

Konstrukcja kadłuba statków morskich

Zbigniew Sekulski

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie
Wydział Techniki Morskiej i Transportu

4. Elementary plate panels (EPPs) for longitudinal and transverse framing (IACS, 2015)

O wyborze układu wiązań decyduje w znacznej mierze odporność poszycia na wyboczenie a nie wytrzymałość konstrukcji. Po przekroczeniu poziomu obciążeń/naprężeń dopuszczalnych z punktu widzenia wyboczenia rzeczywiste płyty poszycia zachowają wytrzymałość (naprężenia nie przekroczą granicy plastyczności) ale utracą stateczność: ulegną wyboczeniu.

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie
Wydział Techniki Morskiej i Transportu

8. Perspective drawings of all ship hull framing systems

Zbigniew Sekulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich

9. Perspective drawing of ship hull with transversal framing system

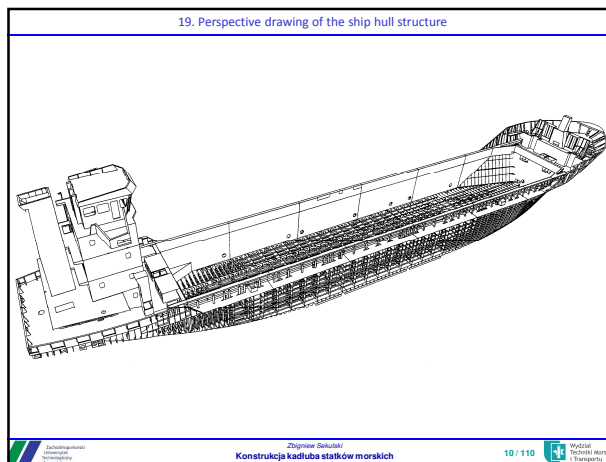
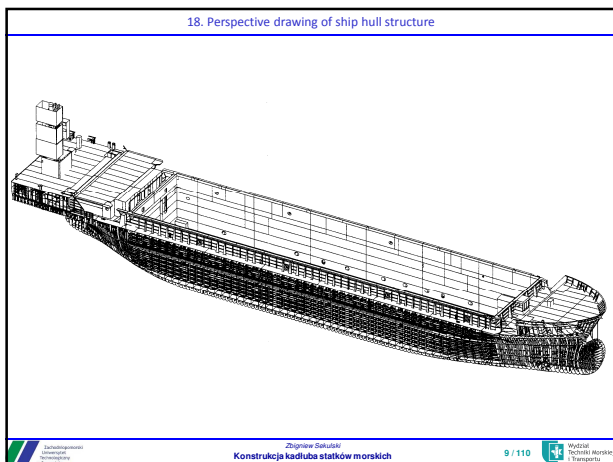
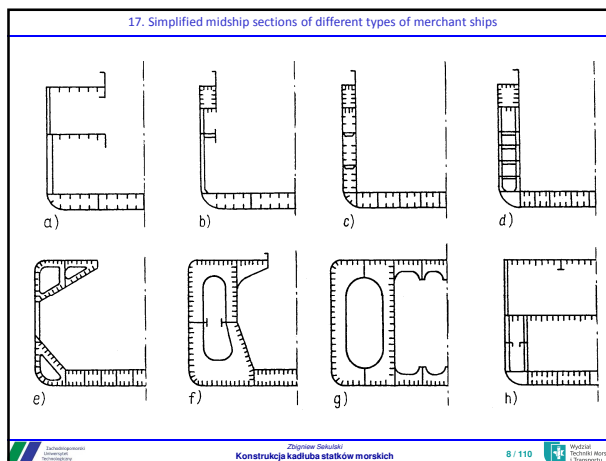
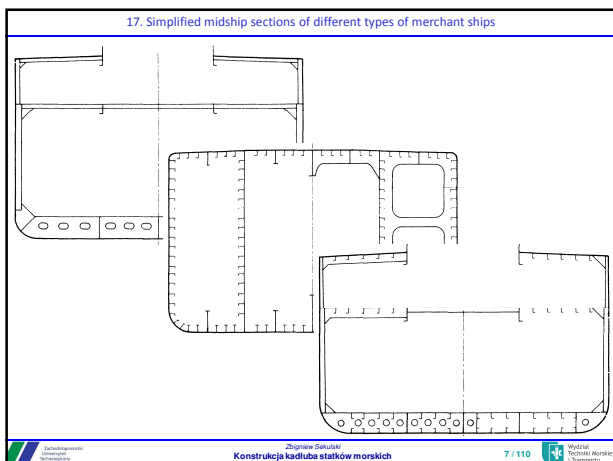
Zbigniew Sekulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich

10. Perspective drawing of the ship hull with longitudinal framing system

Zbigniew Sekulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich

11. Perspective drawing of the ship hull with mixed framing system

Zbigniew Sekulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich



30. Ship hull framing systems

Kadłuby statków krótkich, o długościach nie większych niż ok. 100 m, najczęściej konstruowane są z poprzecznym przebiegiem usztywnień wszystkich części kadłuba: dna (denniki), burt (wręgi burtowe) i pokładów (pokładniki). Kierunkiem głównym jest wówczas kierunek poprzeczny.

Wiązary – wzdłużniki denne, wzdłużniki burtowe i wzdłużniki pokładowe – mają wówczas wzdłużny przebieg; prostopadły do kierunku głównego. W celu uzyskania rusztu o odpowiedniej wytrzymałości część usztywnień poprzecznych zastępowana jest wiązarami poprzecznymi (głównego kierunku) (rama poprzeczna = dennik + wręg ramowy + pokładnik ramowy) krzyżującymi i łączącymi się z wiązarami wzdłużnymi.

Zbigniew Szulski
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Kolegium
Zadanie 30
Konstrukcja kadłuba statków morskich 11 / 110

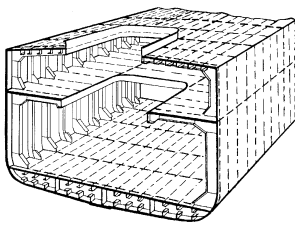
30. Ship hull framing systems

Statki długie, o długościach przekraczających ok. 160 m, mogą być konstruowane ze wzdłużnym przebiegiem usztywnień dna (wręgi wzdłużne dna), burt (wręgi burtowe) i pokładów (pokładniki wzdłużne) (pokład wytrzymałościowego; międzypokłady mogą być konstruowane w poprzecznym układzie wiązań). Kierunkiem głównym jest wówczas kierunek wzdłużny.

Wiązary (denniki, wręgi ramowe, pokładniki ramowe) na takich statkach leżą wówczas w płaszczyznach poprzecznych, prostopadłych do kierunku głównego. W celu uzyskania rusztu o odpowiedniej wytrzymałości część usztywnień wzdłużnych zastąpionych jest wiązarami wzdłużnymi (wzdłużnikami) krzyżującymi (biegnącymi w kierunku wzdłużnym) i łączącymi się z wiązarami poprzecznymi (rama poprzeczna = dennik + wręg ramowy + pokładnik ramowy).

Zbigniew Szulski
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Kolegium
Zadanie 30
Konstrukcja kadłuba statków morskich 12 / 110

30. Ship hull framing systems



Kadłuby statków o średnich długościach, rzędu 80 – 220 m, najczęściej mają mieszany układ wiązań kadłuba. Dno (dno pojedyncze / dno podwójne) i górny pokład statku z takim układem wiązań mają usztywnienia (wrgi wzdłużne dna, pokładniki) biegnące wzdłuż kadłuba. Te wzdłużne usztywnienia łączone są z poprzecznymi wiązarami (podpierane są przez...) – dennikami i pokładnikami ramowymi.

Burty i dolne pokłady (jeśli są na statku) konstruuje się z poprzecznymi usztywnieniami i wiązarami. Poprzeczne wiązary dna (denniki) i pokładu górnego (pokładniki ramowe) łączone są węzłówkami z poprzecznymi wiązarami burt – wrgami ramowymi, mającymi większe przekroje niż zwykłe wrgi.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 13 / 110

30. Ship hull framing systems

Podane wcześniej przedziały długości kadłubów statków budowanych z różnymi układami wiązań są orientacyjne, nieostre i częściowo się pokrywają. W każdym konkretnym przypadku o wyborze jednego z trzech układów decydują takie czynniki, jak walory eksploatacyjne, doświadczenie stoczni czy relacje kosztów materiałowych (ceny) do kosztów wykonawczych (pracochłonność).

Pewna dowolność dotycząca zastosowania omówionych układów wiązań dotyczy środkowej części kadłuba statku, w której dominującym obciążeniem jest (ogólne) zginanie wzdłużne kadłuba a wybrany układ wiązań powinien być do niego dostosowany.

W przypadku części skrajnych – skrajnik dziobowy, skrajnik rufowy – zginanie wzdłużne może być pominięte a dominujące są obciążenia lokalne: skrajniki dziobowy i rufowy konstruuemy w poprzecznym układzie wiązań.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 14 / 110

31. Definitions of structural members

Przykładowe określenia elementów konstrukcji (PRS, *Przepisy Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich*, Część II, Kadłub, 2017):

Konstrukcja burty – poszycie zewnętrzne wraz z usztywnieniami i wiązarami pomiędzy najwyższym pokładem sięgającym do burty a górną krawędzią obła w przypadku dna pojedynczego lub poszyciem dna wewnętrznego w przypadku dna podwójnego.

Konstrukcja grodzi – poszycie grodzi wzdłużnej lub poprzecznej wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Konstrukcja dna pojedynczego – poszycie zewnętrzne wraz z usztywnieniami i wiązarami poniżej górnej krawędzi obła.

Konstrukcja dna podwójnego – poszycie dna zewnętrznego i wewnętrznego wraz z usztywnieniami i wiązarami pomiędzy tymi poszyciami.

Konstrukcja pokładu – poszycie pokładu wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Usztywnienia – ogólna nazwa wiązań podpierających bezpośrednio płyty poszyc.

Wiązania – ogólna nazwa takich elementów konstrukcji kadłuba jak poszycia, usztywnienia poszyci i wiązary.

Wiązary – ogólna nazwa wiązań podpierających usztywnienia lub układy usztywnień.

Wrgi główne – wrgi burtowe umiejscowione poza rejonem skrajników, połączone z dennikami lub dnem podwójnym i doprowadzone do najniższej położonej płyty poszyc na burcie, jeżeli jest on liczony jako podparcie wrgów.

Wrgi międzypokładzia – wrgi znajdujące się między podpierającymi je wzdłużnikami burtowymi, wzdłużnikiem i najbliższym pokładem lub między pokładami, łącznie z pokładami nadbudówek.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 15 / 110

32. Definitions of terms (Structural nomenclature) acc. IACS 2017

Elementary plate panel (EPP) – the smallest plate element surrounded by structural members, such as stiffeners, PSM, bulkheads, etc.

Elementary plate panel (EPP) – the unstiffened part of the plating between stiffeners and/or primary supporting members. The plate panel length, a , and breadth, b , of the EPP are defined respectively as the longest and shortest plate edges.

Floor – a bottom transverse member.

Girder – a collective term for primary supporting structural members.

Inner hull – the innermost plating forming a second layer to the hull of the ship.

Longitudinal hull girder structural members – structural members that contribute to the longitudinal strength of the hull girder, including: deck, side, bottom, inner bottom, inner hull longitudinal bulkheads including upper sloped plating where fitted, hopper, bilge plate, longitudinal bulkheads, double bottom girders and horizontal girders in wing ballast tanks.

Longitudinal hull girder shear structural members – structural members that contribute to strength against hull girder vertical shear loads, including: side, inner hull longitudinal bulkheads, hopper, longitudinal bulkheads and double bottom girders.

Plating – sheet of steel supported by stiffeners, primary supporting members or bulkheads.

Primary supporting members (PSM) – members of the beam, girder or stringer type which provide the overall structural integrity of the hull envelope and tank boundaries, e.g. double bottom floors and girders, transverse side structure, deck transverses, bulkhead stringers and vertical webs on longitudinal bulkheads.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 16 / 110

32. Definitions of terms (Structural nomenclature) acc. IACS 2017

Scantlings – the physical dimensions of a structural item.

Stiffener – a collective term for secondary supporting structural members.

Strake – a course, or row, of shell, deck, bulkhead, or other plating.

Stringer – horizontal girders linking vertical web frames.

Transverse web frame – the primary transverse girders which join the ships longitudinal structure.

Web frame – transverse PSM including deck transverse.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 17 / 110

33. Ship hull structural optimization problems

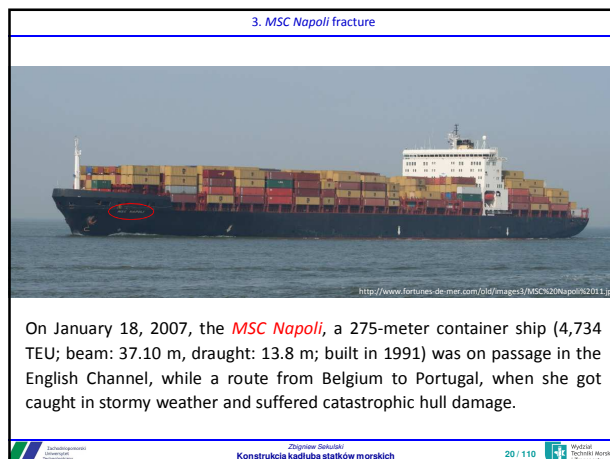
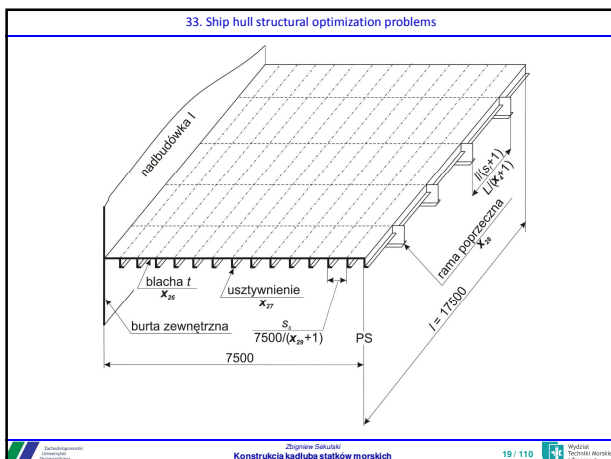
Shape optimization: optymalizacja kształtu.

Material optimization: optymalizacja materiału.

Topology optimization: optymalizacja topologii.

Scantlings optimization: optymalizacja wymiarów elementów konstrukcyjnych.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 18 / 110



On January 18, 2007, the *MSC Napoli*, a 275-meter container ship (4,734 TEU; beam: 37.10 m, draught: 13.8 m; built in 1991) was on passage in the English Channel, while a route from Belgium to Portugal, when she got caught in stormy weather and suffered catastrophic hull damage.

3. MSC Napoli fracture

MSC Napoli departed her berth in Antwerp at 0812 on 17 January 2007. After disembarking her river pilot at 1521, the vessel passed through the Dover Strait before transiting the English Channel during the early hours of the following morning. The weather worsened overnight. By the time *MSC Napoli* was about 45 miles south east of the Lizard Point in Cornwall, England, she was heading into storm force winds. The vessel was occasionally pitching heavily into high seas but was no longer rolling to any significant extent. She was making good a speed of 11 knots over the ground and her master was content with the vessel's motion and considered that there would be no damage caused to the forward containers.

Shortly after 1100, the ship encountered several large waves, which were described as "quite powerful strikes". At about 1105 a loud crashing or cracking sound was heard. At the same time, the third assistant engineer, on watch in the engine control room (ECR), acknowledged an alarm indicating a high level of fluid in the engine room bilge. This was immediately followed by further bilge alarms and an engine room flood alarm.

The wind was south west storm force 10 to 11. There was a swell running from the south west and the wave height was estimated to have been between 5m and 9m. The distance between successive wave peaks was 150m, with an interval of between 9 and 10 seconds. The charted depth of water was about 80m.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 21 / 110

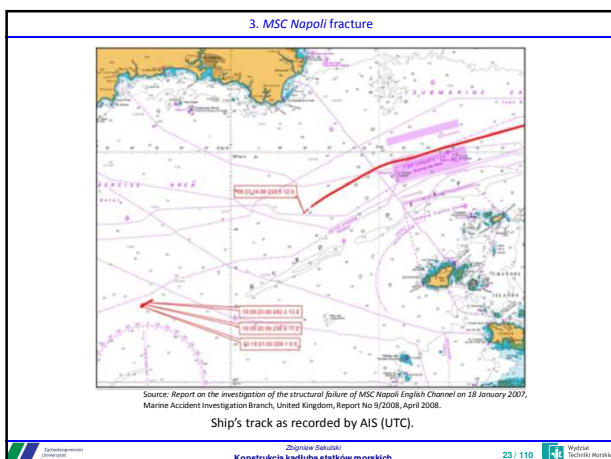
3. MSC Napoli fracture

It was intended that *MSC Napoli* would have a maximum draught of 13m on completion of container operations at Antwerp to allow her to sail at any state of the tide. The maximum permitted draught to leave the port was about 15m. In an attempt to achieve the desired draught, various ballast configurations were input to the vessel's loading computer together with the planned distribution and weights of the containers to be loaded. The only condition that enabled a maximum aft draught of 13m resulted in harbour and sea bending moments of about 88% and 116% of their respective maxima. This condition, which required the ship to be ballasted forward during the cargo operations, was approved by the master, on the basis that the bending moments would be reduced to within the seagoing limit, by adjusting the ballast configuration during the river transit towards the open sea. When loaded, it was normal for the vessel to be in a 'hogged' condition.

MSC Napoli departed Antwerp on 17 January with 2318 containers on board, of which about 700 were stowed on deck. The ship's draught on departure was 13m aft and 12.6m forward. After passing through the harbour locks the chief officer adjusted the ballast during the passage down the river as planned. This action had the effect of reducing the seagoing bending moments to 99% of the allowed maximum and of increasing the draught aft to about 13.5 meters.

To facilitate berthing at any state of the tide at Antwerp, the vessel had arrived at the port on 120% of her maximum permissible seagoing bending moments. Data recovered from the ship's loading computer indicated that the vessel had arrived or departed from berths or other ports on several occasions on up to 122% of her maximum permissible seagoing bending moments.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 22 / 110



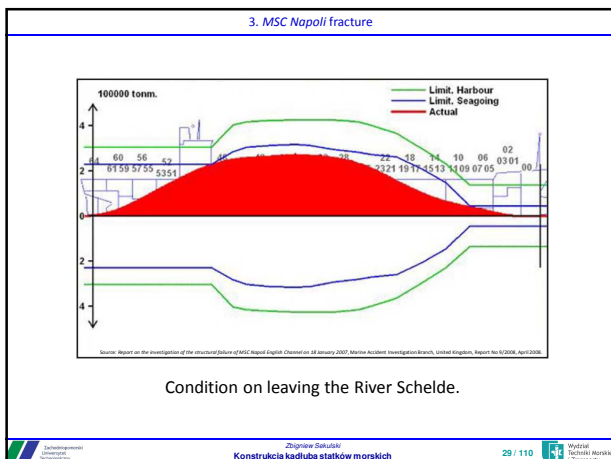
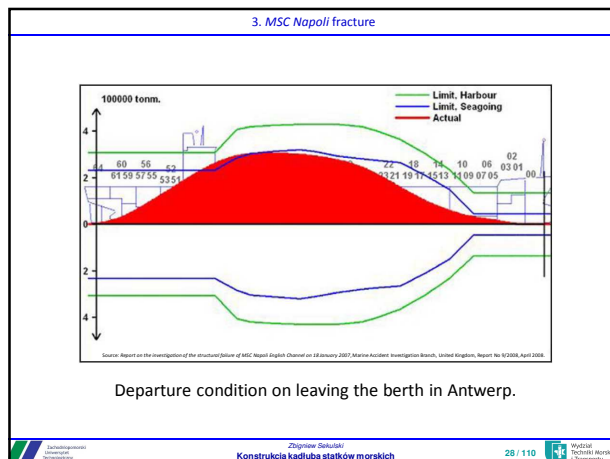


3. MSC Napoli fracture

The *MSC Napoli* was a post panamax containership, being at the time of her construction one of the largest of her type, her design being based on that of a smaller vessel. She was a one off construction having no sister vessels. The block coefficient of *MSC Napoli* was 0.609 whereas the block coefficient of an oil tanker would typically be about 0.9.

Forward of the engine room the hull was longitudinally framed, i.e. the shell plate was reinforced by closely spaced stiffeners (longitudinals) which ran in the fore and aft direction. Generally, the longitudinals were spaced at 870mm intervals in the bottom structure and supported by transverse floors spaced a maximum of 3,200mm apart. Aft of the engine room forward bulkhead (frame 88) the bottom structure and lower portion of the side shell up to the 4th deck (9620mm above base) changed to being transversely framed with plate floors spaced at 800mm. There was an area of framing transition in the bottom structure aft of frame 88 where longitudinals from the cargo hold region continued aft for a short distance before termination or replacement by intercostal stiffeners.

Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 27 / 110



3. MSC Napoli fracture
- The investigation has identified a number of factors which contributed to the failure of the hull structure, including:
- The vessel's hull did not have sufficient buckling strength in way of the engine room.
 - The classification rules applicable at the time of the vessel's construction did not require buckling strength calculations to be undertaken beyond the vessel's amidships area.
 - There was no, or insufficient, safety margin between the hull's design loading and its ultimate strength.
 - The load on the hull was likely to have been increased by whipping effect.
 - The ship's speed was not reduced sufficiently in the heavy seas.
- Zbigniew Szulski
Konstrukcja kadłuba statków morskich 30 / 110

3. MSC Napoli fracture

The deadload (ZS: „dark load”) is the difference between a vessel's deadweight calculated from her observed draught and a vessel's deadweight calculated from known weights such as cargo, fuels and water ballast. In theory, the dead-load should be the difference between the calculated or estimated weight of cargo and the actual cargo on board, although other 'unknown weights' such as accumulated mud in ballast tanks can also contribute.

3. MSC Napoli fracture

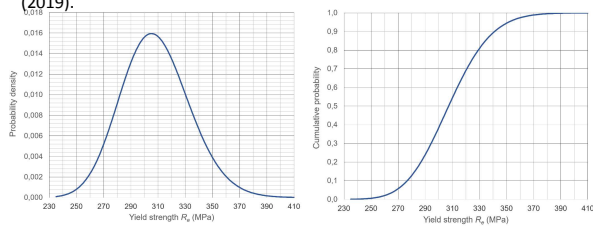
Sample ID	Item	Measured Thickness (mm)	Specified Thickness (mm)	Diminution (mm)	Diminution (%)
PSS1	Lower Side Shell	17.6	18	0.4	2.2%
	Upper Side Shell	18.6	18	-0.6	-3.3%
PTF2	Transverse Floor	19.3	19	-0.3	-1.6%
PTFL3	Tank Top	19.7	19	-0.7	-3.7%
	Longitudinal Girder	20.0	19	-1	-5.3%
	Transverse Floor	19.4	19	-0.4	-2.1%
PTFL4	Transverse Floor	15.8	15	-0.8	-5.3%
	Longitudinal Girder	24.3	25	0.7	2.8%
	Tank Top	15.1	15	-0.1	-0.7%
CLS	Transverse Floor	14.1	15	-0.9	6.0%
	Longitudinal Girder	15.0	15	0	0.0%
CLTT6	Tank Top	14.9	15	0.1	0.7%
STL7	Transverse Floor	14.7	15	0.3	2.0%
	Longitudinal Girder	24.7	25	0.3	1.2%
PBS8	Bottom Shell	18.1	18	0.1	-0.6%
STT9	Tank Top Sbd Side	19.3	19	-0.3	-1.6%
	Tank Top Port Side	15.0	15	0	0.0%
SSB10	Bottom Shell	18.4	18	-0.4	-2.2%
STL11	Transverse Floor	15.1	15	-0.1	-0.7%
	Longitudinal Girder	19.2	19	-0.2	-1.1%
SSB12	Side Shell	18.0	18	0	0.0%
P13	Tank Top	19.0	19	0	0.0%
S14	Tank Top	19.1	19	-0.1	-0.5%
Average				-0.1	-0.6%

„Thickness measurements taken on the steel samples indicated minimal corrosion of the structure.” Sixteen-year-old ship!

3. MSC Napoli fracture (on another note)

Yield strength of plates (normal strength hull steel):

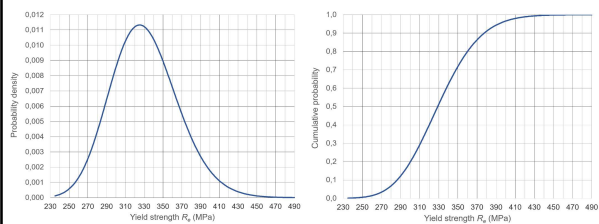
NomYield = 235 MPa, ArithmeticMean = 311.4 MPa, StandDev = 30.78 MPa, CoefVar = 0.09, Variance = 947.46 MPa², DifferenceBias = 76.35 MPa, RatioBias = 1.33, MinValue = 235 MPa, MaxValue = 400 MPa, ProbDistr = LN(5.736, 0.098); based on the data collected from 2011 to 2018; 15 manufacturers, 1684 measurements; source: Zbigniew Sekulski (2019).



3. MSC Napoli fracture (on another note)

Yield strength of rolled profiles (normal strength hull steel):

NomYield = 235 MPa, ArithmeticMean = 330.9 MPa, StandDev = 38.44 MPa, CoefVar = 0.12, Variance = 1477.76 MPa², DifferenceBias = 95.9 MPa, RatioBias = 1.41, MinValue = 251 MPa, MaxValue = 501 MPa, ProbDistr = LN(5.796, 0.108); based on the data collected in 2018; 518 measurements, 17 manufacturers; source: Zbigniew Sekulski (2019).



3. MSC Napoli fracture (on another note)

Excess of plates thickness:

ArithmeticMean = 0.37 mm, StandDev = 0.12 mm, CoefVar = 0.32, Variance = 0.01 mm², DifferenceBias = 0.37 mm, RatioBias = 0.03, MinValue = 0.1, MaxValue = 0.7, ProbDistr = LN(-1.0383, 0.3028), Mean = -1.0383, StandDev = 0.3028; based on the data collected in 2018; 765 measurements, ? manufacturers; source: Zbigniew Sekulski (2019).

