

C 6091

Schiff & Hafen



SEEWIRTSCHAFT · KOMMANDOBRÜCKE
INTERNATIONAL PUBLICATION FOR MARITIME TECHNOLOGY AND ECONOMICS

Mai 2005
57. Jahrgang

5

*Pole Position
with GL*



Sicherheit und Zuverlässigkeit – 24 Stunden am Tag, 7 Tage in der Woche –
sind maßgebend für den wirtschaftlichen Erfolg.

Wie in der Formel 1 entscheiden das Team und die Technologie,
wer auf der Pole Position steht. Willkommen beim GL.

Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft
Vorsitzen 35 · 20459 Hamburg
Telefon +49 40 36149-0 · Fax +49 40 36149-200
headoffice@gl-group.com · www.gl-group.com



Germanischer Lloyd
OPERATING 24/7



Schiffbau Shipbuilding

Schiffspreiskalkulation

Rechnergestützte Baukostenschätzung im Schiffsentwurf

Volker Bertram, Jean-Jacques Maisonneuve, Jean-David Caprace, Philippe Rigo

Various approaches for better initial cost estimates for ships are reviewed, compiling recent activities in the USA, Europe, and Japan. The trend is towards bottom-up approaches, capable of reflecting local design changes, and simulation-based methods. Coupled to structural computer-aided design programs, these cost estimate modules then allow higher precision for cost estimates even for unconventional ships during early design.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben Kosten- und Zeitdruck auf die Schiffbauindustrie durch weltweite Überkapazität zugenommen. Für die deutsche Industrie bedeutet dies, dass immer anspruchsvollere Schiffe in immer kürzerer Zeit nicht nur gebaut, sondern auch möglichst schnell und genau kalkuliert werden müssen. Größere Innovationsschritte (d.h. geringere Erfahrung) müssen also mit höheren Anforderungen an Genauigkeit in der Kostenkalkulation unter einen Hut gebracht werden. Dies erfordert zumindest neue Werkzeuge.

Methodik der Baukostenschätzung

Die Schätzung der Baukosten ist fundamentaler Teil des Schiffsentwurfs. Verschiedene Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich der benötigten Information für die Schätzung. Je weniger Information nötig ist, desto früher kann die Schätzung im Entwurfsprozess eingesetzt werden. Je mehr Information in die Schätzung einfließt, desto genauer können Entwurfsvarianten beurteilt werden. Die Methoden zur Baukostenschätzung können grob wie folgt klassifiziert werden:

Top-down Ansätze (empirisch, statistisch)
Ein Top-down Ansatz bestimmt die Baukosten mit Hilfe globaler Parameter wie Stahlgewicht, Blockkoeffizient, Schiffslänge, usw., Schneekluth und Bertram (1998), Carreyette (1977). Die

Beziehung zwischen den Kosten und diesen Parametern wird durch Auswertung bereits gebauter Schiffe gewonnen. Damit ist der Ansatz nur brauchbar, wenn der Neubau den zugrunde gelegten gebauten Schiffen ähnlich ist. Zudem spiegeln die Kennzahlen in diesem Ansatz die Technologie und Bauweisen der Vergangenheit wider. Trotz seiner Popularität und zahlreicher Literaturverweise hat der Top-Down Ansatz schwerwiegende Nachteile, die häufig übersehen und verschwiegen werden:

- Die Kostenabschätzungen sind gewichtsorientiert. Aber z.B. ein größerer Spantabstand reduziert in der Regel die Baukosten und erhöht das Gewicht.
- Die aus früheren Bauvorhaben gewonnenen Korrelationen können keine neuen Konstruktionsweisen oder Fertigungstechniken berücksichtigen. Stärkere Berücksichtigung von Betriebsfestigkeit führt z.B. zu kaum verändertem Stahlgewicht, aber

deutlich höheren Baukosten durch aufwendigere Detailkonstruktion.

- Die für die Ableitung des Verfahrens zur Kostenprognose verwendeten Daten enthalten sämtliche Ineffizienzen und Unstimmigkeiten vorheriger Projekte.
- Es gehen zu wenig Informationen in diesen Ansatz ein, um Details des Entwurfs zu erfassen. Ein Variantenvergleich ist damit nicht möglich.

Die Autoren:

Volker Bertram, ENSIETA, Jean-Jacques Maisonneuve, SIREHNA, Jean-David Caprace, Philippe Rigo, ANAST, University of Liège

Der Inhalt des vorliegenden Artikels basiert in Teilen auf Arbeiten im Rahmen des Teilprojekts II.1 von InterSHIP, einem europäischen Forschungsvorhaben im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm (Projekt Nr. TIP3-CT-2004-56127).

HILBIG

Hilbig GmbH
SCHNELLMONTAGE SYSTEME
HIGH SPEED FASTENING SYSTEMS

Plate Fairing
Insulation Pins
Cable Racks
Ceiling Hangers

with studwelding

For more information contact:
Hilbig GmbH • Großmooring 8 • D-21079 Hamburg
Tel. +49 (0) 40 769 210-0 • Fax: +49 (0) 40 769 210-21 • www.hilbig-gmbh.de

Bottom-up Ansätze (direkte Kalkulation)

Der alternative Bottom-up Ansatz zerlegt den Fertigungsablauf in einzelne Tätigkeiten. Die Detailtiefe der einzelnen Tätigkeiten ist entsprechend der Projektphase angemessen zu wählen. Für jede Tätigkeit wird die Zahl der benötigten Arbeitsstunden berechnet. Hierzu wird eine aus Arbeitsstudien gewonnene Einheitszeit (Arbeitsstunden/Einheit) mit der Anzahl der Einheiten dieser Tätigkeit multipliziert. Die „Einheiten“ einer Tätigkeit können sein: Anzahl der zu biegenden Spanten bzw. Platten, Schweißmeter, o. ä. Die gesamten Arbeitsstunden ergeben sich als Summe der Stunden aller Tätigkeiten. Durch Multiplikation der Arbeitsstunden einer Tätigkeit mit dem für diese Tätigkeit (werftspezifisch) anzusetzenden Stundensatz (Euro/Arbeitsstunde) errechnen sich die Gesamtkosten dieser Tätigkeit. Die Summe über alle Tätigkeiten ergibt die gesamten Arbeitskosten. Entsprechend wird für die Materialkosten vorgegangen. Der Bottom-up Ansatz erfasst so (im Gegensatz zum Top-down Ansatz) Unterschiede in Entwurfsdetails und eignet sich daher auch für Optimierungen der Struktur. Southern (1980), Moe und Lund (1968), Winkle und Baird (1986), und Rigo (2001) präsentieren derartige Ansätze für die Baukosten von Schiffen auf Basis direkter Kalkulation. Tabelle 1 zeigt ein einfaches Beispiel für eine Bottom-up Kalkulation der Arbeits- und Materialkosten.

Der Bottom-up Ansatz erfordert mehr Aufwand und Detailinformation als der Top-down Ansatz, erlaubt dafür aber auch das (zum Beispiel für Optimierungen nötige) Erfassen von Unterschieden in Entwurfsdetails. Örtliche Formänderung beeinflusst z.B. die Anzahl der Steifen, die gebogen werden müssen, den Aufwand beim Plattenbiegen und den möglichen Grad der Schweiß-Automatation. All dies wird durch eine geeignete Aufteilung des Arbeitsprozesses auch im Bottom-up Ansatz erfasst. Allerdings ist diese Vorgehensweise kaum auf Werften im Einsatz, da die nötige Kosteninformation (Koeffizienten), bzw. das zur Ableitung nötige Datenmaterial fehlt. Japanische Werften sind in dieser Hinsicht weiter als europäische Werften. Die jüngste Entwicklung ist, dass Werftarbeiter mit Mikro-Computern (etwa von der Größe eines Walkman) ausgestattet werden, um „on-line“ den Arbeitsfortschritt einzugeben mit einer Rückkopplung zur Fertigungsplanung und Konstruktion, Sasaki et al. (2004). In Europa wird der Bottom-up Ansatz z.B. an der französischen Großwerft Chantiers de l'Atlantique in kleineren Pilotanwendungen implementiert. Mit einem Bottom-up gekoppelte Schiffstrukturoptimierungen mit dem LBR-5 Software-System finden sich in Rigo (1992, 2001a,b, 2003a,b), Rigo und Fleury (2001), Karr et al. (2002).

work process	man-h/unit	units	man-h	Euro/man-h	Euro
Bending frames					
Bending plates (single curv.)					
Bending plates (double curv.)					
Manual welding					
Automatic welding					
TOTAL (labor)					
Material		units		Euro/unit	Euro
Frames					
Plates					
Welding material					
TOTAL (material)					
TOTAL (lab.+mat.)					

Tab. 1: Bottom-up Ansatz zur Baukosten-Abschätzung

System-Überblick

PODAC Kostenmodell der US Navy

Deschamps und Trimble (2004) enttäuschen mit ihrem Kapitel „Cost Estimating“ im Buch „Ship Design and Construction“, da der Überblick nicht den neueren Stand der Technik berücksichtigt und sich hauptsächlich auf historische Top-down Ansätze konzentriert. Im letzten Unterkapitel listen Deschamps und Trimble diverse Software-Werkzeuge auf, die für Schiffe der US Navy eingesetzt werden: ASSET, ACEIT, UPA, PRICE und das PODAC (Product-oriented Design and Construction) Kostenmodell. PODAC, Ennis et al. (1998), Keane und Fireman (1993), Wade et al. (1997), ist ein relativ ausgereifter Top-down Ansatz, der aber mit anderen Entwurfsprogrammen kombiniert werden kann, die eine Analyse mit mehr Detailinformation erlauben:

- Parametric Flagship verbindet verschiedene Schiffsentwurf- und schiffbauliche Analyse-Programme direkt mit dem PODAC Kostenmodell.
- Das Vielzweck-CAD Programm GSCAD von Intergraph hat eine Schnittstelle zu PODAC.
- Das ASSET Entwurfsprogramm der US Navy hat eine Schnittstelle zu PODAC. Leider sind alle diese Programme auf Kriegsschiffe ausgerichtet und die Veröffentlichungen geben weder Methodik noch Details.

Smart Product Model (SPM), USA

Das Smart Product Model (SPM) von Proteus Engineering, Ross et al. (2001), Ross und Hazen (2002), Ross (2004), ist so konzipiert, dass während aller Phasen des Entwurfs die bestmögliche Kostenschätzung auf der Basis der zur Verfügung stehenden Information abrufbar sein soll. Das Programm benutzt

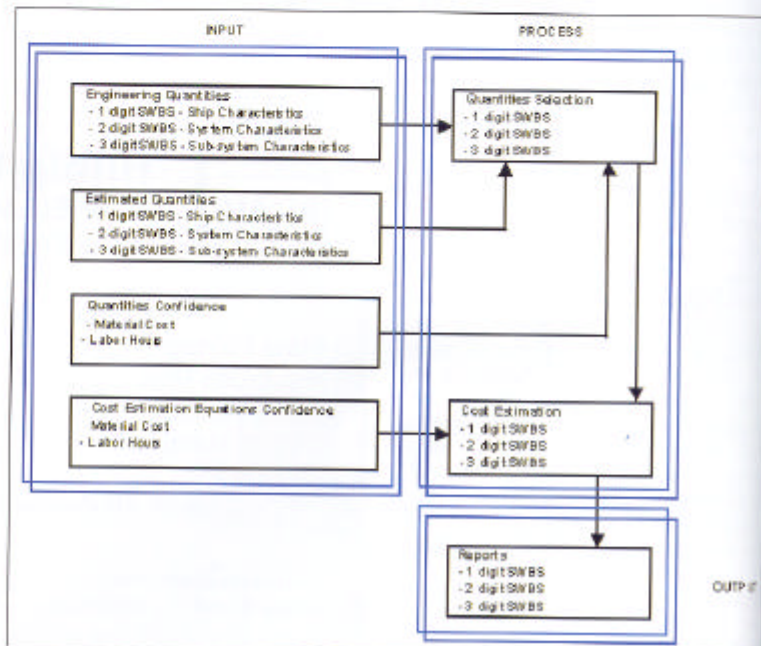


Abb. 1: Ablaufplan der Kostenabschätzung in SPM, Ross (2004)

dazu eine „Ship Work Breakdown Structure“ (SWBS) Hierarchie mit drei verschiedenen Detaillierungsstufen (Abb. 1):

- Im Konzeptentwurf benutzt die Kosten-schätzung etwa 20 globale Parameter (Länge, Breite, Verdrängung, installierte Leistung, usw.)

- Im Vorentwurf wird Systeminformation verfügbar und die Kostenabschätzung benutzt etwa 125 Parameter.

- Im Detailentwurf liegen Hunderte oder sogar Tausende von Daten vor. Im Laufe des Entwurfs bewegt sich dann die Kosteninformation von statistischen Schätzungen zunehmend zu auf Fakten basierenden Zahlen und die Genauigkeit der Kostenabschätzung steigt.

Die Kostenkomponente von SPM besteht aus vier Modulen.

- Parametrische Kosten: Kosten für das Entwurfsschiff werden proportional zu einem Vergleichsschiff geschätzt.
- Bekannte Kosten: Kosten werden direkt nach Lieferanten-Angaben eingegeben
- Modulwahl: Der Benutzer wählt zwischen parametrischen und bekannten Kosten.
- Kostenbericht: Dies Modul produziert drei Berichte: „1-digit“, „2-digit“, „3-digit“ SWBS Kostenabschätzungen (mit zunehmender Stellenzahl steigt die Detailtiefe), wobei jeweils auch ein Index für die geschätzte Zuverlässigkeitsmarge gegeben wird.

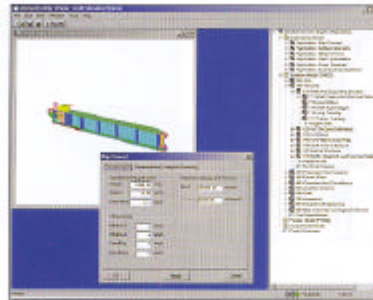


Abb. 2: Beispiel für SPM Bildschirmoberfläche, Ross und Hazen (2002)

Abb. 2 zeigt eine Benutzeroberfläche von SPM. Oben links wird die Schiffsstruktur des Beispiels gezeigt. Rechts steht eine hierarchische Aufstellung der Produktion (Ship Work Breakdown Structure). Unten in der Mitte ist eine Dialog-Box für die Benutzereingabe für Nutzlast, Besatzungsstärke und Betriebsdetails. Abb.3 zeigt das dazu gehörige Ergebnis für die Schätzungen von Baukosten, Arbeitsstunden und Struktur und Leistung.

Mitsubishi CIM System, Japan

Mitsubishi Heavy Industries (MHI) hat ein eigenes System entwickelt mit Schnittstelle zum werfteigenen CAD System, Sasaki et al. (2001,2002), Sasaki (2003). Funktionen zur Fertigungsplanung wurden mit einem

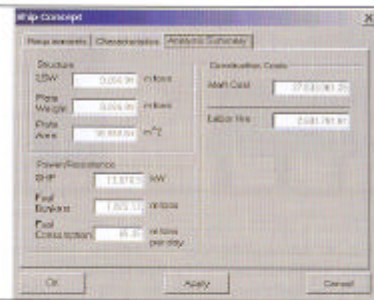


Abb. 3: Beispiel für SPM Ergebnis, Ross und Hazen (2002)

kommerziellen Simulationssystem kombiniert. Die Anwendung in der Praxis reduzierte die bis dahin zwei bis drei Wochen Arbeit in der Planung auf einen Tag. Das Fertigungsplanungssystem mit 3-D-Visualisierungsfunktionen erlaubt dem Konstrukteur Blockfertigungssequenzen halbautomatisch zu definieren und Kosten, Bauzeit und Gewicht für jede Konstruktionsalternative zu vergleichen (Abb.4). Die Kostenschätz-Funktion des CAPP (computer aided process planning) Systems von Mitsubishi multipliziert Schweißlänge (für jede Schweißart) mit einem Schwierigkeitsfaktor (z.B. 1 für Fallnaht, 2 für Steignah, usw.):

$$C_{\text{production}} = \sum (W_{\text{conversion}} \times C_{\text{unitcost}})$$

$$W_{\text{conversion}} = W_{\text{real}} \times K$$

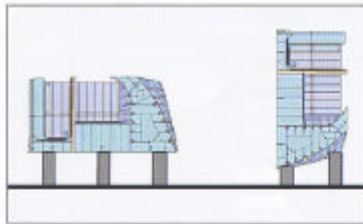


Abb. 4: Anwendung des Bottom-up Ansatzes beim Vergleich zweier Fertigungsalternativen, die 3 % Kostenvorteil für die deck-orientierte (rechts) Alternative ergab, Sasaki (2003)

$C_{production}$ sind die Fertigungskosten für einen Block

$W_{conversion}$ ist die äquivalente Schweißlänge (unter Berücksichtigung der Schwierigkeit der Schweißposition)

$C_{unitcost}$ Kosten für 1m zu Schweißung einer Schweißart

W_{real} tatsächliche Schweißlänge

K_{real} Schwierigkeitsfaktor (Schweißart und Nahttyp)

Abb. 5 zeigt eine typische Bildschirmanzeige des CAPP-Systems. Links wird ein Netzwerk-Editor für den Block angezeigt, rechts eine 3-D-Darstellung des Blocks mit seinen Bauteilen zusammen mit notwendiger Werkstattinformation. Ein integriertes Expertensystem erlaubt die automatische Definition der Fertigungssequenzen auf Basis der auf der Werft üblichen Fertigungspro-

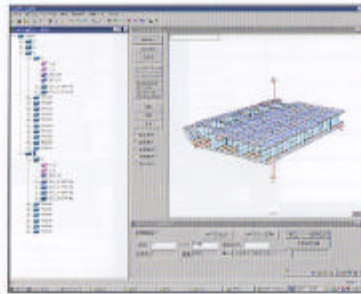


Abb. 5: CAPP-System mit Expertensystem, Sasaki (2003)

zeduren und Erfahrungswissen der Fertigungsingenieure. Da ein vollautomatisches Festlegen des Fertigungsablauf für beliebi-

ge Blocks schwierig ist, wurde ein interaktiver Editor zur Veränderung der Fertigungshierarchie vorgesehen, der dem Fertigungsingenieur schnelle Änderungen erlaubt.

Simulation: Werkzeug der Zukunft bei der Baukostenschätzung?

Discrete event simulation hat schnell auch im Schiffbau Akzeptanz gefunden, u.a. in der kurzfristigen und langfristigen Fertigungsplanung. Sind erst einmal die Gewerke der Werft modelliert und die Schnittstellen zum CAD-Programm geschaffen, kann schnell für konkrete Schiffstrukturen die Fertigung simuliert werden. Diese Simulationen dienen zur Bestimmung der Kapazitätsauslastung und Fertigungszeiten, können aber

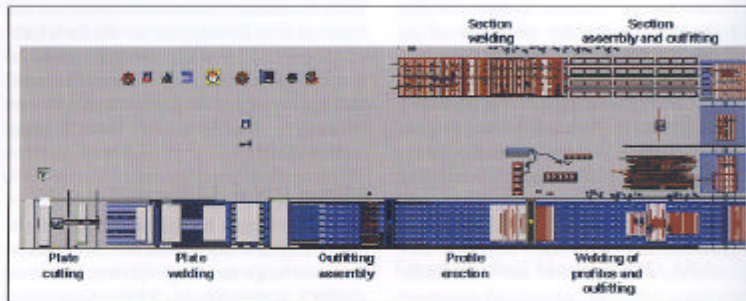


Abb. 6: Simulationsmodell der Vorfertigung bei der FSG, Steinhauer (2003)

ShipConstructor

Empowering AutoCAD

Significant ShipConstructor Projects



U.S. Navy Littoral Combat Ship
Lockheed Martin Team, Gibbs & Cox Inc., Balfinger Shipyards Inc. & Marinette Marine Corp.



VLCC/FPSO Xikomba Conversion
For Single Buoy Moorings, Monaco Dubai Drydocks, UAE



Staten Island Ferry
Marinette Marine Corp., USA



Meet us at
NORSHIPPING
Hall D - Canadian Pavilion
Dealer Inquiries Welcome
www.ShipConstructor.com

auch an Kostenschätzung für verschiedene Fertigungsstrategien gekoppelt werden.

Shin et al. (2003) haben in Korea ein virtuelles Modell der Werftabteilung zur Stahlverformung. Die Gewerke (Schneiden, Rollpressen mit 400, 1500 und 2200 Tonnen, Linienflamm-Verformung), Puffer, Kräne und Arbeiter wurden als 3-D Objekte modelliert, die zusammen arbeiten, um verformte Platten abzuliefern. Das Computermodell erlaubt so eine realistische Simulation des Materialflusses und eine Visualisierung in Virtual Reality.

Steinhauer (2003) beschreibt die Fertigungssimulation bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (Abb. 6). Das Simulationswerkzeug ist vielseitig einsetzbar und wird bei der FSG auch zur Simulation des Ladungsumschlags bereits in der Entwurfsphase eingesetzt. In jüngerer Zeit wird die Em-Plant-Software, die auch bei der FSG eingesetzt wird, auch von den Schiffbauern an der Universität Liège in Belgien zur

Fertigungssimulation und Optimierung eingesetzt.

Auch Sasaki (2003) beschreibt den Einsatz von Virtual Reality und Discrete Event Simulation zur Bewertung von Fertigungsstrategien. Grundlegende Arbeitsschritte und Bewegungen bei der Fertigung wurden vorher an japanischen Arbeitern vermessen und in einer Datenbank gespeichert. Produkt- und Prozessdaten werden dann in der Simulation zusammengeführt. Abb.7 zeigt ein Beispiel, bei dem Fertigungsszenarien mit einem bzw. zwei Arbeitern verglichen werden. Die Simulation gibt dann die benötigte Arbeitszeit für beide Alternativen und zeigt, wo Wartezeiten und Engpässe auftreten.

Zusammenfassung

Die verschiedenen Methoden zeigen, dass weltweit in Europa, USA und Fernost Verfahren entstehen, die dem Anspruch der Industrie an größere Vorhersagegenauigkeit der Kosten im Entwurf besser gerecht werden als traditionelle Ansätze.

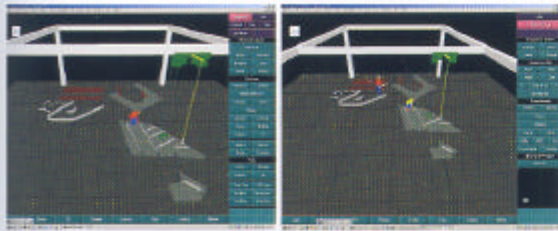


Abb.7: MHI Fertigungssimulation, Sasaki (2003)

Allerdings erfordern diese Verfahren nicht nur eine Kopplung an bestehende CAD-Systeme. Sie erfordern auch ein Bewusstsein, dass empirische Koeffizienten aus dem Produktionsbetrieb wieder in die Verfahren einfließen lässt, damit diese auch wirklich technologischen Veränderungen nicht nur bei Schiffstypen, sondern auch in der Fertigung folgen.

Literatur

- Careyette, J. (1977), Preliminary ship cost estimation, Trans. RINA, pp. 235-249
- Deschamps, L.C.; Trumbule, J. (2004), Cost Estimation (Ch.10), Ship Design and Construction, SNAME (Ed. T. Lamb)
- Ernis, K.J.; Dougherty, J.J.; Lamb, T.; Greenwell, C.R.; Zimmermann, R. (1998), Product-oriented design and construction cost model, J. Ship Production, pp.41-58
- Keane, R.G.; Fireman, H.; (1993), Producibility in the naval ship design process: A progress report, J. Ship Production, pp.210-223
- Moe, J.; Lund, S.; (1968), Cost and weight minimization of structures with special emphasis on longitudinal strength members of tankers, RINA, pp.43-70
- Rigo, P.; (2001), Least-Cost structural optimization oriented preliminary design, J. Ship Production, pp.202-215
- Ross, J.M. (2004), A practical approach for ship construction cost estimating, 3rd COMPIT, Siguenza, pp.98-110
- Ross, J.M.; McNatt, T. R.; Hazen, G. S. (2001), The project 21 smart product model - A new paradigm for ship design, Cost estimation and production planning, SNAME Ship Production Symp., Ypsilanti
- Ross, J.M.; HAZEN, G. S.; (2002), Forging a real-time link between initial ship design and estimated costs, ICCAS 2002, Malmö
- Sasaki, Y.; M. Miura, M.; Takano, G.; Fujita, K.; Fujiwara, N.; Iida, A.; Sagou, A. (2001), Research on Total Cost Evaluation System for Shipyard, 7th Int. Symp. Japan Welding Society
- Sasaki, Y.; Sonda, M.; Ito, K. (2002), A study on 3-D digital mockup systems for work strategy planning, ICCAS 2002, Malmö
- Sasaki, Y. (2003), Application of factory simulation to the shipyard, COMPIT'03, Hamburg, pp.362-376
- Sasaki, Y.; YAMATO, H.; ENOMOTO, S. (2004), Research on industrial engineering system by using wearable PC, COMPIT'04, Siguenza, pp.148-153
- Schneekluth, H.; Bertram, V. (1998), Ship design for efficiency and economy, Butterworth+Heinemann, Oxford
- Shin, J.G.; Sohn, S.J. (2000), Simulation-based evaluation of productivity for the design of an automated workshop in shipbuilding, J. Ship Production, pp.46-59
- Shin, J.G.; Lee, K.K.; Woo, J.H.; Lee, J.H.; Kim, S.H. (2003), A modeling and simulation of production process at a virtual shipyard, COMPIT'03, Hamburg, pp.534-541
- Southern, G. (1980), Work content estimating from a ship steelwork data base, RINA, pp.339-347
- Steinhauer, D. (2003), The virtual shipyard - Simulation in production and logistics at Flensburg, COMPIT'03, pp.203-209
- Wade, M.; Koenig, P. C.; Karaszewski, Z. J.; Gallagher, J.; Dougherty, J. J. (1997), Mid-term searift technology development program: design-for-production R&D for future searift ship applications, J. Ship Production, pp.57-73
- Winkle, I. E.; Baird, D. (1986), Towards more effective structural design through synthesis and optimisation of relative fabrication costs, RINA, pp.313-336