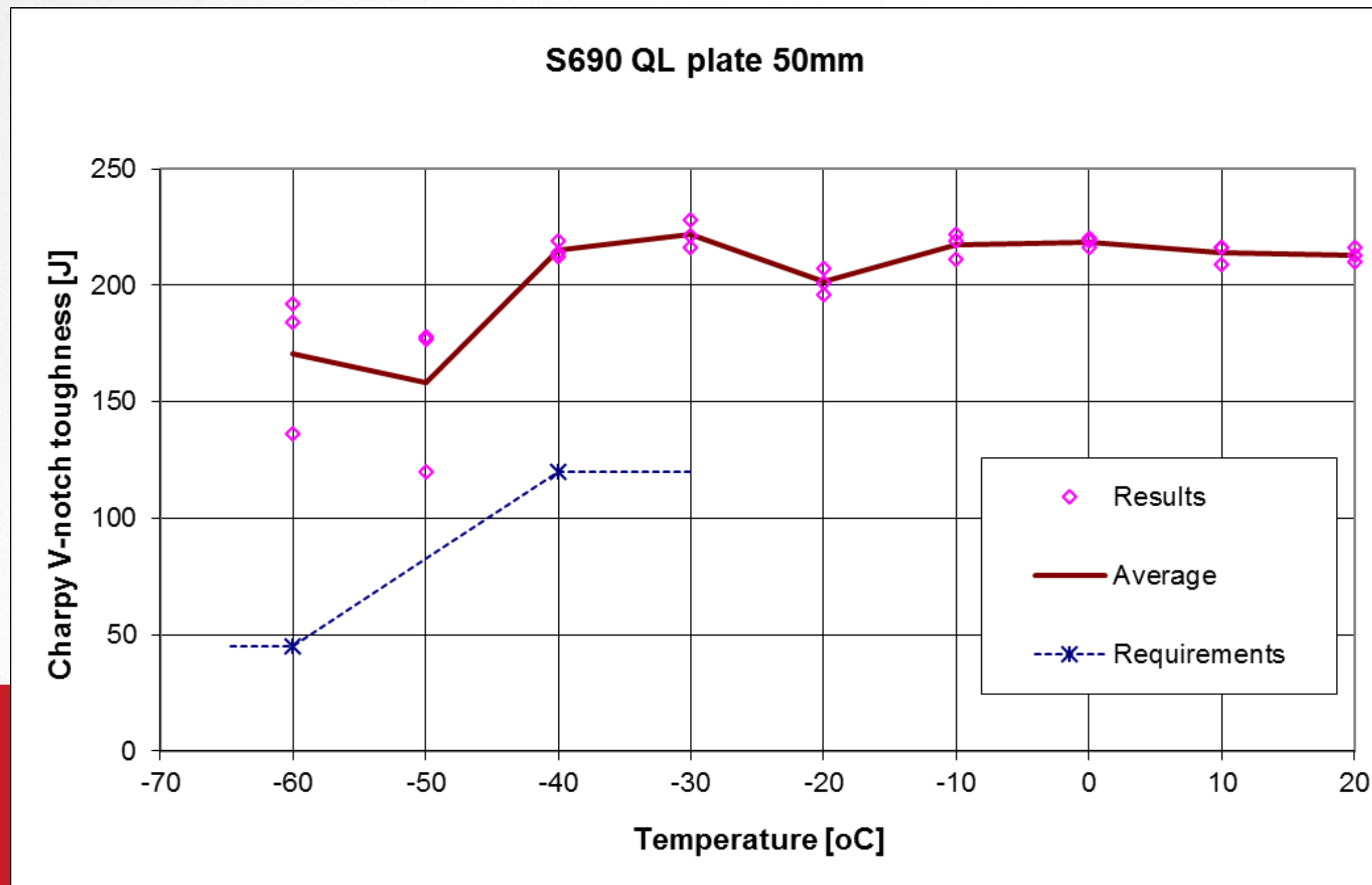


Figure 1.1: Relationship between impact energy and temperature

STAALKWALITEIT

- Staalsterkte en staalkwaliteit zijn onzichtbaar van de buitenkant
- Staalsterkte legt de sterkte eigenschappen vast
- Staalkwaliteit bepaalt de eigenschappen voor bewerken, lassen en de taaiheid



←S ???

S ???→

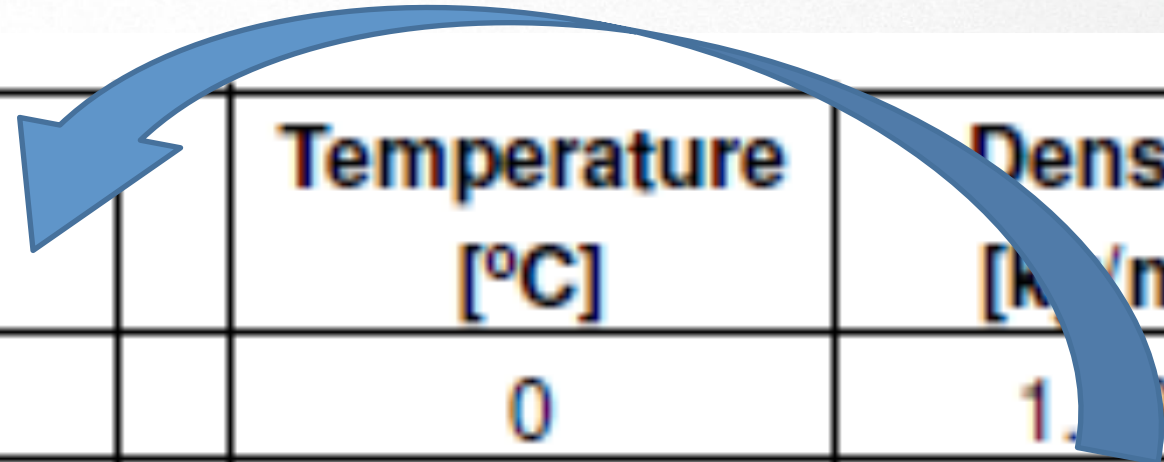
←S 690 QL

S 235 J0→



ARCTISCHE OMGEVING - 1

- Temperatuur Gemeten -60°C (-76°F), voor Mammoet -40°C (-40°F)
- Wind Convective koeling, hogere dichtheid van de lucht ...
- Straling UV-straling
- Water Alle mogelijke vormen
 - Sneeuw
 - IJs
 - Icing (aanvriezen van rijp)
 - Water (zoet en/of zout)
 - Condensatie
 - Vorst-dooi cycli



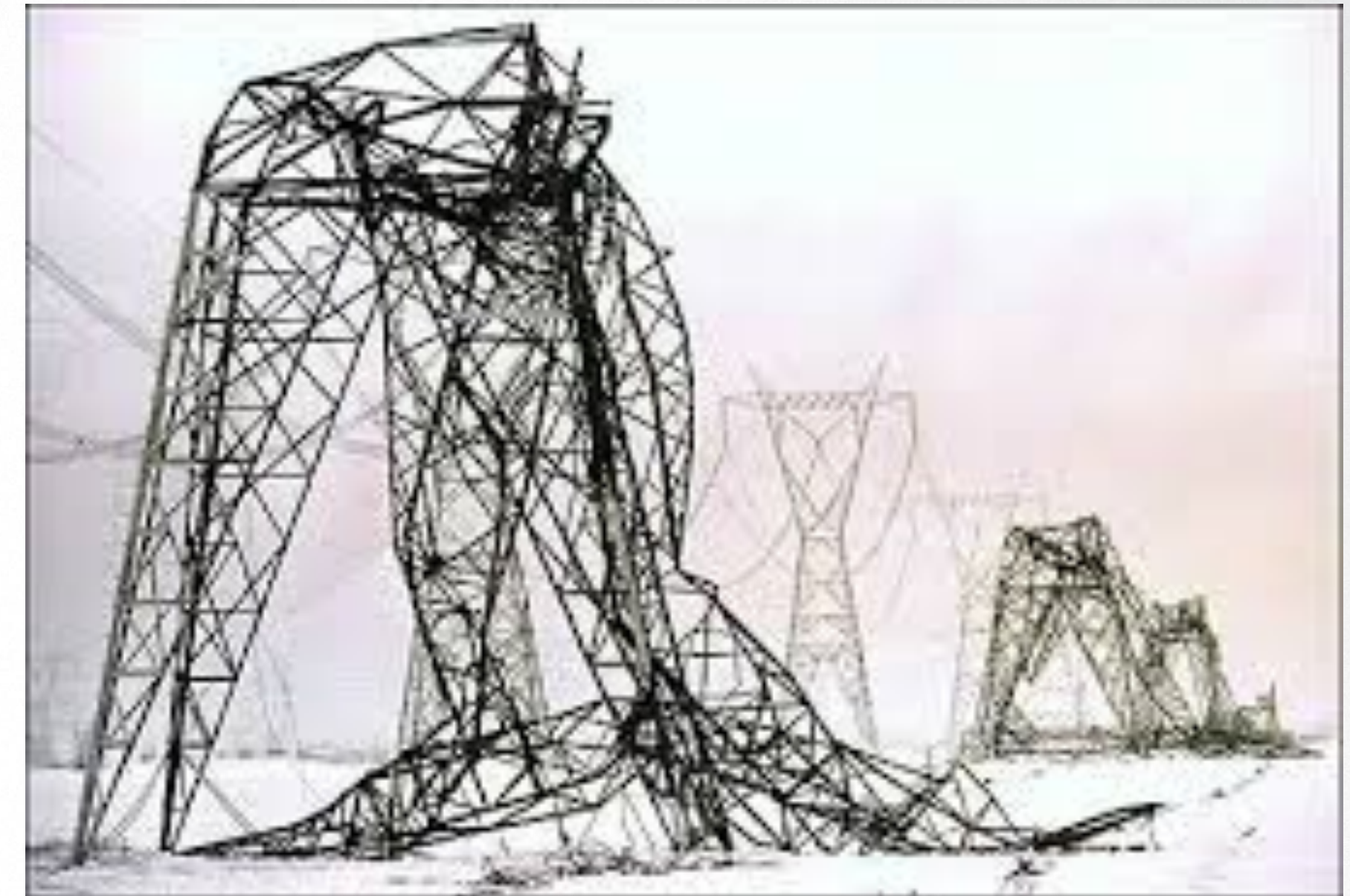
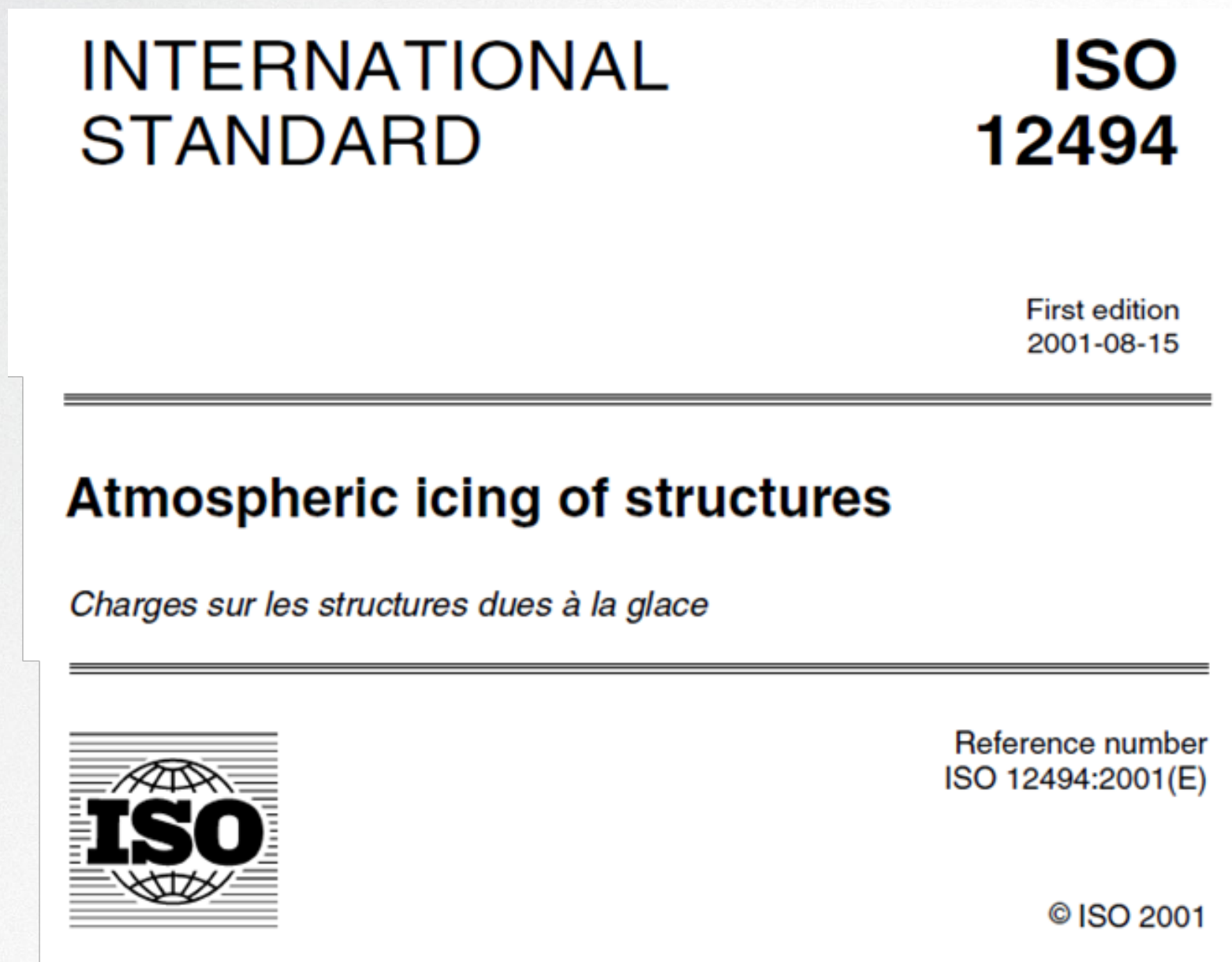
Temperature [°C]	Density [kg/m ³]	Temperature [°C]	Density [kg/m ³]
-40	1.514	0	1.292
-30	1.452	10	1.247
-20	1.394	20	1.204
-10	1.341	30	1.164
0	1.292	40	1.127

ARCTISCHE OMGEVING - 2

- Icing

Het proces van het aanvriezen van ijs (rijp) op het oppervlak van een object.

- IJs voegt gewicht toe
- IJs verandert de aerodynamische eigenschappen



STAALKWALITEITEN IN NORMEN

- Nationale normen wereldwijd onderkennen brosse breuk en schrijven minimale taaiheidswaarden voor.
- Ook Offshore staalkwaliteiten hebben eisen mbt brosse breuk.

CSA G40.21-13 Steel grade / quality		Minimum average absorbed energy, categories 1 to 4	
SI	Imperial	SI	Imperial
260 WT	38 WT	20 J	15 ft•lb
300 WT	44 WT	20 J	15 ft•lb
350 WT	50 WT	27 J	20 ft•lb
450 WT	65 WT	27 J	20 ft•lb
700 QT	100 QT	34 J	25 ft•lb
all	all	Category 5, to be specified by purchaser	

CSA	Category	Standard test temperature	
	1	0°C	32°F
	2	-20°C	0°F
	3	-30°C	-20°F
	4	-45°C	-50°F
	5	To be specified by purchaser	

EN product standard	Steel grade incl. quality	CVN requirement		
EN 10025-2:2004	S355 JR	27 J at 20°C	Suffix 'R' indicates Room temperature	
EN 10025-2:2004	S355 JO	27 J at 0°C	Suffix 'O' indicates 0°C	
EN 10025-2:2004	S355 J2	27 J at -20°C		
EN 10025-2:2004	S355 K2	40 J at -20°C	27 J at -30°C	
EN 10025-3:2004	S355 N	40 J at -20°C	27 J at -30°C	
EN 10025-3:2004	S355 NL	47 J at -20°C	40 J at -30°C	31 J at -40°C
EN 10025-4:2004	S355 M	40 J at -20°C	27 J at -30°C	
EN 10025-4:2004	S355 ML	47 J at -20°C	40 J at -30°C	31 J at -40°C
EN 10025-6:2004	S690 QL	40 J at -20°C	30 J at -30°C	
EN 10025-6:2004	S690 QL1	50 J at -20°C	40 J at -30°C	30 J at -40°C

ASTM number-year	Grade	SI	Imperial
A500-13	B, C	No requirements	
A501-14	B	27 J at -18°C	20 ft•lb at 0°F
A514-13	All grades	To be specified at purchasing	
A572-13a	50, 65	To be specified at purchasing	
A618-04	Grade II	No requirements	
A709-13a (see annex A)	50W(T,F)	Varying from 20 J at 21°C to 48 J at -34°C	Varying from 15 ft•lb at 70°F to 35 ft•lb at -30°F
	HPS 50W(T,F)		
	HPS 70W(T,F)		
	HPS 100W(T,F)		
A992-11	-	To be specified at purchasing	
A1085-13	A	34 J at 4°C	25 ft•lb at 40°F

STAALKWALITEITEN IN DE MAMMOET MATERIAAL SPECIFICATIES

- Voor EN materialen een specificatie 
- Voor ASTM / CSA materialen een specificatie 

ASTM/CSA product standard	Steel grade incl. quality	CVN requirement	
		ASTM/CSA values	Mammoet Mat.spec.S12
A500-13	B, C	No requirements	<i>Not allowed for temp. < 0°C</i>
A501-14	B	27 J at -18°C	41 J at -18°C
A514-13	All grades	To be specified	41 J at -18°C
A572-13a	50, 65	To be specified	41 J at -18°C
A618-04	Grade II	No requirements	<i>Not allowed for temp. < 0°C</i>
A709-13a	50WF, HPS 50WF, HPS 70WF	various	54 J at -23°C
	HPS 100WF	various	48 J at -34°C
A992-11	-	To be specified	27 J at -20°C
A1085-13	A	34 J at 4°C	48 J at 4°C <i>(not allowed for temp. < -20°C)</i>
CSA G40.21-13	350WT	27 J at -20°C	40 J at -20°C
CSA G40.21-13	700QT	34 J at -20°C	50 J at -30°C

EN product standard	Steel grade incl. quality	CVN requirement	
		EN prod.standard	Mammoet Mat.spec.S03
EN 10025-2:2004	S355 JR	27 J at 20°C	<i>JR not allowed</i>
EN 10025-2:2004	S355 J0	27 J at 0°C	<i>J0 not allowed</i>
EN 10025-2:2004	S355 J2	27 J at -20°C	50 J at -20°C
EN 10025-2:2004	S355 K2	40 J at -20°C, 27 J at -30°C -	35 J at -40°C
EN 10025-3:2004	S355 N	40 J at -20°C, 27 J at -30°C	50 J at -20°C
EN 10025-3:2004	S355 NL	47 J at -20°C, 40 J at -30°C, 31 J at -40°C	35 J at -40°C
EN 10025-4:2004	S355 M	40 J at -20°C, 27 J at -30°C	50 J at -20°C
EN 10025-4:2004	S355 ML	47 J at -20°C, 40 J at -30°C, 31 J at -40°C	35 J at -40°C
EN 10025-6:2004	S690 QL	40 J at -20°C, 30 J at -30°C -	60 J at -40°C
EN 10025-6:2004	S690 QL1	50 J at -20°C, 40 J at -30°C, 30 J at -40°C	60 J at -40°C

ONTWERPEN - DRUKKRACHTEN

- Expansie (uitzetten)
- Wrijvingscoefficient



ONTWERPEN - BUIGING

- Buiging
=> druk, trek en schuif
- $W_{\text{elastisch}}$ vs $W_{\text{plastisch}}$
- Geen (weinig) plastisch gedrag bij lage temperaturen
- Speciale aandacht voor de trekzone



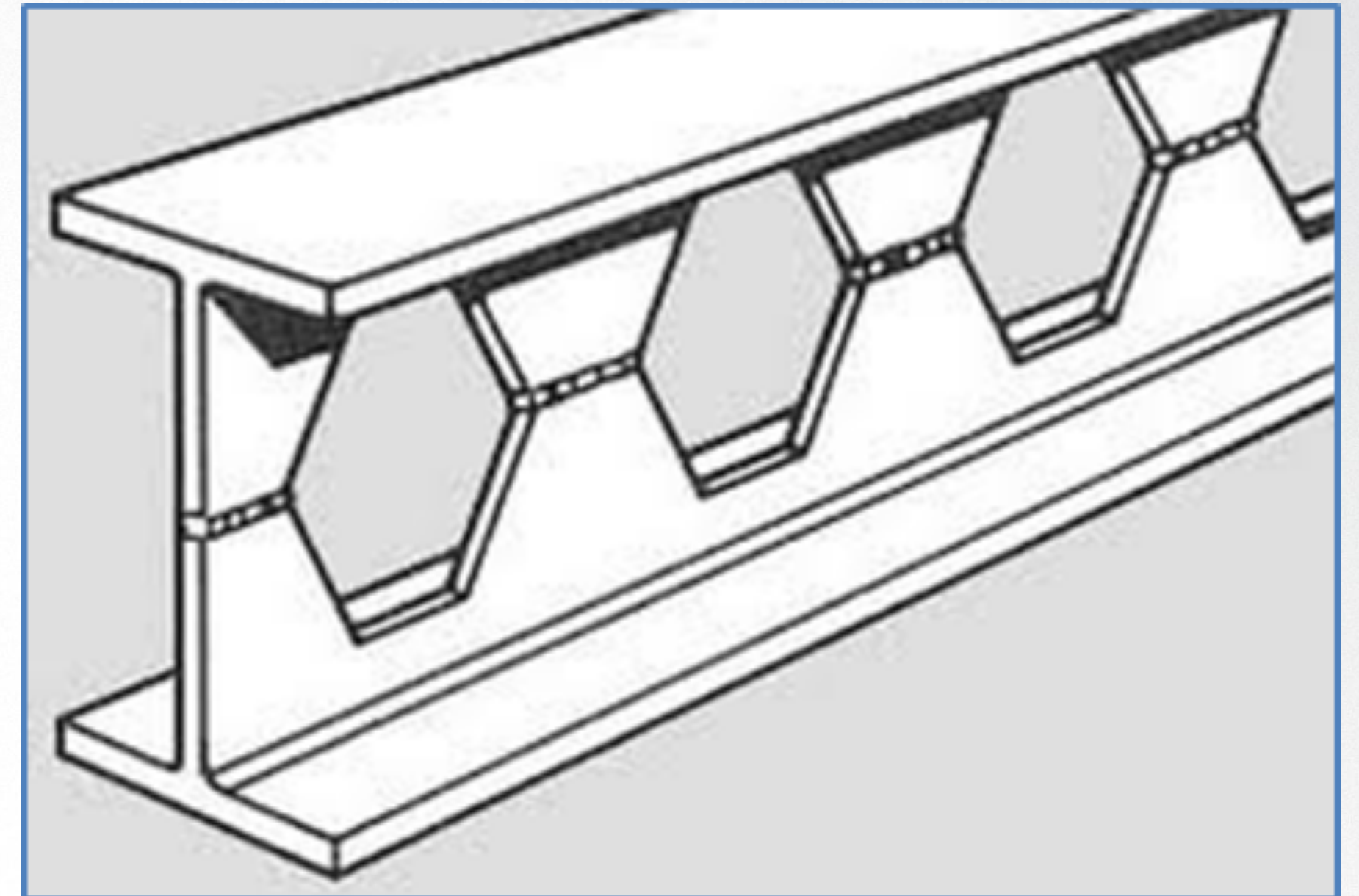
ONTWERPEN - TREKKRACHTEN

- Scheurinitiatie
(crack initiation points)
- Beste lassen zijn geen lassen
- Zorgvuldig detailleren
- Secondary steel



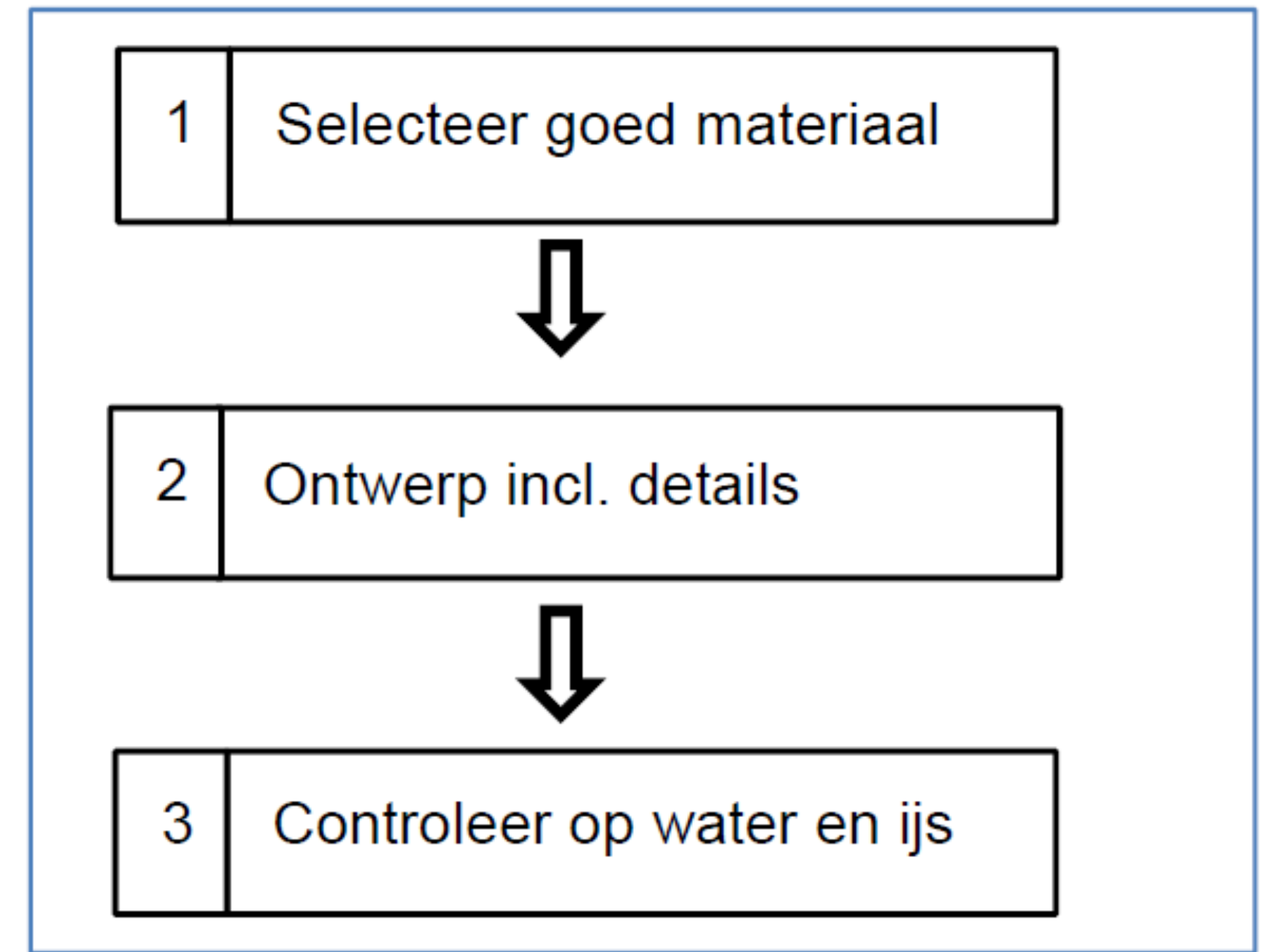
ONTWERPEN - SCHUIFKRACHTEN

- Schuif is een afgeleide van buiging
- Maximale schuifspanning zit ter hoogte van de neutrale lijn
- Cut-outs zitten meestal rond de neutrale lijn



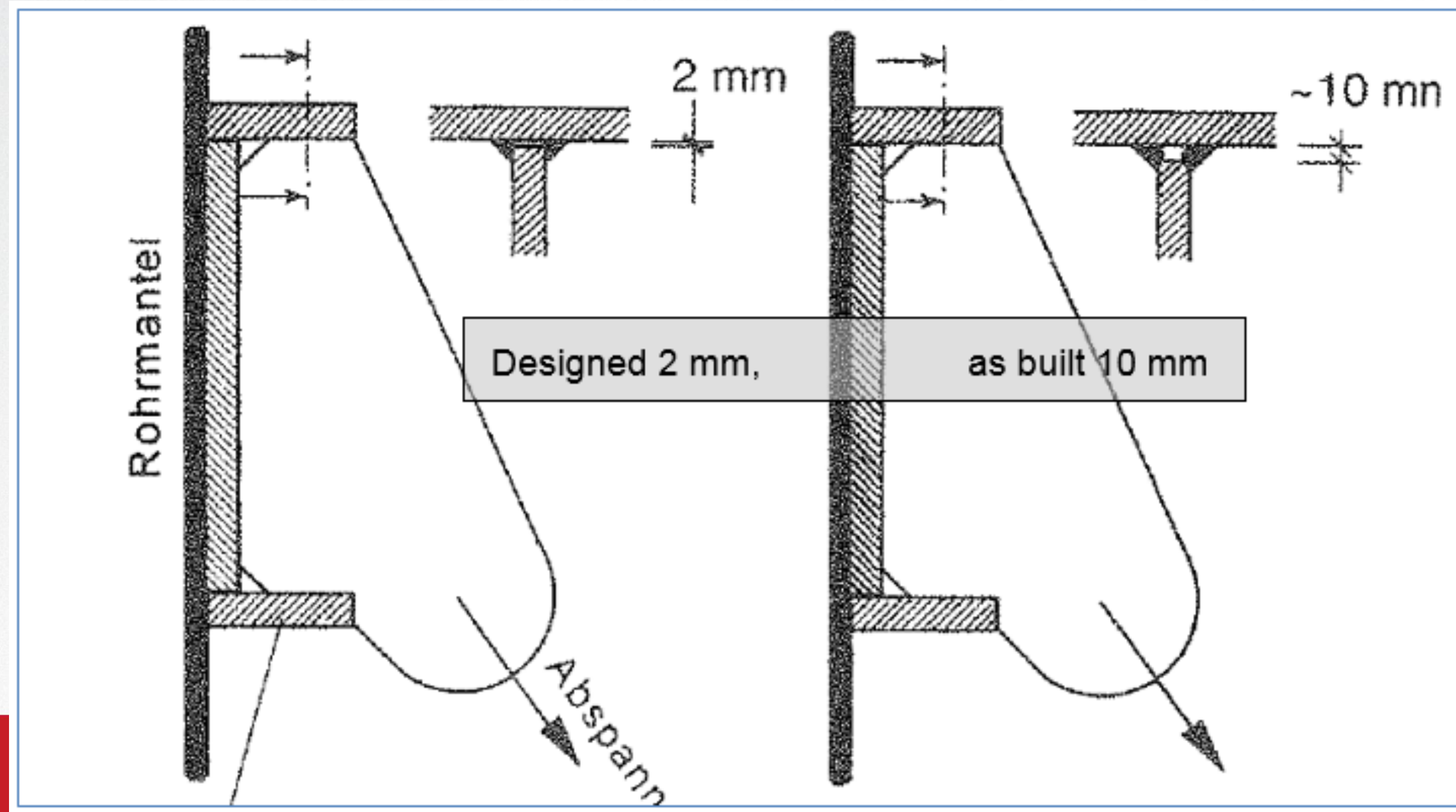
ONTWERPEN - ALGEMENE REGELS

1. Kies material met goede taaiheidseigenschappen, omdat staal meer gevoelig is voor brosse breuk bij lage temperaturen.
2. Ontwerp details en fabriceer de staalconstructie alsof die belast wordt op vermoeiing. “Fatigue” design beperkt piekspanningen en scheurinitiaties, wat het risico op brosse breuk reduceert.
3. Controleer waar water in de constructie kan komen, en controleer welke schade (bevroren) water zou kunnen toebrengen. Vooral ijs heeft meerdere ongunstige eigenschappen.



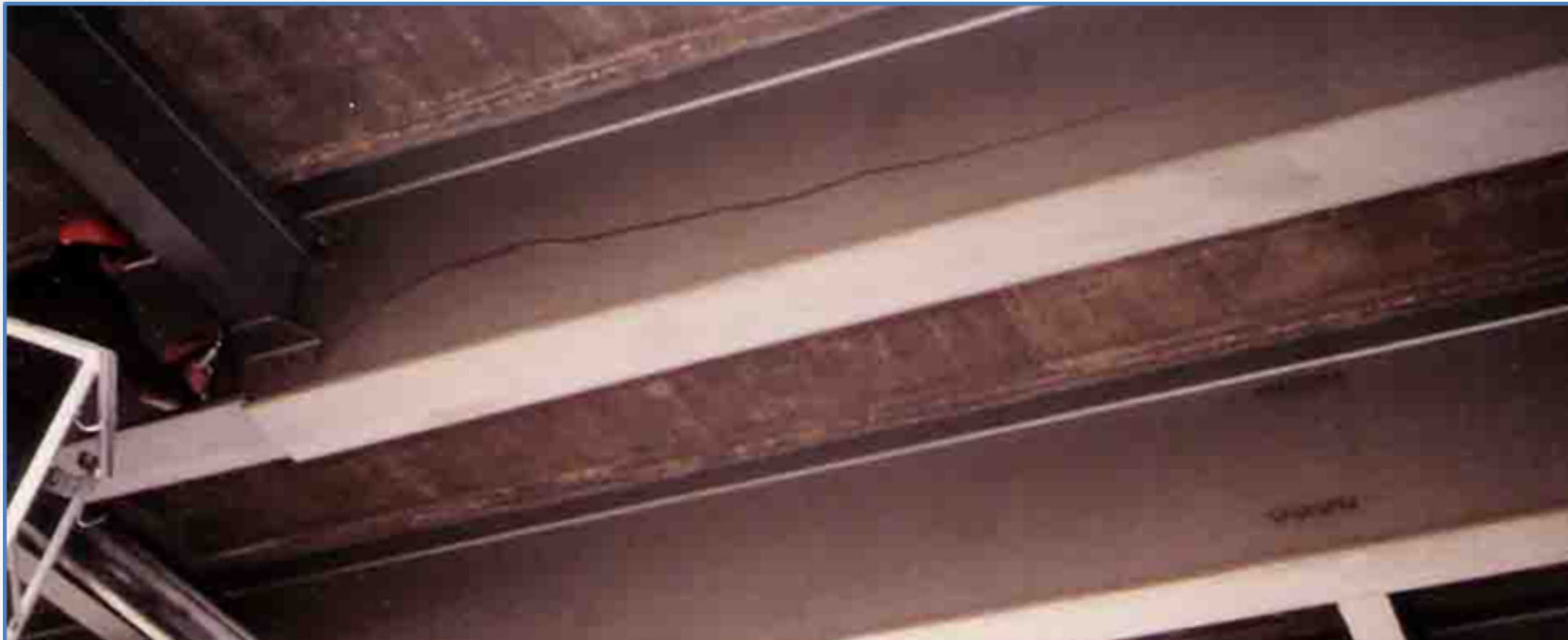
VOORBEELD TE KLEINE SCHETSPLAAT

- Schotjes en schetsplaten moeten liefst in een keer passen
- Toegestane fabricage toleranties zijn aanzienlijk
- Te kleine schetsplaten zijn 'economisch'
- Maar lucht dichtlassen is moeilijk ...



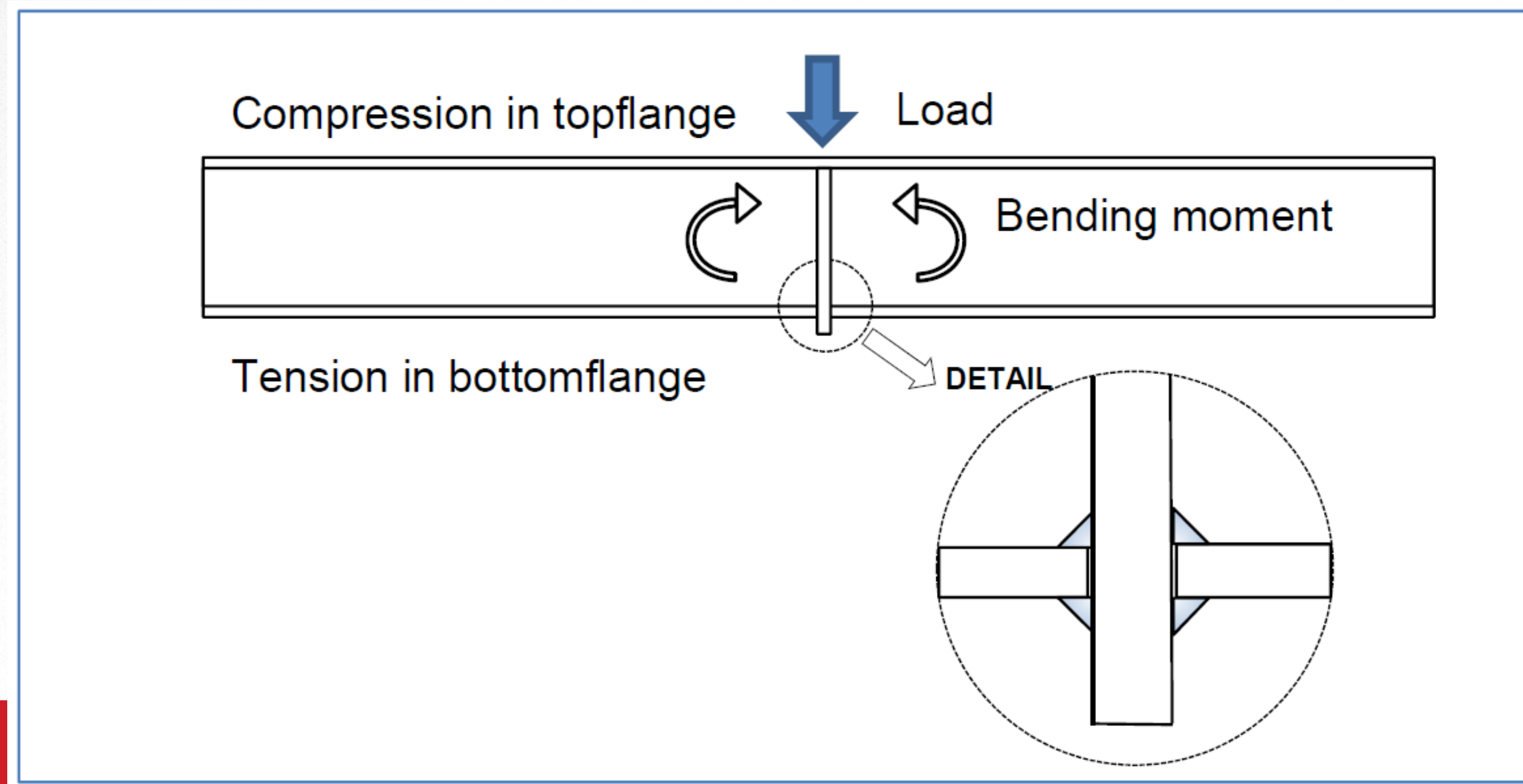
VOORBEELD VERKEERD GEBOORDE BOUTGATEN

- Na een koude winter een grote scheur
- Niet het beste materiaal mbt taaiheid
- Scheurinitiatie vanuit de proplassen in de verkeerd geboorde boutgaten ...



VOORBEELD BALK MET EEN SCHOT DOOR DE FLENS

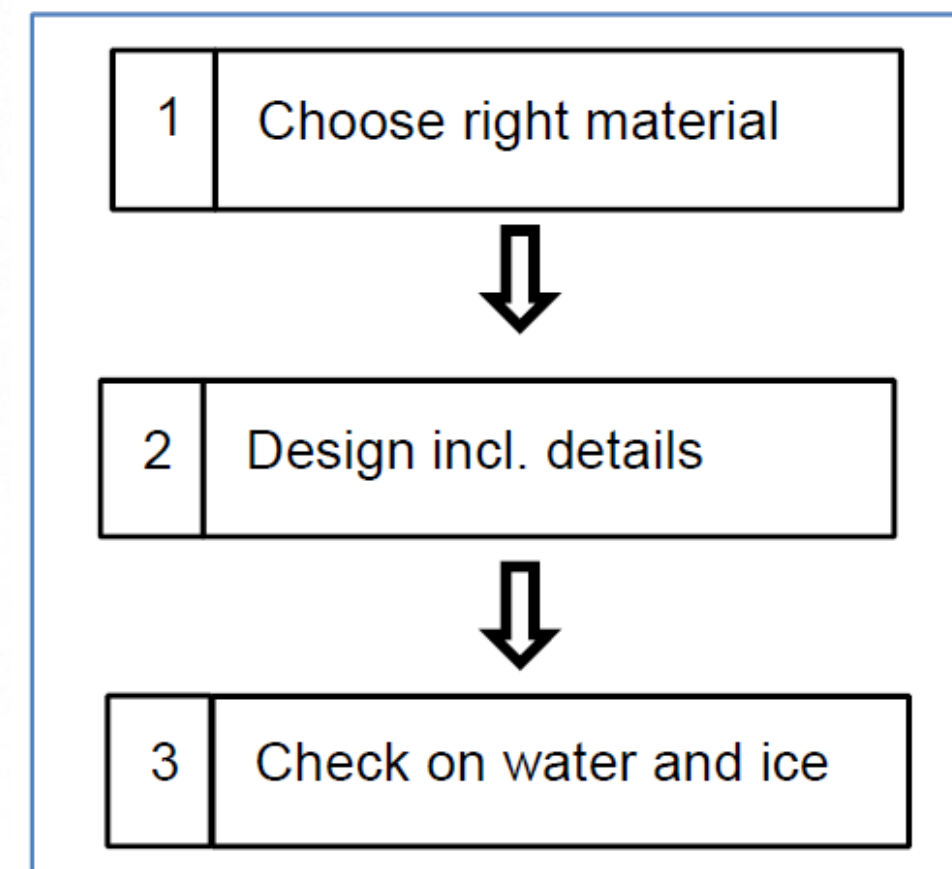
- Vijzelen mijnbouwmachine in Noord Amerika in de winter
- Vijzelbalk belast op buiging en schuif
- Onderbroken, getrokken onderflens, verbonden met hoekklassen ...



MAMMOET

- Kan Mammoet zoiets overkomen?
- Equipmentbeheer verbeteren
- Cold weather awareness training voor engineers
- Design guide for arctic steel structures

1. Material
2. Design and details
3. Arctic environment



SAFETY ALERT

Learning from incidents

Subject: Beam Failure while Performing a Lift – SHIMS # 29846

Date: April 2, 2015

From: Marcel Kooyman, Engineering Department USA

WHAT HAPPENED

On February 19, 2015, at around 10 am local time, a lifting beam failed under load while lifting a 4500 ton coal dragline. This failure caused the weight of the load to shift to a hanger support. The hook portion of the hanger was then snapped off. The hook portion that broke off weighed approximately 150 to 200 lbs (60 to 75 kgs) and thrown 20 feet (7 meters). See picture below. Fortunately, no one was hit by the thrown object as personnel were in the general area working.



View of dragline that was being transported



Failed beam parts and snapped off hanger hook

WHY IT HAPPENED

1. The beam in question **did not have proper design specifications** / allowable loads or certifications within SAP using a unique identification number.
2. **Modifications** had been made to the beam in the past but it **had not been re-engineered** to verify capacity and allowable use.
3. A visual inspection of the equipment was made prior to loading the beam onto the transport unit, without questions being raised on **missing certification**.
4. **Cold weather related metallurgical impacts were not considered**, thus leading to a brittle fracture which takes place at much lower loads than in normal temperatures.



THANK YOU FOR YOUR TIME



WAT TE DOEN MET MATERIAAL ZONDER VOLDOENDE TAAIHEIDSEIGENSCHAPPEN?

- Kipling dam, Canada. Caissonafdekplaat weggeschoven, December 2012
- Lange gantrybalken nodig => materiaalkwaliteit niet voor -40°C...
- Materiaal kan niet aangepast worden, maar de temperatuur wel!



ISO 12494:2002

1 Scope

1.1 General

This International Standard describes the general principles of determining ice load on structures of the types listed in 1.2.

In cases where a certain structure is not directly covered by this or another standard or recommendation, designers may use the intentions of this International Standard. However, the user should always consider carefully the applicability of the standard (recommendation) to the structure in question.

The practical use of all data in this International Standard is based upon certain knowledge of the site of the structure. It is necessary to have information about the degree of “normal” icing amounts (= ice classes) for the site in question. For many areas, however, no information is available.

Even in such cases this International Standard can be useful, because local meteorologists or other experienced persons should be able to, on the safe side, estimate a proper ice class. Using such an estimate in the structural design will result in a much safer structure, than designing without any considerations for problems due to ice.



CAUTION It is extremely important to design for **some ice** instead of **no ice**, and then the question of whether the amount of ice was correct is of less importance. In particular, the action of wind can be increased considerably due to both increased exposed area and increased drag coefficient.

MEER VOORBEELDEN



Project in Siberie,
constructies klant



WINTERSE OMSTANDIGHEDEN - 1



Hijsportaal Edmonton
Canada, Januari 2005

WINTERSE OMSTANDIGHEDEN - 2



Transport Sakhalin, Rusland, 2009