



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Alius Moravskis**

**KROVININIO AUTOMOBILIO SU HIDRAULINIU KRANU-  
MANIPULATORIUMI STOVUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

dr. Vytautas Dzerkelis

**KAUNAS, 2017**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**KROVININIO AUTOMOBILIO SU HIDRAULINIU KRANU-  
MANIPULIATORIUMI STOVUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

**Vadovas**

dr. Vytautas Dzerkelis

**Recenzentas**

Doc. dr. Vaidas Lukošavičius

**Projektą atliko**

Alius Moravskis

**KAUNAS, 2017**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Alius Moravskis

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Krovininio automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi stovumo tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 18 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Alius Moravskio**, baigiamasis projektas tema „Krovininio automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi stovumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA**

**Suderinta:**

Studijų krypties programų vadovas  
prof. Artūras Keršys

Transporto inžinerijos katedros vedėjas  
doc. Rolandas Makaras

2016 m. vasario mėn. 8 d.

**MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui: Aliui Moravskiui

1. Projekto tema: „Krovinio automobilio su hidrauliniu kranu-manipuliatoriumi stovumo tyrimas“  
„Reserch of the stability of the truck with hydraulic crane-manipulator „

Patvirtinta: 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8

2. Projekto tikslas:

sukurti metodiką, kuri, atliekant hidraulinio krano-manipulatoriaus projektinius skaičiavimus, užtikrintų krovinio automobilio stovumą.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

- išanalizuoti hidraulinių kranų-manipuliatorių stovumo nustatymui atliekamus bandymus bei jiems keliamus reikalavimus pagal ES standartus;
- naudojantis programomis TrailerWin ir PACWIN sudaryti hidraulinio krano-manipulatoriaus kėlimo diagramas;
- atlikti hidraulinio krano-manipulatoriaus natūrinius kėlimo diagramos sudarymo bandymus;
- atlikti kompiuterinėmis programomis (TrailerWin, PACWIN) bei natūriniais kėlimo diagramos sudarymo bandymais gautų rezultatų palyginimą.

5. Užduoties išdavimo terminas: 2016 m. vasario mėn. 8 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas: dr. Vytautas Dzerkelis  
(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_ (parašas)

Užduotį gavau: Alius Moravskis  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_ (parašas)

Moravskis Alius. Krovinio automobilio su hidrauliniu kranu-manipuliatoriumi stovumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Vytautas Dzerkelis ; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologiniai mokslai, transporto inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: krovinis automobilis, standartai, hidraulinis kranas-manipuliatorius, stovumas, kėlimas, kėlimo diagrama, atrama, strėlė.

Kaunas, 2017. 42 p.

## SANTRAUKA

Lietuvoje eksploatuojami hidrauliniai kranai-manipuliatoriai turi atitikti LST EN 12999:2011+A1:2012 standartą, kuriame yra reikalavimai kranų konstrukcijoms bei kranų bandymams. Šiuose standartuose nustatytas *I,4* automobilio stovumo koeficientas, kuris prieš gaminant automobilį yra paskaičiuojamas kompiuterinėmis programomis. Pagamintam automobiliui atliekami natūriniai bandymai konstrukcijos stiprumui, saugumui bei automobilio stovumui nustatyti. Bandymų metu atliekami statiniai bei dinaminiai bandymai, kurių metu tikrinamas automobilio stovumas, patikrinamas apsauginių hidraulinių bei elektrohidraulinių vožtuvų veikimas.

Ištirtas automobilis su hidrauliniu kranu-manipuliatoriumi galinėje automobilio dalyje be papildomų atramų priekyje, bei programiškai paskaičiuotas automobilio stovumo koeficientas.

Programomis gauti koeficientai priekinėje ir galinėje automobilio dalyje viršijo minimalų, o automobilio šonuose buvo per mažas. Stovumo koeficientas dešinėje automobilio pusėje 1,35 ir 1,38 kairėje automobilio pusėje netenkina standartų. Šiose vietose kranu keliamoji galia turi būti sumažinta iki 96 % dešinėje automobilio pusėje ir 98 % kairėje pusėje.

Atliekant natūrinius statinius bei dinaminis kranu bandymus, buvo suprogramuota hidraulinio kranu-manipuliatoriaus kėlimo diagrama. Suprogramavus kranu kėlimo diagramą, buvo apribota kranu keliamoji galia iki 95% dešinėje automobilio pusėje bei 96% kairėje automobilio pusėje.

Skirtumas tarp kranu kėlimo diagramų yra iki 2 %, todėl norint suprogramuoti tikslias kranu kėlimo diagramas skaitini metodu sekantiems automobiliams, reikia atlikti daugiau palyginamųjų tyrimų. Šie tyrimai leistų iki minimumo sumažinti nesutapimus.

Moravskis Alius. Reserch of the stability of the truck with hydraulic crane-manipulator. : Master's thesis in supervisor dr. Vytautas Dzerkelis. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Transport Engineering

Key words: Truck, standards, crane, stability, lifting, lifting capacity, support, boom.

Kaunas, 2017. 42 p.

## SUMMARY

Hydraulic loader cranes which are used in Lithuania has to comply to LST EN 12999:2011+A1:2012 standard, which covers main requirements for construction and testing of cranes. According to above mentioned standard is foreseen  $1,4$  vehicle's stability factor, which is calculated with corresponding software before manufacture of complete vehicle and only on fully assembled vehicle structural strength, safety and stability practical tests are carried out. The tests consist of static and dynamic tests, during which the stability of complete vehicle is tested and functionality of hydraulic and elector-hydraulic valves is checked.

Tested objects are vehicle's with hydraulic loader crane mounted on rear part without additional stabilizers in front and software calculated stability factor.

Stability factors according to the software in front and rear part of vehicle is more than minimum parameter that is required and on the side parts was too low. Stability factor on the right side is  $1,35$  and  $1,38$  on the left that do not corresponds to the above mentioned standard. In these sections lifting capacity of crane has to be reduced to  $96\%$  on the right side and to  $98\%$  on the left side.

During the practical dynamic and static testing of the crane lifting capacity diagram was programmed. Lifting capacity was reduced to  $95\%$  on the right side and to  $96\%$  on the left side of vehicle.

The difference between these two diagrams is up to  $2\%$ , so on purpose to program exact lifting diagrams in numerical method for the further on vehicles it has to be accomplished more comparative studies. These studies would minimize the mismatch between the diagrams.

## TURINYS

ĮVADAS .....	6
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	7
1.1 Krovinio automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi kėbulo projektavimas...7	
1.2 Hidraulinių kranų-manipuliatorių montavimo vietos, reikalavimai stovumui užtikrinti..7	
1.2.1Automobilio stovumas su sumontuotu kranu už kabinos .....	8
1.2.2 Automobilio stovumas su sumontuotu kranu galinėje automobilio dalyje.....	10
1.3 Hidraulinių kranų-manipuliatorių atitikimas LST EN standartams .....	12
1.4 Hidraulinių kranų-manipuliatorių bandymai pagal kėlimo kranų naudojimo taisykles ...	12
2. AUTOMOBILIO SU HIDRAULINIU KRANU-MANIPULATORIUMI STOVUMO SKAIČIAVIMO METODIKOS .....	14
2.1. Automobilio stovumo skaičiavimai 2D aplinkoje .....	14
2.2. Automobilio stovumo skaičiavimai 3D aplinkoje .....	16
3. SKAITINIS MODELIAVIMAS.....	18
3.1 Stovumo skaičiavimai CraneWin programa.....	18
3.1.1. TrailerWin programoje sumodeliuotas automobilis. CraneWin įrankiu paskaičiuotas automobilio stovumas.....	18
3.2 Stovumo skaičiavimai PACWIN programa .....	24
3.2.1 PACWIN programoje sumodeliuotas automobilis, suskaičiuotas automobilio stovumas.....	24
3.3 Stovumo skaičiavimo programų palyginimas .....	29
4 AUTOMOBILIO STOVUMO EKSPERIMENTINIAI BANDYMAI .....	30
4.1. Krano programavimas natūrinių bandymų metu .....	31
5 PROGRAMIŠKAI IR NATŪRINIAIS KĖLIMO BANDYMAIS SUDARYTŲ KĖLIMO DIAGRAMŲ PALYGINIMAS .....	37
6 EKONOMINIS PAGRINDIMAS .....	38
IŠVADOS.....	39
LITERATŪROS ŠALTINIAI .....	40

## IVADAS

Montuojant hidraulinius kranus-manipuliacorius ant krovininų automobilių, pradzioje pagal poreikius yra parenkamas automobilis: automobilio masės kategorija, ašių skaičius, tarpuašis, kėbulo tipas. Kompiuterinėmis programomis yra sumodeliuojama kranu vieta. Jeigu kranas yra didelės galios, yra montuojamos papildomos atramos, kurios užtikrina automobilio stovumą arba kranas programuojamas, kad operatorius neapverstų automobilio, keldamas krovinį. Pasirinkus variantą su papildomomis atramomis, hidrauliniu kranu-manipuliacoriumi praktiškai galima dirbti be apribojimų, bet prarandamas automobilio krovumas dėl papildomos komplektuojančių detalių masės. Jeigu pasirenkamas variantas suprogramuoti hidraulinį kraną-manipuliacorių sumažinant keliamąją galią, krovinį galima pakelti tik tinkamu kampu prie jo priartėjus, tačiau tai kartais gali būti nepatogu.

Hidraulinio kranu-manipuliacoriaus programavimą atlieka trys žmonės 4 darbo valandas. Šį procesą galima pagreitinti atliekant kranu programavimą kompiuterinėmis programomis.

**Darbo tikslas** - nustatyti ir įvertinti krovininio automobilio su hidrauliniu kranu-manipuliacoriumi stovumą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Išanalizuoti hidraulinių kranų-manipuliacorių stovumo nustatymui atliekamus bandymus bei jiems keliamus reikalavimus pagal ES standartus.
2. Naudojantis programomis TrailerWin ir PACWIN sudaryti hidraulinio kranu-manipuliacoriaus kėlimo diagramas.
3. Atlikti hidraulinio kranu-manipuliacoriaus natūrinius kėlimo diagramos sudarymo bandymus.
4. Atlikti kompiuterinėmis programomis (TrailerWin, PACWIN) bei natūriniais kėlimo diagramos sudarymo bandymais gautų rezultatų palyginimą.



# 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

## 1.1 Krovinio automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi kėbulo projektavimas

Komplektuojant sunkvežimius su hidrauliniiais kranais-manipulatoriais, naudojamos kompiuterinės programos tinkamoms komplektuojančioms detalėms parinkti. Modeliuojant kompiuterinėmis programomis hidraulinio kranu-manipulatoriaus vietą ant automobilio atsižvelgiama į kėbulo tipą, hidraulinio kranu-manipulatoriaus darbo paskirtį, sunkvežimio masės kategoriją, sunkvežimio ašių apkrovas[1, 3].

Gaminant sunkvežimių kėbulus, jų savikainą priklauso nuo medžiagų iš kurių gaminys pagamintas bei žmogiškųjų išteklių. Medžiagas stengiamasi taupyti mažinant atliekų kiekį bei jas perdirbant. Taip pat siekiama kiek įmanoma greičiau pagaminti gaminį, todėl šiam tikslui įgyvendinti gamyklose žmones pakeičia robotai, supaprastinami surinkimo darbai. Bandymai bei konstrukciniai skaičiavimai atliekami kompiuterine įranga[1, 3, 7].

Ant krovinio automobilio montuojant didelės keliamosios galios hidraulinius kranu-manipulatorius, tik kranu atramų neužtenka, todėl automobilis virsta. Papildomos atramos didina automobilio masę bei mažina automobilio krovumą. Nededant papildomų atramų, hidraulinis kranu-manipulatorius yra programuojamas. Suprogramavus hidraulinį kranu-manipulatorių, pakeliamas svoris priklauso ne tik nuo krovinio atstumo iki kranu centro, bet ir nuo kranu strėlės orientacijos automobilio atžvilgiu. Mažiausias stovumo koeficientas automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi yra 1,4 [1, 2, 3, 4].

## 1.2 Hidraulinių kranu-manipulatorių montavimo vietos, reikalavimai stovumui užtikrinti

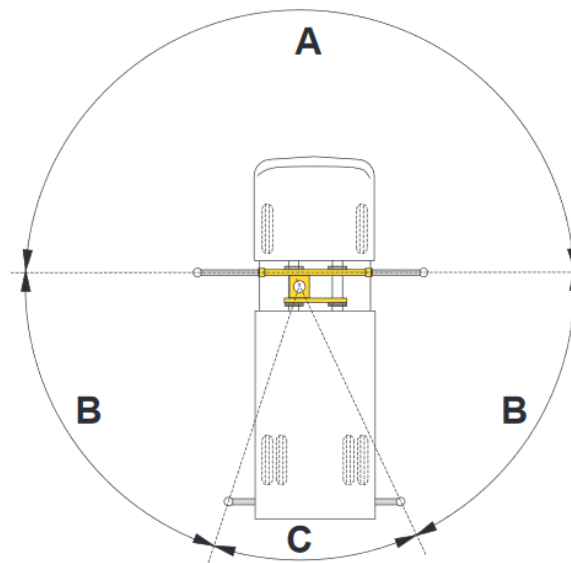
Hidrauliniai kranu-manipulatoriai pagal paskirtį, kėbulo tipą bei darbo ypatumus gali būti montuojami:

- už krovinio automobilio vairuotojo kabinos; (1.1; 1.2 pav.)
- krovinio automobilio galinėje dalyje už kėbulo; (1.3; 1.4 pav.)
- automobilio viduryje, nepaliekant vietos kėbului.

### 1.2.1 Automobilio stovumas su sumontuotu kranu už kabinos

Sumontavus hidraulinį kraną-manipuliatorių už vairuotojo kabinos su papildomomis atramomis galinėje automobilio dalyje, automobilio stovumas tikrinamas trijuose sektoriuose, kurie pavaizduoti 1.1 paveikslėlyje:

- A sektorius - automobilio priekyje 180<sup>0</sup> kampu nubrėžus liniją tarp kranu atramų;
- B sektorius - automobilio šonuose apibrėžtas linija tarp kranu atramų ir linija, nubrėžta iš kranu centro į galinės papildomos atramos centrą;
- C sektorius - automobilio gale apibrėžtas linijomis nuo kranu centro į galinių papildomų atramų centrus.



1.1 pav. Hidraulinis kranas-manipuliatorius sumontuotas už vairuotojo kabinos su papildomomis atramomis [3]

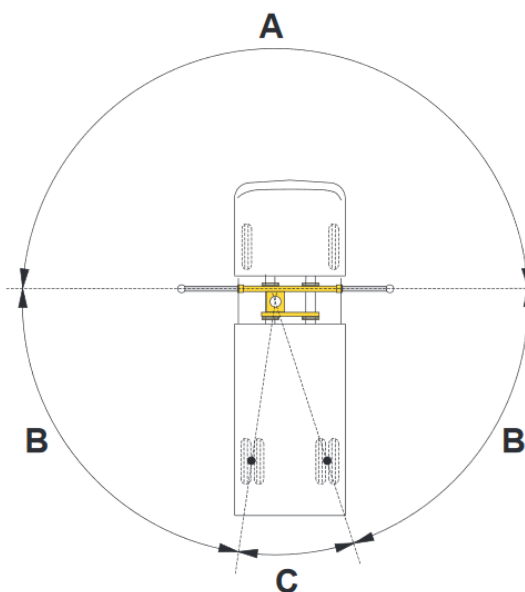
Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, A sektoriuje automobilis išliks stovus vienai iš galinių papildomų atramų pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas galinės ašies ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu B sektoriuje automobilis išliks stovus priešingo šono kranu bei papildomai atramai pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas automobilio ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, C sektoriuje automobilis išliks stovus priekinės pirmos ašies ratams (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) bei kranu atramoms pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jei pakils nuo žemės antroji priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) ar galinė automobilio ašis (jeigu automobilis priekyje turi vieną ašį) [1, 3, 9, 10].

Sumontavus hidraulinį kraną-manipuliatorių už vairuotojo kabinos be papildomų atramų galinėje automobilio dalyje, automobilio stovumas tikrinamas trijuose sektoriuose, kurie pavaizduoti 1.2 paveikslėlyje:

- A sektorius - automobilio priekyje 180<sup>0</sup> kampu nubrėžus liniją tarp kranų atramų;
- B sektorius - automobilio šonuose apibrėžtas linija tarp kranų atramų ir linija nubrėžta iš kranų centro į galinės ašies rato centrą. Jeigu ant ašies yra sudvigubinti ratai, brėžiama per tarp ratų esančio tarpo centrą;
- C sektorius - automobilio gale apibrėžtas linijomis nuo kranų centro į galinių ratų centrus. Jeigu ant ašies yra sudvigubinti ratai, brėžiama per tarp ratų esančio tarpo centrą.



1.2 pav. Hidraulinis kranas-manipuliatorius sumontuotas už vairuotojo kabinos be papildomų atramų [3]

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, A sektoriuje automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas galinės ašies ratas [1, 3, 9, 10].

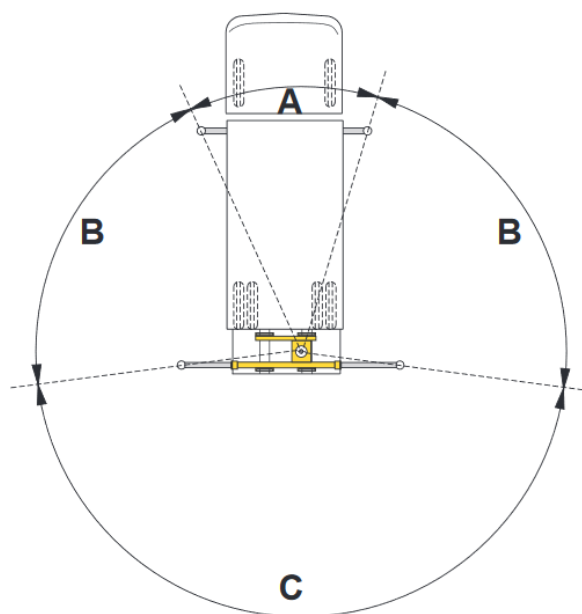
Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, B sektoriuje automobilis išliks stovus priešingo šono kranų atramai pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą jeigu pakils nuo žemės nors vienas automobilio ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, C sektoriuje automobilis išliks stovus priekinės pirmos ašies ratams (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą jeigu pakils nuo žemės antroji priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) ar kranų atrama (jeigu automobilis priekyje turi vieną ašį) [1, 3, 9, 10].

### 1.2.2 Automobilio stovumas su sumontuotu kranu galinėje automobilio dalyje

Sumontavus hidraulinį kraną-manipuliatorių galinėje automobilio dalyje su papildomomis atramomis priekinėje automobilio dalyje, automobilio stovumas tikrinamas trijuose sektoriuose, kurie pavaizduoti 1.3 paveikslėlyje:

- A sektorius - automobilio priekyje apibrėžtas linijomis nuo kranų centro į priekinių papildomų atramų centrus;
- B sektorius - automobilio šonuose apibrėžtas linija tarp kranų centro ir atramos bei linija, nubrėžta iš kranų centro į priekinės papildomos atramos centrą;
- C sektorius - automobilio gale apibrėžtas linijomis nuo kranų centro į kranų atramų centrus.



1.3 pav. Hidraulinis kranas-manipuliatorius, sumontuotas automobilio gale su papildomomis atramomis priekinėje automobilio dalyje [3]

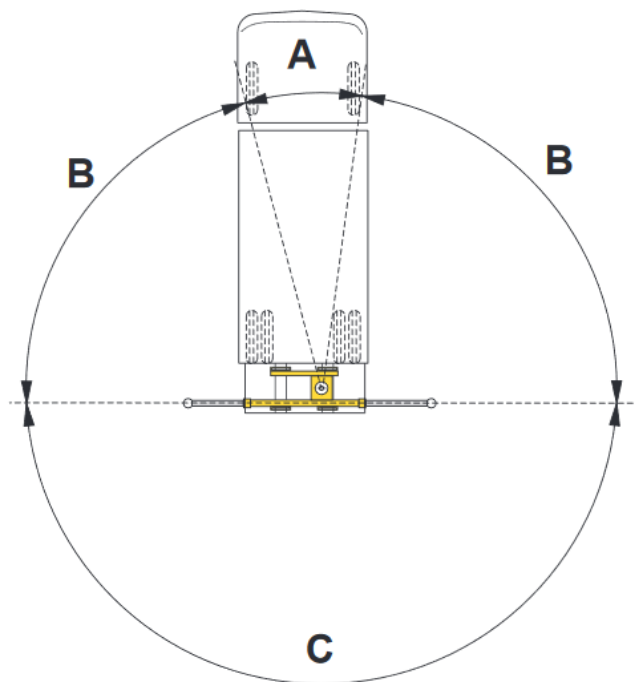
Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, A sektoriuje automobilis išliks stovus vienai iš kranų atramų pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas galinės ašies ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, B sektoriuje automobilis išliks stovus priešingo šono kranų bei papildomai atramoms pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas automobilio ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, C sektoriuje automobilis išliks stovus priekinės pirmos ašies ratams (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės antroji priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) ar priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi vieną ašį) [1, 3, 9, 10].

Sumontavus hidraulinį kraną-manipuliatorių galinėje automobilio dalyje be papildomų atramų priekinėje automobilio dalyje, automobilio stovumas tikrinamas trijuose sektoriuose, kurie pavaizduoti 1.4 paveikslėlyje:

- A sektorius - automobilio priekyje apibrėžtas linijomis nuo kranų centro į priekinių ratų centrus;
- B sektorius - automobilio šone tarp nubrėžtos linijos per kranų atramų centrus ir linija, nubrėžta iš kranų centro į priekinio rato centrą;
- C sektorius - automobilio gale 180<sup>0</sup> už nubrėžtos linijos per kranų atramų centrus.



1.4 pav. Hidraulinis kranas-manipuliatorius sumontuotas automobilio gale be papildomų atramų priekinėje automobilio dalyje [3]

Keliant krovinius statinių ar dinaminių metu, A sektoriuje automobilis išliks stovus vienai iš kranų atramų pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas galinės ašies ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, B sektoriuje automobilis išliks stovus priešingo šono kranų atramai pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės nors vienas automobilio ratas [1, 3, 9, 10].

Keliant krovinius statinių ar dinaminių bandymų metu, C sektoriuje automobilis išliks stovus priekinės pirmos ašies ratams (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) pakilus nuo žemės. Automobilis praras stovumą, jeigu pakils nuo žemės antroji priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi dvi ašis) ar priekinė ašis (jeigu automobilis priekyje turi vieną ašį) [1, 3, 9, 10].

### **1.3 Hidraulinių kranų-manipuliatorių atitikimas LST EN standartams**

Hidrauliniai kranai-manipulatoriai montuojami Lietuvoje nuo 2012 metų spalio mėn., turi atitikti standartą LST EN 12999:2011+A1:2012. Šis standartas yra atgaminimo būdu perimtas kaip Lietuvos standartas iš Europos standarto EN 12999:2011+A1:2012. Šiame standarte yra nurodoma kokius reikalavimus hidraulinis kranas-manipulatorius turi atitikti [2, 4].

Šiame standarte aprašoma:

- hidraulinio kranomanipulいたoriaus sudėtinės dalys ir joms keliami reikalavimai;
- hidraulinio kranomanipulいたoriaus veikimo principai;
- hidraulinio kranomanipulいたoriaus valdymo principų reikalavimai;
- valdymo informacinių lentelių vietos ir dydžių reikalavimai;
- hidraulinio kranomanipulいたoriaus judesių simbolių reikalavimai;
- kėlimo diagramos braižymo principų reikalavimai;
- atliekamų statinių bei dinaminių bandymų reikalavimai;
- perkrovos indikacijų reikalavimai;
- operatoriaus patekimo į darbo vietą reikalavimai;
- kranomanipulいたoriaus montavimo ant automobilio reikalavimai.

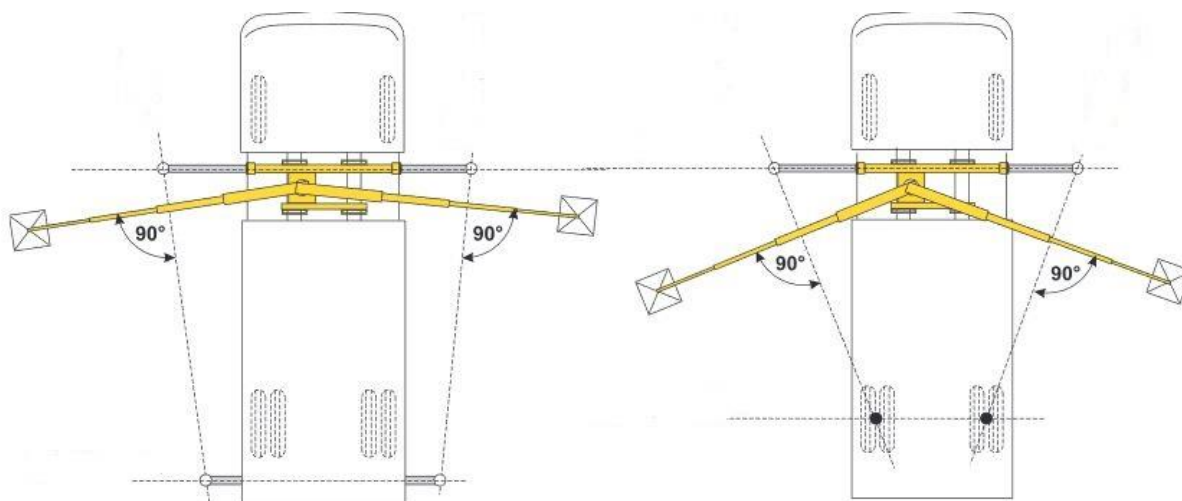
Visus šiuos principus ir reikalavimus turi įvykdyti hidraulinio kranomanipulいたoriaus gamintojas. Hidraulinio kranomanipulいたoriaus montuotojas vykdo gamintojo nustatytus montavimo reikalavimus ir naudoja tinkamas gamintojo tiekiamas komplektuojančias detales [2, 3, 4].

### **1.4 Hidraulinių kranų-manipuliatorių bandymai pagal kėlimo kranų naudojimo taisykles**

Lietuvos socialinės apsaugos ir darbo ministro D. Jankausko 2010 m. rugsėjo 17d. patvirtintose kėlimo kranų naudojimo taisyklėse yra nustatyti reikalavimai, kurie taikomi naujiems kėlimo kranams prieš pradedant juos naudoti, reikalavimai, kaip kranai turi būti naudojami, priežiūros bei techninės būklės tikrinimo intervalai [2, 4].

Statiškai kranai bandomi pagal gamintojo nurodymus, pateiktus kranomanipulいたoriaus naudojimo dokumentuose. Jeigu gamintojas nenurodo specifinių bandymo apkrovų, kranas bandomas jo vardinę keliamąją galią padauginus iš koeficiento 1,25. Kranams su hidrauline pavara, kurie turi kalibruotus vardinės kėlimo apkrovos ribotuvus, statinis bandymas atliekamas viename iš kėlimo galios charakteristikos diapazonų. Statinių bandymų metu patikrinamas dirbančio kranomanipulいたoriaus stovumas, kranomanipulいたoriaus elementų stiprumas. Statiniai bandymai atliekami kranomanipulいたoriaus strėlę nusukus į pačią nepalankiausią stovumui

padėtį. Bandymų metu, kai ant automobilio yra sumontuotos papildomos atramos, krano strėlė yra statmena per automobilio šono atramų centrus nubrėžtai linijai. Kai nėra sumontuota papildomų atramų, linija brėžiama per krano atramos centrą ir automobilio priekinės arba galinės (priklausomai nuo to, kur yra sumontuotas kranas) ašies ratų centrus. Jeigu ant ašies yra sudvigubinti ratai, brėžiama per tarp ratų esančio tarpo centrą. Bandymų metu strėlės padėtis esant papildomoms atramoms ir be jų pavaizduota 1.5 paveikslėlyje. Kairėje paveikslėlio pusėje pavaizduota krano strėlės padėtis, kai automobilis su papildomomis atramomis, dešinėje pusėje pavaizduota krano strėlės padėtis, kai automobilis be papildomų atramų [2, 3, 4].



1.5 pav. Krano strėlės padėtis bandymų metu [3]

Statiniai bandymai hidrauliniams kranams-manipuliatoriams atliekami esant trimis padėtimis:

- esant maksimaliam strėlės siekiui su visiškai išstumtais hidrauliniiais ir rankiniais pailginimais;
- esant maksimaliam strėlės siekiui su visiškai išstumtais hidrauliniiais pailginimais;
- esant minimaliam siekiui su didžiausia vardine keliamąja apkrova.

Bandymai vertinami teigiamai, jei keliamas krovinys bandymo metu keliant ar pakabinus krovinį per 10 min nenusileidžia ant žemės iš 10-20 cm aukščio [2, 4].

Atlikus statinius bandymus bandomas hidraulinio krano-manipuliatoriaus apsauginis vožtuvas - krano vardinės keliamosios galios ribotuvas. Šis bandymas atliekamas keliamosios galios charakteristikos diapazonu. Bandymas atliekamas pagal gamintojo nurodymus, pateiktus krano naudojimo dokumentuose. Jeigu gamintojas nenurodo specifinių bandymo apkrovų, tai krano apsauginis vožtuvas turi suveikti viršijus krano vardinę keliamąją galią ne daugiau kaip 10 procentų [2, 3, 4].

Dinaminių bandymų metu strėlės orientacija išlieka tokia pati kaip ir statinių bandymų metu. Maksimalus vardinės apkrovos krovinys pakeliamas esant didžiausiam strėlės siekiui, krovinys yra keliamas ir leidžiamas didžiausių įtempimų erdvės diapazonu, kad išprovokuotų svyravimą. Šio bandymo metu yra tikrinamas automobilio stovumas, krano mechanizmai ir stabdžiai [2, 3, 4].

Automobilio hidraulinis kranas-manipulatorius yra tinkamas eksploatuoti, jeigu po atliktų statinių, dinaminių bei hidraulinių bandymų automobilis išliko stovus ir krano bei automobilio elementuose nėra plastinių deformacijų [2, 4].

## 2. AUTOMOBILIO SU HIDRAULINIU KRANU-MANIPULATORIUMI STOVUMO SKAIČIAVIMO METODIKOS

Automobilio su hidrauliniu kranu-manipulatoriumi stovumo skaičiavimai atliekami sudarant matematinis modelius. Šie modeliai gali būti sudaromi:

- 2D - stovumas skaičiuojamas automobilio priekyje, gale ir šonuose.
- 3D – automobilio stovumas skaičiuojamas visose strėlės pozicijose.

### 2.1. Automobilio stovumo skaičiavimai 2D aplinkoje

Automobilio stovumas pagal 2D modelį skaičiuojamas susidarant dvi momentų lygtis [5, 6, 11, 12, 14, 19].

Stabilizuojantį momentą  $M_{stab}$  ir verčiantį automobilį momentą  $M_{vert}$  2.1 paveikslėlis. Stabilizuojantis momentas, kuris neleidžia automobiliui virsti, apskaičiuojamas:

$$M_{stab} = F_{mas} * l_{mas} \text{ kNm}; \quad (2.1)$$

čia:

$F_{mas}$  – automobilio ir krano nejudančių dalių masė;

$l_{mas}$  – atstumas nuo automobilio ir krano nejudančių dalių masės centro iki krano atramos per kurią automobilį verčia.

Verčiantis automobilį momentas apskaičiuojamas:

$$M_{vert} = F_{krov} * l_{krov} + \sum_{i=1}^n F_{strl_i} * l_{strl_i} \text{ kNm}; \quad (2.2)$$

čia:

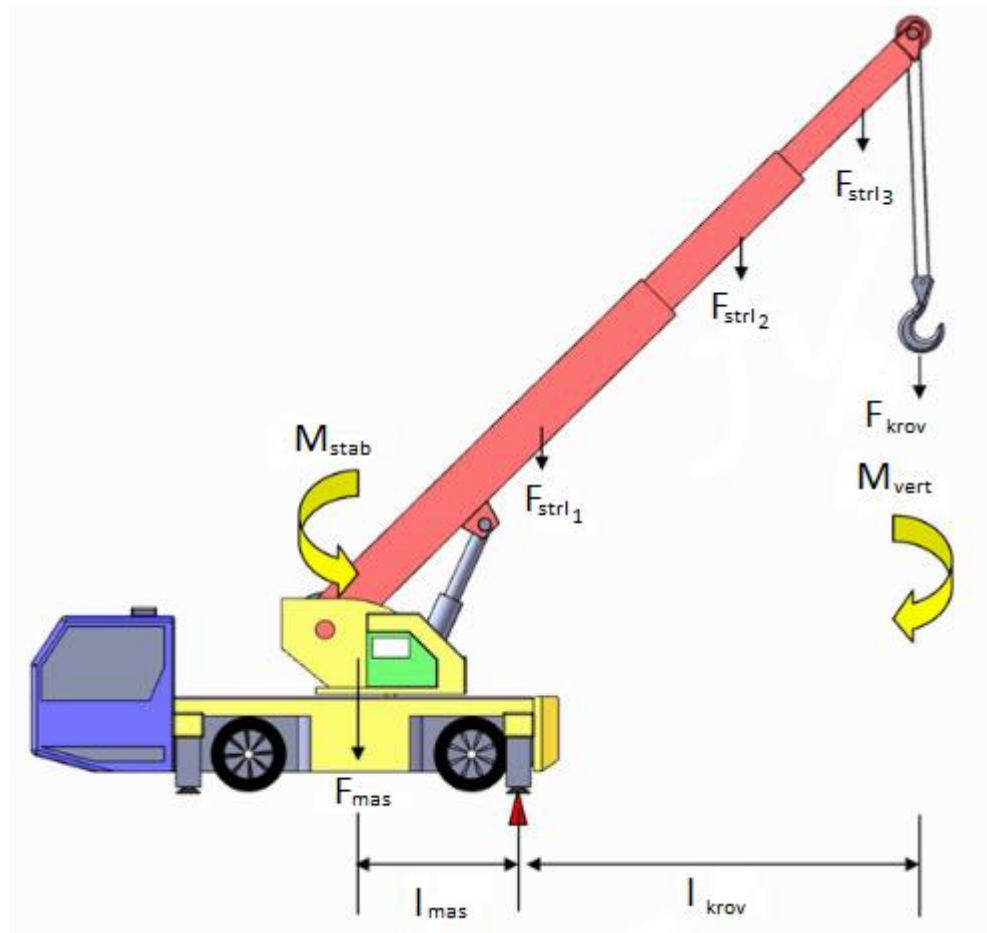
$F_{krov}$  – keliamo krovinio didžiausia masė;

$l_{krov}$  – atstumas nuo atramos iki keliamo krovinio masės centro;

$F_{strl}$  – hidraulinio krano-manipulatoriaus teleskopo masė;

$l_{strl}$  – atstumas nuo atramos iki krano teleskopo masės centro.





2.1 pav. Stabilizuojantis ir verčiantis momentai 2D modelyje [5]

Automobilis pradeda virsti, kai vertimo momentas  $M_{vert}$  už stabilizavimo momentą  $M_{stab}$  didesnis. Pagal standartus, momentų tarpusavio koeficientas statiškai skaičiuojant automobilio stovumą negali būti mažesnis negu  $1,4$ . Tai turi įtakos kritiniam keliamajam kroviniai -  $F_{krov.krt}$ . Viršijus kritinio krovinio masę, koeficientas bus mažesnis už  $1,4$ . Kritinio krovinio masė apskaičiuojama pagal formulę[5, 6, 11, 12, 14, 15, 17, 21, 22]:

$$F_{krov.krt} = \frac{F_{mas} * l_{mas} - \sum_{i=1}^n F_{strl_i} * l_{strl_i}}{l_{krov}} \text{ kN}; \quad (2.3)$$

Automobilio stovumas priklauso ne tik nuo virtimo ir stabilizuojančių momentų, bet ir nuo atramų apkrovų. Viršijus apkrovą į atramą, atsidarys atramos hidaulinės spynos apsauginis vožtuvas ir automobilis pradės krypti, bus pažeistos atramų konstrukcijos. Apkrovos į atramą koeficientas  $A_k$  apskaičiuojamas[5, 6, 11, 12, 14]:

$$A_k = \frac{\max(R_{1max}, R_{2max}, \dots, R_{nmax})}{R_{max}} ; \quad (2.4)$$

čia:

$R_{max}$  – maksimali leistina atramos apkrova;

$R_{lmax}$  – pirmos atramos apkrova keliant krovinį.

Automobilio stovumui labai svarbus pagrindas, į kurį atremtos atramos. Matematiinių skaičiavimų metu yra priimta, kad pagrindas yra pakankamai kietas, atramos į jį nesminga.

Taip pat skaičiuojamas koeficientas tarp kritinio keliamo krovinio ir maksimalios kranų kėlimo galios  $K_{krov}$ . Šis koeficientas apskaičiuojamas [5, 6, 11, 12, 14]:

$$K_{krov} = \frac{F_{krov}}{F_{krov.krt}} ; \quad (2.5)$$

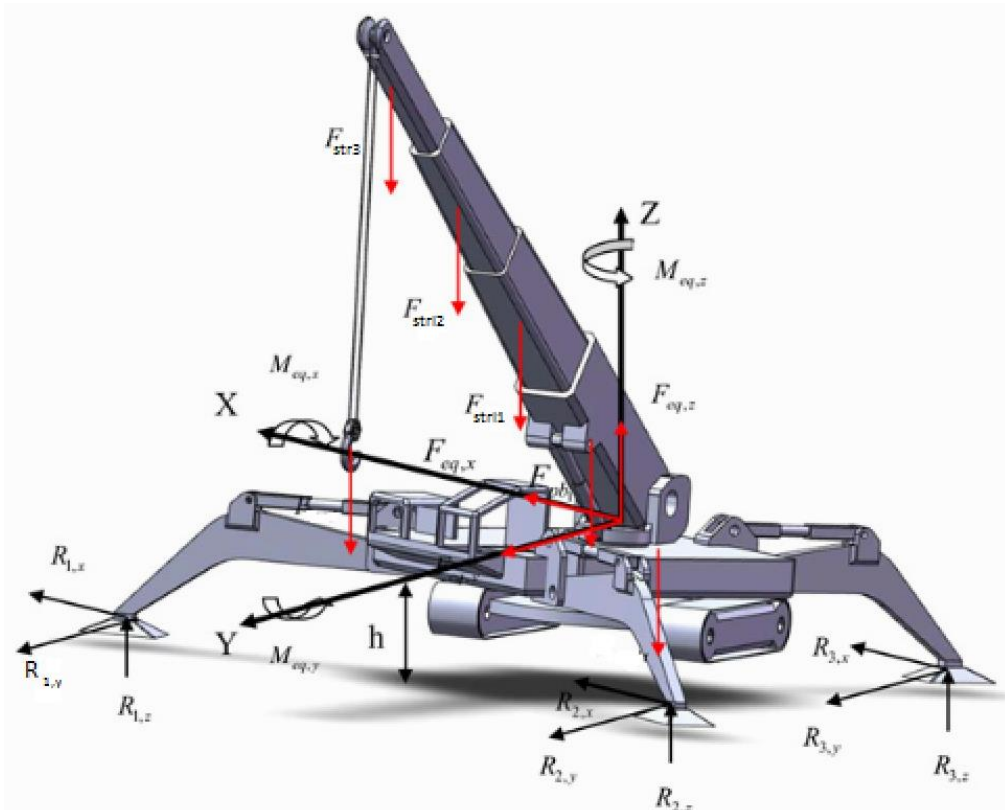
Automobilio stovumui užtikrinti turi būti patenkinamos sąlygos:

- koeficientas  $A_k < 1$
- koeficientas  $K_{krov} < 1$
- momentai  $M_{vert} < M_{stab}$

Kai yra patenkinami koeficientai, momentų priklausomybė bei grunto kietumas, automobilio stovumas yra užtikrintas.

## 2.2. Automobilio stovumo skaičiavimai 3D aplinkoje

Automobilio stovumas 3D modelyje yra skaičiuojamas trijose ašyse X;Y;Z. Priimta, kad Y ašis yra nukreipta išilgai automobilio, X ašis skersai automobilio, Z ašis į automobilio viršų. Jėgų momentai skaičiuojami apie X ir Y ašis. Pavyzdyje 2.2 paveikslėlyje pateiktas hidraulinis kranas, kuriame masės centras yra atramų viduryje [5, 6, 8, 13, 16, 20].



2.2 pav. Jėgos momentai ir reakcijos veikiančios automobilį 3D modelyje [5]

Pagal sudarytą modelį randamos kranų bei atramų veikiančios jėgos ir momentai:

$$\sum F_x = F_{eq,x} + \sum_{i=1}^n R_{i,x} = 0 \text{ kN}; \quad (2.6)$$

$$\sum F_y = F_{eq,y} + \sum_{i=1}^n R_{i,y} = 0 \text{ kN}; \quad (2.7)$$

$$\sum F_z = -F_{krov} - F_{mas} - \sum_{j=1}^m F_{strlj} + F_{eq,z} + \sum_{i=1}^n F_{i,z} = 0 \text{ kN}; \quad (2.8)$$

$$\sum M_x = -F_{krov} * y_{krov} - F_{mas} * y_{mas} - \sum_{j=1}^m F_{strlj} * y_{strlj} + M_{eq,x} + \sum_{i=1}^n R_{i,z} * y_{Ri} + \sum_{i=1}^n R_{i,y} * h = 0 \text{ kNm}; \quad (2.9)$$

$$\sum M_y = -F_{krov} * x_{krov} - F_{mas} * x_{mas} - \sum_{j=1}^m F_{strlj} * x_{strlj} + M_{eq,y} + \sum_{i=1}^n R_{i,z} * x_{Ri} - \sum_{i=1}^n R_{i,x} * h = 0 \text{ kNm}; \quad (2.10)$$

$$\sum M_z = M_{eq,z} - \sum_{i=1}^n R_{i,x} * y_{Ri} + \sum_{i=1}^n R_{i,y} * x_{Ri} = 0 \text{ kNm}; \quad (2.11)$$

čia:

$h$ - svorio centro aukštis.

Skaičiuojamos jėgos surašomos į matricas. Žinomos reikšmės keliamos į kairiąją lygybės pusę, o nežinomos į dešiniąją:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{R1} & x_{R2} & \dots & x_{Rn} \\ y_{R1} & y_{R2} & \dots & y_{Rn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{1,z} \\ R_{2,z} \\ \dots \\ R_{n,z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{all,z} \\ M_{all,y} \\ M_{all,z} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

kur:

$$F_{all,z} = F_{krov} + F_{mas} - F_{eq,z} + \sum_{j=1}^m F_{strlj}, \text{ kN}; \quad (2.13)$$

$$M_{all,y} = F_{krov} * x_{krov} + F_{mas} * x_{mas} - F_{eq,y} * h + \sum_{j=1}^m F_{strlj} * x_{strlj} + M_{eq,y}, \text{ kNm}; \quad (2.14)$$

$$M_{all,z} = F_{krov} * y_{krov} + F_{mas} * y_{mas} + F_{eq,x} * h + \sum_{j=1}^m F_{strlj} * y_{strlj} - M_{eq,x}. \text{ kNm}; \quad (2.15)$$

Automobilio stovumas priklauso nuo jėgų į atramas, jeigu  $R_{n,z}$  reikšmės yra teigiamos, atrama yra įveržta. Neigiama reikšmė reiškia, kad atrama yra pakelta nuo žemės. Automobilio stovumas priklauso nuo grunto, į kurį įremtos atramos, bei atramų pado ploto [5, 18].

### 3. SKAITINIS MODELIAVIMAS

#### 3.1 Stovumo skaičiavimai CraneWin programa

CraneWin - įrankis iš TrailerWin programinio paketo, kuriuo yra tikrinamas mobilių kranų stovumas. Programa nubraižo stovumo diagramą visomis kranų strėlės kryptimis. Programos pagalba nustatomas papildomų atramų ant automobilio poreikis. Šia programa modeliuojant krovininį automobilį su kranu galima nustatyti automobilio stovumo atsargos koeficientus visomis strėlės kryptimis bei kritinius strėlės kampus automobilio stovumo pradžiai [7].

Programoje galima koreguoti visus parametrus, susijusius su automobiliu, kranu bei papildomomis atramomis. Programa galima modeliuoti krovininius automobilius, priekabas bei puspriekabas su kranais [7].

##### 3.1.1. TrailerWin programoje sumodeliuotas automobilis. CraneWin įrankiu paskaičiuotas automobilio stovumas

Programa turi duomenų bazę, kurioje įkelta:

- automobiliai su visomis kabinų, tarpuašių ir galinių iškišų kombinacijomis;
- hidrauliniai kranai-manipulatoriai pagal gamintojus ir jų specifikacijas;
- įvairių modifikacijų priekabas.

Į TrailerWin programą suvesti duomenys:

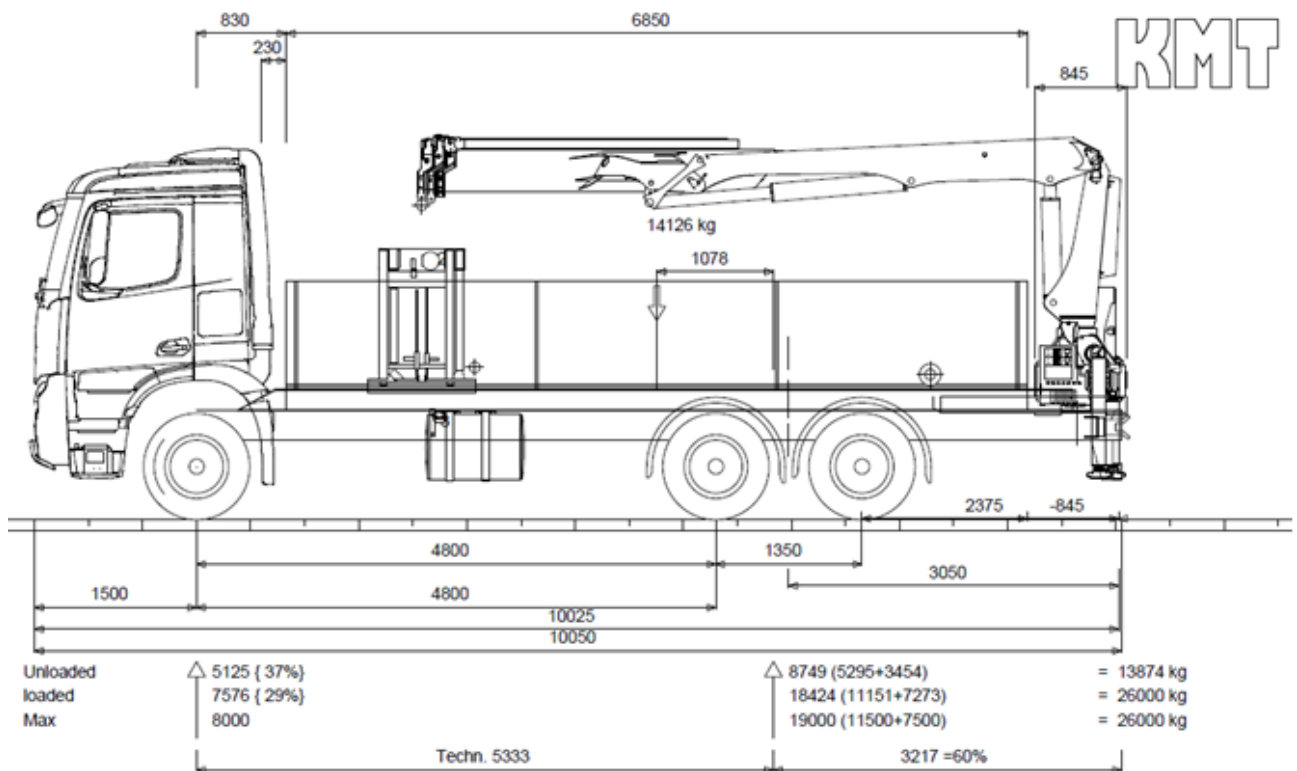
- automobilis - Mercedes-Benz Arocs 2542L 6x2 Euro 6;
- vairuotojo kabina F1A;
- kuro bako talpa 250 ltr;
- automobilio masės kategorija 27000 kg;
- priekinė ašies maksimali apkrova 8000 kg;
- galinių ašių maksimali apkrova 19000 kg;
- automobilio tarpuašis 4800 mm (1350 mm);
- kėbulo ilgis 6850 mm;
- kėbulo pradžia nuo galinės ašies 830 mm;
- galinė rėmo iškiša 3050 mm;
- hidraulinis kranas-manipulatorius – PK20.501L;
- kranų montavimo vieta galinėje dalyje;
- kranų atramos nukreiptos į galinę automobilio dalį;
- paralelinis palečių griebtuvas- Kinshofer M33-02A;

- porėmio aukštis 160mm;
- bortų aukštis 800mm;
- kėbulo su porėmiu svoris 100kg/1m.

Suvedus į programą visus reikalingus duomenis, programa apskaičiuoja:

- automobilio ašių apkrovas be krovinių;
- automobilio ašių apkrovas su kroviniu;
- priekinės ašies apkrovos procentinę išraišką esant nepakrautam automobiliui;
- priekinės ašies apkrovos procentinę išraišką esant pakrautam automobiliui;
- likusį automobilio krovumą;
- krovinio kėbule masės centro koordinatas.

Visi suvesti ir gauti duomenys pavaizduoti 3.1 paveikslėlyje.



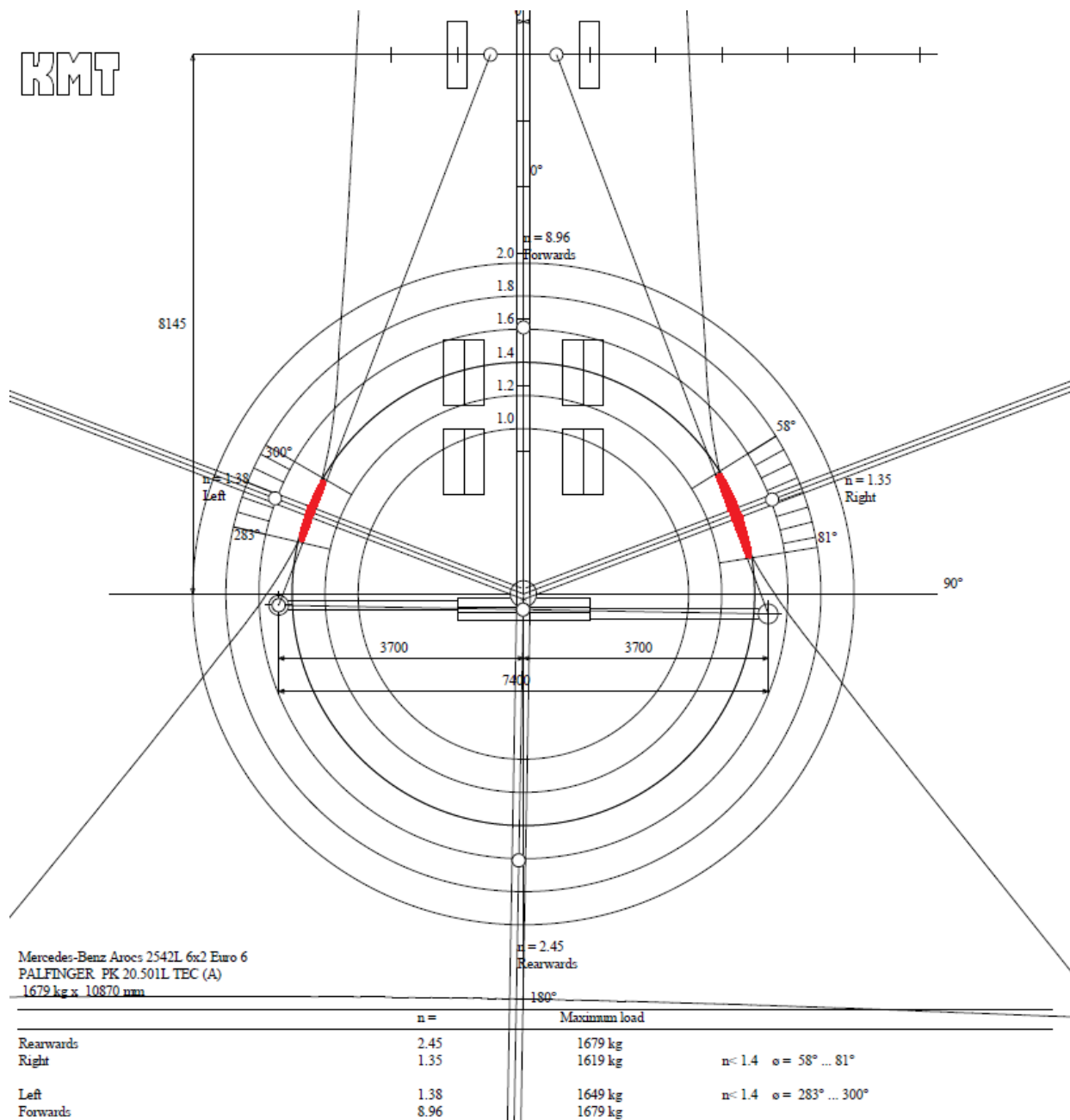
Mercedes-Benz Arocs 2542L 6x2 Euro 6 4800+1350 V1W F1B M3A 26000kg

3.1 pav. TrailerWin programoje suvesti bei gauti duomenys

Sumodeliavus automobilį, kuris tenkina krovumą, ašių apkrovas bei kitus parametrus, įjungiamas CraneWin įrankis ir tikrinamas automobilio stovumas dirbant su hidrauliniu kranu–manipuliumi.

TrailerWin programos įrankis CraneWin automobilio stovumą skaičiuoja pagal 1.5 skyriuje pateiktas formules.

Programos įrankiui suskaičiuotus automobilio stovumą, nubraižoma stovumo diagrama pavaizduota 3.2 paveikslėlyje.



3.2 pav. CraneWin įrankyje suskaičiuotas automobilio stovumas

CraneWin įrankio nubraižytoje stovumo diagramoje matyti (raudonai pažymėtos vietos), kad automobilio stovumas nėra pakankamas. Automobiliams su hidrauliniiais kranais–manipulatoriais minimalus stovumo koeficientas turi būti ne mažesnis kaip 1,4. Nepakankamas stovumo koeficientas yra automobilio šonuose. Dešinėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra 1,35, o kairėje automobilio pusėje - 1,38. Automobilio stovumo koeficientas skiriasi, nes hidraulinio kran-

manipulatoriaus sukimosi centras nesutampa su automobilio išilgine centrine plokštuma. Automobilio stovumas krovinį keliant priekinėje automobilio dalyje yra pakankamas ir siekia 8,96. Automobilio stovumas krovinį keliant galinėje automobilio dalyje yra pakankamas ir siekia 2,45.

Automobilio stovumo koeficiento pagal krano posūkio kampą reikšmės pateiktos 3.1 lentelėje.

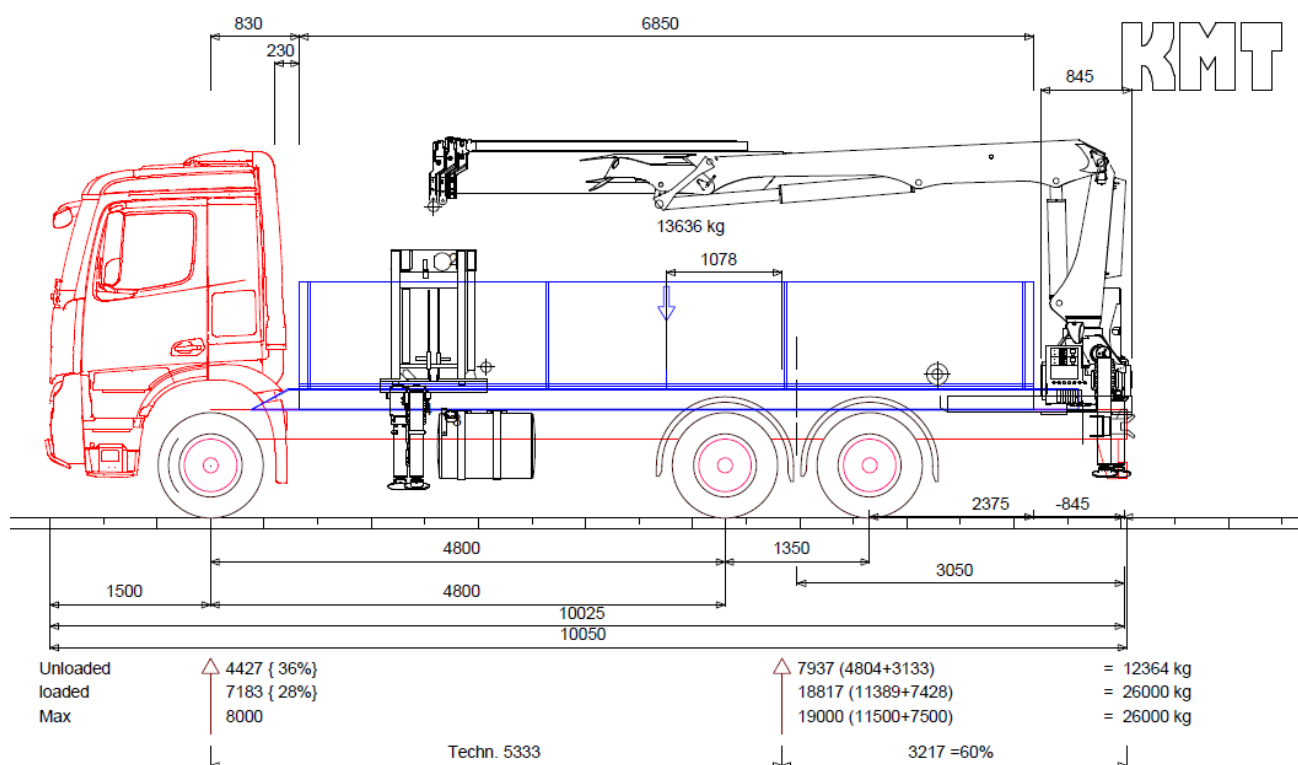
3.1 lentelė. Automobilio stovumo koeficientas pagal krano posūkio kampą

Kairė automobilio pusė		Dešinė automobilio pusė	
Strėlės kampas	Atsargos koeficientas	Strėlės kampas	Atsargos koeficientas
279	1,8	58	1,4
280	1,7	59	1,39
281	1,6	60	1,39
282	1,5	61	1,38
283	1,4	62	1,38
284	1,395	63	1,38
285	1,395	64	1,37
286	1,39	65	1,37
287	1,39	66	1,37
288	1,385	67	1,36
289	1,385	68	1,36
290	1,38	69	1,35
291	1,38	70	1,35
292	1,385	71	1,36
293	1,385	72	1,36
294	1,39	73	1,37
295	1,39	74	1,37
296	1,392	75	1,37
297	1,393	76	1,38
298	1,395	77	1,38
299	1,395	78	1,38
300	1,4	79	1,39
301	1,6	80	1,39
302	1,7	81	1,4

Dešinėje automobilio pusėje, kur automobilio stovumo koeficientas yra 1,35 su krano esant didžiausiam krano siekiui kėlimo galią reikia apriboti nuo 1640 kg iki 1581 kg, tai sudaro 3,6% keliamosios galios.

Kairėje automobilio pusėje, kur automobilio stovumo koeficientas yra 1,38 su krano esant didžiausiam krano siekiui kėlimo galią reikia apriboti nuo 1640 kg iki 1616 kg, tai sudaro 1,5% keliamosios galios.

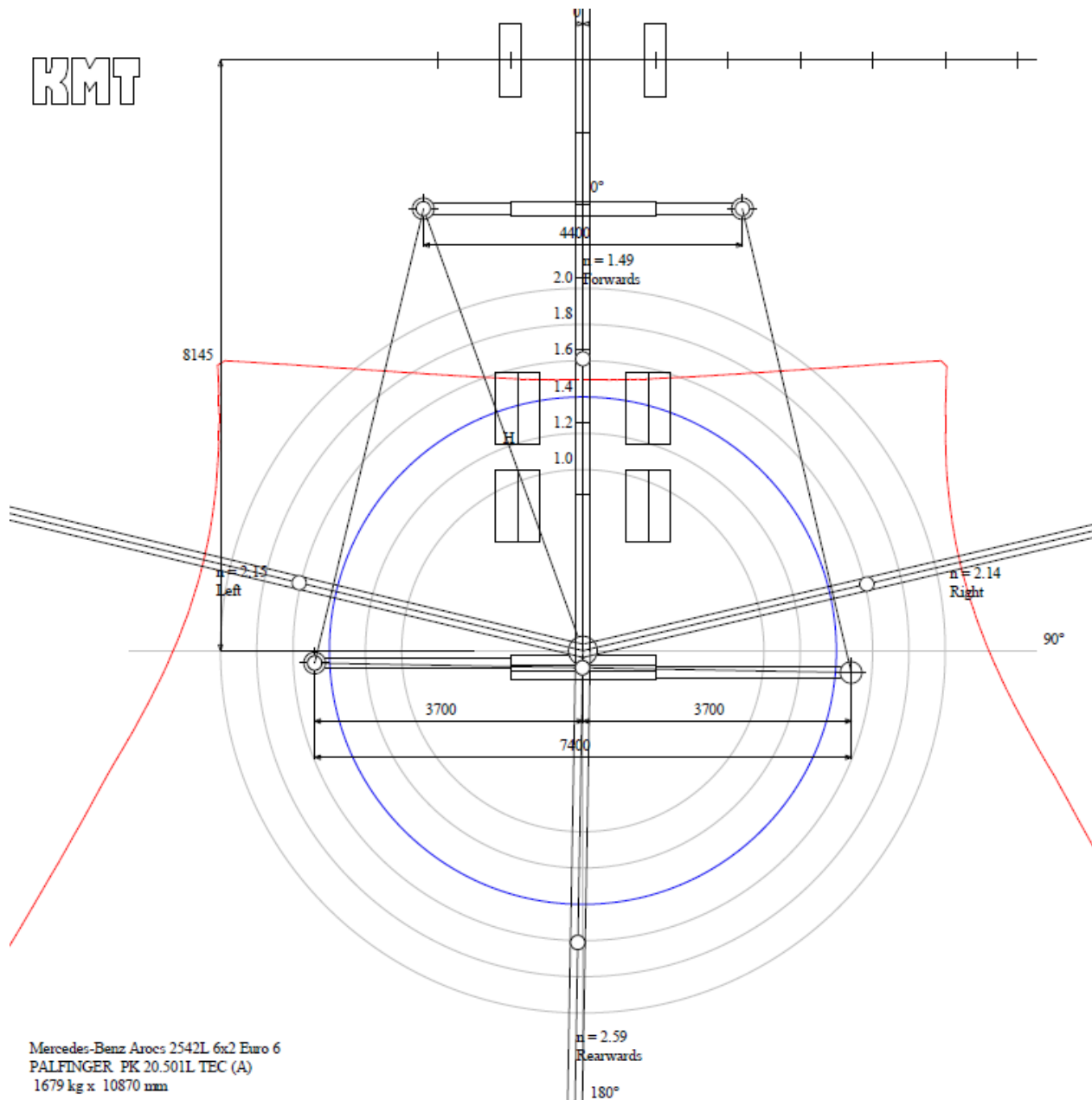
Automobilio stovumą užtikrinti neprogramuojant hidraulinio krano–manipulatoriaus galima sumontavus automobilio viduryje papildomas hidraulines atramas. TrailerWin programoje automobilis su pridėtomis papildomomis hidraulinėmis atramomis pavaizduotas 3.3 paveikslėlyje.



3.3 pav. TrailerWin programoje automobilis su pridėtomis papildomomis hidraulinėmis atramomis

Pridėjus papildomas atramas automobilio viduryje, automobilio krovumas sumažėjo nuo 14126 kg iki 13636 kg, tai yra 490 kg. Ašių apkrovos išlieka tinkamos eksploatuoti automobilį. Automobilio stovumas pridėjus papildomas atramas pavaizduotas 3.4 paveikslėlyje.





3.4 pav. CraneWin įrankyje suskaičiuotas automobilio stovumas su papildomomis atramomis

CraneWin įrankio nubraižytoje stovumo diagramoje matyti, kad automobilis su sumontuotomis papildomomis atramomis stovus visomis strėlės kryptimis. Priekinėje automobilio dalyje stovumo koeficientas  $1,49$ . Dešinėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra  $2,14$ . Automobilio galinėje dalyje koeficientas yra  $2,59$ . Kairėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra  $2,15$ .

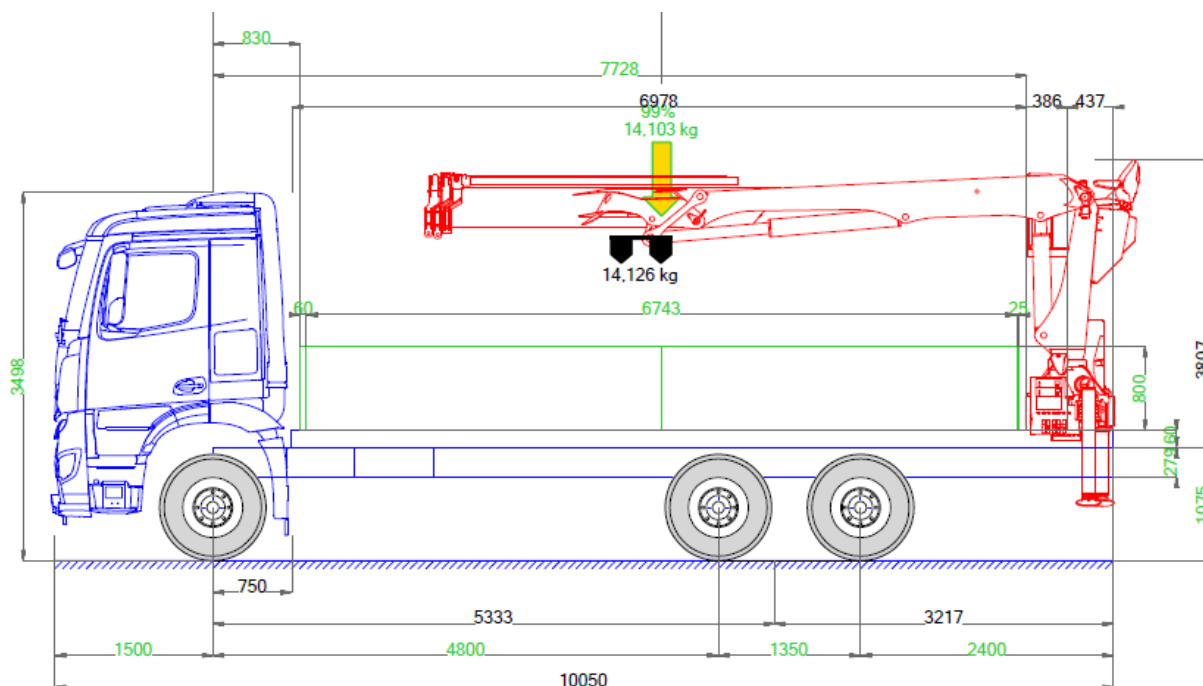
### 3.2 Stovumo skaičiavimai PACWIN programa

PACWIN programa yra oficiali hidraulinių kranų–manipuliatorių gamintojo Palfinger programinė įranga. Su šia programa, kaip ir Trailerwin bei CraneWin programomis, galima modeliuoti automobilio porėmio, kėbulo matmenis bei hidraulinio krano-manipulatoriaus vietą [1].

#### 3.2.1 PACWIN programoje sumodeliuotas automobilis, suskaičiuotas automobilio stovumas

PACWIN programoje suvedami tie patys automobilio duomenys, kurie buvo suvesti į CraneWin programą.

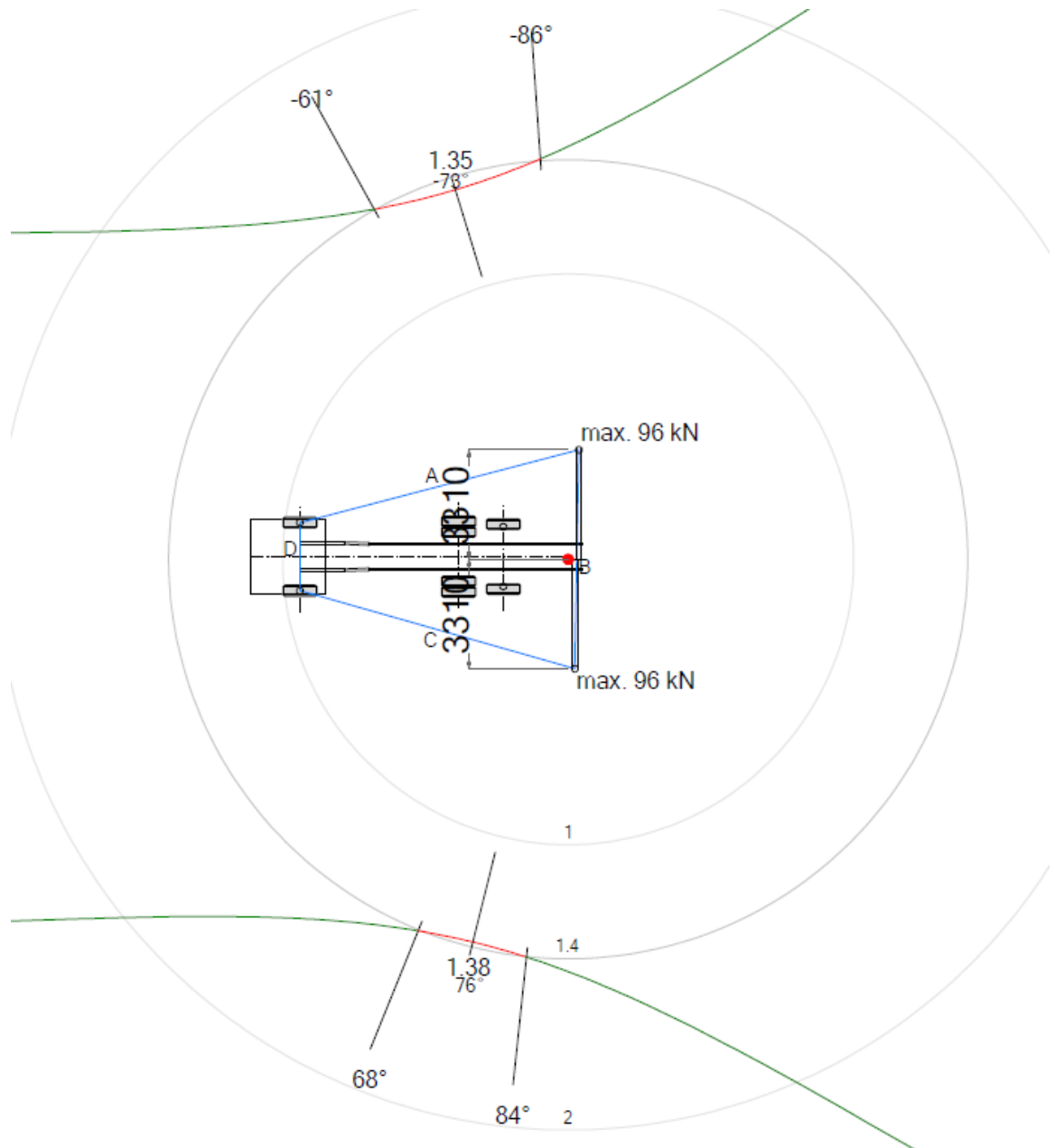
Automobilis su hidrauliniu kranu–manipulatoriumi nubraižytas PACWIN programoje pavaizduotas 3.5 paveikslėlyje.



3.5 pav. PACWIN programoje nubraižytas automobilis

Automobilio matmenys analogiškai TrailerWin programoje suvestiems matmenims. Automobilis gali vežti tokį patį krovinį, kuris sveria 14126 Kg. Ašių apkrovos analogiškos TrailerWin programoje suskaičiuotoms apkrovoms.

Automobilio stovumo diagrama PACWIN programoje pavaizduota 3.6 paveikslėlyje.



3.6 pav. PACWIN programoje nubraižyta automobilio stovumo diagrama

PACWIN programoje nubraižytoje stovumo diagramoje matyti (raudonai pažymėtos vietos), kad automobilio stovumas nėra pakankamas. Pagal standartus automobiliams su hidrauliniiais kranais-manipulatoriais minimalus stovumo koeficientas yra  $1.4$ . Automobilio stovumas krovinį keliant priekinėje automobilio dalyje yra pakankamas ir siekia  $8.95$ . Automobilio stovumas krovinį keliant galinėje automobilio dalyje yra pakankamas ir siekia  $2.46$ . Automobilio stovumo koeficientas automobilio šonose skiriasi, nes hidraulinio kranų-manipulatoriaus sukimosi centras nesutampa su automobilio išilginio centrine plokštuma. Dešinėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra  $1.35$ , o kairėje automobilio pusėje -  $1.38$ .

PACWIN programoje hidraulinio kranų-manipulatoriaus strėlės posūkio kampai dalijami į dvi dalis po  $180$  laipsnių. Dešinėje automobilio pusėje yra neigiamos reikšmės, o kairėje automobilio pusėje yra teigiamos reikšmės.

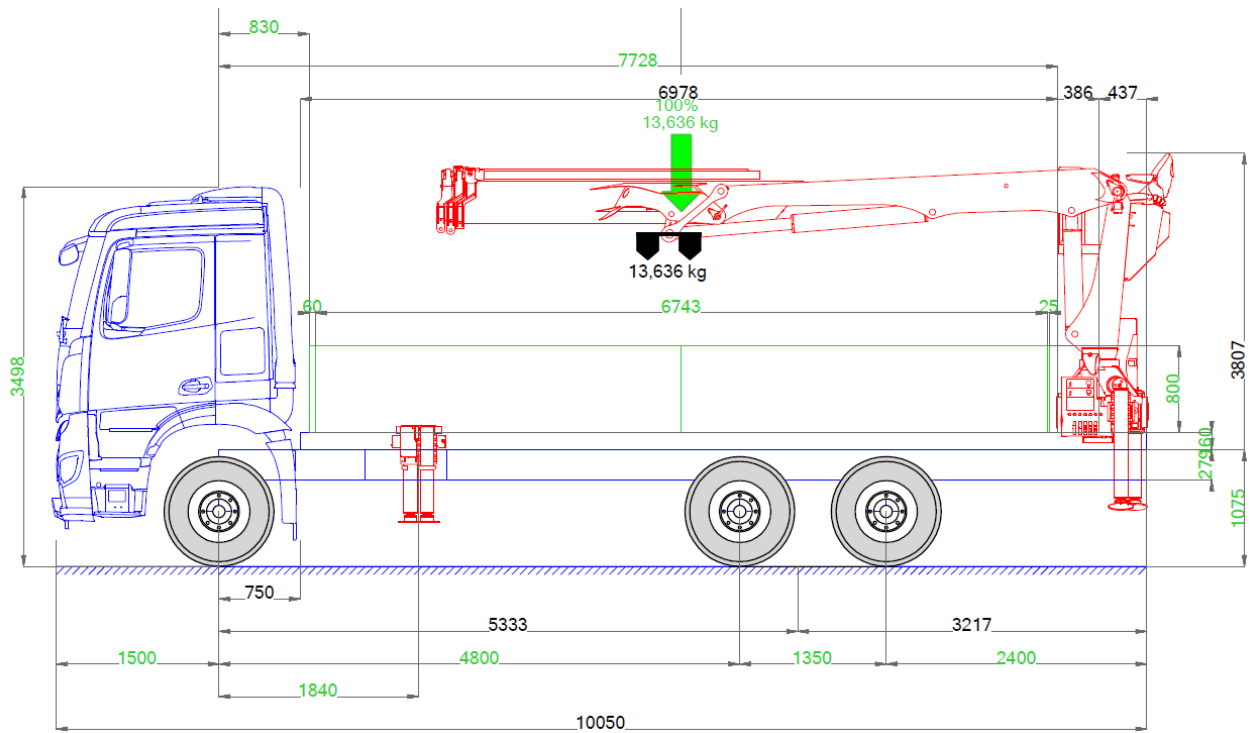
Automobilio stovumo koeficiento pagal krano posūkio kampą reikšmės pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Automobilio stovumo koeficientas pagal krano posūkio kampą

Kairė automobilio pusė		Dešinė automobilio pusė	
Strėlės kampas	Atsargos koeficientas	Strėlės kampas	Atsargos koeficientas
63	2,0	-61	1,4
64	1,8	-62	1,395
65	1,7	-63	1,39
66	1,6	-64	1,39
67	1,5	-65	1,38
68	1,4	-66	1,38
69	1,395	-67	1,38
70	1,395	-68	1,37
71	1,39	-69	1,37
72	1,39	-70	1,37
73	1,385	-71	1,36
74	1,385	-72	1,36
75	1,38	-73	1,35
76	1,38	-74	1,35
77	1,385	-75	1,36
78	1,385	-76	1,36
79	1,39	-77	1,37
80	1,39	-78	1,37
81	1,392	-79	1,37
82	1,393	-80	1,38
83	1,395	-81	1,38
84	1,4	-82	1,38
85	1,6	-83	1,39
86	1,7	-84	1,39
87	1,9	-85	1,395
88	2.2	-86	1,4

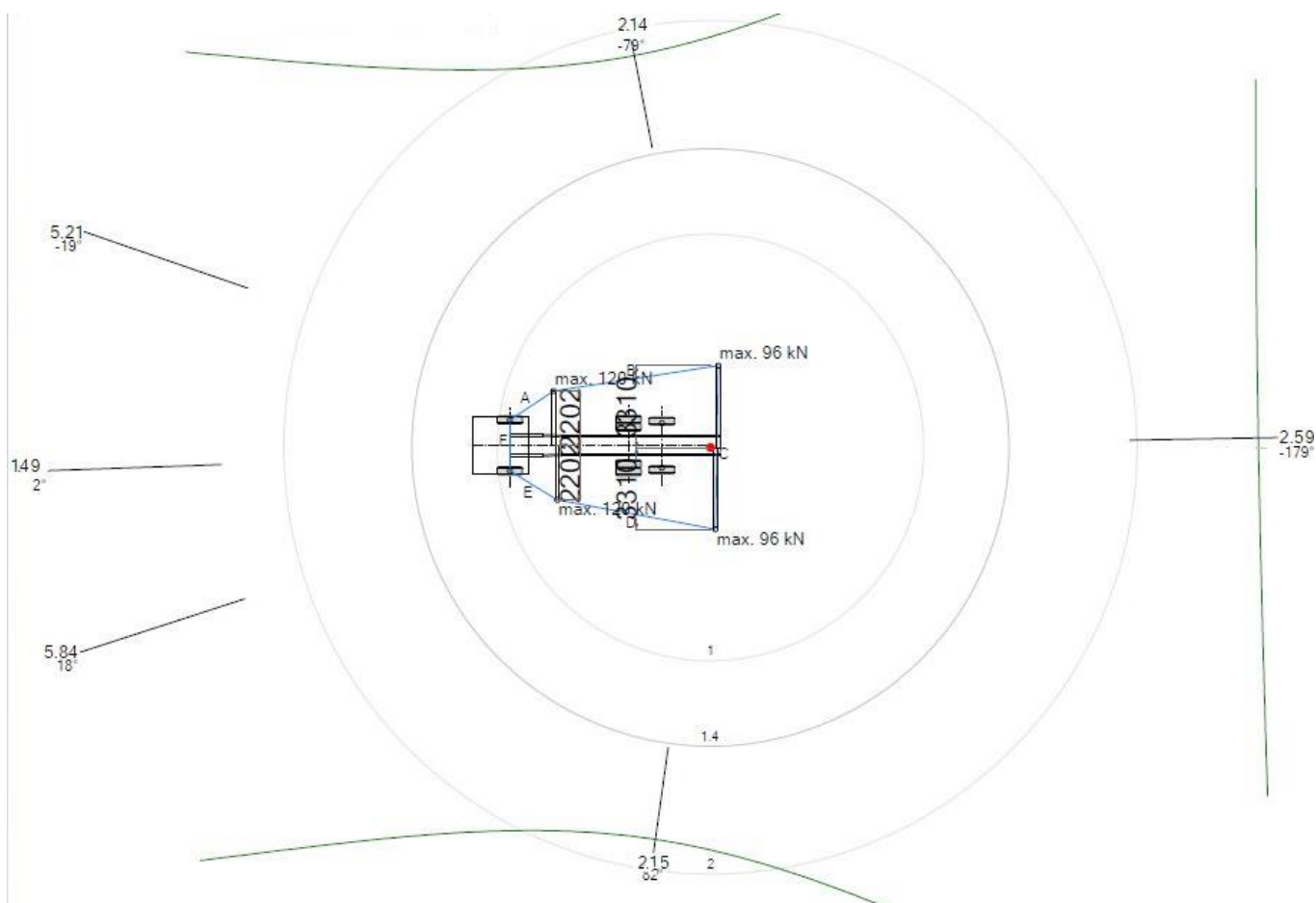
Kaip ir CraneWin programoje, dešinėje automobilio pusėje, kur automobilio stovumo koeficientas yra 1,35, krano keliamąją galią reikia sumažinti 3,6%, o kairėje automobilio pusėje, kur automobilio stovumo koeficientas yra 1,38, krano keliamąją galią reikia sumažinti 1,5 %.

Automobilio stovumą užtikrinti neprogramuojant hidraulinio krano–manipulatoriaus galima sumontavus automobilio viduryje papildomas hidraulines atramas. PACWIN programoje automobilis su pridėtomis papildomos hidraulinėmis atramomis pavaizduotos 3.7 paveikslėlyje.



3.7 pav. PACWIN programoje suskaičiuotas automobilio stovumas su papildomomis atramomis

Pridėjus papildomas atramas automobilio viduryje, automobilio krovumas sumažėjo nuo 14126 kg iki 13636 kg, tai yra 490 kg. Ašių apkrovos išlieka tinkamos eksploatuoti automobilį. Automobilio stovumas pridėjus papildomas atramas pavaizduotas 3.8 paveikslėlyje.



3.8 pav. PACWIN programoje suskaičiuotas automobilio stovumas su papildomomis atramomis

PACWIN programoje nubraižytoje stovumo diagramoje matyti, kad automobilis su sumontuotomis papildomomis atramomis stovus visomis strėlės kryptimis. Priekinėje automobilio dalyje stovumo koeficientas yra *1,49*. Kairėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra *2,15*. Dešinėje automobilio pusėje stovumo koeficientas yra *2,14*. Automobilio galinėje dalyje koeficientas yra *2,59*.

### 3.3 Stovumo skaičiavimo programų palyginimas

TrailerWin ir PACWIN programose buvo parinktas identiški automobiliai. Automobilio galinėje dalyje sumodeliuotas identiškas hidraulinis kranas–manipulatorius. Visi pagrindiniai automobilio ir krano matmenys analogiški. Gautas vienodos pakrauto ir nepakrauto automobilio ašių apkrovos. Identiškas automobilio krovumas. Suskaičiavus automobilio su kranu stovumą, automobilio priekyje, gale ir abiejuose šonuose gautas identiškas stovumo koeficientas.

Skirtumas tarp automobilio stovumo suskaičiavus jį su skirtingomis programomis:

- dešinėje automobilio pusėje stovumo koeficientas pagal strėlės kampą yra vienodas, tik persislinkęs per 3 laipsnius. TrailerWin programoje lankas, kuriame stovumo koeficientas neatitinka 1,4 yra 24 laipsniai, prasideda ties 58 laipsniais. PACWIN programoje lankas yra 26 laipsniai, prasideda ties 61 laipsniu;
- kairėje automobilio pusėje stovumo koeficientas pagal strėlės kampą yra vienodas, tik persislinkęs per 5 laipsnius. TrailerWin programoje lankas, kuriame stovumo koeficientas neatitinka 1.4 yra 16 laipsnių, prasideda ties 74 laipsniais nuo automobilio priekio. PACWIN programoje lankas yra 15 laipsniai, prasideda ties 69 laipsniais.

Programiškai išplečiant stovumo lanko ribas, kad naujai sukurtas lankas uždengtų abiejų programų lankus, bus išlygintas stovumo koeficientų netolygumas ir užtikrintas 1,4 stovumo koeficientas.

Kad stovumo koeficientas būtų užtikrintas, programuojant kraną galima kėlimo galią sumažinti 4% dešinėje automobilio pusėje ir 2% kairėje auomobilio pusėje. Taip būtų padidintas automobilio stovumo skaičiavimo programų patikimumas.

#### 4 AUTOMOBILIO STOVUMO EKSPERIMENTINIAI BANDYMAI

Ekspimentiniai stovumo bandymai atliekami visiems naujai pagamintiems krovininiams automobiliams su hidrauliniiais kranais–manipulatoriais. Bandymai atliekami pagal pirmoje dalyje aprašytus standartus ir principus.

Ekspimentinių bandymų metu, jeigu automobilis nestovus, atliekamas krano kėlimo galios programavimas pagal strėlės kampą. Automobilis ekspimentinių bandymų metu su pakabintu kroviniu pavaizduotas 4.1 paveikslėlyje.



4.1pav. Automobilis natūrinių bandymų metu

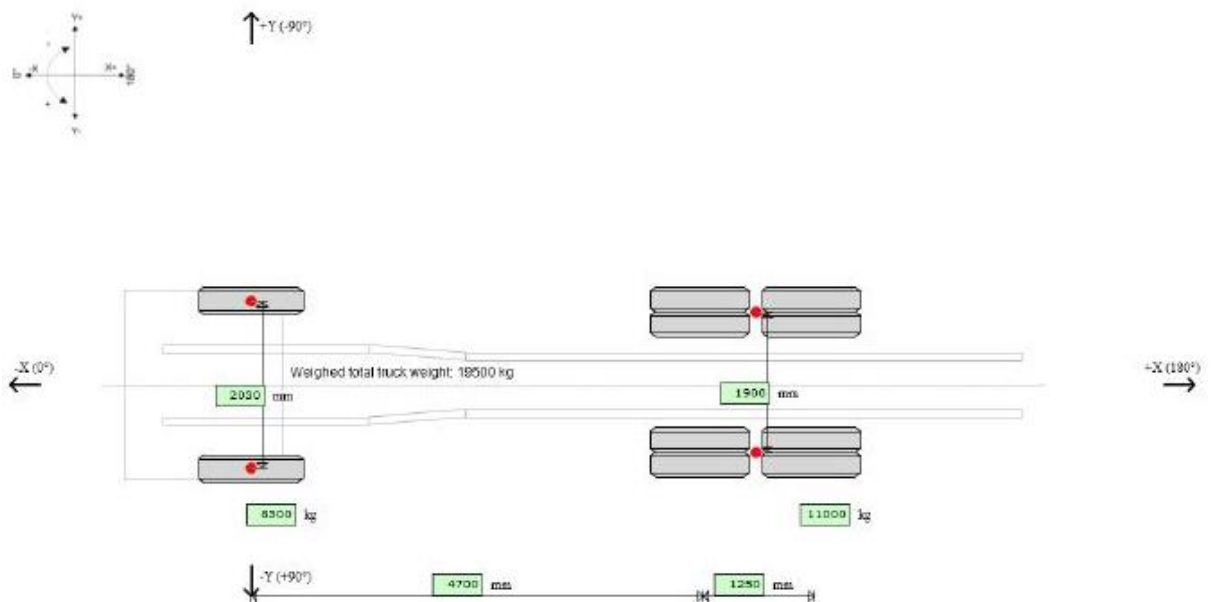


## 4.1. Krano programavimas natūrinių bandymų metu

Palfinger kranų programavimui eksperimentinių bandymų metu reikia sukurti failą, kuris bus naudojamas programai sukurti. Failas sukuriamas prisijungus prie Palfinger internetinio puslapio. Pirmajame internetinio puslapio lange yra pasirenkamas automobilis bei suvedama automobilio informacija:

- automobilio ašių skaičius;
- tarpašinis atstumas;
- automobilio priekinė bei galinė tarpvežės;
- automobilio masė.

Pasirinkus visus duomenis gaunamas išvesties brėžinys suvestai informacijai patikrinti. Pirmasis programavimo langas pavaizduotas 4.2 paveikslėlyje.



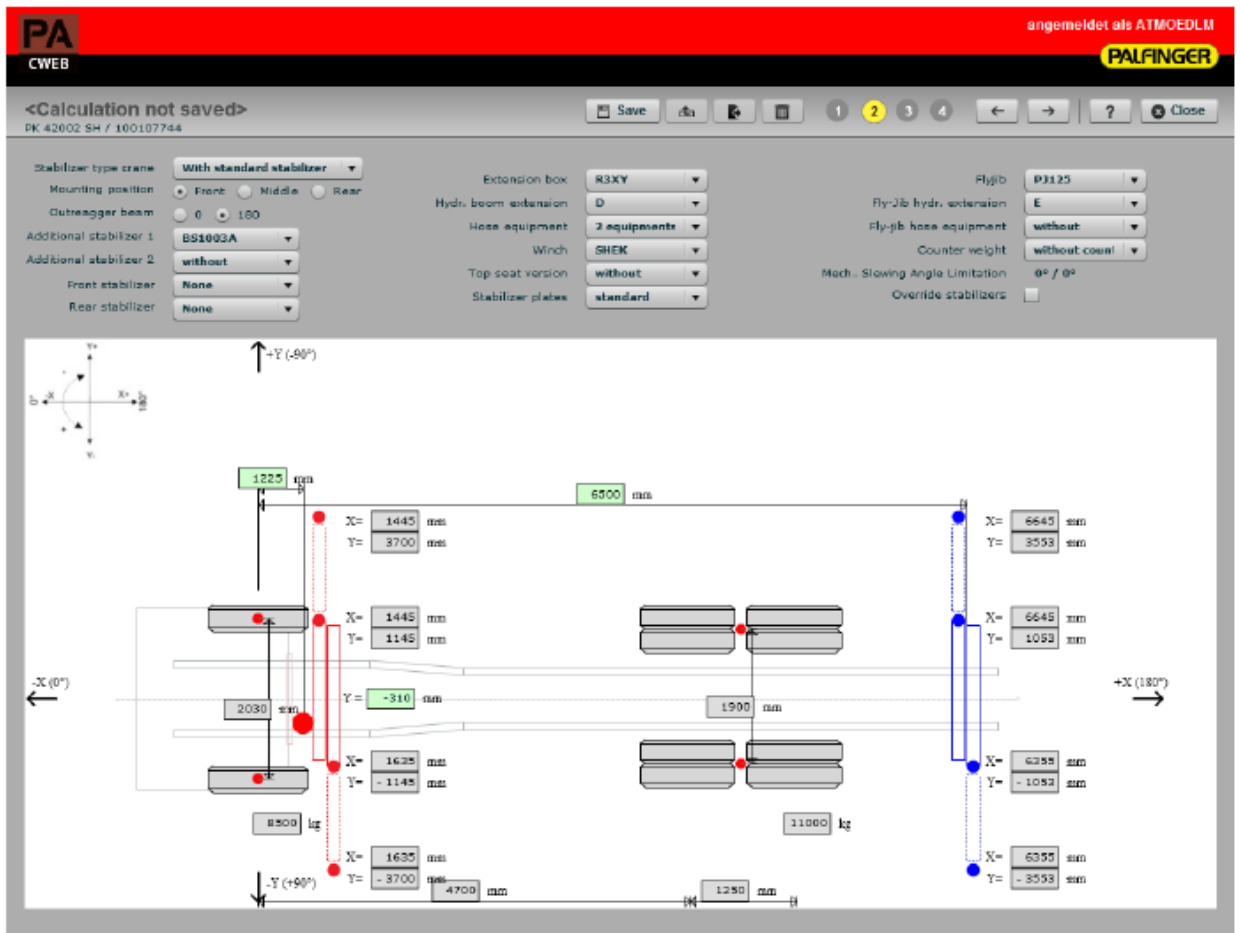
4.2 pav. Pirmasis programavimo langas su automobilio duomenimis

Antrajame programavimo lange suvedami duomenys apie ant automobilio montuojamą kraną:

- hidraulinio kranų–manipulatoriaus montavimo vieta;
- kranų atramų padėtis bei modifikacija;

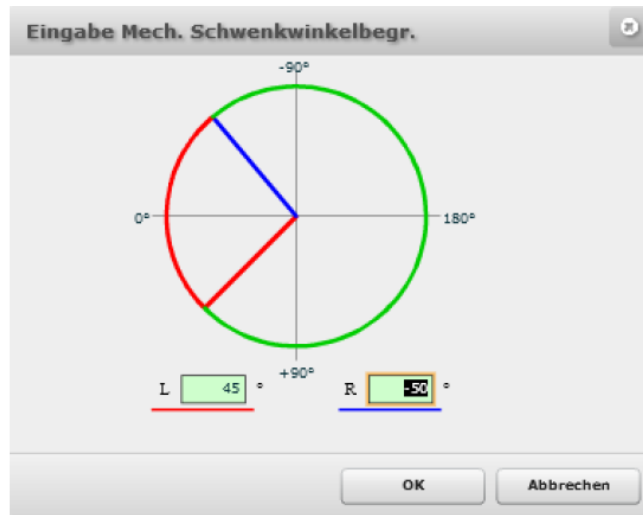
- papildomos atramos, jeigu tokios sumontuotos;
- hidraulinio krano–manipulatoriaus komplektacija.

Antrasis programos langas su įvestais duomenimis bei išvesties brėžiniu pavaizduotas 4.3 paveikslėlyje.



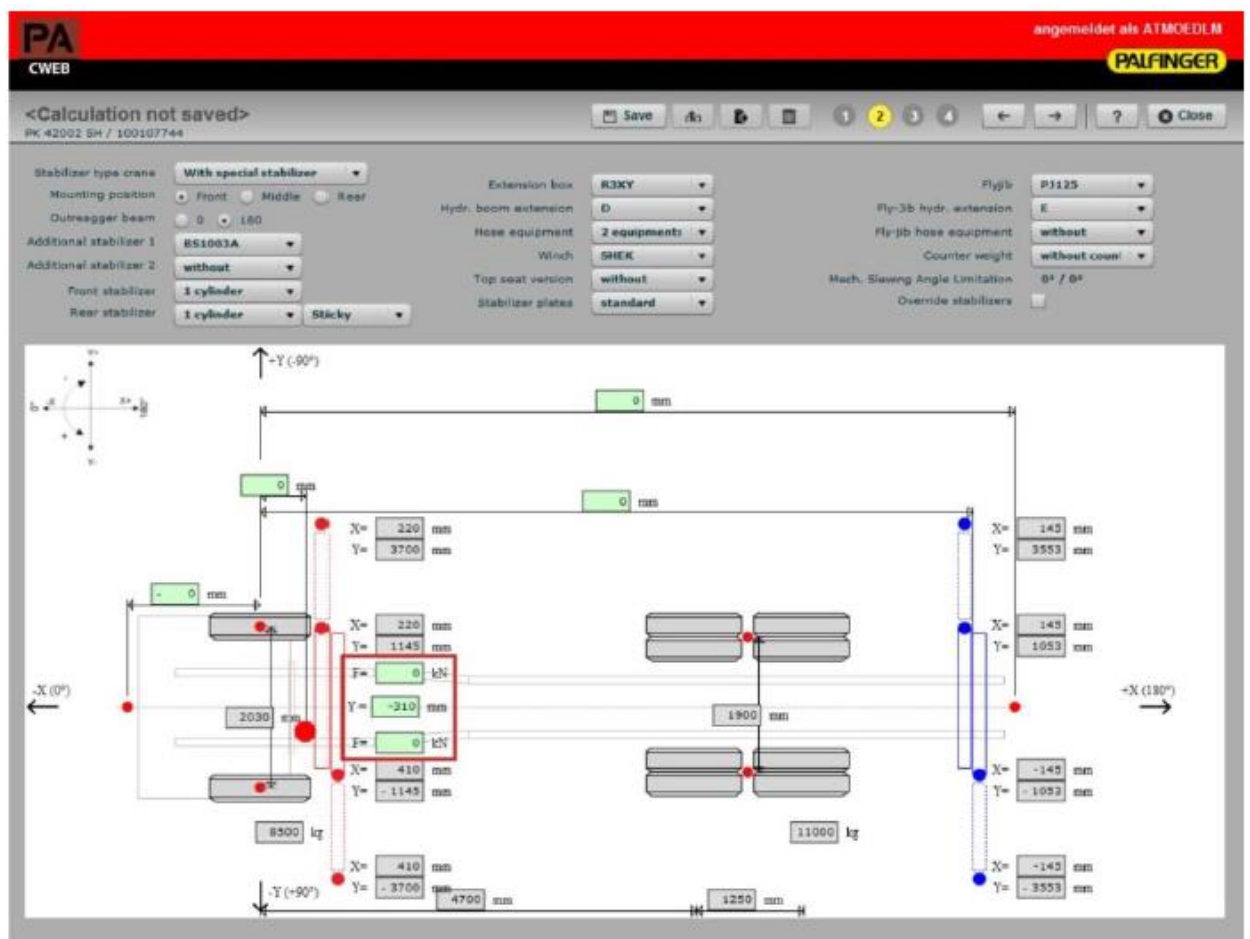
4.3 pav. Antrasis programavimo langas su hidraulinio krano-manipulatoriaus duomenimis

Suvedus hidraulinio krano–manipulatoriaus duomenis, galima uždrausti dirbti su kraniu tam tikrose strėlės padėtyse, pavyzdžiui, virš vairuotojo kabinos. Norint uždrausti dirbti su kraniu virš vairuotojo kabinos, po antrojo programavimo lango užpildymo atsiradusiame naujame lange suvedami strėlės kampo laipsniai į abi automobilio puses, kuriuose krano galia bus apribota iki minimumo. Atsiradęs langas pavaizduotas 4.4 paveikslėlyje.



4.4 pav. Atsiradęs langas krano keliamajai galiai apriboti virš vairuotojo kabinos

Antrajame programavimo lange suvedami duomenys apie papildomų atramų, jeigu jos yra sumontuotos, maksimalias apkrovas bei atramų koordinates. Eksperimente naudojamam automobiliui nesumontuotos papildomos atramos, todėl šiame lange nėra pildoma informacija. Papildomų atramų programavimo lange pavyzdys pateiktas 4.5 paveikslėlyje.



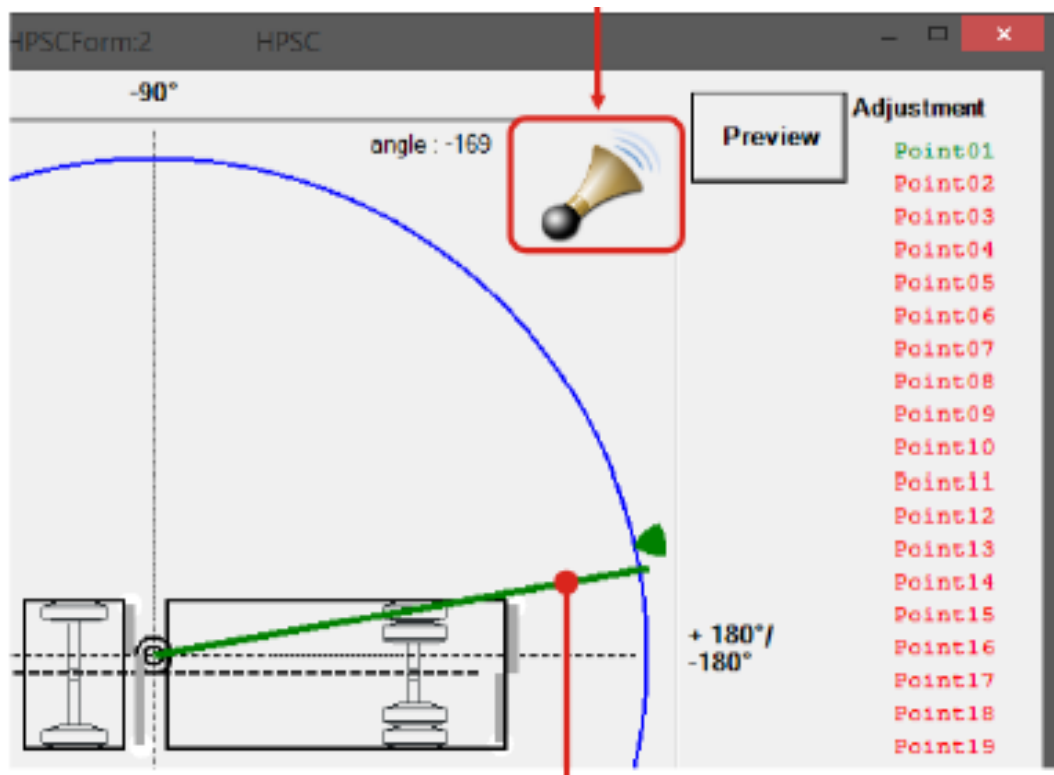
4.5 pav. Automobilis su papildomomis atramomis

Suvedus visus reikiamus automobilio, hidraulinio krano–manipulatoriaus bei papildomų atramų duomenis, sukuriamas PAW failas, kuris bus naudojamas hidraulinio krano–manipulatoriaus programavimui.

Ijungiamas krano programavimo įrankis Paldiag, kuriuo yra atidaromas PAW failas. Įjungus krano programavimą, programa rodo, kuria kryptimi reikia nusukti krano strėlę bei kokį krovinį pakabinti programavimui. Automobilio programavimas vyksta etapais:

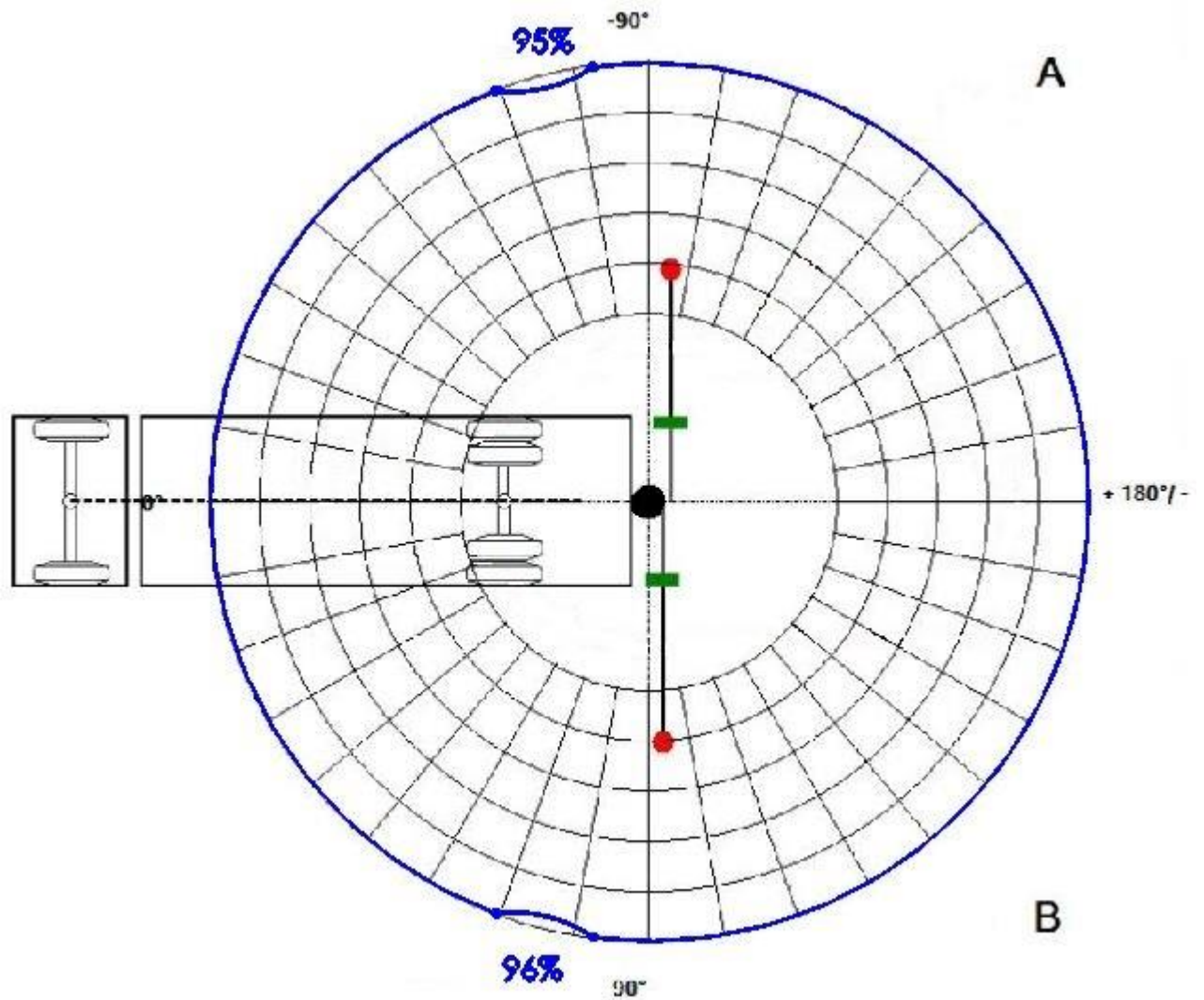
1. krovinys keliamas neatrėmus krano atramų;
2. krovinys keliamas atrėmus krano neišskleistas krano atramas;
3. krovinys keliamas su pusiau išskleistomis krano atramomis;
4. krovinys keliamas su pilnai ištiesta krano atrama.

Krano strėlę atsukus reikiamu kampų, programa įjungia krano signalą - šioje vietoje ant strėlės kabinamas krovinys. Paldiag programavimo aplinka pavaizduota 4.6 paveikslėlyje.



4.6 pav. Pirmasis krano programavimo taškas, kuriame keliamas krovinys

Kai krovinys pakeliamas visuose taškuose, išsaugomi programos duomenys. Kranas yra suprogramuotas bei atitinka standartuose nustatytą stovumo koeficientą. Atlikus krano programavimo darbus, sugeneruojama krano kėlimo diagrama pavaizduota 4.7 paveikslėlyje.



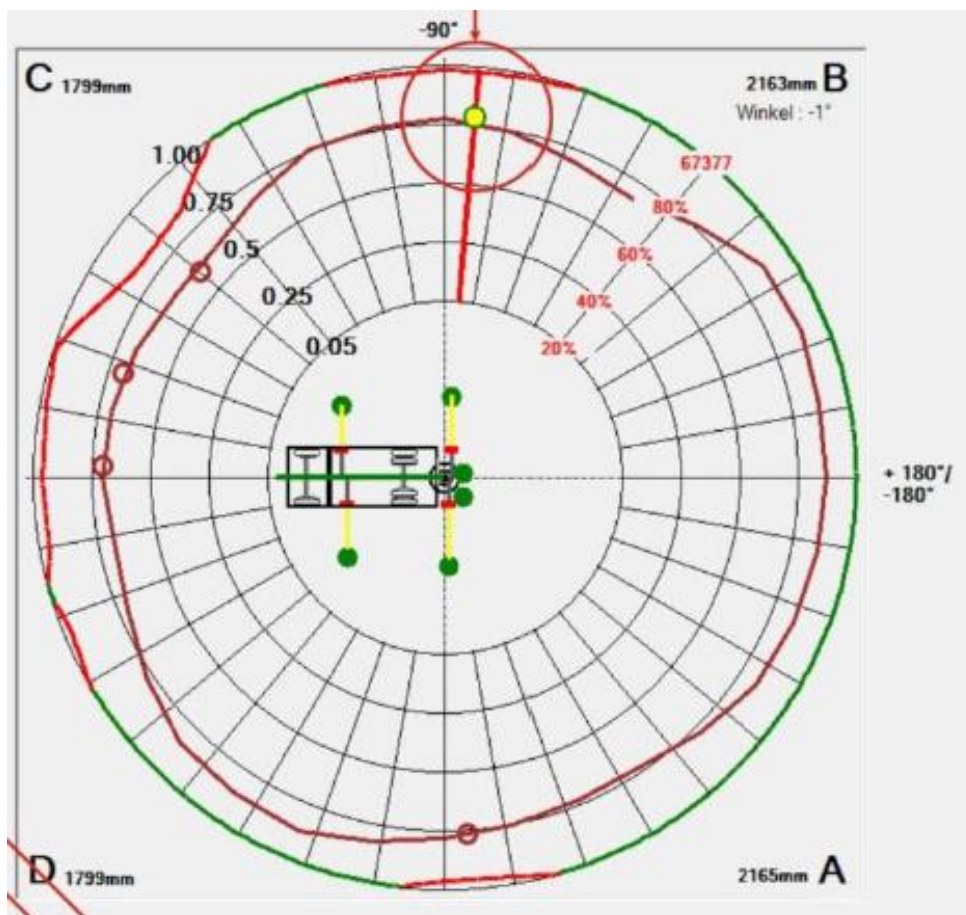
4.7pav. Krano kėlimo diagrama

Natūriniais bandymais gautoje krano kėlimo diagramoje dešinėje automobilio pusėje, kėlimo galia apribota 5%, o kairėje pusėje - 4%. Priekinėje ir galinėje automobilio dalyje krano keliamoji galia 100%.

Palfinger hidrauliniai kranai turi HPLS funkciją, kuri krano keliamąją galią padidina 10%. Kai krano keliamoji galia yra padidinama, automatiškai sumažinamas krano darbinis greitis, kad nebūtų viršijamas dinaminis stovumo koeficientas.

Programavimas gali būti atliekamas ir su papildomais kontra svoriais, kad nebūtų ribojama kranų keliamoji galia. Kontra svoriai reikalingi, kai automobilis naudojamas ne tik krovinių pervežimams su pasikrovimu - išsikrovimu, bet ir statybos darbams atlikti. Svoris pakrautas į automobilio kėbulą ir pajungtas prie kranų kompiuterio. Su šiuo svoriu automobilio stabilizuojantis momentas padidėja, todėl automobilis įgauna geresnį stovumą. Pajungus kontra svorį, programavimas atliekamas iš naujo. Kėlimo diagramos pavyzdys, kai automobilis suprogramuotas be papildomo kontra svorio ir su juo pavaizduotas 4.8 paveikslėlyje. Vidinė linija paveikslėlyje rodo kranų kėlimo galią, kai nėra pajungtas į automobilio kėbulą įdėtas kontra svoris. Išorinė kėlimo diagramos linija rodo kranų kėlimo galią, kai į automobilio kėbulą yra įdėtas ir pajungtas kranų kontrastvoris. [1]

Bandytame automobilyje, nėra suprogramuoti kontrastvoriai.



4.8pav. Kranų kėlimo diagrama be kontra svorio ir su kontra svoriu

Pabaigus kranų programavimo darbus, kai yra paleista kėlimo galios ribojimo programa, kranų darbas ir automobilio stovumas dar kartą patikrinamas visuose strėlės kampuose.

## 5 PROGRAMIŠKAI IR NATŪRINIAIS KĖLIMO BANDYMAIS SUDARYTŲ KĖLIMO DIAGRAMŲ PALYGINIMAS

Palyginus CraneWin ir PACWIN programomis gautas hidraulinio krano-manipulatoriaus kėlimo galios diagramas, stovumo koeficientui užtikrinti reikia mažinti kėlimo galią. Dešinėje automobilio pusėje pagal gautus programų duomenis kėlimo galia turi būti sumažinta 4%. Kairėje automobilio pusėje kėlimo galia turi būti sumažinta 2%. Priekinėje ir galinėje automobilio dalyje krano keliamosios galios apriboti nereikia. Taikant šiuos apribojimus, pagal programų duomenis būtų užtikrintas  $1,4$  stovumo koeficientas visose strėlės kryptyse.

Natūriniais kėlimo bandymais sudarytoje krano kėlimo diagramoje dešinėje automobilio pusėje, kad būtų išlaikytas stovumo koeficientas krano kėlimo galia apribota 5%, o kairėje pusėje - 4%. Priekinėje ir galinėje automobilio dalyje krano keliamoji galia 100%. Įvedus šiuos apribojimus visuose strėlės kampuose, automobilio stovumo koeficientas nebus mažesnis kaip  $1,4$ .

Palyginus programomis ir natūriniais kėlimo bandymais sudarytas krano kėlimo galios diagramas, dešinėje automobilio pusėje kėlimo galia skiriasi 1 %, o kairėje automobilio pusėje - 2 %.

Programomis suskaičiuota kėlimo galios diagrama gali skirtis nuo natūriniais bandymais sudarytos diagramos dėl šių priežasčių:

- programos neįvertina vėjo sukeliama vertimo momento;
- programos netinkamai įvertina automobilio rėmo ir porėmio susisukimą apie Y ašį;
- programa priima, kad gruntas, į kurį atremtos atramos, yra idealiai kietas;
- natūriniais bandymams naudojama programa turi papildomą koeficientą stovumui užtikrinti;
- atliekant natūrinius bandymus netiksliai nustatytas automobilio stovumo praradimo momentas

Automobilio stovumo koeficientą nustačius programiškai ir jeigu jis yra nuo  $1,3$  iki  $1,4$ , pirmiausia, stovumo bandymas atliekamas su išjungta kėlimo galios apribojimo programa. Atlikus skaitinius skaičiavimus, kai rezultatai aproboja krano keliamąją galią daugiau nei 10%. Statiniai ir dinaminiai bandymai atliekami su įjungta keliamosios galios apribojimo programa.

Programomis suskaičiuotų kėlimo diagramų tikslumo patikrinimui reikalinga atlikti bandymus, naudojant daugiau automobilių, pakeičiant krano ant automobilio montavimo vietą, krano kėlimo galią bei kitus parametrus. Su didesne bandymų sklaida galima atlikti tikslesnį kėlimo diagramų tyrimą.

## 6 EKONOMINIS PAGRINDIMAS

Krovinio automobilio stovumo užtikrinimui montuojant papildomas hidraulinės atramas, kėbulo gaminimo ir montavimo darai kainuoja daugiau:

- papildomos hidraulinės atramos nagrinėtam automobilio kainuoja apie 5600 €+PVM;
- hidrauliniai komponentai kainuoja apie 300 € +PVM;
- papildomų atramų montavimas kainuoja apie 60 €+PVM;

Automobilio savininkui papildomų atramų sumontavimas, jeigu klientas nenori programuoti mažesnės keliamosios galios, kainuoja apie 6000 €. Taip pat prie šios sumos reikėtų pridėti ir kaštus dėl 500 kg padidėjusios automobilio masės, nes šis svoris padidins automobilio kuro suvartojimą, bei sumažins automobilio maksimaliai galimo vežti krovinio masę.

Krovinio automobilio hidraulinio krano-manipulatoriaus programavimas užtrunka vidutiniškai apie 4 valandas. Krano programavimo darbus atlieka 3 darbuotojai. Vidutinis atlyginimas įmonėje apie 1200 € neatskaičius mokesčių. Įmonei hidraulinio krano–manipulatoriaus programavimas atliekant eksperimentinius bandymus papildomai kainuoja apie 50 € vienam automobiliui.



## IŠVADOS

1. Išanalizavus hidrauliniams kranams-manipulatoriams taikomus ES standartus minimalus automobilio stovumo koeficientas dirbant su kranu yra  $1,4$ . Naujai sumontuotiems hidrauliniams kranams atliekami statiniai bei dinaminiai stovumo bandymai pačioje nepalankiausioje automobilio stovumui strėlės padėtyje. Atliekamas hidraulinio apsauginio perkrovos vožtuvo bandymas.
2. Sudarius hidraulinio krano-manipulatoriaus kėlimo diagramas su PACWIN ir TrailerWin programomis, nustatytas nepakankamas stovumo koeficientas automobilio šonuose. Dešiniajame automobilio šone nustatytas  $1,35$  stovumo koeficientas, todėl šiame šone maksimalią krano keliamąją galią reikia apriboti  $4\%$ . Kairiajame automobilio šone nustatytas  $1,38$  stovumo koeficientas, todėl šiame šone maksimalią krano keliamąją galią reikia apriboti  $2\%$ . Automobilio priekinėje bei galinėje dalyje automobilio stovumo koeficientas yra didesnis už  $1,4$ .
3. Atlikus natūrinius kėlimo diagramos sudarymo bandymus, dešiniajame automobilio šone maksimali krano keliamoji galia buvo apribota  $5\%$ , o kairiajame automobilio šone -  $4\%$ .
4. Natūriniais bandymais sudarytoje krano kėlimo diagramoje maksimali krano keliamoji galia  $1\%$  mažesnė dešinėje ir  $2\%$  kairėje pusėje už programomis sudarytoje krano kėlimo galios diagramoje. Šis skirtumas galėjo susidaryti dėl šių priežasčių:
  - programos neįvertina vėjo sukeliama vertimo momento;
  - programos netinkamai įvertina automobilio rėmo ir porėmio susisukimą apie Y ašį;
  - programa priima, kad gruntas, į kurį atremtos atramos, yra idealiai kietas;
  - natūriniais bandymams naudojama programa turi papildomą koeficientą stovumui užtikrinti;
  - atliekant natūrinius bandymus netiksliai nustatytas automobilio stovumo praradimo momentas.



ger.com%252Farticle%252F10.1007%252F00934931\*~hmac=e920712cee2205ed98b  
cc21a3e296289e7fe1096f1f818d1d79b15047a8b8d5c

10. Lewis Derek, Parker Gordon G. Command Shaping Control of an Operator-in-the-Loop Boom Crane. Michigan Technological University Houghton. 1998 [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.ktu.edu/stamp/stamp.jsp?arnumber=688328>
11. Thesis A., Rishmawi Sima. Tip- over stability analysis of crawler in heavy lifting applications. Gerogia Institute of Technology. 2016 [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/.../RISHMAWI-THESIS-2016.pdf>
12. Arnold E., Sawodny O., Hildebrandt A., Schneider K. Anti –sway system for boom cranes based on an optimal control approach Ihmenau. 2003. [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.ktu.edu/document/1244016/>
13. Ghasempoor A., Sepehri N. A measure of machine stability for moving base manipulators. Canada. 1995 [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.ktu.edu/document/525596/>
14. Heng Li, Neo K.Y. Chan, Martin Skitmore .The use of virtual prototyping to rehearse the sequence of construction work involving mobile cranes. Hong Kong. 2012. [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <http://www.emeraldinsight.com.ezproxy.ktu.edu/doi/abs/10.1108/14714171211272207>
15. Zaretski Anatoli. Calculating stability. 2002.[žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: <http://www.cranestodaymagazine.com/features/calculating-stability/>
16. A. A. Shaikh, Dineesh Kumar. Lifting capacity enhancement of a crawler crane by improving stability. Varšuva. 2016. [žiūrėta 2017-04-09] Prieiga per internetą: [https://www.exeley.com/exeley/journals/journal\\_of\\_theoretical\\_and\\_applied\\_mechanics/54/1/pdf/10.15632\\_jtam-pl.54.1.219.pdf](https://www.exeley.com/exeley/journals/journal_of_theoretical_and_applied_mechanics/54/1/pdf/10.15632_jtam-pl.54.1.219.pdf)
17. bechtel rigging handbook 2nd edition. 2002. [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: <http://www.engineerandbuild.com/Bechtel%20Rigging%20Handbook%202nd%20edition%20Part%201.pdf>
18. Departament of Justice and Attorney-General. Mobile crane. 2006. [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: [https://www.worksafe.qld.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/58175/mobile-crane-cop-2006.pdf](https://www.worksafe.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/58175/mobile-crane-cop-2006.pdf)
19. Mechanical Engineerin Department Carlos III University. Cranes [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/transport-engineering/ingenieria-mecanica/transport-engineering/transparencias/Cranes.pdf>

20. Huasen Liu. Tip-over stability of crawler cranes with moveable counterweights. 2015 [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/274634633\\_tip-over\\_stability\\_of\\_crawler\\_cranes\\_with\\_moveable\\_counterweights](https://www.researchgate.net/publication/274634633_tip-over_stability_of_crawler_cranes_with_moveable_counterweights)
21. Mobile elevating work platforms- Design calculations- Stability criteria- Construction- Safety- Examinations and tests. 2009. [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: [https://www.mewp.de/wp-content/uploads/prEN\\_280\\_2009E.pdf](https://www.mewp.de/wp-content/uploads/prEN_280_2009E.pdf)
22. Yixiatio Qin, Li Zhang, Zhengjun Feng, Chao Zhang. Study of Buckling Stability on Tall Tower Truss Structure with All Loads. 2016. [žiūrėta 2017-04-11] Prieiga per internetą: <http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ijsts.20160404.11.pdf>