

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūrų technikos fakultetas

Laivo inžinerijos katedra

Irina Panasiuk

**LAIVO KORPUSO DETALIŲ  
GAMYBOS OPTIMIZAVIMAS**

Laiivų projektavimo ir statybos studijų programos magistro  
baigiamasis darbas

Klaipėda, 2011

## SANTRAUKA

**Panasiuk I. Laivo korpuso detalių gamybos optimizavimas:** Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programa / darbo vadovas doc. dr. L. Turkina; Klaipėdos universitetas, Jūrų technikos fakultetas. – 2011. – 45 p.

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama galimybė optimizuoti laivo korpuso kreivalinijinių detalių gamybą. Tradiciškai laivų statyboje sunkiausia optimizuoti korpuso gamybos technologinį procesą. Tačiau būtent korpuso gamybos kaina sudaro 30 % laivo savikainos. Todėl darbe buvo nuspręsta išanalizuoti UAB Vakarų Baltijos laivų statyklos (VBLS) detalių gamybos technologinį procesą ir pasiūlyti laivo korpuso kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo metodą. Mūsų šalyje lakštinio metalo apdirbimo automatizavimo lygis yra aukštas. Tačiau kalbant apie kreivalinijinių profilių gamybos procesą, mūsų gamyklos ženkliai atsilieka nuo pirmaujančių pasaulio laivų statyklų. Taip kiekviename gamybos etape kaupiasi formų ir matmenų nukrypimai. Defektų taisymas yra daug brangesnis nei gamybos savikaina, tačiau iki šiol net 35 % sekcijų gamybos apimties sudaro defektų taisymo ir tvarkymo darbai. Darbo imlumo sumažinimas ir gaminamų laivų korpuso konstrukcijų tikslumo padidinimas yra pagrindinis optimizavimo uždavinys, nuo kurio priklauso šiuolaikinės laivų statybos konkurencingumas. Darbą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas. Atskirai pridedami darbo priedai.

Reikšminiai žodžiai: laivų korpuso gamyba, bulbos profilio detalių lenkimas, LEAN sistema laivų statybos srityje.

## SUMMARY

**Panasiuk I. Optimization of ship hull production:** Master of naval architecture and marine engineering/ research advisor PhD, assoc. prof. L.Turkina; Klaipeda university, the Faculty of marine engineering. – 2011. – 45 p.

The thesis examines the possibility of ship hull's curvilinear profile production optimization. Traditionally in shipbuilding the hardest to optimize is the hull construction. However it represents 30% of ship cost. Therefore it was decided to analyze the VBLS technological process of profile production and offer a method to optimize the curvilinear profile production. There is the high technological level of steel sheet production in VBLS, but curvilinear profile production is not effective. In the every step of ship hull production process there is a level of defects. The repair costs are higher than production and until now it makes up to 35 percent of ship sub-assembly rework. The aim of the research was to rationalize manufacturing processes and improve shipbuilding productivity. Work consists of introduction, 3 parts, conclusions and suggestions, references. Appendixes included.

Key words: ship hull production, bulb profile bending, LEAN system in shipbuilding.

**Vykdytoja:** Irina Panasiuk TMLI-09 gr.

**Tema:** LAIVO KORPUSO DETALIŲ GAMYBOS OPTIMIZAVIMAS

## **UŽDUOTIS**

### **ĮVADAS**

#### **I. ES LAIVŲ STATYBOS KONKURENCINGUMO DIDINIMO GALIMYBĖS**

- 1.1. ES laivų statybos rinkos problematika
- 1.2. Laivų statybos darbo našumo didinimas taikant LEAN sistemos principus

#### **II. LAIVŲ KORPUSO STATYBOS TECHNOLOGINIO PROCESO OPTIMIZAVIMAS**

- 2.1. LEAN sistema VBLS gamybos procese
- 2.2. Laivo korpuso detalių gamybos tobulinimo galimybės
- 2.3. Siūlomas laivų korpuso detalių gamybos metodas, paremtas LEAN sistemos principais

#### **III. LAIVŲ KORPUSO DETALIŲ LENKIMO PROCESO SKAITMENINIS**

##### **MODELIAVIMAS**

- 3.1. Laivų korpuso profilinių detalių lenkimo proceso tyrimas
- 3.2. Laivų korpuso profilinės detalės geometrijos parametrų nustatymas
- 3.3. Tyrimo rezultatų analizė

#### **IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS**

#### **LITERATŪRA**

#### **PRIEDAI**

**Vadovė:** doc. dr. Liudmila Turkina

## LENTELĖS

2.3.1 Kreivalinijinių detalių gamybos proceso optimizavimo kryptys.....	26
3.2.1 Profilinės detalės S235JR plieno charakteristika.....	34
3.3.1 Profilinės detalės lenkimo proceso matematinio modeliavimo rezultatai.....	37

## PAVEIKSLAI

1.2.1 Detalių gamybos būdų palyginimas:	
A – įprasta gamyba, B – vieno vieneto srautas.....	15
1.2.2 Mechanizuotos ir automatizuotos gamybos rentabilumo palyginimas.....	16
1.2.3 Statyklos pajėgumo ir laivo savikainos priklausomybė, tariant, kad optimalus pajėgumas yra X ir atitinkama produkcijos savikaina 100 %.....	17
1.2.4 Laivo savikainos sudedamosios dalys, %.....	17
2.2.1 Nukrypimų taisymo technologijos schema:	
a) projektinis lakšto ir profilio sujungimas; b) gamybinis sujungimas su nukrypimais; c) nukrypimų taisymas; d) ištaisytų sekcijų sujungimas.....	22
2.2.2 Profilinių detalių lenkimo technologinė schema.....	23
2.3.1 Bulbos profilio detalės galų sulenkimo proceso schema.....	27
2.3.2 Siūlomas patobulintas profilinių detalių apdorojimo metodas.....	27
2.3.3 Esamas kreivalinijinių detalių gamybos metodas.....	28
2.3.4 Siūlomas patobulintas kreivalinijinių detalių gamybos metodas.....	28
3.2.1 Bulbos profilio detalės diskretinio modelio sudarymo schema.....	31
3.2.2 Valcuoto plieno bulbos profilio Nr. 10 detalės matmenys.....	32
3.2.3 Supaprastintas bulbos profilio detalės skaičiavimo modelis.....	32
3.2.4 Gembinio detalės lenkimo schema.....	33
3.2.5 Trijų taškų detalės lenkimo schema, naudojant <i>Buldozer</i> presą.....	33
3.2.6 Modelio tinklelio generavimas.....	34
3.2.7 Detalės sulinkimo kampas prieš įrankių atitraukimą ir po jo:	
$\alpha$ – lenkimo kampas pridėjus apkrovą, $\beta$ – lenkimo kampas nuėmus apkrovą.....	35
3.3.1 Netiesinio uždavinio sprendimo eigos grafinis vaizdas.....	36
3.3.2 Apkrovos ir detalės įlinkio Y ašies kryptimi priklausomybės grafikas.....	38

## TURINYS

<b>ĮVADAS</b> .....	6
<b>I. ES LAIVŲ STATYBOS KONKURENCINGUMO DIDINIMO GALIMYBĖS</b> .....	9
1.1. ES laivų statybos rinkos problematika .....	9
1.2. Laivų statybos darbo našumo didinimas taikant LEAN sistemos principus .....	12
<b>II. LAIVŲ KORPUSO STATYBOS TECHNOLOGINIO PROCESO OPTIMIZAVIMAS</b> ..	19
2.1. LEAN sistema VBLS gamybos procese.....	19
2.2. Laivo korpuso detalių gamybos tobulinimo galimybės.....	21
2.3. Siūlomas laivų korpuso detalių gamybos metodas paremtas LEAN sistemos principais .....	25
<b>III. LAIVŲ KORPUSO DETALIŲ LENKIMO PROCESO SKAITMENINIS     MODELIAVIMAS</b> .....	30
3.1. Laivų korpuso profilinių detalių lenkimo proceso tyrimas .....	30
3.2. Laivų korpuso profilinės detalės geometrijos parametrų nustatymas .....	31
3.3. Tyrimo rezultatų analizė.....	36
<b>IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS</b> .....	39
<b>LITERATŪRA</b> .....	44
<b>PRIEDAI</b> .....	46

## IVADAS

Ekonominis nuosmukis prasidėjo kaip tik tada, kai dauguma Europos laivų statyklų buvo pradėjusios atsigaivinti po sudėtingo restruktūrizavimo, modernizavimo ir technikos vystymo proceso. Situaciją pablogino ir ištisus dešimtmečius trunkanti nesąžininga Pietryčių Azijos šalių konkurencija. Todėl ES laivų statybos pramonei iškilo realus pavojus, kad Europos laivų statyklos praras gamybos pajėgumams išlaikyti būtiną kritinę masę. Atsižvelgiant į sumažėjusį užsakymų portfelį, ypač svarbu racionaliai organizuoti gamybos procesą ir rasti būdus, kaip įveikti sektorių apėmusią krizę. Laivų statybos rinka pasiekė tą vystymosi stadiją, kai už kiekvieną nereikalingą žingsnį moka ne užsakovas, o gamintojas. Taigi darbo našumo didinimas tapo būtinybe. Tradiciškai laivų statybos srityje sunkiausia optimizuoti korpuso gamybos technologinį procesą. Tačiau būtent korpuso gamybos kaina sudaro 30 % laivo savikainos. Todėl buvo nuspręsta šiame darbe išanalizuoti UAB Vakarų Baltijos laivų statyklos (VBLS) detalių gamybos technologinį procesą ir pasiūlyti laivo korpuso kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo metodą.

Mūsų šalyje lakštinio metalo apdirbimo automatizavimo lygis yra aukštas. Tačiau kalbant apie kreivalinijinių profilių gamybos procesą, mūsų gamyklos ženkliai atsilieka nuo pirmaujančių pasaulio laivų statyklų. Taigi kiekviename gamybos etape kaupiasi formų ir matmenų nukrypimai. Defektų taisymas yra daug brangesnis nei gamybos savikaina, tačiau iki šiol net 35% sekcijų gamybos apimties sudaro defektų taisymo ir tvarkymo darbai. Darbo imlumo sumažinimas ir gaminamų laivų korpuso konstrukcijų tikslumo padidinimas yra pagrindinis optimizavimo uždavinys, nuo kurio priklauso šiuolaikinės laivų statybos konkurencingumas. Išanalizavus laivų statybos gamybos valdymo tobulinimo galimybes, buvo nuspręsta optimizuoti technologinį procesą remiantis pasaulyje plačiai taikomos LEAN sistemos principais. Prieš pasirenkant konkrečius LEAN sistemos metodus, buvo atlikta išsami technologinio proceso analizė ir nustatytos pagrindinės kreivalinijinių detalių gamybos tobulinimo kryptys. Pažymėtina, kad optimizavimo metodo formavimas buvo atliekamas atsižvelgiant į esamą VBLS įrangą, siekiant išvengti papildomų metodo degimo išlaidų.

**Darbo tikslas ir uždaviniai.** Darbo tikslas – remiantis išnagrinėta teorine medžiaga ir gamybos analize, pateikti laivo korpuso kreivalinijinių detalių gamybos technologinio proceso optimizavimo metodą. Tikslui pasiekti darbe nagrinėjami šie uždaviniai:

- atlikti mokslinės literatūros, nagrinėjančios laivų statybos tobulinimo galimybes, analizę ir nustatyti pagrindines pramonės konkurencingumo užtikrinimo kryptis;
- išanalizuoti konkrečius laivų statybos optimizavimo pavyzdžius ir sudaryti kreivalinijinių detalių gamybos proceso optimizavimo algoritmą;
- taikant skaitmeninį modeliavimą patikrinti siūlomo metodo veiksmingumą.

**Tyrimo objektas ir metodai.** Objektas - laivo korpuso kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimas. Pagrindiniais tyrimo metodais pasirinkti užsienio ir Lietuvos mokslinės literatūros turinio analizė, sintezė ir palyginimas; VBLS techninės dokumentacijos analizė; siūlomo technologinio proceso optimizavimo metodo, pagrįsto skaitiniu modeliavimu, tinkamumas.

**Darbo teorinė ir praktinė reikšmė.** Darbe siūlomas kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo metodas nėra naujas pasauliniu mastu, tačiau mūsų šalyje vis dar netaikomas. Atsižvelgiant į turimą automatizuotą profilinių detalių pjovimo liniją, kreivalinijinių detalių gamyboje būtina išnaudoti jos potencialą, tuo padidinant įrangos rentabilumą. Pažymėtina, kad įgyvendinant siūlomą metodą nereikia papildomos įrangos. Todėl metodas ypač tinka ekonominio sąstingio laikotarpiu. Darbe pateikiama išsami mokslinės literatūros analizė. Remiantis analizės išvadomis, nustatytas mūsų šalies laivų statyklai tinkantis kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo būdas ir taikant skaitmeninį modeliavimą patikrintas metodo tinkamumas.

**Darbo rezultatų aprobavimas.** Darbo tyrimo medžiaga pristatyta Baltarusijos tarptautinėje konferencijoje:

- «Экономика и менеджмент XXI века: современные методы, формы, технологии» Grodno, 2011 m. balandžio 15–16 d., pranešimo tema «Бережливое производство в судостроении».

**Darbo struktūra ir apimtis.** Darbą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas. Darbe yra 45 kompiuteriu sumaketuoti ir 1,5 intervalo eilėtarpiu išspausdinti puslapiai, 19 iliustracijų, 3 lentelės, 23 bibliografijos šaltinių sąrašas. Atskirai pridedami 9 darbo priedai.

## I. ES LAIVŲ STATYBOS KONKURENCINGUMO DIDINIMO GALIMYBĖS

### 1.1. ES laivų statybos rinkos problematika

Ekonominio nuosmukio akivaizdoje Europos Sąjungos laivų statybos pramonė atsidūrė nepavydėtinoje situacijoje. Perteklinis prekybos laivų statybos pajėgumas buvo juntamas dar prieš ekonominį nuosmukį, tačiau dabartinės ekonomikos sąlygos tik pablogino rinkos padėtį. Iškilo grėsmė, kad po kelerių metų Europoje gali visiškai nebelikti civilinės paskirties laivų statybos sektoriaus. Dar prieš nuosmukį, jau nuo 2000 m., pasaulinė laivų statyba ėmė koncertuoti Azijos šalyse (Kinija, Pietų Korėja, Japonija). Dėl to Europoje ženkliai sumažėjo naujų laivų užsakymų, o esami buvo užšaldyti arba nusiderėta užsakovui palankesnė kaina. Išaugęs Azijos gamybos pajėgumas sumažino naujų laivų statybos kainą. Dabartiniu metu Pietryčių Azijos laivų statytojai laivus gali statyti už dvigubai mažesnę kainą nei ES laivų statytojai. Taip yra dėl nevienodų sąlygų bei ištisus dešimtmečius truncančios nesąžiningos kitų pasaulio šalių konkurencijos. ES laivų statytojai, suprasdami, kad nesugebės konkuruoti su Pietryčių Azija laivo savikainos atžvilgiu, ėmė orientotis į specializuoto jūrų transporto statybą. Esant nepalankiai ekonomikos fazei, kiekviena šalis ieško būdų, kaip padidinti laivų statybos konkurencingumą.

Kinijoje valstybė aktyviai finansuoja ne tik savo šalies laivų statyklas, bet ir kredituoja kitų šalių laivų užsakovus, statančius laivus Kinijos statyklose. Pavyzdžiui, 2009 m. IV ketvirtyje Kinija suteikė 650 mlrd. JAV dol. kreditą naujų laivų statybai JAV ir Vokietijos verslininkams (Drugov, 2010). Dėl palankaus kreditavimo ir mažiausios laivo savikainos Kinijai pavyksta pritraukti net stipriausios ES laivų statytojos Vokietijos užsakovus. Todėl galima teigti, kad tokios priemonės teigiamai paveikė finansinę Kinijos laivų statyklų padėtį. Tačiau būtina paminėti, kad valstybinė parama skiriama tik stambiausioms Kinijos laivų statykloms. Bendra situacija Kinijos laivų statybos sektoriuje nėra tokia džiuginanti – 2010 m. smulkesnės įmonės visai neturėjo užsakymų. Taigi ir Kinijoje daugelis laivų statyklų mažina savo pajėgumus arba apskritai pasitraukia iš šio sektoriaus.

Pietų Korėjoje valstybinė parama taip pat ženkli. Stambiausi Korėjos laivų statytojai išsilaiko ne tik dėl to, kad juos finansuoja valstybė, bet ir dėl didelio gamybos pajėgumo. Pavyzdžiui, *Hyundai Heavy Industries* užsakymų portfelis 2009 m. sumažėjo 61 %, bet bendra kompanijos apyvarta siekė 10,6 mlrd. JAV dol. Panaši situacija buvo ir 2010 m. Tačiau dėl klastericazijos ir didžiulio gamybos pajėgumo septynių didžiausių Korėjos laivų statytojų finansiniai rodikliai priklauso pasaulio geriausių rodiklių dešimtukui. Kalbant apie smulkesnius rinkos dalyvius, situacija Pietų Korėjoje yra panaši kaip ir visame pasaulyje. Sumažėjęs užsakymų portfelis verčia laivų statytojus skelbti bankrotą. Pavyzdžiui, penkta pagal gamybos pajėgumą kompanija *Hanjin Heavy* planuoja trečdaliu sumažinti savo pajėgumą (Drugov, 2010).

Japonija, kadaise buvusi pasaulio lyderė pagal našumo ir kokybės rodiklius, ekonominių nuosmukį įveikia tik dėl vidinės paklausos. Užsakymų portfelis yra sumažėjęs net iki 75 %. Dėl labai brangios darbo jėgos Japonija negali konkuruoti su Kinija, todėl ji orientuojasi į aukštųjų technologijų segmentą. Nors užsakymų portfelis šiame segmente nėra didelis, bet bendra apyvarta yra ženkli ir to pakanka laivų statybos sektoriui palaikyti.

ES laivų statybos pramonė negali konkuruoti su Kinija ir Pietų Korėja dėl pernelyg didelės darbo jėgos kainos, tačiau aukštųjų technologijų srityje tikrai gali užimti nemažą rinkos dalį. Specializuoti ir aukštųjų technologijų vandens transporto statiniai yra didelės vertės, todėl šio sektoriaus pakaks išlaikyti esamą laivų statybos gamybos pajėgumą, darbo vietas ir technologijas. Todėl ES, siekdama užtikrinti laivų statybos pramonės konkurencingumą, sukūrė programas, kurios turi stimuliuoti sektoriaus augimą. 2003 m. Europos laivų statytojų asociacija (CESA) subūrė ekspertų grupę, kuri įvertino padėtį ir ataskaitoje *LeaderSHIP 2015* pateikė ambicingus, bet realiai pasiekiamus planus laivų statybos sektoriui plėtoti. 2005 m. pagal *LeaderSHIP 2015* rekomendacijas buvo įkurta *Waterborne* technologinė platforma (WTP). Jos uždavinys – suformuoti ekonominės veiklos kūrimo grandinę: kurti žinias ir sėkmingai jas paversti naujomis technologijomis, procesais, produktais bei paslaugomis. Siekdama išnaudoti esamą ekonominę padėtį, ES sukūrė *Clean Baltic Sea Shipping (Cleanship)* programą, kurios esmę sudaro siekis plėsti darnaus vandens transporto operacijų kūrimą. Vadovaudamiesi išvardytomis programomis, turime ne tik apsaugoti gamtą nuo taršos, bet ir sukurti dar vieną segmentą ES laivų statybai. Nors anksčiau minėtos priemonės buvo sukurtos dar prieš ekonominį nuosmukį, tačiau jos tinka ir dabar. Be abejo, atsižvelgiant į turimą patirtį būtina pakoreguoti strategijų planus. Svarbu paminėti, kad *LeaderSHIP 2015*, *Waterborne* ir *Cleanship* programos nėra veiksmingai įgyvendinamos (Krzaklewski, Calvet Chambon, 2011). Todėl laivų statybos sektoriaus konkurencingumo užtikrinimo iniciatyvoje visoms ES šalims narėms būtina aktyviau dalyvauti. ES pavieniai laivų statytojai jau nebegali konkuruoti su Azijos šalimis. Tik bendromis jėgomis galima užimti deramą vietą šio sektoriaus rinkoje.

Išsamiai išanalizavus esamą laivų statybos rinkos padėtį, buvo nustatytos pagrindinės ES laivų statybos tobulinimo kryptys. Laivų statybos rinkos analizė parodė, kad ES konkurencingumo užtikrinimas gali būti nukreiptas tokiomis kryptimis:

- pirmoji kryptis – tai valstybės palaikymas. Tiek pačios pramonės subsidijavimas, tiek ir parama laivų statybos mokslui bei pramonės ir mokslo sujungimas siekiant bendro tikslo. Todėl pirma ir svarbiausia laivų statybos tobulinimo kryptis yra užtikrinti sąžiningą laivų statytojų konkurenciją šioje rinkoje. Būtina sukurti prekybos taisykles, kurios būtų teisiškai privalomos visame pasaulyje. Laivų statybos finansinių problemų taip pat kilo ir dėl finansavimo stokos, investuotojų atsiimtų lėšų už anksčiau pateiktus

užsakymus bei nepalankios ekonominės padėties visame pasaulyje. Todėl būtina aktyviau finansuoti laivų statybą ES lygmenyje. Šis finansavimas gali būti nukreiptas kurti naują aukštųjų technologijų segmentą. Europos technologinis ir mokslinis lygis yra labai aukštas, taigi ji nesunkiai užims šį laivų statybos segmentą ir net turėdama mažesnę gamybos pajėgumą padidins savo apyvartinį kapitalą;

- antroji kryptis – tai investuotojų pritraukimas. Viena iš galimybių išlaikyti ES laivų statybos pramonę yra užsienio investuotojų pritraukimas. Ši strategija praktikuojama jau ne pirmus metus. Jau tapo aišku, kad savo jėgomis išlaikyti esamą ES gamybos pajėgumą nėra įmanoma. Todėl siekiant išsaugoti darbo vietas ir technologijas, būtina ieškoti verslo partnerių, kurie investuos savo lėšas į bendrą kompaniją. Šiuo metu matome nemažai tokio susijungimo pavyzdžių. 2008 m. Korėjos kompanija *STX Shipbuilding Co* įsigijo *AKER Yard* laivų statyklos akcijas. Tuo tarpu dvi laivų statyklos Vokietijoje ir Lenkijoje perėjo arabų kompanijai *Abu Dhabi MAR Group*. Dar dvi statyklos tose pačiose šalyse perėjo Rusijos kompanijai. 2009 m. Vokietijoje laivų statykla *ThyssenKrupp* pasirašė sutartį su *Abu Dhabi MAR Group* dėl bendros įmonės kūrimo ir lygiomis dalimis pasidalijo *ThyssenKrupp Marine* įmonės aktyvus. Tačiau praktika rodo, kad korėjiečiai ir arabai supirkinėja laivų statyklų akcijas norėdami pasisavinti ES esamas technologijas, o ne siekdami užtikrinti laivų statyklos gamybos pajėgumą. Bent jau *STX Europe* per dvejus valdymo metus nepasiekė teigiamų rezultatų *AKER* laivų statykloms (Drugov, 2010). Todėl ES laivų statyklų savininkai turėtų atsargiau rinktis verslo partnerius ir teisiškai apsisaugoti nuo investuotojo galimo piktnaudžiavimo esama padėtimi. Kaip alternatyvą reikėtų apsvarstyti galimybę organizuoti klasterius Europos ribose;
- trečioji kryptis – tai srities klasterizacija. Pavyzdžiui, Korėja, turinti apie 40 % pasaulinio laivyno, savo pajėgumą koncentravo palyginti mažoje teritorijoje. Tuo tarpu Europoje atstumai tarp gamyklų yra gerokai didesni ir išskirstyta laivų statyba prarado savo rinkos dalį. Klasterizacija teigiamai veikia personalo kvalifikacijos kėlimą, ryšį tarp pramonės bei mokslo ir t. t. Kitaip tariant, klasteryje atsiranda sinergijos efektas, kuris gali padėti ES laivų statytojams didinti gamybos pajėgumą ir kooperacijos lygį tarp pramonės sričių. Tokie klasteriai padėtų išlaikyti ne tik laivų statyklas, bet ir, pavyzdžiui, komplektavimo įrenginių gamyklas. Kalbant apie ES laivų įrangos gamybą, jos situacija yra nevienareikšmiška. Viena vertus, tokie stambūs gamintojai kaip *Wärtsilä* ir *Rolls-Royce* 2009 m. nepajuto didelio užsakymų sumažėjimo ir tikisi išlaikyti gamybos stabilumą. Kita vertus, atsižvelgiant į užsakymų dinamikos analizę, *Wärtsilä* 2010 m. perkėlė dalį gamybos pajėgumų į Kiniją, o dalies pajėgumų buvo

nuspręsta atsisakyti (Drugov, 2010). Tai rodo, kad pramonininkai laivų įrangos gamybos srityje visgi numato užsakymų sumažėjimą. Panašu, kad šio sektoriaus gamybos pajėgumų perkėlimas iš ES tęsis ir toliau. Manoma, kad ir kiti įrangos gamintojai gali pasekti *Wärtsilä* pavyzdžiu. Todėl būtina bendromis jėgomis išlaikyti esamą rinkos dalį;

- ketvirtoji kryptis – veiklos profilio pakeitimas. Dabartiniu metu tarp laivų statyklų populiariausia yra vėjo jėgainių statyba. Manoma, kad ši sritis yra perspektyvi ir artimiausiu metu turėtų išaugti šios jūrinės technikos segmento paklausa. Konkuruodama su pigesnės darbo jėgos šalimis, Europa gali laimėti tik specializuotų laivų ir statinių statybos srityje (kruizinių lainerių, specializuotų laivų, megajachtų, mokslinių tyrimų laivų ir t. t.). ES laivų statybos pramonė šioje srityje pirmauja, nes čia yra visa reikiama bazė (aukštos technologijos, inovacijos, kvalifikuoti darbuotojai, patirtis ir t. t.) tokiems laivams statyti;
- penktoji kryptis – tai darbo našumo didinimas. Kitaip tariant, korektiškas gamybos organizavimas, kuris gali būti pasiekiamas taikant LEAN sistemos principus ir metodus. *Federation for Shipbuilding and Sea technics* duomenimis, Europa laivų statybos rinkoje prarado savo padėtį ne tik dėl paskutinio ekonominio nuosmukio. Europos laivų statyklų technologinis lygis yra labai aukštas, tačiau atsižvelgiant į tai, kad dėl ekonominio nuosmukio laivų statyklų gamybos pajėgumas praranda savo kritinę masę, ES iškyla grėsmė visiškai prarasti šio sektoriaus rinkos dalį. Pavyzdžiui, Vokietija, investavusi 500 mlrd. eurų į laivų statybos modernizavimą, patyrė didžiulių nuostolių, ir net faktas, kad valstybinės subsidijos sudaro 300 mln. eurų per metus, nepadeda atgauti prarastos laivų statybos rinkos dalies (Logačov, Čugunov, 2009). Stingant užsakymų, būtina lanksčiau organizuoti gamybą ir prisiderinti prie rinkos paklausos. Šią laivų statybos tobulinimo kryptį išsamiau aptarsime kitame poskyryje.

## **1.2. Laivų statybos darbo našumo didinimas taikant LEAN sistemos principus**

LEAN – tai taupioji valdymo sistema. Šios sistemos esmę sudaro siekis sukurti kuo daugiau vertės vartotojui, naudojant kuo mažiau išteklių – žmogaus darbo laiko, įrengimų, patalpų, atsargų, energijos ir t. t. (Spear, 2009). Kitaip tariant, eliminuoti nuostolius visuose gamybos procesuose. LEAN sistemos tikslas – taikant jos principus ir metodus padidinti darbuotojų, įrengimų, plotų ir kitų išteklių kuriamą vertę vartotojui, atsisakant švaistymo. Taigi jeigu veiksmai arba procesai kliento atžvilgiu nesukuria produkcijos vertės, tai į juos žiūrima kaip į nuostolius, kuriuos būtina eliminuoti (Tapping, 2006). LEAN sistemos pagrindu laikoma japonų automobilių gamintojos *Toyota* sukurta gamybos valdymo sistema (the *Toyota Production System* – TPS). *Toyota*

vadybininkai išanalizavo *General Motors* (amerikiečių automobilių gamykla) ir kitų pasaulyje pirmaujančių įmonių sėkmės priežastis ir, susieję efektyviausius gamybos tobulinimo metodus į bendrą sistemą, sukūrė TPS. Vakaruose ši sistema buvo pavadinta LEAN (liet. – lieknas, taupus), tačiau jos esmė ir turinys nepasikeitė. Henris Fordas, automobilių gamyklos *General Motors* savininkas, pasinaudojo LEAN metodais, siekdamas iš esmės pakeisti automobilių pramonę, ir pirmasis pritaikė konvejerį masinei įperkamu automobilių gamybai. Pasak Spear (2009), šis laimėjimas ne tik sukėlė industrijos perversmą, bet ir padėjo JAV įveikti didžiąją ekonominę krizę (dar vadinamą didžiąją depresija, 1929–1933). Pasitelkę šią sistemą Japonijos pramonininkai sugebėjo atkurti 1947 m. sugriautą infrastruktūrą. Jie tiesiog išmokė savo darbuotojus gaminti daugiau už mažesnes sąnaudas. Mokymuose Japonijos pramonininkai naudoja Fujio Cho (*Tayota motors* korporacijos prezidentas) sukurtą TPS namo pavidalo schemą (1 priedas). LEAN – tai vientisa optimizavimo sistema, o ne atskirų metodų rinkinys. Todėl būtent namas puikiai pavaizduoja šios sistemos esmę. 1990 m. Azijos pramonė mažesniais įkainiais užvaldė pasaulio rinką, ir tokios kompanijos kaip *Caterpillar Tractor*, *Alcoa Aluminum* ir *Motorolla Electronics*, pritaikiusios LEAN metodus, perprojektavo savo darbo procesus ir padidino įmonių konkurencingumą. Pasitelkusios būtent LEAN sistemą, šios įmonės sugebėjo susigrąžinti rinkos dalį ir vėl tapti pasaulio lyderėmis savo srityse.

Pasaulio patirtis rodo, kad įmonės konkurencingumas didžiąja dalimi priklauso nuo korektiško gamybos valdymo organizavimo. Takeda (2005) teigimu, LEAN yra universalus įrankių ir metodų rinkinys, tinkantis visoms pramonės sritims tobulinti (pramonės, statybos, medicinos ir t. t.). Tyrimo metu nustatyta, kad visais laikais ekonominės recesijos akivaizdoje įmonės ieško būdų, kaip sumažinti sąnaudas, ir pirmiausia žvilgsnį kreipia į efektyvų darbo jėgos panaudojimą. Tačiau siauros paskirties procesų optimizavimo priemonės nepadedą, o dažnai ir kenkia įmonės veiklai (Ohno, 2005). Radikalus kaštų mažinimas, pvz., darbuotojų atleidimas, turi tik trumpalaikį poveikį. Jis nekeičia darbo atlikimo būdo ir darbuotojų mąstymo. Vadovaujantis tradiciniu požiūriu ir susiformavusiomis nuostatomis iš esmės niekas nepasikeis. Šiandien LEAN gamyba, kuri prieš pusę amžiaus buvo vienos kompanijos strategija, tampa būtina daugelio įmonių išlikimo sąlyga. Visi turi nuostolių ir įvairiais būdais bando jų išvengti. LEAN sistemos veiksmingumą rodo vis didėjantis susidomėjimas jos principais ir jų plėtojimas.

Automobilių gamybos srityje ši sistema praktiškai laikoma korporatyviniu standartu, tačiau laivų statybos sferoje iki šiol tai yra naujovė. Be abejo, domimasi, tačiau esant ženklių skirtumų tarp pramonės šakų, laivų statytojai susiduria su kliūtimis diegdami LEAN metodus savo gamyklose. Pasak Anand ir Kodali (2010), perėjimas prie LEAN gamybos sistemos toli gražu nėra paprastas procesas, susidedantis iš dviejų etapų. Pirmasis etapas – tai produkcijos savikainos mažinimas ir darbo našumo didinimas. Antrasis – tobulėjimo procesas, kuris reiškia, kad kiekvienas darbuotojas

savo darbe turi naudoti naujas technologijas ir siekti tobulumo. Sunku ginčytis, kad be naujos įrangos ir technologijų neįmanoma tapti konkurencingais pasauliniu mastu. Kita vertus, efektyvi įmonės veikla – tai darbo proceso organizavimas, ir vien tik aukštosios technologijos negali pakelti įmonės rentabilumo. Ši sistema keičia vadovų požiūrį į gamybos procesą, skatindama mažinti produkcijos savikainą, išlaikant aukštą kokybę ir aptarnavimo lygį. Optimizuojant gamybos procesą, svarbu suprasti LEAN esmę teoriniu aspektu, kaupti žinias, ieškoti naujų tobulinimo galimybių, o ne akiai kartoti pirmaujančių įmonių patirtį. Dickinson ir Hammond (2004) manymu, LEAN diegimo sėkmė priklauso nuo sistemos supratimo ir jos pritaikymo konkrečioje situacijoje.

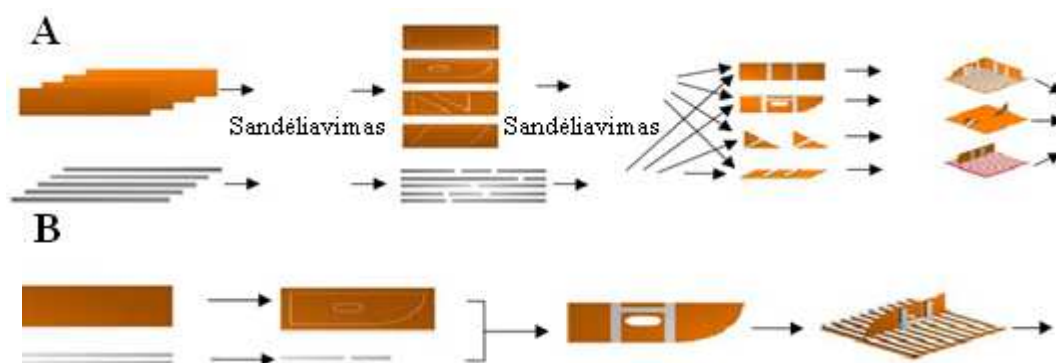
Nors laivų statybos srityje LEAN sistemos suvokimas ir taikymas dar nėra brandus, tačiau esama pasaulinė laivų statytojų patirtis rodo jos efektyvumą ir skatina išsamiau tyrinėti sistemos diegimo galimybes. Laivų statybos rinka pasiekė tą vystymosi stadiją, kai už kiekvieną nereikalingą žingsnį moka ne užsakovas, o gamintojas. Taigi, nuostolių eliminavimas tapo būtinybe. Liker, Lamb ir Arbor (2000) teigimu, tam tikri požymiai daro laivų statybą unikalią ir tuo ji skiriasi nuo kitų pramonės šakų, pvz., nedidelės gamybinės serijos, gaminamų vienetų dydis, vertė ir sudėtingumas bei tas faktas, kad prototipai apskritai yra naudojami pelningai. Kaip to pasekmė, laivų statyba yra tas sektorius, kuriame įprastos gamybos optimizavimo priemonės paprasčiausiai netinka. Tačiau pagrindiniai LEAN uždaviniai – mažinti gamybos sąnaudas ir didinti produkcijos kokybę – atitinka laivų statybos pramonės poreikius.

Analizė parodė, kad optimizuoti laivų statybą pradedama identifikuojant vartotojų poreikius ir gamybos nuostolius. Kiekviename gamybos etape atsiranda nuostolių dėl įrangos neeksploatavimo, jos neaptarnavimo reikiamu laiku, neapgalvojus darbo vietos ir gamybos grandinės organizavimo, sandėliavimo ir nekorektiškos logistikos. Vadovaudamiesi LEAN sistemos filosofija, laivų statytojai susipažįsta su klientu, jo poreikiais, norais ir tik tada galvoja apie produkto kūrimą. Kol kas laivų statybos srityje LEAN sistemos principai realizuojami tik sukūrus pavyzdinį padalinį ir naudojant tik vieną ar du sistemos įrankius. Plačiausiai ši sistema paplitusi Japonijos ir JAV laivų statyklose. Mokslinės literatūros analizė parodė, kad laivų statytojai pirmame LEAN sistemos diegimo etape žiūri į jos principus kaip į nuostolių eliminavimo įrankį. Todėl LEAN sistemos gamyba organizuojama remiantis faktiniais užsakymais. Taigi paklausa stimuliuoja gamybą, o ne gamintojai pateikia produkciją rinkai. Tai leidžia eliminuoti veiksnius, nesukuriančius produkcijos vertės, ir ženkliai sumažinti gamybos trukmę.

Nuostolių eliminavimas prasideda nuo 5S įrankio (rūšiavimas, savikontrolė, tvarkos palaikymas, standartizacija, tobulinimas) diegimo. Šis įrankis yra dažniausiai naudojamas laivų statyboje ir nuo jo pradedamas visos sistemos diegimas (Liu, Chua, Yeoh, 2011). Tačiau 5S – tai ergonomikos didinimas siekiant eliminuoti nuostolius darbo vietoje. Šis metodas realizuojamas maksimaliu darbuotojų įtraukimu į tobulino procesą. Todėl 5S veiksmingumas pasiekiamas ten, kur

dominuoja rankinis darbas. Šiuolaikinė laivų statybos pramonė charakterizuojama technologinių procesų mechanizavimu ir automatizavimu (robotizuotas plazminis lakštų ir profilių pjovimas, automatizuotos plokščių klojinių ir mikroklojinių gamybos linijos, lakštų lenkimo valcai, reguliuojami stendai kreivalinijinių sekcijų gamybai ir t. t.). Baltijos laivų statyklos (šiuo metu VBLS) ir kitų laivų statytojų patirtis rodo, kad neapgalvotas 5S įrankio diegimas nepateisina vadovų lūkesčių. To priežastis yra tai, kad didžiąją dalį darbų atlieka automatai, ir 5S principai realizuojami jau pačių mechanizmų projektavimo etape. Todėl maksimalus įrankio veiksmingumas atskleidžiamas laivų statyklų biuruose, mažinant personalo darbo sąnaudas. 5S įrankio diegimo patirtis Baltijos laivų statykloje paskatino įmonės vadovybę šios metodikos plėtojimą perkelti į įmonės biurus, o optimizuojant gamybos procesą pereiti prie atsargų mažinimo metodikos „pačiu laiku“ (*just-in-time*, JIT).

Laivų statyboje JIT metodikos diegimas realizuojamas produkcijos srauto sukūrimu, kur detalių ruošiniai nesikaupia sandėliuose, o iškart perduodami į kitą technologinės grandinės etapą. Kaip pavyzdį galima aptarti laivų statyklos *Sumitomo Heavy Industries* (Japonija) patirtį, kur ši metodika pritaikyta detalių gamybos padalinyje (Liker, Lamb, Arbor, 2000). Paprastai lakštinis ir profilinis plienas statyklose apdorojamas didelėmis partijomis (1.2.1 pav., A), todėl atsiranda papildomų sandėliavimo, transportavimo, išlaidos, prastovų ir t. t. Taikant JIT metodiką, sukuriamas nepertraukiamas vieno vieneto srautas (1.2.1 pav., B), kur medžiagos nuosekliai pereina nuo vieno technologinio proceso prie kito.



1.2.1 pav. Detalių gamybos būdų palyginimas:

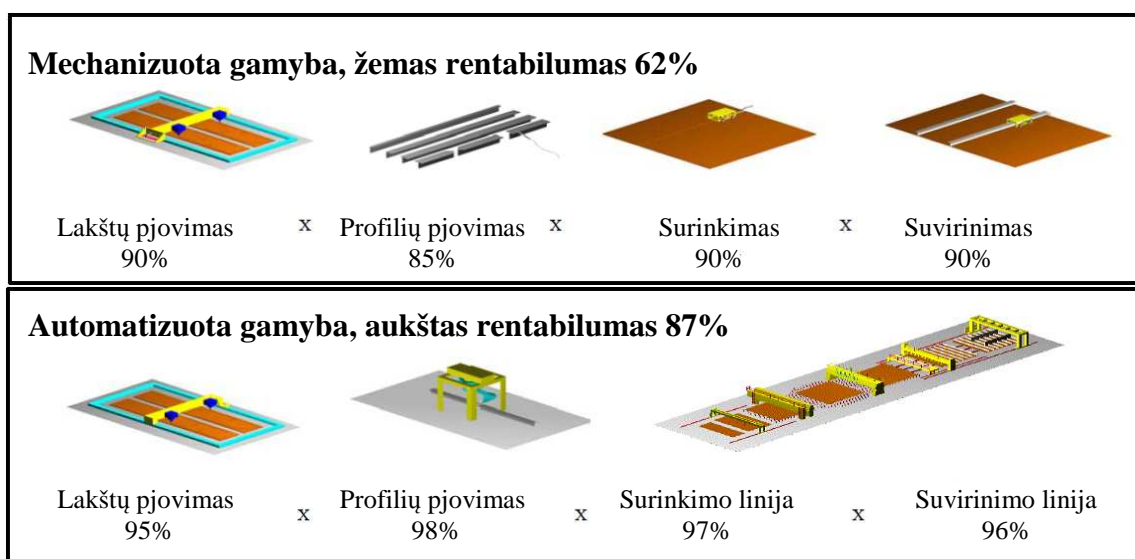
A – įprasta gamyba, B – vieno vieneto srautas (Liker, Lamb, Arbor, 2000)

Tai leido statyklos vadovams 80 % sumažinti neužbaigtos produkcijos kiekį, kas savo ruožtu sumažino galutinio produkto savikainą net iki 40 %. Tačiau kaip parodė analizė, laivų statybos vienetinės gamybos specifika riboja JIT metodikos diegimo galimybes ir verčia ieškoti naujų gamybos organizavimo sprendimų. *Sumitomo Heavy Industries* Korėjos padalinio statykloje laivo korpuso blokų gamyba organizuojama planuojant laiko taktą (vienas iš JIT įrankių). Efektyviausiai šis metodas įgyvendinamas klasteriuose. Siekiant sutrumpinti laivo statybos ciklą, lygiagrečiai skirtingose statyklose statomi to paties laivo blokai. Pažymėtina, kad laivapriekio ir

laivagalio statyba vykdoma aukšto technologinio lygio klasterio padaliniuose. O galutinis laivo surinkimas atliekamas ten, kur tai leidžia dokų matmenys ir keliamoji technika. Tai leidžia sutrumpinti laivo (pvz., balkerio 5000 t DWT) pastatymo ciklą nuo 22 mėn. iki 9 mėn. (Šamrai, 2011).

Nepaisant akivaizdaus šio metodo efektyvumo, praktikoje JIT galima naudoti tik atskiruose padaliniuose. Šis metodas sėkmingai diegiamas ten, kur egzistuoja standartiniai gamybos ciklai (automatizuotas markiravimas, pjovimas, surinkimas ir t. t.), t. y. serijinėje gamyboje. Charakteringos laivų statybai vienetinės gamybos srityje JIT diegimas susijęs su gamybos informatizavimu, tarpusavio ryšio tarp projektuotojo ir statytojo organizavimu on-line režimu. Todėl laivų statybos sferoje šio metodo diegimas labiausiai paplitęs Japonijos, Pietų Korėjos, iš dalies JAV ir ES šalyse, kur pasiektas atitinkamas technologinis lygis.

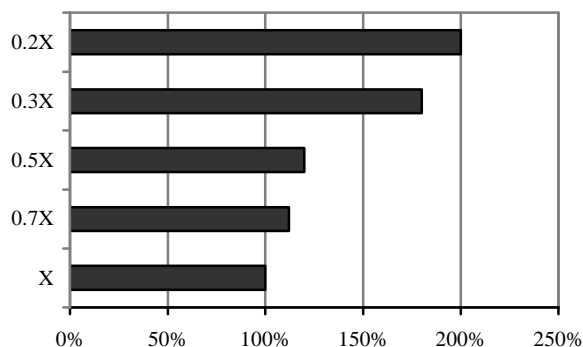
Qingliang, Zegiang ir Lin (2010) manymu, vienetinės gamybos srityje efektyviau taikomas kitas LEAN sistemos metodas – greitas įrenginių perderinimas (SMED). *Sumitomo Heavy Industries* laivų statytojai šį metodą įdiegė kreivalinijiniams blokams gaminti, padalinyje įrengdami reguliuojamas stendo atramas. Tai leidžia per trumpą laiką paruošti darbo vietą skirtingu kreivalinijinių blokų gamybai ir sumažinti parengiamųjų darbų trukmę iki 40 % (Koenig, Narita, Baba, 2009). Analogiškos technologijos naudojamos ir VBLS statykloje, tačiau kaip rodo jų patirtis, SMED metodas veiksmingas tik kartu su kitais LEAN sistemos įrankiais (pvz., kokybės užtikrinimo metodas *Jidoka*). *Jidoka* veiksmingai realizuojamas automatizuotuose gamybos linijose, kur kokybė tikrinama kiekviename technologiniame etape, ir esant nukrypimų operatorius informuojamas šviesa arba garsu. Automatizuotos gamybos, kurioje taikomi net keli LEAN metodai (JIT, SMED, *Jidoka* ir kt.), rentabilumas yra net 1,4 karto didesnis nei įprastos mechanizuotos gamybos (1.2.2 pav.).



1.2.2 pav. Mechanizuotos ir automatizuotos gamybos rentabilumo palyginimas

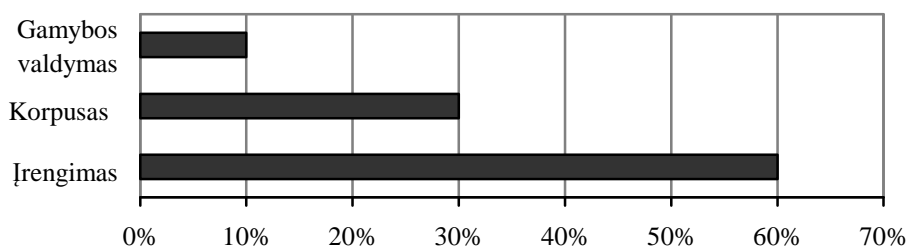
(Liker , Lamb, Arbor, 2000)

Analizuojant šios dienos situaciją, galima teigti, kad vien tik aukštas technologijos lygis neužtikrina įmonės konkurencingumo, būtina kompleksiškai optimizuoti gamybos procesus. Produkcijos savikaina, ypač automatizuotos gamybos srityje, labai priklauso nuo pajėgumo. Įmonė, dirbanti ne visu pajėgumu, daugiau sumoka už įrenginių ir plotų eksploatavimą, nei uždirba iš produkcijos pardavimo, todėl natūralu, kad laivų savikaina kyla. Krentant gamybiniam pajėgumui, aritmetiškai kyla produkcijos savikaina (1.2.3 pav.).



1.2.3 pav. Statyklos pajėgumo ir laivo savikainos priklausomybė, tariant, kad optimalus pajėgumas yra X ir atitinkama produkcijos savikaina 100 % (Šamrai, 2011)

Kaip matome iš statyklos pajėgumo ir laivo savikainos priklausomybės grafiko, gamybiniam pajėgumui sumažėjus iki 80 %, laivo savikaina padidėja dvigubai. ES šalių automatizuotos gamyklos nukentėjo būtent dėl didelės kreditinės naštos. Kai pasaulinės rinkos paklausa buvo didžiulė, tokios gamyklos dirbo išties pelningai. Sumažėjus užsakymų skaičiui, įrangos išlaikymo kaštai sužlugdė iki šiol sėkmingai dirbusias įmones. Nepakankamas gamybos apkrovimas ne tik mažina įmonės konkurencingumą, bet ir priverčia atsisakyti kvalifikuotų specialistų ir galų gale, ES atžvilgiu, gali visiškai išstumti ją iš laivų statybos rinkos. Norint užtikrinti gamybos pajėgumo kritinę masę ir neprarasti esamo technologinio lygio, būtina kompleksiškai pertvarkyti visą laivų statybos procesą, pradedant nuo užsakymų paieškos ir baigiant galutinio produkto pristatymu užsakovui. Ekonominio nuosmukio sąlygomis, visgi pagrindinis veiksnys, turintis įtakos laivų statybos konkurencingumui, yra gamybos sąnaudų mažinimas. Europos laivų statyklos turi didelį laivo savikainos mažinimo rezervą, kuris gali būti nukreiptas darbo našumo didinimo linkme. Galutinio produkto – laivo – savikaina priklauso ne tik nuo medžiagų, įrenginių ir darbo užmokesčio kainos, bet ir nuo statybos valdymo kainos (1.2.4 pav.).



1.2.4 pav. Laivo savikainos sudedamosios dalys, % (Šamrai, 2011)

Šamrai (2011) teigimu, iki 10 % laivo savikainos sudaro gamybos valdymo sąnaudos. Be abejo, medžiagų ir įrangos kaina labiau priklauso nuo rinkos pokyčių, todėl kalbant apie kompleksinį laivo savikainos mažinimą, tai įmanoma tik klasteryje. Atskiros statyklos atveju savikainos mažinimas gali būti nukreiptas į gamybos valdymo organizavimo tobulinimą. Laivų statybos sferoje nuostolių atsiranda dėl neeksploatuojamos įrangos, jos neaptarnavimo reikiamu laiku, neapgalvoto darbo vietos ir gamybos grandinės organizavimo, sandėliavimo ir nekorektiškos logistikos. Visa tai tik kelia nuostolius ir nekuria vertės. Vadovaudamiesi LEAN filosofija, turime susipažinti su klientu, išsiaiškinti jo poreikius, norus ir tik tada galvoti apie produkto kūrimą. Taip gali būti užtikrinamas klientui prieinamas kainos ir kokybės santykis.

Apibendrinant LEAN taikymo strategijas, galima teigti, kad šiuolaikinei laivų statybos pramonei didžiulę įtaką turi ekonominė situacija pasaulyje. LEAN tai daugiau nei gamybos sistema. Tai gamybos filosofija ir kitoks mąstymo būdas. Laivų statybos srityje ši sistema yra neabejotinai nauja optimizavimo sritis, kurioje dar nėra susiformavę bendri teiginiai ir trūksta praktinių įgūdžių. Nors pasaulio pramonėje įvairūs LEAN įrankiai naudojami jau daugiau nei 60 metų, bet laivų statybos sferoje susidomėjimas atsiranda tik paskutinį dešimtmetį. Tokią situaciją iš dalies galima paaiškinti specifiniu laivų gamybos procesu. Nereikia pamiršti, kad įprasti optimizavimo būdai čia netinka. LEAN sistemos pagrindas – tai serijinės gamybos tobulinimo sistema. Todėl norint pritaikyti šios sistemos metodus vienetinei gamybai, būtina rasti laivų statybai tinkantį sprendimą. Pagrindinis LEAN bruožas – užtikrinti nenutrūkstamą gamybos procesą optimizuojant medžiagų, kaip gamybos šaltinio, įsigijimą, valdymą ir paskirstymą. Įmonėje turi veikti totali sistema, apėmianti visas be išimties sritis, o nuolatinio tobulinimo procese privalo dalyvauti visi įmonės darbuotojai. Didžiausi kaštai gamybos sistemoje yra susiję su prekių atsargų valdymu. Laivų statyklų vadovams būtina suprasti, kad įmonės pelningumas didėja, jeigu ta pati pardavimo apimtis yra pasiekama mažesnėmis investicijomis į atsargas. Tačiau atsižvelgiant į kiekvieno laivo užsakymo ypatumus, atsargos turi būti tokio dydžio, kad išliktų kaštų ir naudos pusiausvyra. Pažymėtina, kad didžiulės lėšos neretai užšaldomos, kai įsigyjama per daug, ne tų arba brangių medžiagų, kurios negeneruoja pagrindinio įmonės pelno, tačiau reikalauja didelių investicijų ir laikymo kaštų. Gamybos valdymo srityje labai svarbu teisingai pasirinkti prioritetus, nustatyti veiksnius, nesukuriančius pridėtinės vertės, ir eliminuoti juos.

## II. LAIVŲ KORPUSO STATYBOS TECHNOLOGINIO PROCESO OPTIMIZAVIMAS

### 2.1. LEAN sistema VBLS gamybos procese

Lietuvos laivų statyba išgyvena sunkų reorganizacijos laikotarpį. Sumažėjus užsakymų portfeliui 2010 m. Danų kompanija *Odense Steel Shipyard* (OSS) buvo priversta parduoti Baltijos laivų statyklos (BLS) akcijas Estijos koncernui *BLRT Grupp*. Šio susijungimo tikslas buvo integruoti esamus BLS pajėgumus į bendrą *BLRT Grupp* darbą. Vakarų laivų gamyklos įmonių grupę vienija 23 skirtingų specializacijų kompanijos, tarp kurių yra laivų statybos ir remonto gamyklos. Po reorganizacijos VBLS ėmė keistis. Tam įtakos turėjo ne tik reorganizavimas, bet ir faktas, kad iki šiol Lietuvoje dominavusi konteinervežių statyba perėjo Pietryčių Azijos šalių statykloms. Lietuva, kaip ir visa Europa, negali konkuruoti su Pietryčių Azijos laivų statytojais kainos atžvilgiu. Todėl naujai įsteigta kompanija koncentruojasi specializuotų laivų ir keltų statybos srityje. OSS valdė BLS nuo 1997 m. ir daug investavo į statyklos modernizavimą. Kasmet įmonės investicijoms buvo skiriama apie 15–18 mln. Lt, todėl įmonė turi didelį potencialą aukštųjų technologijų segmente. Iki 2010 m. OSS išnaudojo BLS pajėgumus patikimų ir pigių blokų bei anstatų gamybai. Todėl dauguma investicijų buvo skirta būtent šios gamybos tobulinimui. VBLS deda daug pastangų, siekdama nukreipti esamus pajėgumus nauja linkme.

Reorganizavimas teigiamai paveikė statyklos finansinę padėtį. Tai patvirtina VBLS 2011 m. I ketvirčio ataskaita dėl net šešių naujai pasirašytų sutarčių. Du užsakymai pasirašyti su Vokietijos kompanija *Mayer Werft*, statančia labai didelius kruizinius laivus. Ši kompanija tarp Europos laivų statyklų, statančių kruizinius laivus, dydžiu yra trečia, o jos užsakymų portfelis sudarytas net iki 2014 m. Blokų užsakymų rinkoje atsiranda vis rečiau. Todėl nuolatinis bendradarbiavimas su šia kruizinių laivų statytoja leistų VBLS tikėtis bent poros tūkstančių tonų plieno blokų per metus. Gauti du *Meyer Werft* užsakymai rodo, kad užsakovas vertina VBLS kaip patikimą ir konkurencingą laivų statyklą. Dar viena sutartis pasirašyta su Rusijos kompanija *EuroStyle Ltd* dėl dviejų nesavaeigių baržų statybos. Projekto vertė viršija 30 mln. Lt. Pažymėtina, kad užsakymą pavyko gauti pasiūlius trumpiausią statybos terminą. Todėl šis užsakymas taps tikru profesionalumo išbandymu, suteiks unikalios patirties gamyklos darbuotojams ir papildys įmonės užsakymų portfelį 2011–2012 m. Be minėtų kontraktų, pasirašytos sutartys su kompanija *Rohde Nielsen A/S* dėl žemsiurbės statybos ir su *Karstesens Skibsværft AS* bei *Liegruppen Fischeri AS* dėl žvejybos tralerių statybos. Kol kas 2011 m. įmonės gamybinis apkrovimas sudaro apie 80 %, tačiau jau artimiausiu metu tikimasi gauti naujų užsakymų, kurie užtikrins 100 % įmonės užimtumą. Didelės viltys dedamos ir į vieną pagrindinių įmonės užsakovų – *Fiskerstrand BLRT*, kuriam įmonė rezervavo apie 20–25 % savo pajėgumų. Tai puikus laivų statybos klasterio pavyzdys. Su esamais pajėgumais *BLRT Grupp* gali visiškai patenkinti ne tik savo poreikius, bet ir išėiti į atvirą laivų statybos rinką

kaip konkurencinga dalyvė. 2011 m. buvo pasirašytos sutartys dėl dviejų daugiafunkcinės paskirties laivų statybos. Vieno iš jų statyba prasidėjo šių metų sausio mėnesį, o kito startavo 2011 balandį. VBLS dirba ir tikisi gerų rezultatų dėl įvairių projektų „iki rakto“, tokių kaip vilkikų serija naujiems užsakovams iš Artimųjų Rytų ir Vidurio Azijos.

VBLS yra moderni statykla ir atitinka šios dienos specializuotų laivų ir statinių gamybos poreikius. Tačiau norint tapti visaverte specializuotų laivų statybos rinkos dalyve, būtina užtikrinti prieinamą produkcijos kainą. Gamybos sąnaudų mažinimas, racionalus medžiagų ir išteklių naudojimas, darbo našumo didinimas ir kaip viso tuo pasekmė savikainos mažinimas – tai pagrindiniai konkurencingumo užtikrinimo uždaviniai, kuriuos galima išspręsti taikant LEAN sistemą. Lietuvos laivų statybos pramonės išlikimas priklauso nuo veiksmingo gamybos organizavimo, užtikrinančio kokybišką produkciją už prieinamą kainą ir, svarbiausia, per galimai trumpiausią laiką. Pasaulio laivų statytojų patirtis rodo, kad tik nuolatinis visų procesų tobulinimas, paremtas LEAN sistemos principais, gali atnešti teigiamų rezultatų (National Shipbuilding Research Program, 2010). Šios sistemos diegimo patirties turi ir Lietuvos laivų statyba. Nuo pat BLS įsigijimo OSS didelį dėmesį skyrė gamybos efektyvumo didinimui ir jos modernizavimui (įrangos atnaujinimui, naujų valymo ir dažymo cechų pastatymui, automatizuotų profilių ir lakštų pjovimo, plokščių klojinių ir mikroklojinių gamybos linijų įsigijimui bei laivų projektavimo centro *Baltic Engineering Center* įkūrimui). Pastebėjus, kad vien aukštos technologijos neleidžia efektyviai išnaudoti įmonės potencialą, 2005 m. BLS nusprendė įdiegti LEAN sistemą gamybos organizavimo procese. Buvo pradėta nuo pavyzdinio padalinio sukūrimo taikant vieną iš LEAN sistemos metodų „pačiu laiku“ (JIT). Pirmasis iš JIT įrankių buvo takto laikas gamybos procese. Pasirodė, kad gamyboje šį įrankį sunku įvesti dėl vienetinių užsakymų ir blokų specifikos. Nors statykloje buvo įdiegti ir kiti JIT įrankiai, tokie kaip vieno vieneto srautas (automatizuotos plokščių klojinių ir mikroklojinių gamybos linijos ir blokų surinkimo konvejeriai) ir greitas įrenginių perderinimas (reguliuojami kreivalinijinių sekcijų gamybos standai). Iš šių standų blokų gamyboje efektyviai naudojamas tik kreivalinijinis stendas. Kadangi statykloje taip ir nebuvo organizuotas blokų surinkimo vieno vieneto srautas, blokai kaip ir anksčiau perkeliama kranu, o stendas naudojamas tik blokams surinkti. Kreivalinijinis stendas pasirodė efektyvus ir aktyviai naudojamas kreivalinijinių blokų gamyboje. Tačiau šis stendas neužtikrina gamybos sinchronizavimo ir srautiškumo, jis naudojamas daugiau kaip patogi priemonė blokams surinkti, o ne taktui sukurti. Dėl paprastesnės anstatų konstrukcijos takto sistemą pavyko įdiegti tik šiame gamybos procese. Tačiau atlikus analizę paaiškėjo, kad ši sistema neduoda reikiamo efekto. LEAN sistemos filosofija – nuolatinis visų gamybos procesų tobulinimas, taigi nenuostabu, kad vieno įrankio įdiegimas nepatenkino vadovų lūkesčių.

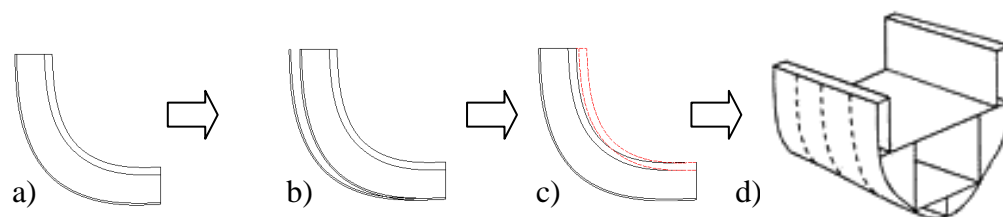
2008 m., analogiškai kaip ir kitos pasaulio statyklos, BLS kompleksinį LEAN sistemos diegimą pradėjo nuo 5S metodo. Darbo vietos ergonomika yra svarbus kriterijus, siekiant padidinti gamybos efektyvumą, bet, kaip buvo minėta pirmojoje darbo dalyje, 5S metodas veiksmingas tik ten, kur dominuoja rankų darbas (t. y. biuruose). Tai pasitvirtino ir BLS atveju. 2008 m. buvo organizuota grupė žmonių, atsakingų už tvarkos palaikymą. Visos darbo vietos buvo sutvarkytos, atsisakyta nereikalingų įrankių, surūšiuota įranga. Bet praėjus savaitei pasirodė, kad nauja tvarka ne tik nepadėjo, bet ir ėmė trukdyti gamybos procesui. Nors iki tol darbo vieta buvo netvarkinga, bet ji bent buvo įprasta. Tačiau įdiegus 5S, gamybos procesas liko nepakitęs, o tai reiškia, kad nebaigta produkcija kaip ir anksčiau buvo sandėliuojama ten, kur atsiranda vietos. Taigi sugriaunama visa darbo vietos ergonomika. BLS vadovybei paaiškėjo, kad 5S metodas efektyvus tik korektiškai organizuojant patį gamybos procesą. Tai reiškia, kad diegti reikia ne atskirus LEAN metodus, o visą sistemą kartu. LEAN sistemai įdiegti buvo skirta nemažai lėšų (apie 3 mln. Lt), bet 2010 m., restruktūrizavus įmonę, šios sistemos diegimas buvo sustabdytas. Tačiau ir šiandien pagrindinis jungtinės įmonės uždavinys – gamybos pajėgumo užtikrinimas. Todėl atsižvelgiant į esamą statyklos patirtį būtina tęsti LEAN principų ir metodų diegimą. Siekiant optimizuoti laivų statybos technologinį procesą, būtina atlikti išsamią mokslinės literatūros analizę ir atsižvelgiant į esamą pasaulio laivų statytojų patirtį nustatyti, kokie tobulinimo metodai tinka Lietuvos laivų statyklai optimizuoti.

## **2.2. Laivo korpuso detalių gamybos tobulinimo galimybės**

Didėjantis mokslininkų ir praktikų dėmesys gamybos valdymo problematikai skatina LEAN sistemos vystymąsi ir plėtojimą. LEAN sistemos pagrindu optimizuojamos daugelio sričių valdymo sistemos, todėl ji plačiai nagrinėjama ir aprašoma jau keletą dešimtmečių. Mokslinė literatūra apie LEAN sistemą yra gausi ir teoriniu, ir praktiniu aspektu. Tačiau daugelis literatūros šaltinių yra bendro pobūdžio, aprašo LEAN metodus ir įrankius, pritaikytus dažniausiai serijinei gamybai. Todėl darbe nuspręsta konkrečiau VBLS technologinio proceso optimizavimo pavyzdžiu įrodyti sistemos efektyvumą ir plėtojimo būtinumą. Kuriant optimizavimo modelį buvo remtasi išnagrinėta literatūra ir konkrečių įmonių sėkmės pavyzdžiais. Tuo tikslu buvo pasirinktas laivo korpuso profilinių detalių gamybos optimizavimas, paremtas LEAN sistemos principais. Pasirinkimą lėmė faktas, kad tradiciškai laivų statybos sferoje sunkiausia optimizuoti korpuso gamybos technologinį procesą, o būtent korpusas sudaro 30 % laivo savikainos (Logačov, Čugunov, 2009). Prieš pasirenkant konkrečius LEAN sistemos metodus, buvo atlikta išsami technologinio proceso analizė ir nustatytos pagrindinės tobulinimo kryptys. Analizė buvo atliekama vadovaujantis TPS optimizavimo schema, pritaikant ją laivų statybai (2 priedas).

Mūsų šalyje lakštinio metalo apdirbimo automatizavimo lygis yra aukštas. Tačiau kalbant apie kreivalinijinių profilių gamybos procesą, mūsų gamyklos ženkliai atsilieka nuo pirmaujančių

pasaulio laivų statyklų. Todėl šiame darbe pateiksime būtent kreivalinijinių detalių gamybos tobulinimo galimybes. Darbo imlumo sumažinimas ir gaminamų laivų korpuso konstrukcijų tikslumo padidinimas yra pagrindinis optimizavimo uždavinys, nuo kurio priklauso šiuolaikinės laivų statybos konkurencingumas. Analizė parodė, kad gamybos metu kiekviename technologiniame etape kaupiasi konstrukcinių nukrypimų (2.2.1 pav.), kurie savo ruožtu didina tvarkymo darbų apimtį. Taigi net 35 % sekcijų gamybos apimtį sudaro defektų taisymo ir tvarkymo darbai (Šamrai, 2011).



2.2.1 pav. Nukrypimų taisymo technologijos schema:

- a) projektinis lakšto ir profilio sujungimas; b) gamybinis sujungimas su nukrypimais;  
c) nukrypimų taisymas; d) ištaisytų sekcijų sujungimas

Kaip matome schemeje, dėl esamų nukrypimų detalių neįmanoma sujungti į konstrukcinį mazgą ir būtina atlikti daugelį sudėtingų taisymo darbų. Formų ir matmenų taisymas – tai imlus darbo technologinis procesas, kuris daugeliu atvejų atliekamas rankiniu būdu, naudojant sunkiąją techniką, esant sudėtingam priėjimui prie darbo vietos. Todėl taisymo darbai dažniausiai kainuoja brangiau nei statybos savikaina. Palyginti su korpuso surinkimo darbais detalių gamyba nėra tokia sudėtinga ir brangi. Tačiau kiekviename detalių gamybos etape gali atsirasti defektų, kuriuos taisyti teks korpuso surinkimo metu. Siekiant ištaisyti detalių formas ir matmenų nesutapimus, atliekamos labai sudėtingos ir brangios technologinės operacijos. Pasak Zheng, Jiang ir Chen (2011), taisymo metu ženkliai sumažėja bendras konstrukcijos stiprumas ir kokybė, o svarbiausia padidėja produkcijos savikaina ir gamybos trukmė. Todėl labai svarbu didinti gaminamų detalių tikslumą, nes nuo to priklauso visos produkcijos kokybė ir kaina. Optimizuojant procesą, būtina sukurti gamybos modelį, užtikrinantį aukštą detalių kokybę.

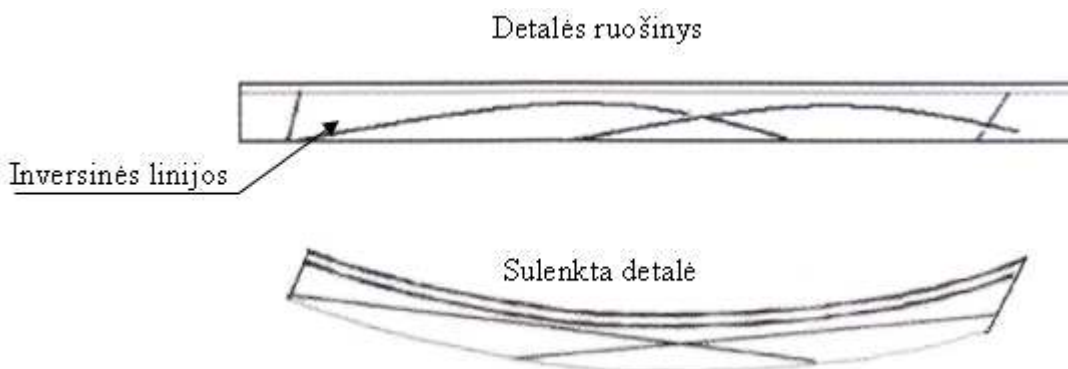
Šiandien yra sukurta nemažai technologijų, leidžiančių padidinti profilinių detalių tikslumą. Vienas jų – tai suvirinimo deformacijų kompensavimo metodas. Suvirinimo metu atsiranda didelių deformacijų ir viso laivo korpuso iškraipymų. Pasak Ivanovo (2005), suvirinimo deformacijų kompensacijos metodo esmė yra laivo korpuso matematinio modelio koregavimas analitinio detalizavimo būdu. Su CAD/CAM sistemų pagalba korpuso detalių geometrija tarsi „ištempinama“ ir „sulenkama“ matematinio analizavimo būdu. Detalės geometrija koreguojama į priešingą nei suvirinimo deformacija pusę. Taigi taikant standartinius analitinio detalizavimo metodus, galima suprojektuoti detales tolesniam laivų korpuso surinkimo technologiniam procesui. Tuo siekiama

suvirinimo deformacijas panaudoti detalių ištiesinimui. Korpusas, surenkant iš tokių detalių prieš suvirinimą, bus labiau išlenktas nei nominalus (pagal brėžinius). Tačiau atlikus suvirinimo darbus korpusas įgauna reikamas formas. Atsižvelgiant į tai, kad daugeliu atvejų gaminamos detalės visada turi kontūro geometrijos nukrypimų, anksčiau minėtas metodas gali būti veiksmingas tik tada, kai gaminamos korpuso detalės prieš surinkimą bus apdorojamos automatiškai būdu. Korpusui ištiesinti detalių tikslumas turi būti iki 0,1 mm. Jeigu bent kelių korpuso elementų parametru paklaida viršys leistiną, šis metodas taps neefektyvus. Todėl siekiant efektyviai panaudoti esamas laivo korpuso gamybos technologijas, būtina tobulinti detalių gamybos procesą, kartu didinant gaminamos produkcijos tikslumą (Ivanov, 2005; Fomičev, Igošin, 2009).

Buvo bandyta visiškai automatizuoti profilinių detalių lenkimo procesą. Tačiau pasaulio patirtis parodė, kad nė viena lenkimo proceso automatizavimo schema negali užtikrinti stabilaus detalių tikslumo, nenaudojant papildomų priemonių galutinės detalės formos kontrolei. Lenkimo procesas susideda iš dviejų atskirų apdorojimo etapų:

- tiesialinijinio ruošinio lenkimas su užleidimais;
- kreivalinijinio ruošinio pjovimas ir apdorojimas.

Būtent lenkimas su užleidimais ir lemia paklaidų atsiradimą. Esant tokiam technologiniam procesui detalių lenkimo automatizavimas, siekiant išgauti didžiausią tikslumą, netenka prasmės. Išlenktos detalės pjovimo metu deformuojasi (nuo užleidimų nupjovimo, špigatų išpjovimo, įtempimų relaksacijos sandėliavimo metu). Todėl, kad ir koks tikslus būtų lenkimo procesas, visas gaminamas detalės po galutinio apdorojimo būtina taisyti terminiu ar mechaniniu būdu. Labiausiai paplitęs lenkiamų detalių formos kontrolės būdas – tai lenkimo šablonai. Jais tikrinama sulenkto detalės briaunos forma, taip pat špigatų ir išpjovų vieta. Tačiau esant skirtingoms detalių formoms, šablonų gamyba užtrunka pernelyg ilgai ir tampa nerentabili. Kaip alternatyva šablonams pasaulinėje praktikoje naudojamos inversinės linijos. Šio metodo esmė: ant ruošinio brėžiama linija, kurios forma apskaičiuota taip, kad sulenkus detalę iki projekcinės padėties linija tampa visiškai tiesi (2.2.2 pav.):



2.2.2 pav. Profilinių detalių lenkimo technologinė schema (Fomičev, Veselkov, 2009)

Taikant šį metodą, lenkimas vykdomas rankiniu būdu, o linijos tiesumas stebimas įtemptus virvę. Siekiant teisingai sulenkti detalę, ją būtina lenkti 2 mm aukščiau tiesios linijos, nes tampriai deformuoto metalo sluoksniai grįžta į pradinę padėtį. Šis metodas nėra naujas ir taikomas nuo 8-ojo dešimtmečio (Veselkov, 2002). Tačiau jis nėra tobulas, nes detalių lenkimui paliekami užleidimai abiejuose detalės galuose. Po sulenkimo detalę būtina apdoroti, dėl to atsiranda papildomų nukrypimų. Šiam metodui automatizuoti buvo sukurtas lenkimo presas PMG-400 ir markiravimo įrenginys *Strela* (Fomičev, 2010). Dėl automatizuoto presu eksploatavimo sudėtingumo jis yra nerentabilus. Vėl buvo sugrįžta prie rankinio lenkimo. Anot Fomičev (2010), pagrindinė to priežastis – automatizuoto lenkimo metu deformuojama zona buvo nematoma, todėl vizuali lenkimo proceso kontrolė buvo neįmanoma. Presas *Buldozer* taip pat turėjo savo trūkumų, kurių pagrindinis – sudėtingo lenkimo detalės spyruokliuodavo, o detalės paviršius spaudimo zonoje deformuodavosi, atsirasdavo krašto bangelių. Siekiant sutvirtinti detalę ir padidinti gaminamos detalės tikslumą, buvo naudojamas presas, kuris turėjo dvi horizontalias atramas ir vieną vertikalią, kuri užtikrindavo detalės stabilumą lenkimo metu. Būtent toks presas šiuo metu naudojamas VLS statykloje.

Anot Fomičev (2010), profilinių detalių lenkimo tikslumas visada buvo mažesnis nei lakštų lenkimo technologijos. Detalių iš lakštų pjovimo procese jau seniai naudojamos automatizuotos pjovimo linijos, todėl ir jų tikslumas yra gerokai didesnis. Tuo tarpu profilinių detalių markiravimas ir pjovimas atliekamas rankiniu būdu. Naudojant tokią technologiją, detalės kontūro nukrypimai nuo nominalaus priklauso nuo: valcuoto profilio kokybės; kontūrų apdirbimo kokybės (užleidimų, išpjovų, špigatų nupjovimo ir t. t.); briaunų apdirbimo suvirinimui; lenkimo proceso tikslumo. Aukščiausios rūšies valcuoto profilio nukrypimai neturi viršyti 0,3 %, o pirmos kategorijos 0,6 %. Tačiau praktika rodo, kad į tokius normatyvus patenka tik 50 % visų valcuotų profilių. Dažniausiai profilio lentynėlės (bulbos) kreivumas siekia 25–30 mm. Rankinio pjovimo formos nukrypimai dažniausiai yra  $\pm 5$  mm intervale. Lenkiamų detalių tikslumas charakterizuojamas sulenkto ruošinio nukrypimais nuo nominalių (projektinių) 8–11 mm intervale. Būtina pabrėžti, kad pačios vizualinės kontrolės paklaida siekia  $\pm 2$  mm, o automatizuota ar mechanizuota kontrolė kol kas netaikoma. Kaip matome, valcuoto profilio detalės tikslumui įtakos turi daugelis veiksnių, kuriuos būtina tobulinti.

Paskutinį dešimtmetį valcuoto profilio ruošinių gamybos tikslumas pasiekė lakštinių detalių gamybos tikslumą (Fomičev, Igošin, 2009). Tačiau lenkimo proceso tikslumo padidinti dar nepavyko. Laivų statybos mokslininkai ir inžinieriai jau ne pirmą dešimtmetį bando automatizuoti lenkimo procesą. Pirmasis automatizuotas profilių lenkimo įrenginys buvo sukurtas dar 1970 metais. Tačiau užbaigtų sprendimų nėra dėl sudėtingos detalių formos kontrolės. Esama automatizuota lenkimo linija neleidžia vizualiai kontroliuoti formos tikslumo, o diegti modernias

lazerines technologijas šiuo metu yra nerentabilu dėl sumažėjusio užsakymų portfelio. Todėl būtina pasiūlyti metodą, leidžiantį be papildomų investicijų optimizuoti esamą detalių lenkimo procesą.

### **2.3. Siūlomas laivų korpuso detalių gamybos metodas, paremtas LEAN sistemos principais**

Mūsų šalies laivų statyklose tiesių detalių gamybos procesas yra automatizuotas arba robotizuotas. Tuo tarpu kreivalinijinės detalės gaminamos rankiniu būdu. Tai imlus darbo ir neefektyvus gamybos būdas, kurio pasekmė yra plataus diapazono detalių formos ir matmenų nukrypimai. Šiuo metu laivų statybos įmonės turi galimybę įsigyti bet kurią reikiamą įrangą. Tačiau tai nereiškia, kad kompiuterinių programų ir automatizuotų linijų įsigijimas gali padidinti laivų statybos proceso efektyvumą. Analizės metu buvo nustatyta, kad kreivalinijinių profilių gamybos procese darbuotojas vidutiniškai sukuria 3–4 kartus mažesnę pridėtinę vertę nei, pavyzdžiui, Japonijos laivų statytojai (Koenig, Narita, Baba, 2009). Technologijos arba įrengimai Lietuvoje ne prasčiau. Žmonės – niekuo nesiskiria. Belieka teigti, kad pagrindinis skirtumas – kaip mes valdome tuos procesus. Reikiamų rezultatų galima pasiekti tik išsamiai išanalizavus pasaulio laivų statybos pramonės patirtį ir rekomendacijas, kaip tai pritaikyti mūsų statyklose. Šią analizę ir pritaikymo būdus turėtų pateikti mokslininkai, bendradarbiaudami su gamybininkais. Tik toks nuoseklus mokslo ir pramonės bendradarbiavimas gali padėti mūsų šalies laivų statybos pramonei tapti konkurencingai pasauliniu mastu.

Šiandien nėra tikslų rekomendacijų, kokia turėtų būti lenkiamų profilinių detalių gamybos technologija, todėl sunku nuosekliai didinti automatizavimo lygį, iš esmės nekeičiant lenkimo proceso. Egzistuoja daugybė automatizuotų lenkimo linijų, tačiau jų įsigijimas yra pernelyg didelė našta laivų statybos įmonei. Sumažėjęs užsakymų portfelis verčia laivų statytojus mažinti sąnaudas, todėl negali būti net minties apie lėšų skyrimą naujai įrangai. Tuo labiau kad automatizuota lenkimo linija efektyvi tik tuo atveju, kai gamybos apimtis yra 1,5–3,8 tūkst. tonų profiliuoto plieno per metus (Fomičev, Veselkov, 2009). Tikėtis, kad sąstingio laikotarpiu atsiras tokių užsakymų, būtų naivu. Todėl lenkimo proceso optimizavimą reikėtų spręsti kitais būdais ir su jau turima įranga. Tai gali pasiūlyti LEAN gamybos sistema, kurios esmė – ne naujos įrangos įsigijimas, o esamos optimizavimas, siekiant išnaudoti visą jos potencialą.

Vadovaujantis LEAN sistemos principais, prieš pasirenkant konkrečius įrankius būtina išanalizuoti mūsų šalies laivų statyklos kreivalinijinių detalių gamybos technologiją. Siekiant sumažinti lenkiamų detalių gamybos ciklą, statykloje buvo iš dalies atsisakyta formų kontrolės su šablonais ir pereita prie inversinių linijų. Naudojant šablonus, detalių tikslumas yra aukštesnis, bet turint omenyje, kad laivų statyba nėra serijinė, pagamintus šablonus naudoti skirtingiems užsakymams nėra galimybės ir kiekvienu konkrečiu atveju teks gaminti naujus. Pasaulio praktikoje jau ne kartą buvo bandyta visiškai atsisakyti šablonų lenkiamų detalių gamybos procese. Tačiau iki

Šiol nėra technologijos, leidžiančios net sudėtingos formos (daugiau nei 3 inversinės linijos) detales gaminti vien su inversinių linijų pagalba. Analizė parodė, kad VBLS statykloje taikomas formos kontrolės metodas yra efektyvus ir neatsilieka nuo kitų pirmaujančių laivų statyklų. Tuo tarpu detalių markiravimas ir pjovimas atliekamas rankiniu būdu, nenaudojant statykloje esamos profilinių detalių pjovimo linijos. Tokio technologinio proceso metu kiekviename apdorojimo etape atsiranda formos ir matmenų nukrypimų, o jų dydis, pasak statyklos darbuotojų, svyruoja nuo 5 iki 80 mm. Šie nukrypimai turi neigiamą įtaką korpuso surinkimo darbams. Manoma, kad išspręsti šią problemą galima automatizuojant lenkimo procesą. Tačiau praktika rodo, kad dažnai ši naši technika neveiksmingai naudojama dėl gamybos ir darbo organizavimo trūkumų. Todėl diegiant naują pažangią įrangą būtina tobulinti ir darbo organizavimą. Darbo organizavimas įmonėje – tai sistema organizacinių-techninių priemonių, padedančių tikslingai naudoti darbo jėgą, darbo laiką ir sudaryti normalias, sveikas darbo sąlygas, esant atitinkamam gamybos technikos, technologijos ir organizavimo lygiui. VBLS krevalinijinių detalių gamybos procese esama automatizuota įranga nenaudojama. Šiandien automatizuotai gaminamos tik tiesios detalės, o tai reiškia, kad gamybos metu neišnaudojamas visas esamos įrangos potencialas. Apklausa metu buvo nustatyta, kad automatizuota linija veikia apie 40 val. per savaitę. Būtina pabrėžti, kad šios automatizuotos linijos dokumentacijoje nurodyta, jog įrangos rentabilumas užtikrinamas naudojant ją ne mažiau kaip 84 val. per savaitę. Vadinasi, įranga neišnaudojama visų pajėgumu, taigi statykla patiria nuostolių automatizuotos linijos eksploatavimo metu.

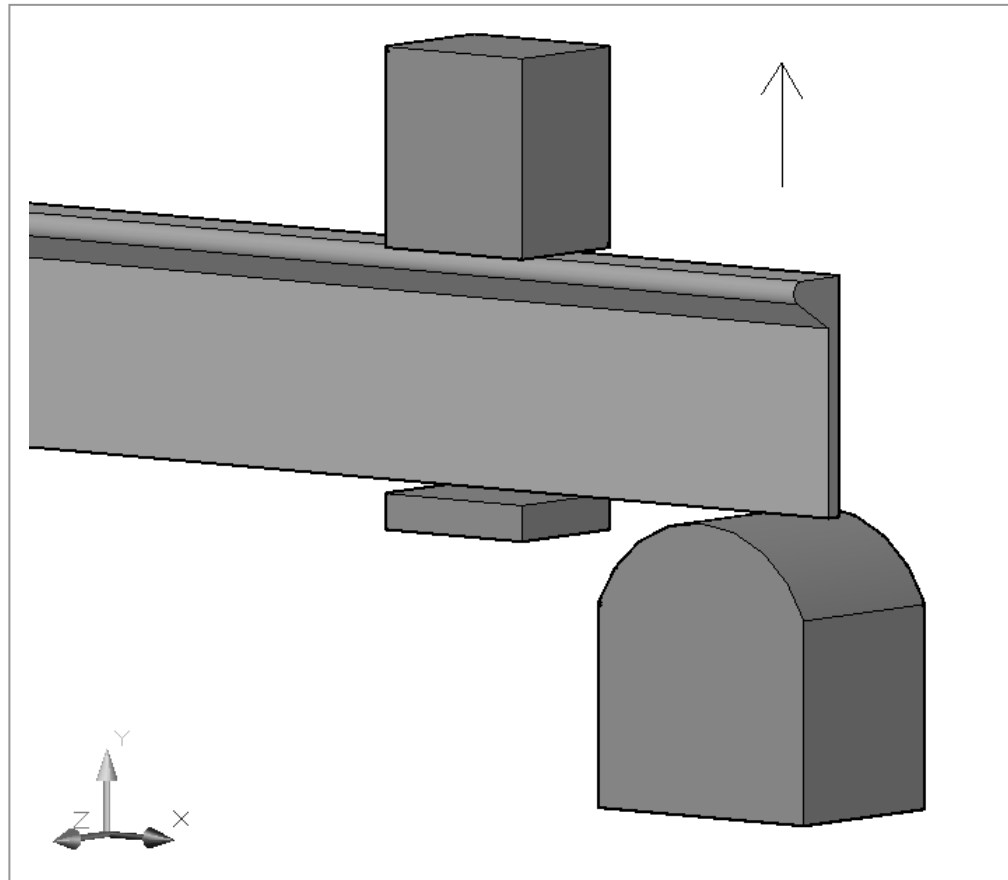
Išanalizavus gamybos technologiją, buvo nustatytos pagrindinės krevalinijinių detalių gamybos proceso optimizavimo kryptys ir parinktas gana universalus gamybos technologijos variantas, užtikrinantis lankstumą ir operatyvų reagavimą į rinkos svyravimus (2.3.1 lentelė).

2.3.1 lentelė. Krevalinijinių detalių gamybos proceso optimizavimo kryptys

<b>Esama gamybos technologija</b>	<b>Siūloma gamybos technologija</b>	<b>Privalumai</b>
Rankinis grunto nuvalymas	Automatizuota linija	Aukšta kokybė, didesnis darbo našumas, trumpesnis gamybos ciklas, mažesnė produkcijos savikaina
Rankinis markiravimas		
Rankinis pjovimas		
Lenkimas su užleidimais	Lenkimas dviem etapais	

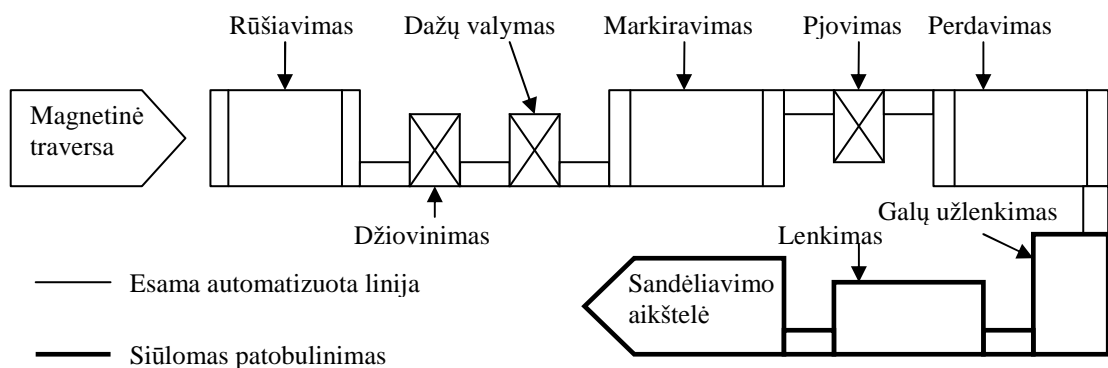
Esama statyklos gamybos technologija yra pernelyg brangi ir neužtikrina reikiamos produkcijos kokybės. Norint išnaudoti linijos potencialą, būtina pasiūlyti metodą, leidžiantį automatizuotai apdoroti krevalinijinių detalių ruošinius. Pagrindinė problema, dėl kurios iki šiol apdorojant tokias detales nebuvo naudojama automatizuota linija, yra lenkimo technologija su užleidimais. Iki šiol profiliniu detalių lenkimui būtini užleidimai iš abiejų detalės galų. Todėl galutinis detalės apdorojimas atliekamas tik po lenkimo darbų. Šią problemą galima išspręsti prieš

lenkimą sulenkiant detalės galus. Šiam procesui būtina įtvirtinti vieną detalės pusę taip, kad būtų užtikrintas stabilumas horizontalia ir vertikalia kryptimis. Tai įmanoma padaryti sumontavus papildomą įtvirtinimą lygiagrečiai esamos *Buldozer* preso atramos (2.3.1 pav.).



2.3.1 pav. Bulbos profilio detalės galų sulenkimo proceso schema

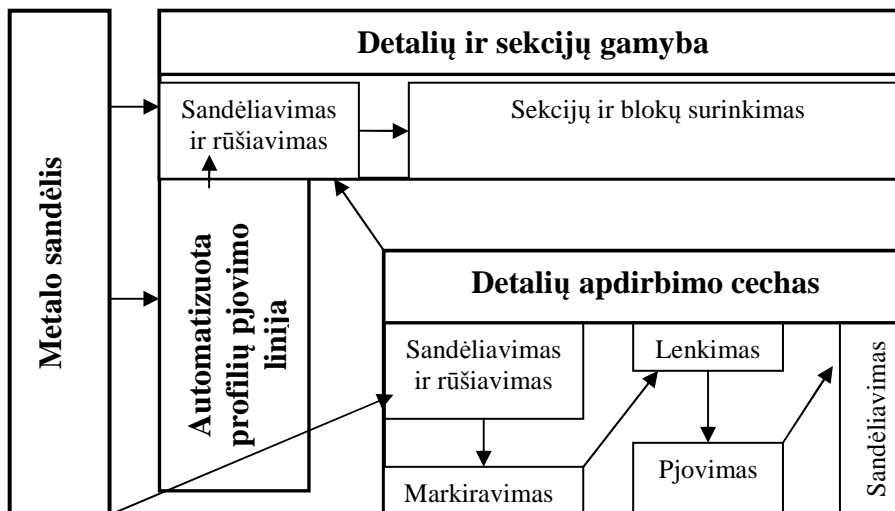
Pažymėtina, kad toks lenkimo metodas tinka tik lenkiamoms detalėms, kurių formos kontrolei būtinos ne daugiau kaip 3 inversinės linijos. Atsižvelgiant į tai, kad gaminami profiliai po automatizuoto apdorojimo turės papildomų angų (špigatų, išpjovų ir t. t.), kitame darbo skyriuje bus atliktas skaitinis eksperimentas ir nustatyta, kokiems išpjovų parametrams esant galima naudoti siūloma lenkimo metodą. Įdiegus galų užlenkimo technologiją, detalių apdorojimas atliekamas pagal tokią schemą (2.3.2 pav.):



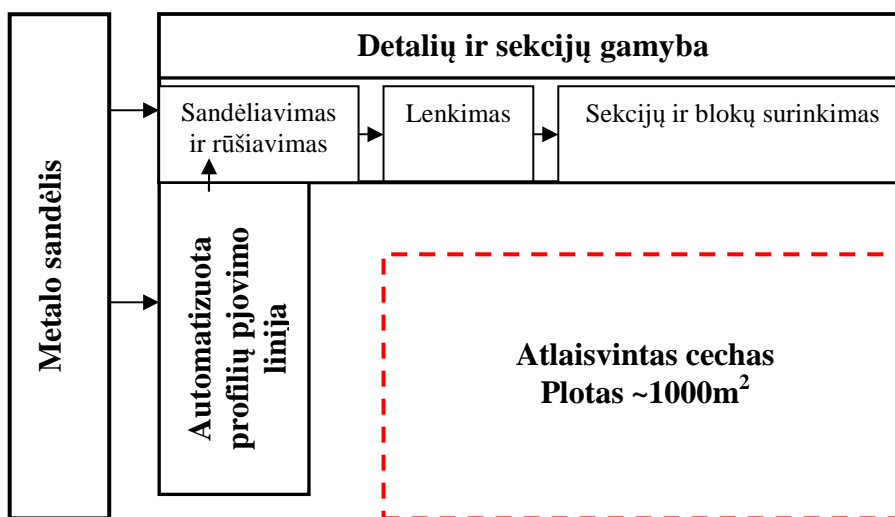
2.3.2 pav. Siūlomas patobulintas profilinių detalių apdorojimo metodas

Taigi prieš lenkimą profiliųjų detalių ruošiniai bus visiškai paruošti automatizuotoje linijoje, t. y. atliekamas džiovinimas, dažų nuvalymas suvirinimo vietose, markiravimas, kraštų ir angų pjovimas, briaunų paruošimas suvirinimui. Kitas gamybos etapas bus galų užlenkimas lenkimo presu *Buldozer* (jį modernizavus). Atlikus detalių galų užlenkimą, galutinis lenkimas įmanomas jau be užleidimų. Taip išnaudojama esama automatizuota profiliųjų detalių apdorojimo linija, ženkliai padidėja gaminamos produkcijos kokybė ir sutrumpėja gamybos ciklas.

Atsisakius rankinio detalių markiravimo ir pjovimo, lenkimo presą būtina perkelti į detalių ir sekcijų gamybos cechą, tuo sumažinant gamybos plotus iki 1000 m<sup>2</sup> (2.3.3 ir 2.3.4 pav.).



2.3.3 pav. Esamas kreivalinijinių detalių gamybos metodas



2.3.4 pav. Siūlomas patobulintas kreivalinijinių detalių gamybos metodas

LEAN įrankiais veiksmingai struktūrizuojant gamybos procesą, eliminuojami visų tipų nuostoliai ir efektyviai išnaudojami esami išteklių. Kaip matome aukščiau pateiktose schemose, korektiškai organizavus gamybos procesą, atlaisvinamas apie 1000 m<sup>2</sup> gamybinis plotas, o tokio ploto išlaikymas yra didelė našta statyklai. Perkeliant lenkimo presą į detalių ir sekcijų gamybos cechą, sukuriama gamybos sranta. Pasak Fomičovo (2010), dėl to nebereikia kelis kartus

sandėliuoti, pervežti, rūšiuoti detalių ir neužbaigtos produkcijos kiekis sumažėja iki 80 %. Kadangi lenkimas atliekamas be užleidimų, o jie būna nuo 0,3 m iki 0,5 m, tai vidutiniškai vienam tiesiniam detalės metrui sutaupoma 0,08 m profilinio plieno (8 %). Atitinkamai detalių savikaina sumažėja iki 10 % (Fomičev, 2010). Kadangi galutinis detalės lenkimas iš esmės nesikeičia buvo lyginamas rankinis ir automatizuotas detalių valymas, markiravimas ir pjovimas. Nustatyta, kad rankiniu būdu visi trys gamybos etapai atliekami vidutiniškai per 60–72 min., tuo tarpu atsižvelgiant į esamos automatizuotos profilinejų detalių pjovimo linijos charakteristikas (3 priedas) gamybos ciklas yra 6 kartus trumpesnis. Rankinio markiravimo ir pjovimo formos nukrypimai dažniausiai yra  $\pm 5$  mm intervale (Fomičev, Igošin, 2009), o automatizuotas detalių apdorojimas užtikrina  $\pm 1$  mm intervalą. Atitinkamai detalių tikslumas padidėja 5 kartus. Detalės apdorojimas vykdomas nuosekliai, be prastovų, užtikrinant aukštą kokybę, trumpą gamybos ciklą ir prieinama produkcijos kaina.

Apibendrinant galima teigti, kad siūlomas kreivalinijinių detalių gamybos metodas leis:

- gamybos plotus sumažinti 1000 m<sup>2</sup>;
- neužbaigtos produkcijos kiekį sumažinti iki 80 %;
- medžiagų sąnaudas sumažinti iki 8 % (~0,08 m plieno kiekvienam profilinei detalės tiesiniam metrui);
- detalių apdorojimo savikainą sumažinti iki 10 %;
- gamybos ciklą sutrumpinti iki 6 kartų;
- detalių tikslumą padidinti iki 5 kartų.

Pagrindinis kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo tikslas buvo kokybės ir darbo našumo didinimas, maksimaliai automatizuojant gamybos procesą. Todėl optimizavimo pagrindas buvo automatizuotos detalių apdirbimo linijos ir galimybė jas panaudoti kreivalinijinių detalių gamybos procese. Gauti rezultatai įrodo LEAN sistemos metodų efektyvumą laivų statybos srityje. Todėl siekiant padidinti mūsų šalies laivų statybos konkurencingumą būtina išsamiau tyrinėti LEAN sistemą ir jos diegimo galimybes visuose gamybos etapuose. LEAN gamybai būdingas darbo pasidalijimas ir kooperavimas tarp gamybos barų, tiekėjų ir t. t. Racionalaus darbo organizavimas turi nepaprastai svarbią reikšmę gamybos procese. Siekiant padidinti bendrą gamybos rentabilumą, būtina gamybos procesą organizuoti srautiniu būdu, eliminuojant nereikalingą vaikščiojimą, transportavimą, prastovas ir t. t. Gamybos srautiškumo principas reikalauja, kad visi darbo objektai gamybos procese judėtų nuosekliai, trumpiausiu keliu ir viena kryptimi. Todėl siekiant užtikrinti VBLS gamybos pajėgumą būtina peržiūrėti bendrą gamybos srautą ir analogiškai pateiktam tobulinimo metodui optimizuoti visą gamybos technologinį procesą.

### III. LAIVŲ KORPUSO DETALIŲ LENKIMO PROCESO SKAITMENINIS MODELIAVIMAS

#### 3.1. Laivų korpuso profilinių detalių lenkimo proceso tyrimas

Šiandien mokslininkai ir inžinieriai vis daugiau laiko praleidžia dirbdami asmeniniu kompiuteriu nei atlikdami natūrinius eksperimentus laboratorijose. Pasak Suman (2008), šiuo metu jau sukurta daug metodų, leidžiančių diferencialinėmis, integralinėmis ir kitokiomis lygtimis aprašyti daugelį mus dominančių gamtos, technologijos ar socialinių mokslų procesų. Šiuolaikinio matematinio modeliavimo metodologijos esmė yra tiriamo realaus objekto (proceso, reiškio, sistemos) pakeitimas jo „atvaizdu“ – matematinio modeliu, o vėliau – virtualiuoju objektu (matematinio modelio kompiuterine realizacija). Taip žymi dalis realaus objekto savybių tyrimo atliekama eksperimentuojant su virtualiu objektu. Šis projektavimo metodas turi daugelį gerų teorijos ir eksperimento metodų savybių. Darbas ne su pačiu realiuoju objektu, o su jo modeliu leidžia be didelių išlaidų ir gana greitai atlikti jo savybių ir elgesio tyrimą įvairiausiose įmanomose situacijose. Tuo pat metu skaitiniai (kompiuteriniai, simuliaciniai, imitaciniai) eksperimentai su objektų modeliais, remiantis šiuolaikinių skaitinių metodų ir informatikos techninių priemonių galia, leidžia detalai, išsamiai ir gana visapusiškai ištirti objektus, ką ne visada leidžia natūrinių eksperimentų metodai.

Siekiant optimizuoti detalių lenkimo technologinį procesą, buvo pasiūlytas naujas gamybos metodas be užleidimų, prieš galutinį lenkimą automatizuotai atliekant detalės pjovimą ir markiravimą. Atsižvelgiant į šiuolaikinio matematinio modeliavimo galimybes, metodui ištirti buvo atlikti skaitiniai eksperimentai, naudojant kompiuterinės programos paketą ANSYS 11,0. Tik šiuolaikinės kompiuterinės technologijos sudaro sąlygas nepatiriant didelių nuostolių modeliuoti naujų gamybos metodų procesus ir nustatyti optimalų gamybos būdą. Tai ypač svarbu siekiant užtikrinti lanksčią gamybą, prisitaikančią prie potencialių klientų poreikių ir besikeičiančios laivų statybos rinkos. Tyrimo tikslas – taikant baigtinių elementų metodą imituoti profilinių detalių lenkimo procesą ir nustatyti leistinus detalės lenkimo parametrus. Kad netektų atlikti sudėtingų eksperimentų ir pirkti brangios testavimo įrangos, buvo sukurtas matematinis bulbos profilio detalės lenkimo modelis (2.3.1 pav.). Naudojant kompiuterinę programą ANSYS, lenkimo procesas buvo išanalizuotas baigtinių elementų metodu. Tai leido imituoti detalių lenkimo procesą ir nustatyti, ar lenkiant detalę atsiradę nukrypimai neviršys leistinų.

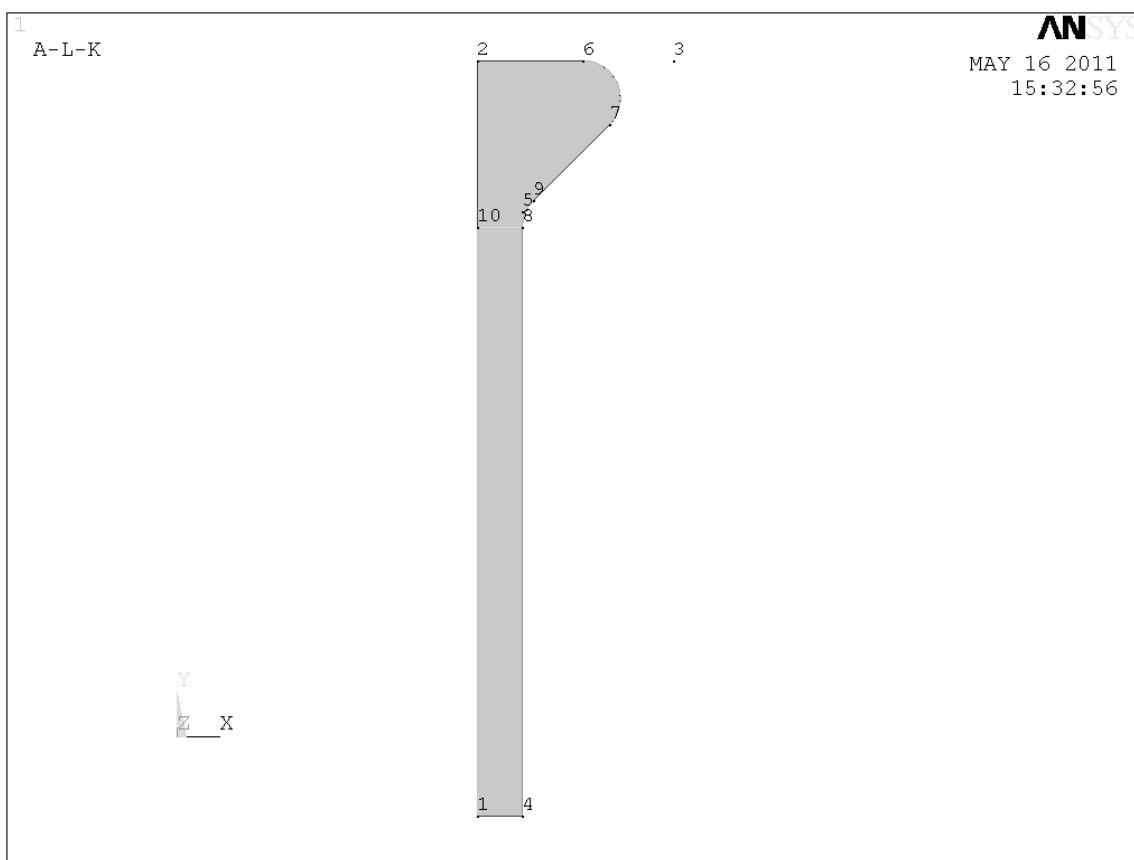
Kaip ir naudojant daugelį BEM programinių paketų, ANSYS programavimas atliekamas tokia tvarka:

- konstrukcijos ar elemento geometrinio ir diskretinio modelio sudarymas;
- medžiagos charakteristikų nurodymas;

- poslinkių ir veikiančiųjų jėgų nurodymas;
- sprendimas;
- rezultatų analizė.

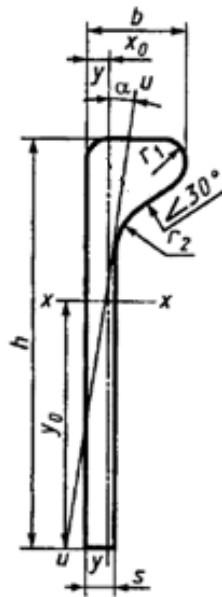
### 3.2. Laivų korpuso profilinės detalės geometrijos parametrų nustatymas

Detalės geometrijos parametrai – tai taškų visuma, pagal kuriuos galima suprojektuoti detalės padėtį erdvėje. Šiuo atveju svarbios yra tų taškų koordinatės, pagal kurias ir sudaromas diskretinis detalės modelis. Taikant skaitinius metodus, galima pasirinkti labai didelį taškų skaičių, tačiau dažniausiai parenkamas optimalus, t. y. kuris tenkina pageidautiną skaičiavimo tikslumą. Todėl mūsų atveju detalės skerspjūvis skaidomas į 7 elementus (7 mazgai), kaip parodyta 3.2.1 pav.:



3.2.1 pav. Bulbos profilio detalės diskretinio modelio sudarymo schema

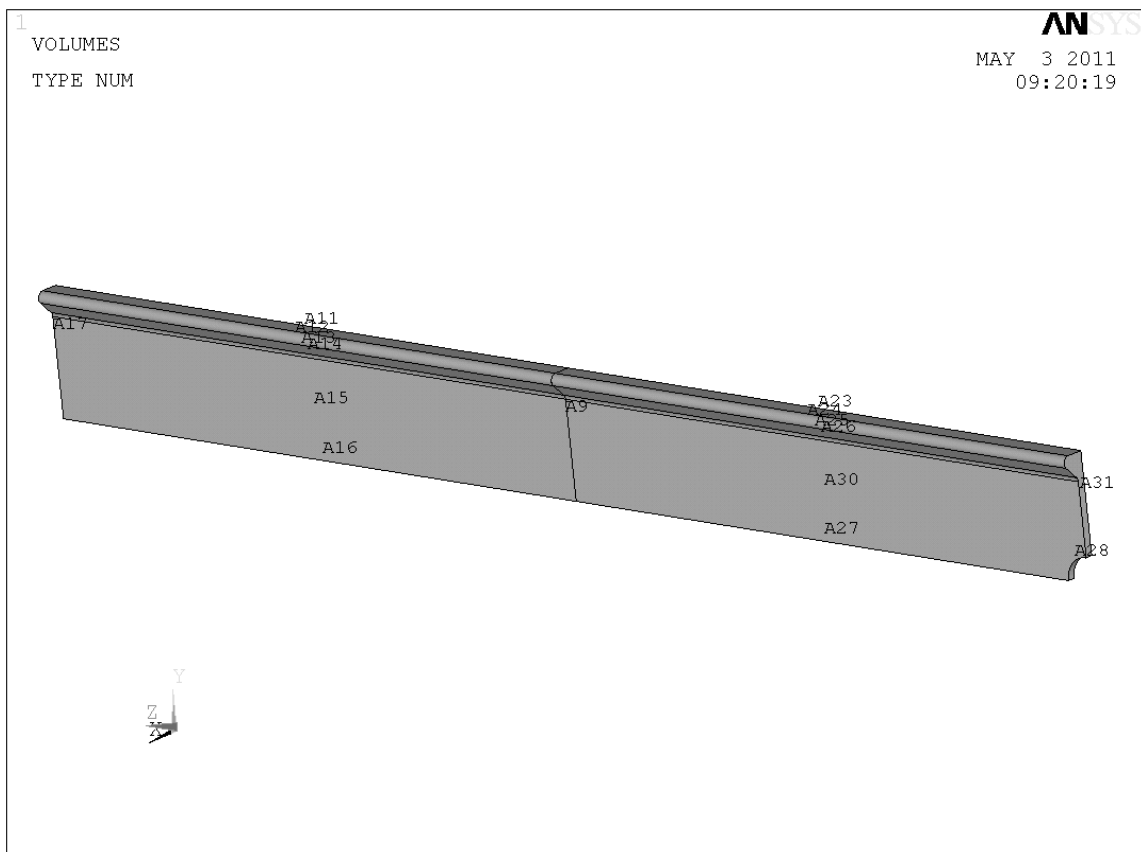
ANSYS neleidžia interaktyviai pasirinkti bulbos profilio, taigi naudoti sijinio elemento (BEAM) negalima ir tenka su taškų pagalba kurti detalės geometriją. Sukurtos profilinės detalės modelio taškų koordinatės nustatomos pagal bulbos profilio Nr.10 matmenis, nurodytus 3.2.2 paveiksle.



$h=100\text{mm}$   
 $b=26\text{mm}$   
 $s=6\text{mm}$   
 $r_1, r_2=5\text{mm}$   
 $A=8.63\text{m}^2$   
 $m=6.76\text{kg}$   
 $I_x=83.45\text{cm}^4$   
 $i_x=3.11\text{cm}$   
 $W_x=13.2\text{cm}^3$   
 $I_y=3.31\text{cm}^4$   
 $i_y=0.62\text{cm}$   
 $\text{tg } \alpha=0.11$   
 $x_0=0.65\text{cm}$   
 $y_0=6.29\text{cm}$   
 $L=2\text{m}$

3.2.2 pav. Valcuoto plieno bulbos profilio Nr. 10 detalės matmenys (GOST 8500-72)

Modeliuojant detalę, jos formos parametrai nurodomi mazgus sujungiant linijomis, linijas – plotais, o plotus – tūriais. Kad būtų patogiau suvaržyti ir apkrauti detalės mazgus, jos konstrukcija schemiškai padalijama į dvi dalis (3.2.3 pav.). Tyrimo metu ypatingas dėmesys skiriamas drenažo angoms, todėl sukūrę detalės tūrį dešiniajame apatiniame krašte išpjauname angą, kurios ilgis bus keičiamas nuo 2 iki 15 cm.



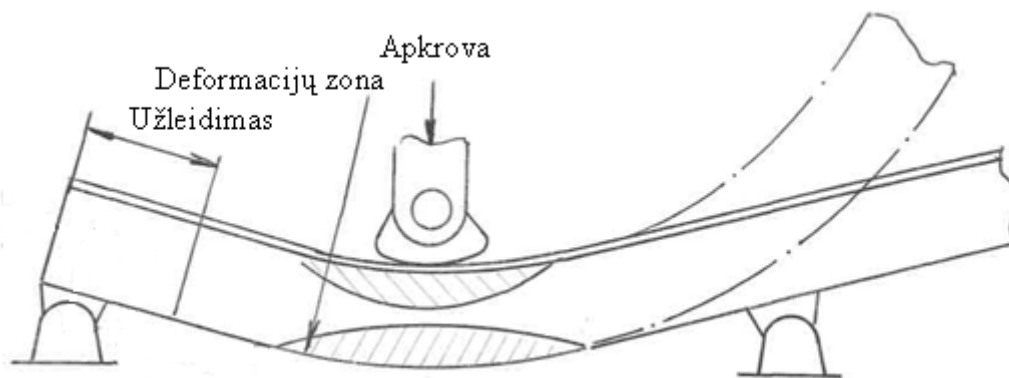
3.2.3 pav. Supaprastintas bulbos profilio detalės skaičiavimo modelis

Detalės galų užlenkimas bus atliekamas naudojant statykloje esamą *Buldozer* presą, ji modernizavus ir užtikrinus vienos detalės pusės suvaržymą visomis kryptimis (3.2.4 pav.).



3.2.4 pav. Geminio detalės lenkimo schema

Skirtingai nei galų užlenkimas, pagrindinis bulbos profilio detalės lenkimas atliekamas trijų taškų lenkimo būdu (3.2.5 pav.):



3.2.5 pav. Trijų taškų detalės lenkimo schema

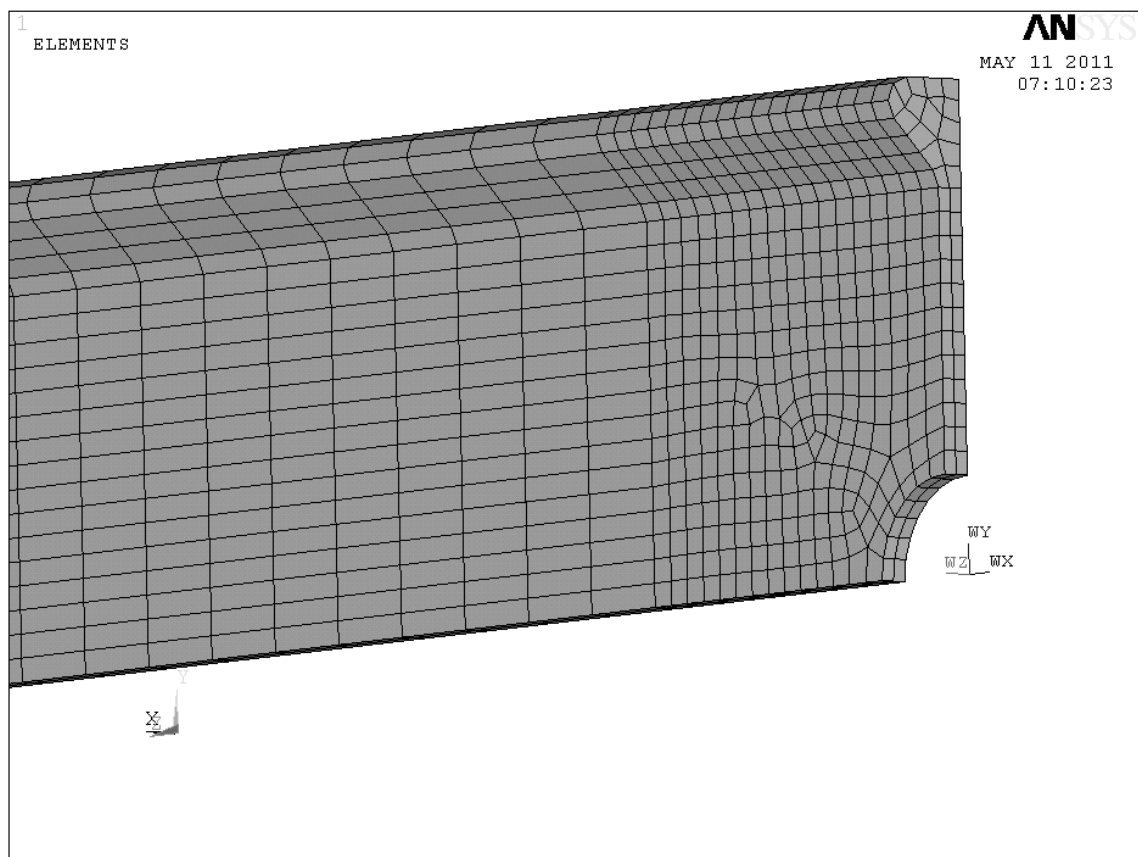
Kaip matome iš aukščiau pateiktos schemos, bulbos profilio detalės lenkimas *Buldozer* presu atliekamas apkrovą pridėjus prie viršutinės bulbos profilio lentynėlės (t. y. detalės stipresnės dalies). Tačiau siūlomas metodas netinka lenkimui naudojant trijų taškų lenkimo schemą. Čia tinka geminis lenkimo būdas, detalę įtvirtinus tik iš vienos pusės. Todėl apkrovą būtina pridėti prie apatinės detalės dalies. Bulbos profilio detalės apatinė dalis yra silpnesnė. Dar viena probleminė detalės dalis – tai drenažo išpjovos. Būtent toje vietoje, kur darome išpjovą, pridedama ir apkrova. Todėl būtina patikrinti, ar lenkimo metu detalė nebus pažeista ir atitiks statykloje keliamus formas ir matmenų tikslumo reikalavimus.

Nustačius detalės geometrijos parametrus, nurodome elementų tipus ir medžiagos savybes. Skaičiavimams pasirinktas erdvinis kūnas SOLID45. Šio tipo elementas yra trimatis kūnas, turintis 8 mazgus ir po 3 laisvės laipsnius kiekviename iš jų. Jis gali būti tempiamas, gniuždomas, lenkiamas ir sukamas. Nagrinėjama detalė pagaminta iš konstrukcinio plieno, kurio charakteristikos nurodytos 3.2.1 lentelėje.

3.2.1 lentelė. Profilinės detalės S235JR plieno charakteristika (EN 10025-2:2004)

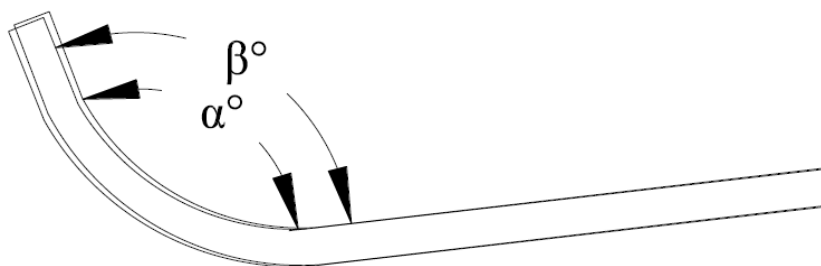
Tankis, t/m <sup>3</sup>	Tamprumo modulis, GPa	Puasono koef.	Šilumos plėt. koef.	Takumo riba, MPa
7,8	210	0,3	12*10 <sup>-6</sup>	235

Skaičiavimams atlikti būtina sugeneruoti modelio tinklą. Visa detalė padalijama į stačiakampius 0,005 m tikslumu. Ypatingas dėmesys skiriamas išpjautų angų formos ir matmenų nukrypimams bei sulenkiamo detalės galo deformacijoms. Skaičiavimui buvo sugeneruotas modelio tinklas, susmulkinant lenkiamos detalės galo elementus (3.2.6 pav.).



3.2.6 pav. Modelio tinklelio generavimas

Sugeneravę modelio tinklą, suvaržome vieną detalės pusę visomis kryptimis, o iš kitos pusės Y ašies kryptimi uždedame apkrovą. Detalės stiprumo ir standumo analitiniai skaičiavimai atliekami sudarant baigtinių elementų modelį. Siekiant įgyvendinti siūlomą metodą, būtina iširti, ar apdorojus profilinę detalę automatizuotoje pjovimo ir markiravimo linijoje įmanoma ją sulenkti taip, kad pagrindinis detalės lenkimas būtų galimas be užleidimų. Tuo tikslu buvo sukurtas lenkimo proceso matematinis modelis. Kadangi mums būtina nustatyti, kokių plastinių deformacijų atsiras lenkiamoje detalėje po jėgos atleidimo (3.2.7 pav.), skaičiavimuose būtina taikyti netiesinį uždavinių sprendimo būdą.



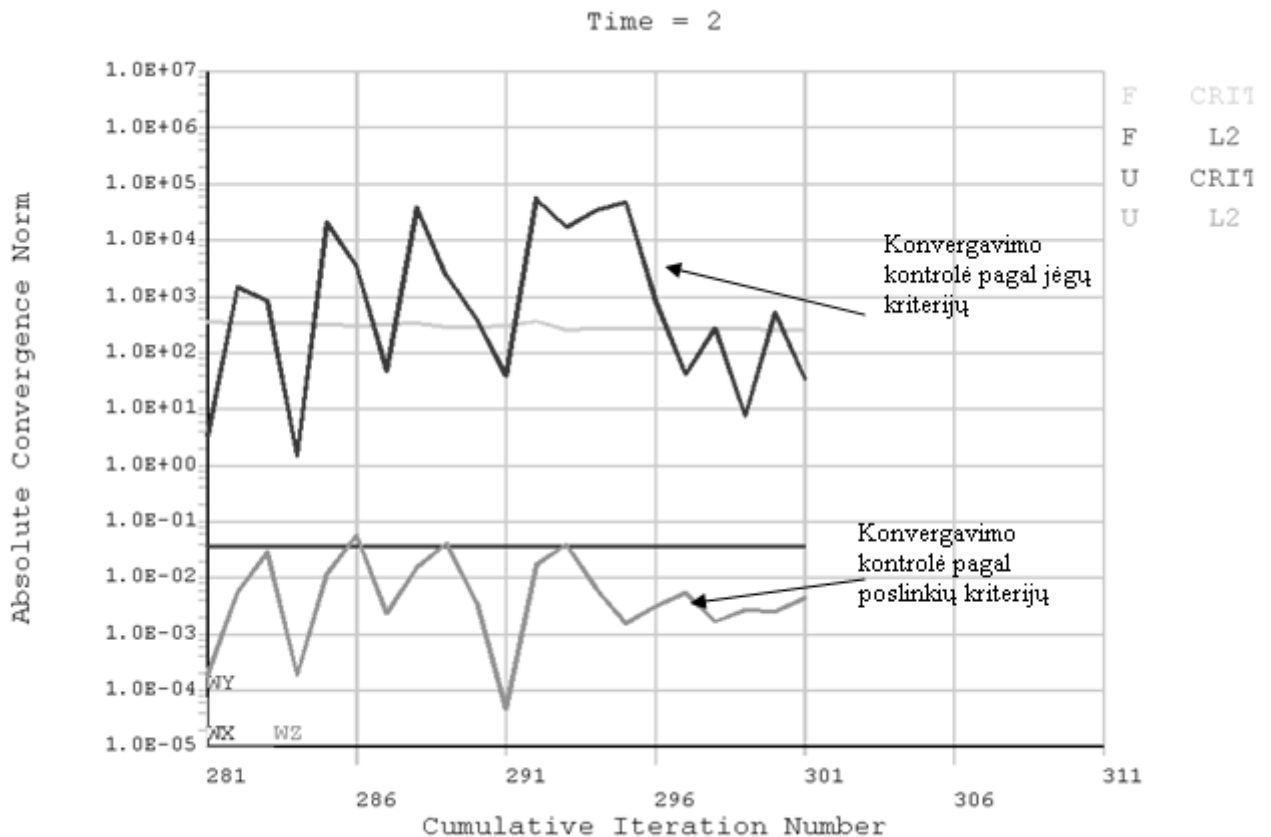
3.2.7 pav. Detalės sulinkimo kampas prieš įrankių atitraukimą ir po jo:  
 $\alpha$  – lenkimo kampas pridėjus apkrovą,  $\beta$  – lenkimo kampas nuėmus apkrovą

Imituojant detalės lenkimo baigtinius elementus, buvo atlikta palyginamoji detalės atsilenkimo, pašalinus apkrovas, efekto analizė. Tokio tipo lenkimo ištyrimui būtina nustatymuose nurodyti sudėtingesnį medžiagos elgsenos modelį TB,BKIN ir TBDATA komandomis. Modelio geometrijos netiesiškumas įvertinamas NLGEOM,ON komanda (4 priedas). Modeliuojant sistemoje ANSYS, apkrovimą galima skaidyti į nuoseklius žingsnius, kurių kiekviename sistema pradedama nagrinėti tokio būvio, kokio ji buvo ankstesnio žingsnio pabaigoje. Apkrovimo žingsniai suformuojami, įrašomi į atmintį, o paskui vykdomi. Pereinant nuo žingsnio prie žingsnio negalima keisti konstrukcijos sandaros, o tik poveikio dydį ir/arba rūšį. Apkrovimo žingsniai aprašomi LSSOLVE komanda. Taip inicijuojamas dviejų žingsnių sprendimo būdas. Kiekvieno apkrovimo žingsnį sistema skaido į požingsnius (*substep*), nuosekliai didindama apkrovą arba nurodytą poslinkį. Kiekviename apkrovimo požingsnyje ieškoma pusiausvyros, netiesinių lygčių sistemą sprendžiant iteracijomis. Sistema pati pagal nutylėjimą parenka požingsnių skaičių, didžiausią leistiną iteracijų skaičių ir atlieka konvergavimo kontrolę (Šimanauskienė, 2009).

Išanalizavus skaičiavimo rezultatus nustatyta, kad siūlomas metodas tinka tik detalėms, kurių lenkimo spindulys yra ne didesnis kaip  $5H$  ( $H$  – profilio aukštis) ir ne daugiau kaip 3 inversinės linijos formos kontrolei. Galo užlenkimas įmanomas iki  $3,95H$ . Drenažo išpjovų („golubnicų“) ilgis turi būti ne didesnis kaip 15 cm, priešingu atveju lenkimo metu pridėjus apkrovą presas nuslys ir deformuos išpjautą detalės vietą. Kadangi statykloje naudojami du analogiški presai, skirtumas tarp jų – tik detalės atrėmimas (vienu atveju detalė tik atremiama dviejuose taškuose į preso seneles, kitu atveju, be minėtų atrėmimų, detalė dar prispaudžiama iš viršaus), skaičiavimo metu buvo tirta galų užlenkimo galimybė su skirtingais presais. Nustatyta, kad tuo atveju, kai detalė tik atremiama į preso seneles, apkrovimo metu atsiradęs sukimo momentas deformuoja detalę ir neužtikrina reikiamos formos. Vadinasi, siūlomam metodui tinka tik visiškas detalės suvaržymas iš vienos pusės, kuris užtikrina reikiamą detalės užlenkimą nepažeidžiant jos struktūros ir išilginio tiesumo.

### 3.3. Tyrimo rezultatų analizė

Tyrimai skaitiniais metodais pasižymi plačiomis galimybėmis, kadangi galima nagrinėti sudėtingas konstrukcijas, įvertinant jų deformavimą ir už proporcingumo ribų. Be to, gaunami rezultatai gali būti pateikiami lentelių ar grafikų pavidalu. Nesudėtingai nustatomos ir ribinės nagrinėjamų dydžių reikšmės. Atlikus kelias lenkimo proceso stadijas: pridėjus ir atleidus apkrovą, nustatyti deformuotos detalės parametrai. Taikant baigtinių elementų skaitmeninį metodą ANSYS programiniu paketu buvo tirtas bulbos profilio detalės lenkimo procesas. Nustatę dviejų žingsnių sprendimo būdą, gavome netiesinio uždavinio sprendimo eigos grafinį vaizdą (3.3.1 pav.).



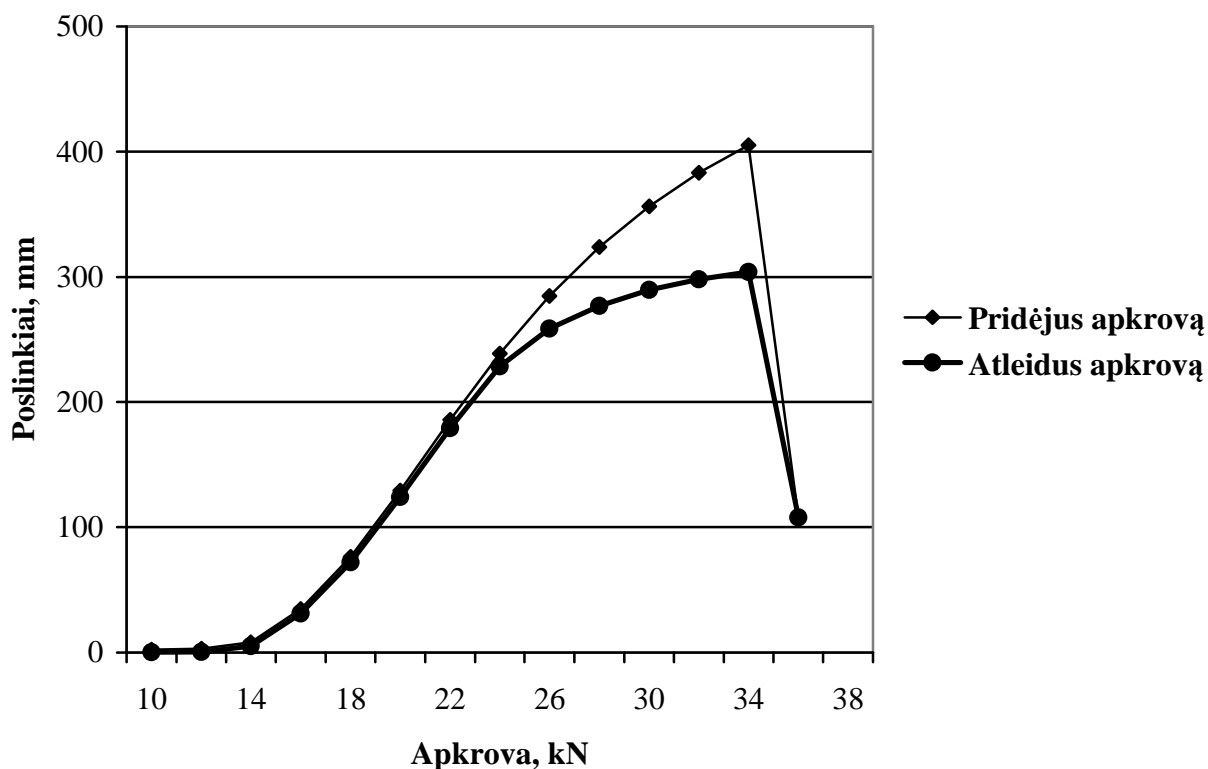
3.3.1 pav. Netiesinio uždavinio sprendimo eigos grafinis vaizdas

Skaičiavimo metu detalė buvo apkraunama, o paskui nuimama jėga ir užfiksuojamos plastinės deformacijos. Apkrova buvo pridedama 200 mm ruože ir kito nuo 10 kN iki 35,15 kN tol, kol detalės įtempimai viršijo leistinus. Tyrimo metu buvo fiksuojami detalės poslinkiai X, Y ir Z ašių kryptimis ir įtempimų pasiskirstymas tempiamuose ir gniuždomuose detalės sluoksniuose. Tiriamas buvo ne tik detalės išilginis sulenkimas, bet ir susisukimas bei pailgėjimas. Skaitinio modeliavimo būdu nustatyti detalės galo įlinkiai ir įtempiai (5–8 priedai) pateikti 3.3.1 lentelėje.

3.3.1 lentelė. Profilinės detalės lenkimo proceso matematinio modeliavimo rezultatai

Apkrova, kN	Maksimalus detalės galo poslinkis, m			
	X	Y	Z	Įtempiai ties įtvirtinimu, MPa ( <i>Von Mises</i> skalė)
0	0	0	0	0
10	0,009*10 <sup>-3</sup>	2,284*10 <sup>-3</sup>	0,229*10 <sup>-3</sup>	247
atleidus	0,002*10 <sup>-3</sup>	0,188*10 <sup>-3</sup>	0,008*10 <sup>-3</sup>	159
12	0,021*10 <sup>-3</sup>	3,139*10 <sup>-3</sup>	0,303*10 <sup>-3</sup>	242
atleidus	0,011*10 <sup>-3</sup>	0,609*10 <sup>-3</sup>	0,034*10 <sup>-3</sup>	190
14	0,103*10 <sup>-3</sup>	8,220*10 <sup>-3</sup>	0,750*10 <sup>-3</sup>	263
atleidus	0,092*10 <sup>-3</sup>	5,227*10 <sup>-3</sup>	0,405*10 <sup>-3</sup>	208
16	0,411*10 <sup>-3</sup>	34,730*10 <sup>-3</sup>	3,903*10 <sup>-3</sup>	365
atleidus	0,398*10 <sup>-3</sup>	31,122*10 <sup>-3</sup>	3,304*10 <sup>-3</sup>	213
18	0,755*10 <sup>-3</sup>	76,350*10 <sup>-3</sup>	11,645*10 <sup>-3</sup>	474
atleidus	0,737*10 <sup>-3</sup>	71,991*10 <sup>-3</sup>	10,571*10 <sup>-3</sup>	231
20	1,138*10 <sup>-3</sup>	129,300*10 <sup>-3</sup>	26,653*10 <sup>-3</sup>	585
atleidus	1,110*10 <sup>-3</sup>	124,007*10 <sup>-3</sup>	24,797*10 <sup>-3</sup>	220
22	1,519*10 <sup>-3</sup>	185,697*10 <sup>-3</sup>	49,132*10 <sup>-3</sup>	747
atleidus	1,468*10 <sup>-3</sup>	179,059*10 <sup>-3</sup>	46,038*10 <sup>-3</sup>	254
24	1,874*10 <sup>-3</sup>	238,539*10 <sup>-3</sup>	76,695*10 <sup>-3</sup>	772
atleidus	1,757*10 <sup>-3</sup>	228,403*10 <sup>-3</sup>	70,853*10 <sup>-3</sup>	289
26	2,196*10 <sup>-3</sup>	284,802*10 <sup>-3</sup>	106,540*10 <sup>-3</sup>	843
atleidus	1,801*10 <sup>-3</sup>	258,563*10 <sup>-3</sup>	89,073*10 <sup>-3</sup>	301
28	2,484*10 <sup>-3</sup>	323,813*10 <sup>-3</sup>	136,461*10 <sup>-3</sup>	902
atleidus	1,807*10 <sup>-3</sup>	276,893*10 <sup>-3</sup>	101,359*10 <sup>-3</sup>	305
30	2,743*10 <sup>-3</sup>	356,303*10 <sup>-3</sup>	165,248*10 <sup>-3</sup>	951
atleidus	1,809*10 <sup>-3</sup>	289,568*10 <sup>-3</sup>	110,297*10 <sup>-3</sup>	309
32	2,974*10 <sup>-3</sup>	383,198*10 <sup>-3</sup>	192,238*10 <sup>-3</sup>	993
atleidus	1,820*10 <sup>-3</sup>	298,187*10 <sup>-3</sup>	116,607*10 <sup>-3</sup>	313
34	3,181*10 <sup>-3</sup>	405,427*10 <sup>-3</sup>	217,124*10 <sup>-3</sup>	1030
atleidus	1,827*10 <sup>-3</sup>	303,906*10 <sup>-3</sup>	120,820*10 <sup>-3</sup>	317
35,15	10,719*10 <sup>-3</sup>	107,594*10 <sup>-3</sup>	15,454*10 <sup>-3</sup>	Įtempimai viršija leistinus

Skaičiavimo rezultatai rodo, kad apkrovai viršijus 20 kN, detalė ima spyruokliuoti, todėl lenkimo metu susisuka bei deformuojasi X ir Z ašių kryptimis. Tyrimo rezultatai pateikiami 3.3.2 paveiksle.



3.3.2 pav. Apkrovos ir detalės įlinkio Y ašies kryptimi priklausomybės grafikas

Nustatyta, kad apkrovai viršijus 20 kN, skersiniai detalės poslinkiai viršija leistinus 25–30 mm nukrypimus (Fomičev, 2011), todėl siūlomas metodas gali būti taikomas tik iki 1,3 H (H – profilio aukštis) detalės galo sulenkimo. Taip pat buvo tirtas išpjovų deformacijos pobūdis ir nustatyta, kad didžiausias išpjovos ilgis negali viršyti 150 mm, nes kitu atveju nebus galimybės tinkamai apkrauti detalės, o išpjovos vieta deformuosis X ašies kryptimi (9 priedas). Pažymėtina, kad detalės lenkimo formos kontrolė turi būti įmanoma naudojant ne daugiau kaip 3 inversines linijas ir ne mažesniu kaip 500 mm inversinės linijos žingsniu.

## IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Šiandien nuolat besikeičiančioje verslo aplinkoje sunku išlaikyti įmonės konkurencingumą, todėl būtina optimizuoti kiekvieną gamybos etapą ir tam išnaudoti visą esamą mokslo ir technologijų potencialą. Šiame darbe buvo nagrinėjami mokslo ir pramonės bendradarbiavimo pavyzdžiai, orientuoti į laivų statybą, kurių rezultatas yra mokslo žinių ir technologijų praktinis pritaikymas siekiant padidinti sektoriaus konkurencingumą. Tyrimo metu buvo išanalizuota pasaulio laivų statybos rinkos situacija ir nustatytos pagrindinės pramonės tobulinimo kryptys. Remiantis gautais duomenimis, buvo pasiūlytas kreivalinijinių detalių gamybos optimizavimo metodas ir pateiktos kompleksinio laivų statybos tobulinimo rekomendacijos. Darbas apėmė analitinį ir teorinį tyrimą, kuriuo dėka buvo įgyvendinti išsikelti uždaviniai ir gautos tokios išvados:

1. Pasaulinio ekonominio nuosmukio akivaizdoje ES laivų statybos pramonė atsidūrė ties išlikimo riba. Taip atsitiko ne tik dėl pasikeitusios ekonominės padėties, bet ir dėl ištikus dešimtmečius trunkančios nesažiningos Pietryčių Azijos konkurencijos. Kaip to rezultatas Europoje ženkliai sumažėjo naujų laivų užsakymų. ES, siekdama užtikrinti laivų statybos pramonės konkurencingumą, turi skatinti sukurtų programų, kurios stimuliuoja sektoriaus augimą, plėtojimą. Taip pat laivų statybos sektoriaus konkurencingumo užtikrinimo iniciatyvoje būtinas aktyvesnis visų ES šalių narių dalyvavimas. ES laivų statyba atsidūrė tokioje situacijoje, kai pavieniai laivų statytojai jau nebegali konkuruoti su Azijos šalimis. Tik bendromis jėgomis galima užimti deramą vietą šio sektoriaus rinkoje.
2. Laivų statybos rinkos analizė parodė, kad ES konkurencingumo užtikrinimas gali būti nukreiptas tokiomis kryptimis:
  - Pirmoji kryptis – tai valstybės palaikymas. Tiek pačios pramonės subsidijavimas, tiek ir parama laivų statybos mokslui ir siekimas sujungti pramonę ir mokslą dėl bendro tikslo.
  - Antroji kryptis – tai užsienio investuotojų pritraukimas. Tačiau ES laivų statyklų savininkai turėtų atsargiau rinktis verslo partnerius ir teisiškai apsaugoti nuo galimo investuotojo piktnaudžiavimo esama padėtimi.
  - Trečioji kryptis – tai srities klasterizacija. Klasterizacija teigiamai veikia personalo kvalifikacijos kėlimą, ryšį tarp pramonės ir mokslo ir t. t. ES šalys narės turi pasinaudoti klasteryje atsirandančiu sinergijos efektu ir bendromis jėgomis išlaikyti esamą rinkos dalį.
  - Ketvirtoji kryptis – veiklos profilio pakeitimas. Konkurencijoje su pigesnės darbo jėgos šalimis ES gali laimėti tik specializuotų laivų ir statinių statybos sferoje (kruizinių lainerių, specializuotų laivų, megajachtų, mokslinių tyrimų laivų ir t. t.). ES laivų statybos pramonė pirmauja šioje srityje, nes čia yra visa reikiama bazė (aukštos

technologijos, inovacijos, kvalifikuoti darbuotojai, patirtis ir t. t.) tokiems laivams statyti.

- Penktoji kryptis – tai darbo našumo didinimas. Kitaip tariant, korektiškas gamybos organizavimas, kuris gali būti pasiekiamas taikant LEAN sistemos principus ir metodus. Stingant užsakymų, būtina lanksčiau organizuoti gamybą ir prisiderinti prie rinkos paklausos. Todėl darbe išsamiai nagrinėjama būtent ši laivų statybos pramonės tobulinimo kryptis.
3. Nustaćius pagrindines ES laivų statybos tobulinimo kryptis darbe buvo pasirinkta išsamiau išnagrinėti darbo našumo didinimo galimybes, remiantis LEAN sistemos taikymo strategijomis. Tyrimo metu nustatyta pagrindinė sistemos diegimo kliūtis – tai laivų statybos specifika. Tam tikri požymiai daro laivų statybą unikalią ir tuo ji skiriasi nuo kitų pramonės šakų, pvz., nedidelės gamybinės serijos, gaminamų vienetų dydis, vertė bei sudėtingumas ir faktas, kad prototipai apskritai yra naudojami pelningai. Kaip to pasekmė, laivų statyba yra tas sektorius, kuriame įprastos gamybos optimizavimo priemonės paprasčiausiai netinka. Automobilių gamybos srityje LEAN sistema praktiškai laikoma korporatyviniu standartu, tačiau laivų statybos srityje iki šiol tai yra naujovė. Nors pastarojoje srityje LEAN sistemos suvokimas ir taikymas dar nėra brandus, tačiau esama pasaulinė laivų statytojų patirtis rodo jos efektyvumą ir skatina išsamiau tyrinėti sistemos diegimo galimybes.
  4. Remiantis išanalizuota pasaulio laivų statytojų LEAN sistemos diegimo praktika, buvo nagrinėjama Lietuvos laivų statyklų padėtis. Nustatyta, kad Lietuvos laivų statyba išgyvena sunkų reorganizacijos laikotarpį. Tačiau esama padėtis teigiamai paveikė VBLS finansinę padėtį, ir 2011 m. įmonė pasirašė net 6 sutartis, tuo užsitikrindama reikiamus gamybos pajėgumus. VBLS yra moderni statykla, atitinkanti dabartinio laikotarpio specializuotų laivų ir statinių gamybos poreikius. Tačiau norint tapti visaverčiais specializuotų laivų statybos rinkos dalyviais, būtina užtikrinti prieinamą produkcijos kainą. Gamybos sąnaudų mažinimas, racionalus medžiagų ir išteklių naudojimas, darbo našumo didinimas ir kaip viso to pasekmė savikainos mažinimas – tai pagrindiniai konkurencingumo užtikrinimo uždaviniai, kuriuos galima išspręsti taikant LEAN sistemą. Šios sistemos diegimo patirties turi ir Lietuvos laivų statytojai. Tačiau kaip ir kitose pasaulio šalyse, Lietuvoje pagrindine sistemos diegimo kliūtimi tapo nekorektiškas jos principų supratimas. Laivų statybos sferoje LEAN sistemos principai realizuojami tik sukuriant pavyzdinį padalinį, naudojant tik vieną ar du sistemos įrankius. Analizė parodė, kad pagrindinis LEAN bruožas – užtikrinti nenutrūkstamą gamybos procesą optimizuojant medžiagų, kaip gamybos šaltinio, įsigijimą, valdymą ir paskirstymą. Įmonėje turi veikti kompleksinė optimizavimo sistema, aprėpanti

visas be išimties sritis, o nuolatinio tobulinimo procese privalo dalyvauti visi įmonės darbuotojai.

5. LEAN sistemos pagrindu optimizuojamos daugelio sričių valdymo sistemos, todėl ji plačiai nagrinėjama ir aprašoma jau keletą dešimtmečių. Mokslinė literatūra apie LEAN sistemą yra gausi ir teoriniu, ir praktiniu aspektu. Tačiau daugelis literatūros šaltinių yra bendro pobūdžio, aprašantis LEAN metodus ir įrankius, dažniausiai pritaikytus serijinei gamybai. Todėl darbe nuspręsta konkretaus VBLS technologinio proceso optimizavimo pavyzdžiu įrodyti sistemos efektyvumą ir plėtojimo būtinumą. Tuo tikslu buvo pasirinktas laivo korpuso profilinių detalių gamybos optimizavimas, paremtas LEAN sistemos principais. Pasirinkimą lėmė faktas, kad tradiciškai laivų statybos sferoje sunkiausia optimizuoti korpuso gamybos technologinį procesą, o būtent korpusas sudaro 30 % laivo savikainos. Mūsų šalyje lakštinio metalo apdirbimo automatizavimo lygis yra aukštas. Tačiau kalbant apie kreivalinijinių profilių gamybos procesą, mūsų gamyklos ženkliai atsilieka nuo pirmaujančių pasaulio laivų statyklų. Šiandien yra sukurta nemažai technologijų, leidžiančių padidinti profilinių detalių tikslumą (suvirinimo deformacijų kompensacijos metodas, formos kontrolė su inversinių linijų pagalba, visiškai ar iš dalies automatizuotas kreivalinijinių detalių apdorojimas). Tačiau užbaigtų sprendimų nėra dėl sudėtingos detalių formos kontrolės. Esama automatizuota lenkimo linija neleidžia vizualiai kontroliuoti formos tikslumo, o diegti modernias lazerines technologijas šiuo metu yra nerentabilu dėl sumažėjusio užsakymų portfelio. Todėl būtina pasiūlyti metodą, leidžiantį be papildomų investicijų optimizuoti esamą detalių lenkimo procesą.
6. Vadovaujantis LEAN sistemos principais, prieš pasirenkant konkrečius įrankius buvo išanalizuota mūsų šalies laivų statyklos kreivalinijinių detalių gamybos technologija. Nustatyta, kad pagrindinis gamybos trūkumas – profilinių detalių lenkimas su užleidimais. Būtent dėl užleidimų neįmanoma detalių apdoroti esamoje automatizuotoje linijoje. Todėl detales sujungiant į konstrukcinius mazgus, būtina atlikti daugelį sudėtingų ir brangių taisymo darbų. Rankinis detalių markiravimas, pjovimas ir valymas yra imlus darbo. Dėl to pailgėja gamybos trukmė ir atsiranda daug neužbaigtos produkcijos. Kaip žinoma, didžiausi kaštai gamybos sistemoje yra susiję su prekių atsargų valdymu. Norint padidinti įmonės konkurencingumą būtina užtikrinti kaštų ir naudos pusiausvyrą. Išanalizavus gamybos technologiją, buvo nustatytos pagrindinės kreivalinijinių detalių gamybos proceso optimizavimo kryptys ir parinktas gana universalus gamybos technologijos variantas, užtikrinantis lankstumą ir operatyvų reagavimą į rinkos svyravimus. Taikant metodą prieš lenkimą profilinės detalės bus apdorojamos automatizuotoje linijoje, o lenkimas atliekamas dviem etapais (galų užlenkimas, galutinis detalės lenkimas). Detalė bus apdorojama

- nuosekliai, be prastovų, užtikrinant aukštą kokybę, trumpą gamybos ciklą ir prieinamą produkcijos kainą.
7. Siekiant parodyti mokslo ir pramonės bendradarbiavimo galimybes, siūlomo metodo tinkamumui patikrinti buvo pasirinktas skaitinio modeliavimo metodas, naudojant programinės įrangos paketą ANSYS 11.0. Šiandien mokslininkai ir inžinieriai vis daugiau laiko praleidžia dirbdami asmeniniu kompiuteriu nei atlikdami natūrinius eksperimentus laboratorijose. Tai leidžia ženkliai sumažinti eksperimento sąnaudas. Siekiant optimizuoti detalių lenkimo technologinį procesą, buvo pasiūlytas naujas gamybos metodas be užleidimų ir nenaudojant lenkimo šablonų. Atsižvelgiant į šiuolaikinio matematinio modeliavimo galimybes metodui iširti, buvo atlikti skaitiniai eksperimentai, naudojant kompiuterinės programos paketą ANSYS. Tik šiuolaikinės kompiuterinės technologijos sudaro sąlygas nepatiriant didelių nuostolių modeliuoti naujų gamybos metodų procesus ir nustatyti optimalų gamybos būdą. Tai ypač svarbu siekiant užtikrinti lanksčią gamybą, prisitaikančią prie potencialių klientų poreikių ir besikeičiančios laivų statybos rinkos.
  8. Tyrimai skaitiniais metodais pasižymi plačiomis galimybėmis, kadangi galima nagrinėti sudėtingas konstrukcijas, įvertinant jų deformavimą ir už proporcingumo ribų. Be to, gaunami rezultatai gali būti pateikiami lentelių ar grafikų pavidalu. Nesudėtingai nustatomos ir ribinės nagrinėjamų dydžių reikšmės. Siūlomam metodui įgyvendinti būtina iširti, ar apdorojus profilinę detalę automatizuotoje pjovimo ir markiravimo linijoje įmanoma ją sulenkti taip, kad pagrindinis detalės lenkimas būtų galimas be užleidimų. Skaitinio modeliavimo metu taikant baigtinių elementų metodą buvo imituotas profilinių detalių lenkimo procesas ir nustatytos detalės deformacijų pobūdys. Ypatingas dėmesys buvo skiriamas išpjautų angų formos ir matmenų nukrypimams. Modeliuojant buvo sukurtas trimatis detalės modelis, kurio kairioji pusė iš apačios ir viršaus buvo suvaržyta visomis kryptimis, o dešinioji dalis apkrauta iš apačios Y ašies kryptimi. Skaičiavimo metu laipsniškai buvo didinama apkrova ir stebimos detalės deformacijos.
  9. Išanalizavus skaičiavimo rezultatus nustatyta, kad apkrovai viršijus 20 kN skersiniai detalės poslinkiai viršija leistinus 25–30 mm nukrypimus, todėl siūlomas metodas gali būti naudojamas tik iki 1.3 H detalės galo sulenkimo. Tyrimo metu taip pat buvo tirtas išpjovų deformacijos pobūdis ir nustatyta, kad didžiausias išpjovos ilgis negali viršyti 150 mm, nes kitu atveju nebus galimybės tinkamai apkrauti detalės, o išpjovos vieta deformuosis X ašies kryptimi. Pažymėtina, kad siūlomas metodas yra tinkamas, kai detalės lenkimo formos kontrolė įmanoma naudojant ne daugiau kaip 3 inversines linijas ir ne mažesniu nei 500 mm inversinės linijos žingsniu.

10. Atliktas tyrimas parodė, kad ES laivų statybos srityje yra didelis laivo savikainos mažinimo rezervas, kuris gali būti nukreiptas darbo našumo didinimo linkme. Atsižvelgiant į esamą laivų statybos rinką, siekdamas išsaugoti esamas technologijas ir pajėgumus, ES statyklos turi reorganizuoti gamybos procesus. Analogiškai darbe pateiktam technologinio proceso optimizavimui būtina išanalizuoti kiekvieną laivo gamybos etapą ir rasti konkrečiai statyklai tinkantį konkurencingumo didinimo būdą. Kovoje dėl išlikimo ES laivų statybos pramonininkai turi tinkamą technologinę bazę, kad užimtų specializuoto jūrinio transporto segmentą. Pažymėtina, kad šis segmentas reikalauja aukštos produkcijos kokybės ir technologinio lygio. Tačiau atsižvelgiant į didesnę produkcijos vieneto kainą, šio segmento pakaks norint užtikrinti ES laivų statybos vietą pasaulinėje rinkoje. Taip galima išlaikyti ES laivų statybos rinkos dalį ir užtikrinti srities ateitį.

## LITERATŪRA

- Anand G., Kodali R. 2010.** Development of a framework for implementation of lean manufacturing systems. *International Journal of Management Practice*, Number 1, p. 95-116.
- Dickinson V., Hammond C. 2004.** Findings and recommendations on LEAN production and environmental management systems in the shipbuilding and ship repair sector. Report of Ross & Associates Environmental Consulting. Washington.
- Krzaklewski M., Calvet Chambon E. 2011.** Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komiteto nuomonė dėl Europos laivų statybos pramonės dabartinės krizės sąlygomis, Europos Sąjungos oficialusis leidinys, C 18/35.
- Koenig P. C., Narita H., Baba K. 2009.** Lean Production in the Japanese Shipbuilding Industry. *Journal of Ship Production*, Nr. 3, p. 167-174.
- Liker J. K., Lamb T., Arbor A. 2000.** Lean manufacturing principles guide. Develop and implement a 'World Class' manufacturing model for U.S. commercial and naval ship construction. Michigan: University of Michigan.
- Liu Z., Chua D., Yeoh K. 2011.** Aggregate production planning for shipbuilding with variation-inventory trade-offs. *International Journal of Production Research*, Volume 49, Issue 1, p. 33-57.
- Ohno T. 2005.** Toyotos gamybos sistema. Tolyn nuo masinės gamybos. Vilnius: Rgrupė.
- Takeda H. 2005.** Sinchroninė gamybos sistema „pačiu laiku“ – būdas visai įmonei. Vilnius: Rgrupė.
- Qingliang Y., Zegiang Z., Lin S. 2010.** An Improvement Study on Assembly Line Balancing Based on Lean Production. *Industrial Engineering Journal*, Volume 49, Issue 2, p. 585-610.
- Spear S. 2009.** Chasing The Rabbit. How market leaders outdistance the competition and how great companies can catch up and win. Columbus: McGraw-Hill.
- Suman K. 2008.** Use of ANSYS Software in Shipbuilding and Offshore Industry. 7th ASEAN ANSYS Conference. Singapore, p. 30-33.
- Tapping D. 2006.** The Lean Pocket Guide XL: Tools for elimination of waste. Elements of lean production. MCS Media.
- Zheng J., Jiang Z., Chen Q., Liu Q. 2011.** Spatial scheduling algorithm minimising makespan at block assembly shop in shipbuilding. *International Journal of Production Research*, Volume 49, Issue 8, pp. 2351-2371.
- Веселков В. В. 2002.** Совершенствование технологии изготовления гнутых деталей судового набора. *Судостроение*, № 1, 49-52 с.

- Иванов А. П. 2005.** Состояние и перспективы повышения точности рабочих обводов сборочно-сварочной оснастки. Морской вестник: труды НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, Вып. 13, 69-80 с.
- Логачёв С. И., Чугунов В. В., Горин Е. А. 2009.** Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. Санкт-Петербург: Мор Вест.
- Фомичев А. Б. 2010.** Комплексное совершенствование технологии изготовления деталей судового набора из профильного проката в условиях автоматизированного производства. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.
- Фомичев А. Б., Игошин Е. В. 2009.** Основные задачи совершенствования технологии изготовления деталей судового набора из профильного проката. Судостроение, Вып. 4, 66-71 с.
- Фомичев А. Б., Веселков В. В. 2009.** Разработка схемы автоматического управления оборудованием для гибки профильного проката. Морской вестник, Вып. 4(32), 97-99 с.
- Šimanauskienė V. 2009.** ANSYS sistemos taikymas netiesiniams deformuojamo kūno uždaviniams spręsti. T210M009 modulis [žiūrėta 2011 m. gegužės 9 d.]. Prieiga per internetą: <\\oras.if.ktu.lt\moduliai\T210M009>.
- National Shipbuilding Research Program. 2010.** Reducing Naval Ship Construction and Repair cost. Advanced Shipbuilding enterprise [žiūrėta 2011 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.nsrp.org/>>.
- Другов Ю. А. 2010.** Проблемы и перспективы развития отечественного гражданского судостроения. Аналитический доклад. Минобрнауки России [žiūrėta 2011 m. kovo 1 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.iacenter.ru/publications/108>>.
- Шамрай Ф. А. 2011.** Вопросы обеспечения конкурентоспособности судостроения [žiūrėta 2011 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ozakaz.ru/index.php/home/121-voprossudostr>>.