



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Raimondas Slapšinskas**

**KROVININIO AUTOMOBILIO STABILUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. Dainius Vaičiulis

**PANEVĖŽYS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**KROVININIO AUTOMOBILIO STABILUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (kodas 621E20001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. Dainius Vaičiulis

(data)

**Recenzentas**

(parašas)

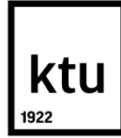
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Raimondas Slapšinskas

(data)

**PANEVĖŽYS, 2016**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

(Fakultetas)

Raimondas Slapšinskas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Krovinio automobilio stabilumo tyrimas“

**AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Raimondo Slapšinsko**, baigiamasis projektas tema „Krovinio automobilio stabilumo 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)

**BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

**Išduota studentui:** Raimondas Slapšinskas **Grupė:** PTM – 4

**1. Darbo tema** patvirtinta 2016 m. kovo mėn. 17 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-8.

Lietuvių kalba: Krovininio automobilio stabilumo tyrimas

Anglų kalba: Research of Cargo Vehicle Stability

**2. Darbo tikslas:**

Ištirti krovininio automobilio stabilumą stabdant ir atliekant posūkių.

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

Nustatyti kokią įtaką krovininio automobilio stabilumui turi vėjas ir krovinys.

**4. Projekto struktūra.** Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį.

Literatūros apžvalga, Tiriamoji dalis, Išvados ir Literatūros sąrašas.

**5. Ši užduotis yra neatskiriama magistro baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas** 2016-06-02  
(data)

Užduotį gavau: Raimondas Slapšinskas 2015-10-04  
(studento vardas, pavardė, parašas) (data)

Vadovas: doc. Dainius Vaičiulis 2015 m. spalio  
(pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)

## Santrauka

Slapšinskas, Raimondas. Kroviniio automobilio stabilumo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: E200 sausumos transporto inžinerija, Technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: *kroviniis automobilis, stabilumas, svorio centro aukštis, trinties koeficientas, elektroninės stabilumo sistemos.*

Panevėžys, 2016. 64 p.

Transporte stabilumas yra vienas svarbiausių veiksnių norint užtikrinti saugumą kelyje. Stabilumas yra svarbus: tiek lengvosioms mašinoms, tiek ir sunkiajam transportui bei motociklams. Šiame baigiamajame magistro darbe didesnę dėmesį skirsime kroviniams automobiliams, jie yra gan didelių gabaritų ir juos išlaikyti stabilus kelyje yra sunkiausia. Literatūros šaltinių apžvalgoje nagrinėjami su kroviniio automobilio stabilumu ir judėjimo dinamika. Pirmiausia supažindinama ir aprašomas veikimo principas elektroninių stabilumo sistemų, tokių kaip ABS, EBD, TCS, ESP. Pasinaudojus matematinėmis formulėmis apskaičiuojamos atramos reakcijos jėgos, kurios veikia su keliu posūkio metu ir apskaičiuojamas kritinis kroviniio automobilio be puspriekabės nevirtimo greitis, esant skirtingiems posūkio spinduliams. Taip pat apskaičiuojamas kritinis neslydimo greitis bei nevirtimo greitis, kroviniio automobilio su puspriekabe, posūkio metu esant skirtingiems sukibimo koeficientams ir svorio centro aukščiams bei posūkio spinduliams, įvertinant ir vėjo įtaką. Apskaičiuojamas kritinis vėjo virtimo greitis esant, skirtingai pakrautam kroviniiam automobiliui ir svorio centro aukščiui bei ratų bazei. Taip pat apskaičiuojamas kritinis vėjo šoninio slydimo greitis, esant skirtingai pakrautam kroviniiam automobiliui ir sukibimo koeficientui su kelio danga bei esant skirtingam kroviniio automobilio šoniniam plotui. Visi duomenys pateikti grafiškai ir parašytos išvados.

## Summary

Slapšinskas, Raimondas. *Research of Cargo Vehicle Stability: Master final work / supervisor doc.*  
Dainius Vaičiulis. Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: E200 land transport engineering, Technological sciences

Key words: *truck, stability, the height center of gravity, coefficient of friction, electronic stability systems.*

Panevėžys, 2016. 64 p.

Transport stability is one of the most important factors ensuring road safety. It is equally important for all means of transport, including, but not limited to - cars, trucks, motorcycles. This thesis is focused on trucks, as they are quite bulky and some of the hardest to keep stable on the road. In literature source review are analysed truck stability and driving dynamics. Firstly, the operation principle of electronic stability systems, such as ABS, EBD, TCS or ESP is introduced and described. Using mathematical formula, were calculated support reaction forces, engaging with the road when turning, the critical truck's without cargo rollover speed with different road turn radiuses. Secondly were calculated the critical truck's with a trailer skid and rollover speeds with varying coefficient of friction and center of gravity height with different road turn radiuses, wind influence being considered. Also was calculated the critical wind skid speed with varying truck weight, center of gravity height and wheel base. Finally was calculated critical lateral wind skid speed with varying truck weight and the coefficient of friction with the road and truck side area. All data was presented visually and conclusions were written.

# Turinys

Įvadas.....	11
1. AUTOMOBILIO STABILUMAS .....	13
1.1. Bendras krovininio automobilio stabilumo įvertinimas.....	13
1.2. Krovinio automobilio stabilumą lemiantys veiksniai .....	15
1.3. Elektroninės stabilumo sistemos.....	15
1.3.1. ABS .....	15
1.3.2. EBD .....	16
1.3.3. TCS.....	17
1.3.4. ESP .....	17
1.4. Krovininio automobilio stabilumas tiesiaėigiame judėjime .....	18
1.4.1. Padangų kontakte su keliu veikiamos jėgos .....	18
1.4.2. Krovininio automobilio stabdymas .....	20
1.5. Krovininio automobilio veikiančios jėgos posūkyje.....	20
1.5.1. Išcentrinė jėga.....	20
1.5.2. Ratus veikiančios jėgos .....	22
1.5.3. Virtimo momentas .....	23
1.5.4. Trinties jėga .....	24
1.6. Kampu pučiančio vėjo įtaka stabilumui.....	27
2. TIRIAMOJI DALIS .....	30
2.1. „Mercedes Benz Actros IV“ kritinis greitis posūkio metu be priekabos.....	30
2.2. Kritinis krovininio automobilio neslydimo greitis posūkio metu .....	32
2.3. Kritinis krovininio automobilio nevirtimo greitis posūkio metu .....	43
2.4. Šoninio vėjo įtaka krovininio automobilio virtimui .....	55
2.5. Šoninio vėjo įtaka krovininio automobilio slydimui .....	59
Išvados.....	66
Naudota literatūra .....	67

## Paveikslėlių sąrašas

- 1 pav. Sunkvežimis „Mercedes Benz Actros IV“
- 2 pav. Skersinės automobilių dinamikos bandymo metodų pasiskirstymas
- 3 pav. ABS sistemos veikimo principas
- 4 pav. ESP sistemos veikimo principas
- 5 pav.  $\mu_x-s_x$  diagrama
- 6 pav. Kontakto pėdsakas
- 7 pav. Automobilį veikiančios jėgos posūkio metu
- 8 pav. Krovinio automobilio jėgų ir momentų virtimo schema
- 9 pav. Šoninio vėjo įtaka transporto priemonių stabilumui
- 10 pav. Oro sraute esantį automobilį veikiančių jėgų, momentų, reakcijų schema
- 11 pav. Sunkvežimio elgsena esant gūsingam šoniniam vėjui
- 12 pav. „Mercedes Benz Actros IV“ sunkvežimis iš priekio be priekabos
- 13 pav. „Mercedes Benz Actros IV“ sunkvežimis iš apačios be priekabos
- 14 pav. Didžiausias kritinis sunkvežimio greitis prie tam tikro posūkio spindulio be priekabos
- 15 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 0m/s
- 16 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 1m/s
- 17 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 2m/s
- 18 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 3m/s
- 19 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 4m/s
- 20 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 5m/s
- 21 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koef.  $\mu=0,8$
- 22 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koef.  $\mu=0,5$
- 23 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koef.  $\mu=0,45$
- 24 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koef.  $\mu=0,35$
- 25 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koef.  $\mu=0,1$
- 26 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 0m/s
- 27 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 1m/s
- 28 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 2m/s
- 29 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 3m/s
- 30 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 4m/s
- 31 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 5m/s



- 32 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$
- 33 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=1,885\text{m}$
- 34 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=2,085\text{m}$
- 35 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=2,285\text{m}$
- 36 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=2,485\text{m}$
- 37 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$
- 38 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=1,85\text{m}$
- 39 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,05\text{m}$
- 40 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,25\text{m}$
- 41 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,45\text{m}$
- 42 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=50\text{m}^2$
- 43 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=60\text{m}^2$
- 44 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=70\text{m}^2$
- 45 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=80\text{m}^2$
- 46 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=90\text{m}^2$
- 47 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=100\text{m}^2$

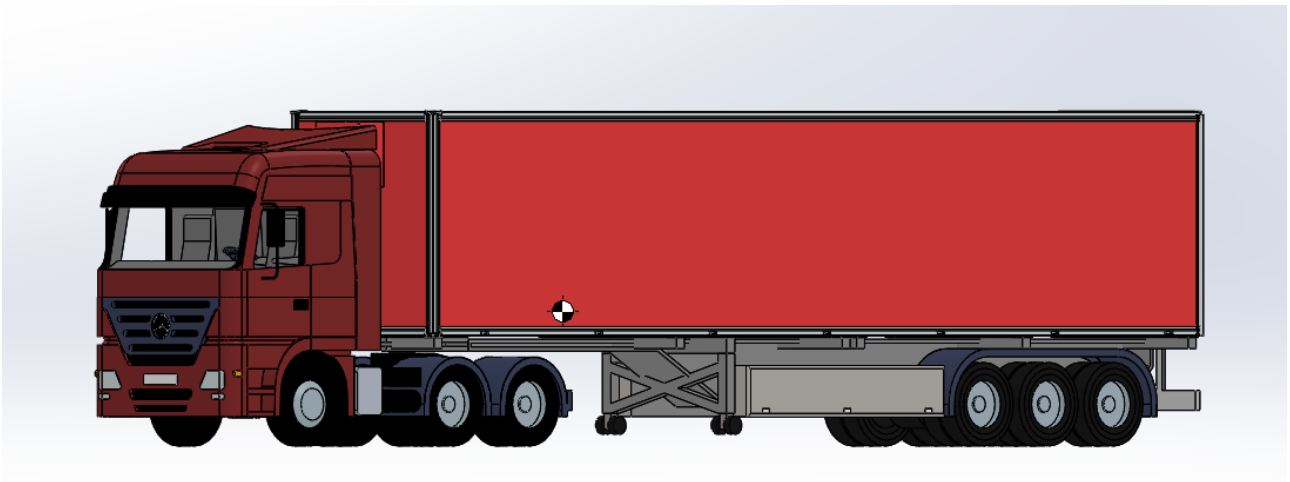
## **Lentelių sąrašas**

1 lentelė. Apytikslės sukibimo koef. reikšmės

2 lentelė. Sunkvežimio „Mercedes Benz Actros IV“ duomenys norint apskaičiuoti veikiamas jėgas į ratus posūkio metu

## Įvadas

Krovininių automobilių gamintojai gamina automobilius, kurių paskirtis saugiai pervežti krovinį iš taško A į tašką B. Krovininių automobilių stabilumo praradimas yra viena iš pagrindinių avarijų priežasčių. Krovininiai automobiliai ganėtinai ilgi, susideda iš sunkvežimio, sujungto su priekaba, todėl visą laiką išlaikyti krovininio automobilio stabilumą gana sudėtinga tiek važiuojant tiesiai, posūkio metu, esant dideliame gūsingam vėjui, slidžiai kelio dangai, važiuojant dideliu greičiu, tinkamai nepakrovus krovinio ir pan. Kuriant krovininius automobilius svarbu tinkamai pagaminti, kad atitiktų aukštus techninius reikalavimus, būtų saugus ir stabilus kelyje. Krovininių automobilių stabilumas yra vienas iš veiksnių, ribojančių jų greitį. Krovininio automobilio stabilumui tirti sudaromas patikslintos transporto priemonės vienos vėžės matematinis modelis, pritaikytas spręsti skaitiniais metodais [1]. Šis modelis pakankamai tiksliai įvertina krovininių automobilių konstrukciją ir padangų charakteristikas, taip pat galima aprašyti judesį su linijiniu ir kampiniu pagreičiu. Šiame modelyje pradiniai duomenys naudojami tiesaegio judesio modeliavimo rezultatai. Praktikoje tai yra krovininio automobilio įvažiavimas į posūkį. Modeliavimo objektu pasirinksiame „Mercedes Benz Actros IV“ krovininį automobilį. (1 pav.)



1 pav. Sunkvežimis „Mercedes Benz Actros IV“

## Temos aktualumas

- Kasmet keliuose įvyksta šimtai nelaimingų atsitikimų ir nemaža jų dalis yra transporto priemonės stabilumo praradimas, negalėjimas suvaldyti, todėl svarbu, kaip galima labiau neprarasti transporto priemonės stabilumo.
- Vairuojant krovininius automobilius, svarbu pasirinkti tinkamą greitį: tiek važiuojant tiesiai, tiek posūkio metu.

- Žinoma, didelę įtaką stabilumui turės ir pakrautas krovinys, bei kelio danga.
- Krovininiams automobiliams stabilumas svarbus esant dideliems, gūsingiems vėjams kadangi sunkvežimiai su puspriekabe sudaro didelį plotą.

## **Darbo tikslas**

- Išsiaiškinti, nuo kokių veiksnių priklauso krovininio automobilio stabilumas.
- Iširti krovininio automobilio stabilumą stabdant.
- Iširti krovininio automobilio stabilumą posūkio metu.
- Įvertinti vėjo įtaką automobilio stabilumui.

## **Literatūros šaltinių apžvalga**

Straipsnyje Petrovas D. ir kt. 2007 m. aprašo savivarčių automobilių statinio stovumo palyginimą. Straipsnyje teigiama, kad automobilių galimybė atlaikyti didžiausias virtimo apkrovas lemia jo ribinį stovumą. Automobilis visada virsta pagal menamą nejudamą ašį, kuri vadinama virtimo ašimi. Virtimo ašies padėtis priklauso nuo automobilio važiuoklės konstrukcijos.

Straipsnyje Kemzūraitė K. ir kt. 2011 m. aprašo automobilio judėjimą posūkiuose žiemos sąlygomis. Važiuojant žiemos sąlygomis ratų sukibimas su kelio danga yra žymiai prastesnis ir gerokai pavojingesnis nei važiuojant neapsnigtu keliu tokiu pat greičiu.

Sokolovskij E. 2007 m. straipsnyje tiria automobilių stabdymo ir pagreitėjimo savybes esant skirtingai kelio dangai. Tiriant tokį modelį svarbiausia yra ratų sukibimo koeficiento su kelio danga įvertinimas.

Šerkšnas A. straipsnyje 1999 m. pateikia krovininio automobilio stabilumą kelio posūkyje skaičiavimo metodiką. Pagal metodiką matyti, kad krovininių automobilių stabilumas posūkiuose tiesiogiai priklauso nuo važiavimo greičio, išcentrinio pagreičio, automobilio masės centro aukščio ir virtimo momento parametrų.

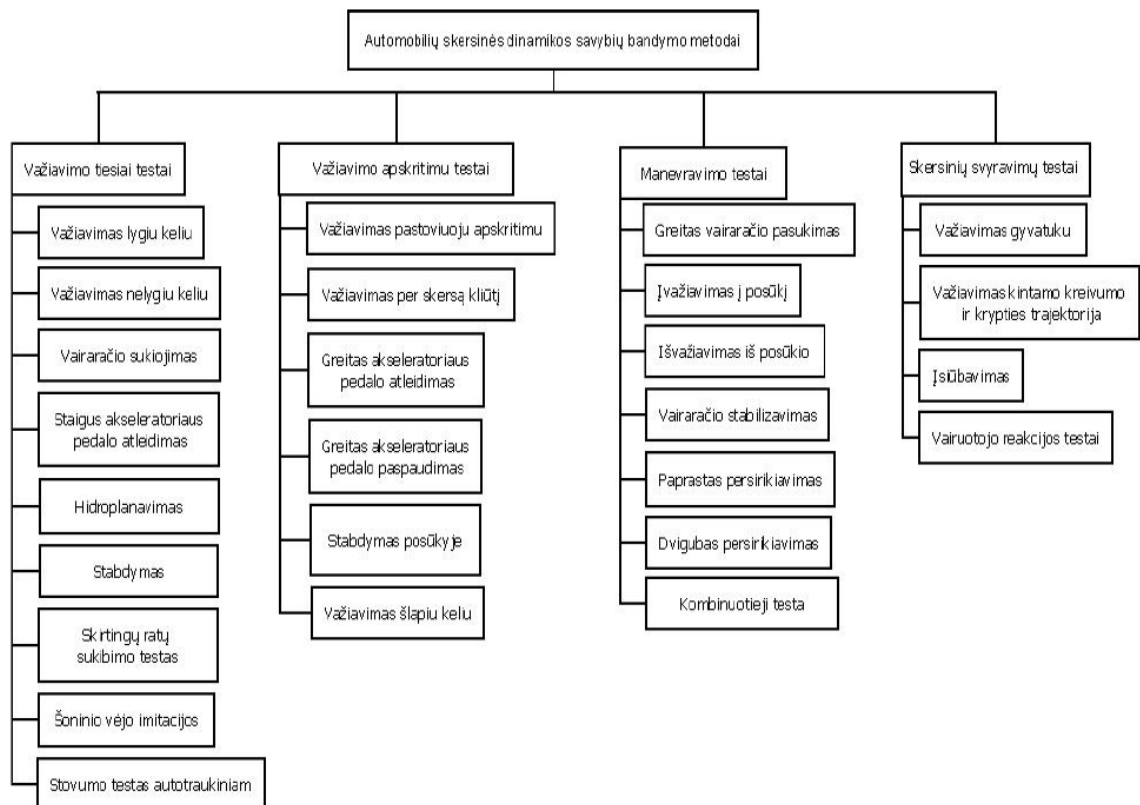
Ragelis D. 2007 m. straipsnyje nagrinėja devynviečio autovežio stabilumą kelyje. Straipsnyje teigiama, kad pagrindinis dalykas, kuris lemia autovežio stabilumą kelyje, yra dinaminis apkrovos pasiskirstymas. Šis dydis susijęs su ratų sukibimu su kelio danga netekimu.

# 1. AUTOMOBILIO STABILUMAS

## 1.1. Bendras krovininio automobilio stabilumo įvertinimas

Krovininio automobilio stabilumas – tai automobilio kontrolės nepraradimas, t. y. ratai visada gerai sukimba su važiuojama danga ir automobilis nepradedą virsti.

Krovinis automobilis su puspriekabe, kuri yra pakrauta, sudaro nuo 50 iki 100 % vilkiko masės [2], todėl važiuojant krovininiam transportui stabilumas yra svarbi saugaus eismo savybė. Krovinių automobilių stabilumas, valdomumas ir stabdymas turi didelę įtaką eismo saugumui keliuose. Sunkvežimių gamintojai juos kurdami išbando specialiuose poligonuose pagal bandymo metodikas. Sunkiasvorių automobilių važiavimo savybėms įvertinti pirmiausiai taikomi objektyvūs kriterijai, nustatyti pagal kinematinis ir dinaminis judėjimo rodiklius. Taip pat kartu vertinama ir vairuotojų bandytojų nuomonė, dažnai ji ir būna lemiamą parenkant transporto priemonės konstrukcinius parametrus. Tačiau reikėtų pripažinti, kad dar nėra patikimų kriterijų, kuriais remiantis būtų galima konkrečiai ir vienareikšmiškai apibūdinti reikalavimus, keliamus autovežio skersinei dinamikai, nors per pusšimtį metų atlikta nemažai teorinių ir praktinių tyrimų. Kad lengviau būtų suprasti šios problemos aspektus, iš pradžių apžvelkime taikomus automobilio stabilumo ir valdomumo tyrimo metodus.



2 pav. Skersinės automobilių dinamikos bandymo metodų pasiskirstymas [2]

Vairuotojo valdomų veiksmų bandymo metodai skirstomi į atvirąjį ir uždarąjį testus. Atvirajame teste nagrinėjamas sunkvežimio judėjimas, kai vairuotojo valdomi veiksmai yra iš anksto užprogramuoti. Uždarajame teste vairuotojas jau turi teisę reguliuoti sunkiasvorės transporto priemonės judėjimą, stengdamasis išlaikyti reglamentuotus judėjimo parametrus (dažniausiai tai yra numatoma važiavimo trajektorija ar taip vadinamas judėjimo koridorius). Skersinės dinamikos bandymai atliekami automobiliui važiuojant pastoviu ar kintamu režimu. Eksperimentų rezultatai dažniausiai nagrinėjami laiko atžvilgiu. Skersinės dinamikos bandymo metodai pagal sunkvežimio judėjimą trajektorijos atžvilgiu skirstomi į šiuos [2]:

- važiavimo tiesiai;
- važiavimo apskritimu;
- manevravimo ir skersinių svyravimų testus.

Pradėkime nuo važiavimo tiesiai. Pagrindinė važiavimo tiesiai testų paskirtis – įvertinti sunkvežimių stabilumą veikiant išoriniams trikdžiams ir keičiant judėjimo greitį, kai važiuojama tiesiai. Bandymu važiuojant tiesiai lygiu keliu nustatomas suminis vairo pasukimų (korekcijų) kampas, kai sunkvežimis tam tikru greičiu važiuoja tiesiai. Vėliau važiuojama keliu su nelygia kelio danga tam tikru greičiu ir tikrinama, ar vairuotojas sugeba išlaikyti sunkiasvorę transporto priemonę reglamentuotame judėjimo koridoriuje. Šiuo testu taip pat įvertinami vairo pasukimo parametrai. Šie testai atliekami tam, kad būtų galima nustatyti krovininio automobilio jautrumą nedideliems vairo pasukimams.

Sunkvežimių pakabos kinematinėms ir dinaminėms savybėms įvertinti naudojamas testas, kurio metu sunkvežimiui važiuojant tiesiai staiga atleidžiamas akseleratoriaus pedalas. Šio testo metu pakaba sukelia skersines sunkvežimio judėjimą stabilizuojančias kelio reakcijas.

Taip pat tikrinamas ir krovininio automobilio judėjimo stabilumas važiuojant šlapia kelio danga (vandens sluoksnis 3 – 6mm). Šiuo bandymu nustatomas ne tik didžiausias greitis, kuriam esant transporto priemonė dar yra stabili (nevyksta akvaplanavimas), bet taip pat nustatoma, ar stabdant sunkvežimis išlieka stabilus.

Stabdant transporto priemonės neturi pernelyg nukrypti į šoną arba pasisukti. Todėl tiesaigio sunkvežimio stabdymo metu įvertinamas kampinis sukimosi greitis bei šoninis nukrypimas nuo reglamentuotos krypties. Šie kriterijai fiksuojami po 1 sekundės pradėjus stabdyti. Stabdoma važiuojant tiesia ir nelygia kelio danga. Paskutiniu metu plačiai taikomas skirtingų ratų sukibimo bandymas, kurį atliekant skirtingų pusių ratai skirtingai sukimba su keliu (pvz., dešinieji ratai užvažiuoja ant kelkraščio ir pan.). Šis metodas labai populiarus sunkvežimiams su įrengta ABS Sistema [2].

## **1.2. Krovinių automobilio stabilumą lemiantys veiksniai**

Krovinių automobilio stabilumas priklauso nuo daug faktorių, tokių kaip [3]:

1. Kuo sunkvežimio svorio centras žemiau, tuo jis yra stabilesnis;
2. Jeigu sunkvežimis nepakrautas, jis ne taip greitai virsta;
3. Visiškai pripildyta autocisterna stabilesnė už pusiau pripildytą;
4. Kuo ratų provėža didesnė, tuo krovinių automobilis stabilesnis;
5. Nuo važiavimo greičio posūkyje ir vingio spindulio (kuo spindulys mažesnis tuo, stabilumas prastesnis);
6. Staigiai stabdant ar staigiai akseleruojant;
7. Nuo padangų kokybės (protektoriaus gylio, padangų pagaminimo metų, pripūsto slėgio padangose ir pan.);
8. Nuo važiuojamosios dalies paviršiaus (šlapia danga, asfalto kokybė, asfalto švara ir pan.);
9. Ar įjungta / išjungta pavara;
10. Vėjo stiprumo.

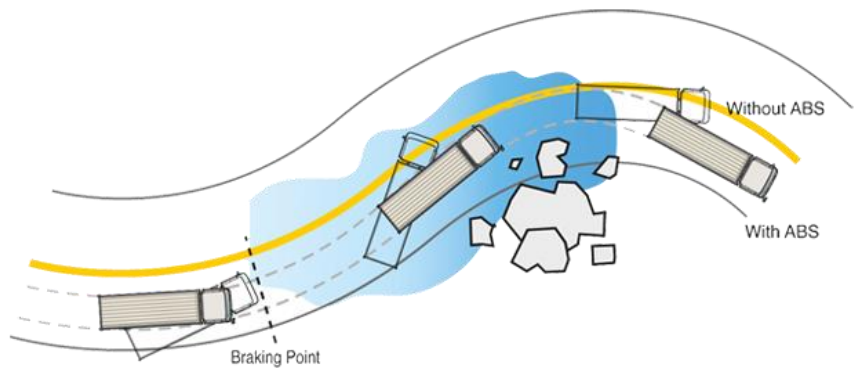
## **1.3. Elektroninės stabilumo sistemos**

### **1.3.1. ABS**

Stabdžių antiblokavimo sistema ABS (anti-lock braking system) buvo sukurta 1978-aisiais, tačiau pradėta naudoti krovinių automobiliuose tik maždaug po dešimtmečio. Ši sistema padeda optimaliai sustabdyti automobilį, kad ir kokia kelio danga jis važiuotų. Ratų sukibimą su kelio danga lemia jos savybės ir padangos. Kai nėra ABS sistemos, stabdant automobilį atsiranda skersinės jėgos, traukiančios transporto priemonę į šoną. Todėl ir reikia kiekvienam ratui stabdymo momentą valdyti atskirai, norint užtikrinti saugų sustojimą. Stabdžių antiblokavimo sistema (angl. anti-lock braking system, vok. antiblockiersystem) neleidžia ratams stabdymo metu užsiblokuoti, t. y. visiškai nesisukti, kol automobilis nėra visiškai sustabdytas. Šios sistemos privalumas tas, kad vairuotojas ir stabdydamas gali valdyti mašiną, didėja stabdymo efektyvumas (jis didžiausias ties ratų blokavimosi ir slydimo riba).

Be to, vairuotojui nebereikia baimintis, kad ratai blokuosis ir stabdymo kelias ilgės, t. y. esant ekstremalioms situacijoms galima tiesiog smarkiai spausti stabdį, o sistema pasirūpins, kad ratai neslystų. Tačiau sistema turi ir trūkumų, be papildomo saugumo jausmo (kuris neretai yra rimtas psichologinis veiksnys vairuotojams pervertinant savo galimybes), yra ir situacijų, kai ABS pailgina stabdymo kelią.

Paprastai ABS sistema susideda iš centrinio valdymo modulio, keturių rato sukimosi greičio sensorių ir dviejų arba daugiau hidraulinių vožtuvų stabdžių sistemoje. Veikimo principas gana paprastas: centrinis modulis „seka“ ratų sukimosi greitį, kai nustatoma, kad ratas ar keli jų nesisuka arba sukasi gerokai



3 pav. ABS sistemos veikimo principas [4]

mažesniu greičiu nei kiti, būtent tiems ratams vožtuvais sumažinamas stabdžių skysčio spaudimas ir stabdymo jėga sumažėja. Kai centrinis modulis aptinka, kad kai kurie ratai sukasi pernelyg greit – stabdžių skysčio slėgis padidinamas. Šis procesas kartojamas net iki 20 kartų per sekundę, todėl stabdymo metu veikiant ABS jaučiamas stabdžių pedalo virpėjimas. Tačiau, jei ABS jutikliai užteršti metalo dulkėmis, sistema gali veikti neefektyviai.

Kai važiuojama danga, su kuria mašinos ratų sukibimas geras arba labai geras, norint maksimaliai išnaudoti ABS galimybes, rekomenduojama smarkiai spausti stabdžių pedalą. Bet, jei įmanoma, kliūtis patartina apvažiuoti.

Važiuojant žvyru arba sniegu ABS sistema gali net pailginti stabdymo kelią, nes esant tokioms sąlygoms užsiblokavę ratai rausia vėžes, tad automobilis sustoja greičiau, o ABS šį efektą panaikina. Kai kelias itin slidus, įmanoma, kad ABS sistema gali būti suklaudinama, t. y. ABS, užsiblokavus visiems ratams, neaptinka jokie ratų sukimosi greičio skirtumo.

ABS veikimo principas: ratų sukimosi dažnis dažniausiai matuojamas induktyviniais jutikliais. Jutiklių signalas perduodamas į valdymo bloką kintama įtampa, kurios signalas tiesiogiai proporcingas ratų sukimosi dažniui. Kai transporto priemonė stabdoma atsargiai, ratai slysta tik truputį – jie neblokaujami. Esant dideliame slydimui reikia ABS, kad būtų išvengta ratų blokavimo. Iškilus rato blokavimo pavojui atitinkamas elektromagnetas mažina stabdymo slėgį – valdo rato stabdymo momentą taip, kad jo slydimas būtų ne didesnis kaip 5 proc. Slydimui didėjant (blogėja sukibimo sąlygos) slėgis stabdžių sistemoje mažinamas. Ratui greičiau sukantis, jo slydimas mažėja ir slėgis stabdžių sistemoje vėl didinamas [4].

### 1.3.2. EBD

EBD (electronic brake force distribution) Priklausomai nuo automobilio svorio, sumažina arba suteikia stabdžiams papildomą stabdymo jėgą, veikia kartu su ABS. EBD sistema automatiškai



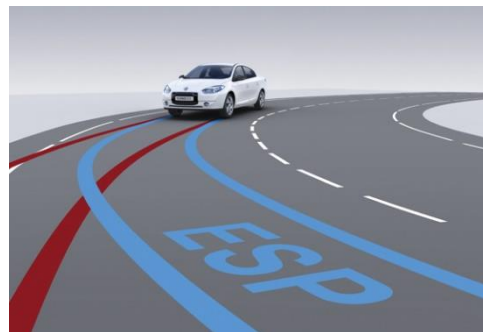
sureguliuoja į priekinius ir galinius bei dešinės bei kairės pusės ratus paduodamą stabdymo jėgą. Tai labai sumažina stabdymo kelią. Sistemos tikslas, išvengti galinių ratų užsiblokavimo, nes tokiu atveju mašina gali apsisukti (galas aplenkti priekį), taip nutinka kai gale esantys diskiniai stabdžiai yra “per geri” automobilis nepakrautas, galiniai ratai blogai sukimba su keliu, reikia slopinti jiems tenkančią stabdymo jėgą, kai automobilis pakrautas – didinti galiniams ratams suteikiamą stabdymo jėgą [5].

### 1.3.3. TCS

Automobilio traukos sistema TCS (Traction control system), vokiškai – ASR (Antriebs-Schlupf-Regelung), pagerina automobilio stabilumą jam greitėjant bet kokių paviršiumi. Ši sistema buvo sukurta 1985 metais. Ji neleidžia sukintis vienam arba keliems varomiesiems ratams, kai jiems perduodamas didesnis sukimosi momentas, automobiliui važiuojant bet kokių keliu, esant mažam arba besikeičiančiam sukibimo koeficientui. TCS padidina traukos jėgą pradedant važiuoti arba įsibėgėjant, kai sukibimo koeficientas mažas arba ratai rieda skirtingais kelio paviršiais. TCS sistema gali veikti keliais būdais: mažinti variklio sūkius, pristabdyti varomuosius ratus arba iš karto abiem būdais. ASR įrengiama kartu su ABS, naudojanti tuos pačius daviklius ir ratų stabdžio mechanizmu pristabdanti tą varomąjį ratą, kuris praranda sukibimą su danga ir ima greičiau sukintis. Ši sistema saugo automobilį, kad šis nebuksuotų. Ji kontroliuoja varančiųjų ratų buksavimą, neleidžia jiems slysti įsibėgėjant. Kai per didelis sukimo momentas, prasuka vieną arba abu varančiuosius ratus, ASR paveikia variklio valdymo sistemas ir sumažina jo sukimo momentą [5].

### 1.3.4. ESP

Automobilio važiavimo dinamikos valdymo sistema ESP padeda neprarasti važiavimo trajektorijos stabilumo posūkyje. Ši sistema buvo sukurta 1995 metais. Elektroninė stabilumo kontrolės sistema ESP (Electronic stability program) gerina automobilio stabilumą. Skirtingai nei ABS ar TCS sistemos, kurios veikia automobilį stabdant arba



4 pav. ESP sistemos veikimo principas [6]

jam greitėjant, ESP veikia nuolat. Ši sistema specialiais davikliais „stebi“ vairo pasukimo kampą, automobilio greitį ir pagreitį. Jeigu automobilio važiavimo trajektorija neatitinka posūkio kreivės, tai ESP sistema pristabdo vieną arba kelis automobilio ratus. Jei automobilis slys į šoną, sistema akimirksniu pakoreguos stabdymo jėgą priekinei ašiai, kol automobilis atgaus stabilumą. Be to, esant nepakankamam automobilio manevringumui posūkyje, ESP sistema automatiškai pakoreguos

stabdymo jėgą vidiniam automobilio posūkio ratui ir taip užtikrins transporto priemonės stabilumą kelio vingiuose.

Ši sistema gali ne tik pristabdyti vieną ar kelis ratus, bet ir keisti jų sukimosi momentą, koreguoti variklio sūkius ir kitas operacijas.

Ši programa palengvina automobilio valdymą, jei patenkama į ekstremalias situacijas – tada ji pagalbą pasitelkiamos sauganti ratus nuo blokavimo, stabdžių jėgos pasiskirstymo, diferencialo blokavimo ir traukos kontrolės elektroninės sistemos. Be to, jos neleidžia automobiliui slysti, kai kelyje jis tampa nestabilus. Turintis ESP automobilis klausys vairo manevro metu, kai bus apvažiuojamos netikėtai atsiradusios kliūtys, esant staigiems posūkiams, keliuose, kurių bloga danga.

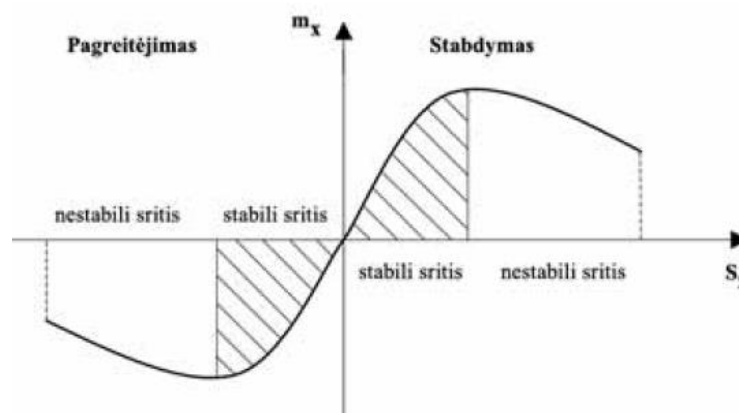
Dėl naujausios kartos ESP programose atsiradusios funkcijos stabdžių diskus, kai ant jų patenka vandens, nusausinami. Esant drėgnam orui sistema reguliariai pati panaudoja stabdžius diskams nusausinti taip, kad vairuotojas to net nepastebi. Tai naudojama daugelyje naujų automobilių.

ESP sistemą rekomenduojama išjungti, kai norima „įsiūbuoti“ automobilį, užstrigusį giliame sniege arba biriame grunte, važiuojant su grandinėmis, tikrinant automobilį dinamometriniu stendu. Ši sistema išjungžiama nuspaudus mygtuką ESP prietaisų skydelyje, o įjungžiama dar kartą paspaudus tą patį mygtuką. Paleidžiant variklį ESP sistema aktyvuojama automatiškai. Nuo 2011 metų lapkričio ESP sistema bus privaloma visuose naujuose automobiliuose, gaminamuose Europos Sąjungos (ES) šalyse. Dabar tik daugiau nei 50 procentų naujų automobilių Europoje yra įrengta ESP [6].

## 1.4. Krovininio automobilio stabilumas tiesiaeigiame judėjime

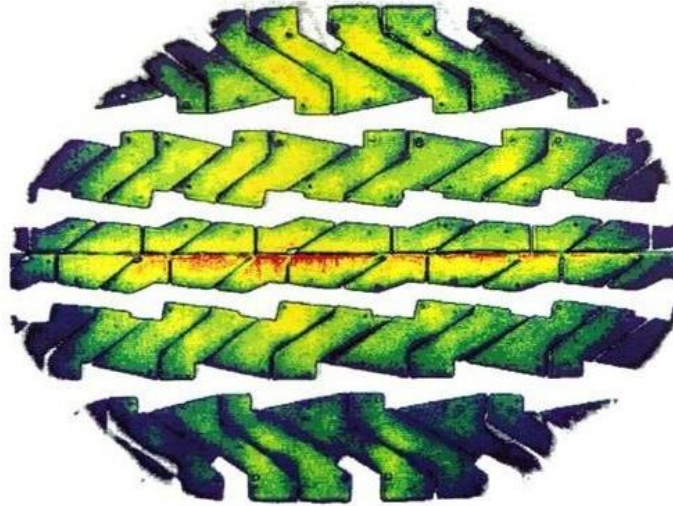
### 1.4.1. Padangų kontakte su keliu veikiamos jėgos

Pagrindinė sąlyga, kad transporto priemonė neslystų tiek tiesiaeigiame judėjime tiek posūkio metu, tinkamo ratų ir kelio dangos sukibimo užtikrinimas. Tai geriausiai pavaizduoja transporto priemonės sukibimo koeficiento  $\mu_x$  priklausomybės nuo išilginio slydimo  $s_x$  diagrama (5 pav.) [7].



5 pav.  $\mu_x$ - $s_x$  diagrama [7]

Ratas su pneumatine padanga nagrinėjamas kaip kietas deformuojamas kūnas, kuris sąveikauja su kelio paviršiumi. Sąveikos sritis yra plotas, dar kitaip vadinamas „kontakto pėdsaku“ (6 pav.). „Kontakto pėdsako“ geometrinis centras nukrypęs tam tikru atstumu nuo vertikaliuos ašies, pereinančios per rato centrą.



6 pav. Kontakto pėdsakas [7]

Rato ir kelio kontakte apskritimine kryptimi atsiranda dvi zonos: padangos protektorius suspaudžiamas (kontakto pradžioje); kita zona – protektorius ištempiamas (po kontakto). Kontakto plote vyksta praslydimas arba padangos sluoksnių šlitis, kuriuose tangentiniai įtempimai didesni už sukibimo jėgų įtempimus. Transporto priemonės rato linijinis greitis  $v_a$  rato centre nesutampa su apskritiminiu rato greičiu  $R_d \cdot \omega_R$  kontakte ( $R_d$  – rato dinaminis spindulys,  $\omega_R$  – rato kampinis greitis). Dėl šių greičių nesutapimo atsiranda praslydimo greitis .

Iš  $\mu_x - s_x$  diagramos matoma, kad didėjant santykiniam išilginiam slydimo koeficientui  $s_x$  išilginis sukibimo koeficientas  $\mu_x$  didėja beveik tiesiškai. Šioje srityje, pavyzdžiui,  $s_x \in [0..0,1]$ , praslydimas yra nedidelis ir šiek tiek turi įtakos transporto priemonės stabilumui ir jos valdymui. Kai yra tam tikra  $s_x$  reikšmė ( $s_x = 0,10...0,20$ ), išilginis sukibimo koeficientas pasiekia maksimalią reikšmę  $\mu_{x, \max}$  . Rato santykinis išilginis slydimo koeficientas, kuriam esant pasiekama maksimali išilginio sukibimo koeficiento reikšmė, vadinamas kriziniu  $s_{x,kr}$  . Toliau didėjant santykiniam išilginiam slydimo koeficientui  $s_x$  ( $s_x > s_{x,kr}$  ) išilginis sukibimo koeficientas  $\mu_x$  mažėja. Kai  $s_x = 1$  – ratas visiškai užblokuotas (nesisuka,  $\omega_R = 0$  ), o kai  $s_x = - 1$ , tada ratas visiškai prasisuka ( $v_a = 0$  ). Kai  $s_x > s_{x,kr}$  , transporto priemonė praranda stabilumą, ji yra nevaldoma [7].

## **1.4.2. Krovininio automobilio stabdymas**

Stabdymas – tai dirbtinis automobilio greičio mažinimas arba automobilio išlaikymas vietoje kelio atžvilgiu. Stabdymas yra viena iš pagrindinių saugaus eismo sąlygų. Kuo mažesnis bus stabdymo kelias, tuo saugesnis bus eismas. Automobilio stabdymo efektyvumas apibūdina automobilio galimybę greitai sumažinti važiavimo greitį ir jo parengimą ekstremaliai situacijai. Patikima ir efektyvi stabdžių sistema leidžia vairuotojui, važiuojančiam automobiliu dideliu greičiu, esant reikalui, sustabdyti automobilį kuo mažesniu atstumu. Stabdymo efektyvumas labai svarbus eismo saugumo požiūriu, nes gali nulemti avarijos padarinių mastą. Prie saugumo kelyje užtikrinimo prisideda ne vien tik įvairios automobilio saugumo sistemos, bet ir stabdymo kelias, kuris priklauso nuo stabdymo efektyvumo. Negalima pasikliauti vien automobilio technine būkle, stabdžių pedalu, pasyviomis saugos sistemomis, padedančiomis stabdymo metu, ar geromis padangomis, nes kelyje nuolat keičiasi vairavimo sąlygos, taip pat keičiasi ir vairuojamo automobilio fizinės savybės, o dėl visų šių faktorių sustojimo kelias kinta.

Važiuojant automobiliu, visada susiduriama su įvairiais kelio dangų tipais, kartais važiuojamojoje kelio dalyje yra vietų, kurių dangų sukibimo su ratais koeficientas skirtingas. Pavyzdžiui, važiuojamosios kelio dalies ruožas padengtas smėliu, purvu, vietomis apledėjęs ir panašiai. Atitinkamai kiekvienu atveju yra skirtingas ratų sukibimo su kelio danga koeficientas, nuo kurio priklauso stabdymo kelias. Taip pat, vairuojant automobiliu, nereikia pamiršti jo bendrosios masės bei automobiliu vežamo krovinio masės, ypač vairuojant krovininį automobilį. Automobilio masė turi labai didelę įtaką automobilio lėtėjimui stabdymo metu. Pavyzdžiui, didelės masės kūnas įgauna didesnę pagreitį nei mažesnės masės, tad sunkesnio ar pakrauto automobilio vairuotojas turėtų tai įvertinti ir kelyje elgtis atsakingai ir apgalvotai, nes stabdant pakrautą automobilį jo lėtėjimas bus mažesnis nei nekrauto.

## **1.5. Krovininio automobilio veikiančios jėgos posūkyje**

### **1.5.1. Išcentrinė jėga**

Išcentrinė jėga – tai jėga, kuri stumia besisukantį kūną nuo sukimosi centro. Ją sukelia to kūno inercija, nes jo judėjimo kryptis pastoviai keičiasi. Ratu judantis objektas elgiasi taip, lyg jis būtų veikiamas kokios išorinės jėgos. Tai ir yra išcentrinė jėga. Ji priklauso nuo objekto masės, sukimosi greičio ir atstumo nuo centro. Kuo masyvesnis objektas, tuo didesnė ir jėga; kuo didesnis greitis, tuo didesnė ir jėga; ir kuo sukimosi spindulys mažesnis, tuo didesnė jėga.

Svarbu pažymėti tai, kad išcentrinės jėgos iš tikrųjų nėra. Tai yra tiesiog tokia inercijos forma. Mes ją jaučiame, nes esame neineracinė koordinačių sistema. Išcentrinė jėga vadinama jėga tik dėl patogumo, nes ji atsveria įcentrinę jėgą, kuri tikrai yra jėga.

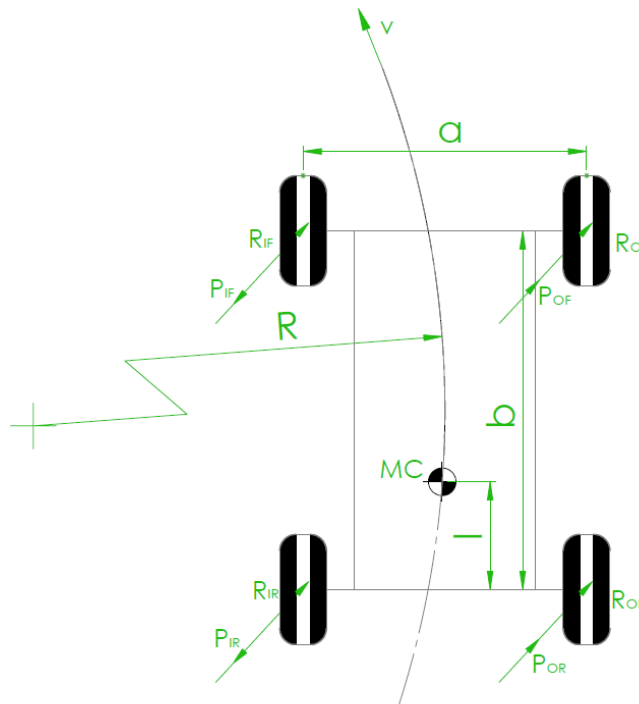
Taip pat svarbu paminėti, kad išcentrinės jėgos priklausomybė nuo kūno greičio yra kvadratinė: greičiui padidėjus dvigubai, įcentrinė jėga padidėja 4 kartus, greičiui šoktelėjus 3 kartus, įcentrinė jėga padidėja 9 kartus, todėl norint išlaikyti automobilį stabilų posūkio metu reikia pasirinkti tinkamą važiavimo greitį.

Išcentrinė jėga (N) apskaičiuojama pagal formulę [8]:

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (1.5.1)$$

čia,  $m$  – automobilio masė, kg;  $v$  – automobilio greitis, m/s;  $R$  – posūkio spindulys, matuojant nuo svorio centro, m.

Automobilį posūkyje taip pat veikia jėgos, atsirandančios dėl automobilio svorio bei „bandančios“ išstumti iš važiavimo trajektorijos, kurios atsiranda dėl išcentrinės jėgos (7 pav).



7 pav. Automobilį veikiančios jėgos posūkio metu

### 1.5.2. Ratus veikiančios jėgos

Kiekviena transporto priemonė turi savąjį svorį. Jėgos, atsirandančios dėl svorio, spaudžia automobilį prie kelio. Iš dalies tai yra gerai, nes sunkesnės transporto priemonės važiuodamos tolygiai yra stabilesnės, tačiau posūkyje jų stabilumas mažesnis, jei važiuojama tokiu pačiu greičiu.

Šios jėgos (N) kiekvienam ratui apskaičiuojamos pagal formules [9]:

$$R_{IF} + R_{OF} = \frac{m \cdot l}{b} \quad (1.5.2)$$

$$R_{IR} + R_{OR} = m \cdot \left(1 - \frac{l}{b}\right) \quad (1.5.3)$$

čia,  $l$  – atstumas nuo svorio centro iki rato, m;  $b$  – ratų bazė, m.

Jeigu  $R_{IF} = R_{OF}$  ir  $R_{IR} = R_{OR}$ , tada [9]:

$$R_{IF} = R_{OF} = \frac{m \cdot l}{2 \cdot b} \quad (1.5.4)$$

$$R_{IR} = R_{OR} = \frac{m}{2} \cdot \left(1 - \frac{l}{b}\right) \quad (1.5.5)$$

Automobiliui važiuojant posūkyje, dėl išcentrinės jėgos atsiranda jėgos, „bandančios“ išstumti automobilį iš jo važiavimo trajektorijos.

Šios jėgos (N) apskaičiuojamos pagal formulę [9]:

$$P_{IF} + P_{IR} = P_{OF} + P_{OR} = \frac{m \cdot h \cdot v^2}{g \cdot R \cdot a} \quad (1.5.6)$$

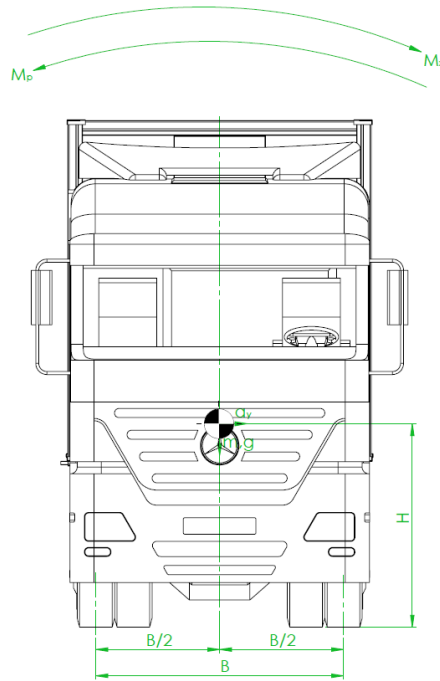
čia,  $h$  – svorio centro aukštis iki kelio, m;  $a$  – atstumas tarp to paties tilto ratų centrų, m,  $g$  – laisvasis kritimo pagreitis,  $m/s^2$ .

Jei  $P_{IF} = P_{OF}$  ir  $P_{IR} = P_{OR}$ , tada [9]:

$$P_{IF} = P_{OF} = \frac{m \cdot v^2 \cdot h}{2 \cdot b \cdot g \cdot R \cdot a}, N \quad (1.5.7)$$

$$P_{IR} = P_{OR} = \frac{m}{g} \cdot \left(1 - \frac{l}{b}\right) \cdot \frac{h \cdot v^2}{g \cdot R \cdot a}, N \quad (1.5.8)$$

### 1.5.3. Virtimo momentas



8 pav. Krovininio automobilio jėgų ir momentų virtimo schema

Krovininio automobilio virtimo momentas (N·m) [8]:

$$M_x = m \cdot a_y \cdot H \quad (1.5.9)$$

čia  $m$  – krovininio automobilio masė (kg);  $a_y$  – išcentrinis pagreitis posūkyje ( $m/s^2$ );  $H$  – krovininio automobilio masės centro aukštis (m).

Krovininio automobilio virtimui priešinantį svorio jėgos momentą (N·m) [8]:

$$M_p = m \cdot g \cdot \frac{B}{2} \quad (1.5.10)$$

čia  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis,  $9,81 m/s^2$ ;  $B$  – krovininio automobilio provėža (m).

Kad krovininis automobilis nevirstų turi tenkinti šią sąlygą  $M_x \leq M_p$ .

Įstačius reikšmes [8]:

$$m \cdot a_y \cdot H \leq m \cdot g \cdot \frac{B}{2} \quad (1.5.11)$$

Arba:

$$a_y \leq g \cdot \frac{B}{2H} \quad (1.5.12)$$

Antra vertus:

$$a_y \leq \frac{v^2}{R} \quad (1.5.13)$$

čia  $R$  – krovininio automobilio masės centro trajektorijos kelio posūkyje spindulys (m);  $v$  – važiavimo greitis ( $m/s$ ).

Iš čia galima rasti krovininio automobilio didžiausią važiavimo greitį posūkyje ( $m/s$ ):

$$v = \sqrt{a_y \cdot R} \quad (1.5.14)$$

Arba mažiausią spindulį (m) [8]:

$$R = \frac{v^2}{a_y} \quad (1.5.15)$$

Krovininio automobilio nevirtimo sąlyga pagal važiavimo greitį (m/s) [8]:

$$v_{st} \leq \sqrt{\frac{g \cdot B \cdot R}{2H}} \quad (1.5.16)$$

Kelio posūkyje krovininis automobilis gali ne tik virsti, bet ir slysti. Krovininio automobilio riedantis ratas gali slysti lygiagrečia ir statmena rato sukimosi plokštumai kryptimi. Daug pavojingesnis eismo saugumo požiūriu yra automobilio skersinis slydimas, nes tada daug sunkiau išvairuoti krovininį automobilį.

Krovininio automobilio stabilumas priklauso nuo svorio centro aukščio bei provėžos santykio. Kadangi provėžos santykis įvairių standarinių sunkvežimių mažai skiriasi, vadinasi sunkiojo transporto stabilumas priklauso nuo svorio centro aukščio.

Automobilio svorio centro aukštis apskaičiuojamas pagal formulę [8]:

$$h_{sc} = \frac{h_a \cdot m_a + h_k \cdot m_k}{m_a + m_k} \quad (1.5.17)$$

čia:  $h_a$  – nepakrauto automobilio svorio centro aukštis, m;  $h_k$  – vežamo krovinio svorio centro aukštis virš kelio paviršiaus, m;  $m_a$  ir  $m_k$  – atitinkamai krovininio automobilio ir vežamo krovinio masės, kg.

#### 1.5.4. Trinties jėga

Krovininio automobilio tarp ratų padangų ir kelio paviršiaus trinties jėga (N) [8]:

$$F_{tr} = \mu \cdot m \cdot g \quad (1.5.18)$$

$\mu$  – sukibimo koeficientas tarp padangos ir kelio dangos (trinties koeficientas), priklausantis nuo padangos ir kelio dangos paviršiaus (2 lent.). Sukibimo koeficientas išilgine ir skersine važiavimo kryptimis yra apytikriai vienodi.



1 lentelė. Apytikslės sukibimo koef. Reikšmės [10]

<i>Kelias</i>	<i>Sukibimo koeficientas <math>\mu</math></i>
<b>Asfaltbetonis</b>	
sausas, švarus	0,7-0,9
šlapias	0,4-0,6
purvinas	0,2-0,45
apsnigtas	0,2-0,4
apledėjęs	0,09-0,3
skaldos padengtas kelias	0,5-0,65
<b>Grindinys</b>	
sausas	0,6-0,7
šlapias	0,4-0,5
<b>Skaldyto akmens tašeliai</b>	
sausai	0,4-0,6
šlapi	0,25-0,4
<b>Žvyrkelis</b>	
sausas, kietas	0,5-0,6
drėgnas	0,2-0,4
ištižęs	0,15-0,3
<b>Smėlis</b>	
sausas	0,2-0,3
drėgnas	0,4-0,5
<b>Molis</b>	
sausas	0,4-0,5
drėgnas, plastiškas	0,2-0,4
ištižęs	0,15-0,25
naturali pieva	0,1-0,4
sausas arimas	0,4-0,7
sausas ledas	0,06-0,15
<b>Sniegas</b>	
sausas, purus	0,2-0,4
suplaktas	0,1-0,4

Skersinio slydimo sąlyga [8]:

$$F_{tr} > F_{išc} \quad (1.5.19)$$

Krovininio automobilio masės centrą veikianti išcentrinė jėga (N) [8]:

$$F_{išc} = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (1.5.20)$$

Įrašius reikšmes, slydimo sąlyga posūkyje lygi [8]:

$$\mu \cdot m \cdot g > \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (1.5.21)$$

Arba:

$$\mu > \frac{v^2}{g \cdot R} \quad (1.5.22)$$

Krovininio automobilio neslydimo sąlyga pagal važiavimo greitį (m/s) [8]:

$$v_{nesl} \leq \sqrt{\mu \cdot g \cdot R} \quad (1.5.23)$$

Kad krovininis automobilis išliktų stabilus, turi tenkinti nevirtimo ir neslydimo sąlygas. Pažiūrėkime, kuri sąlyga yra svarbesnė. Reikia nustatyti, kuris greitis  $v_{nesl}$  ar  $v_{st}$  mažesnis. Sakykime  $v_{nesl} > v_{st}$ , tuomet  $v_{st} / v_{nesl} < 1$ . Įrašome reikšmes:

$$\sqrt{\frac{B}{2H \cdot \mu}} < 1 \text{ arba } \frac{B}{2H \cdot \mu} < 1; (\mu > 0) \quad (1.5.24)$$

Kitaip tariant, jei  $\mu > B/2H$ , tuomet mažesnis  $v_{st}$ , tokiu atveju galimas virtimas ir maksimalų saugų greitį posūkyje reikia apskaičiuoti pagal  $v_{st}$  formulę. Ir atvirkščiai, jei  $\mu < B/2H$ , tai galimas skersinis slydimas ir maksimalų saugų greitį posūkyje reikia apskaičiuoti pagal  $v_{nesl}$  formulę. Tuo atveju kai  $\mu = B/2H$  ir virtimas ir skersinis slydimas bus vienodai galimi. Apibendrinant galima pasakyti, kad: jei konkretaus krovininio automobilio pusės provėžos ir masės centro aukščio santykis yra didesnis už sukibimo koeficientą, tai krovininis automobilis posūkyje, viršijus saugų greitį slysi, o jei šis santykis yra mažesnis už sukibimo koeficientą, tai krovininis automobilis virs. Iš šios sąlygos galima daryti išvadą, kad žinodami eksplotuojamo kelio ir ratų sukibimo koeficientą ir krovininio automobilio B ir H santykis turi būti toks, kad posūkyje, viršydamas saugų greitį, krovininis automobilis nevirstų, o slystų, nes toks eismo įvykis paprastai yra mažiau pavojingas. Kintant kelio būklei kinta ir krovininio automobilio neslydimo greitis. Įdomu tai, kad krovininio automobilio stabilumas virtimui kelio posūkyje nepriklauso nuo sukibimo koeficiento, o priklauso nuo masės centro aukščio ir provežos santykio. Kadangi tam pačiam krovininiam automobiliui proveža nekinta, stabilumas virtimui priklausys tik nuo krovininio automobilio masės centro aukščio, kuris kinta nuo krovinio pakrovimo, tipo ir pan.

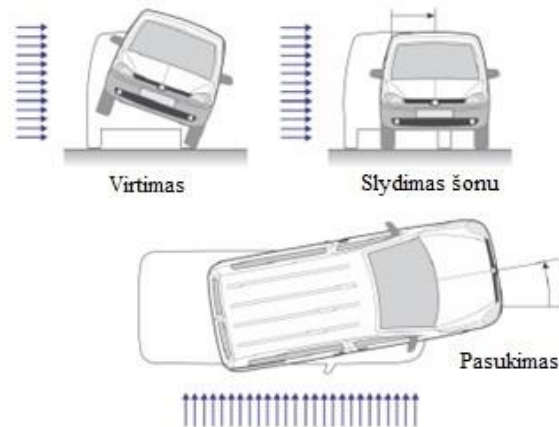
Preliminarus krovininio automobilio stabilumas gali būti įvertintas prieš kelionę, žinant kelio dangos būklę ( $\mu$ ) ir posūkio spindulius (R). Praktiškai vairuotojas pasirinkdamas saugų greitį vadovaujasi savo patirtimi, nes eismo sąlygos važiavimo metu gali keistis. Kad užtikrinti krovininio

automobilio stabilumą posūkyje, reikia įrengti daviklius, matuojančius išcentrinį pagreitį  $a_y$  ir sukibimo koeficientą. Šių daviklių signalai būtų perduodami į sprendžiantįjį įrenginį, veikiantį pagal aprašytą algoritmą, tikrintų ar išcentrinis pagreitis  $a_y$  neviršija leistino, taip pat tikrintų ar padangų sukibimas su kelio danga tinkamas, kad krovininis automobilis nepradėtų slysti. Viršijus leistinas ribas, reguliatoriaus pagalba būtų galima mažinti greitį, sumažinant degalų tiekimą į variklį. Išcentrinio pagreičio  $a_y$  daviklio veikimo principas galėtų būti inercinė masė, pakabinta ant tamprios pakabos ir galinti judėti transporto priemonei skersine kryptimi. Sudėtingiau su sukibimo koeficiento  $\mu$  davikliu. Kol kas nesukurta patikima jo konstrukcija, tačiau atlikus tam skirtus tyrimus, ateityje galbūt bus įmanoma sukonstruoti racionalų  $\mu$  daviklį. Tada reguliatorius, užtikrinantis transporto priemonės stabilumą kelio posūkyje taps realus.

## 1.6. Kampu pučiančio vėjo įtaka stabilumui

Dėl šoninio ar kampu pučiančio vėjo įtakos transporto priemonę veikia ne tik jėgos, kurios gali pastumti ar apversti transporto priemonę, bet ir momentas, galintis ją pasukti. Todėl skiriamos trys pagrindinės avarių priežastys dėl šoninio vėjo įtakos (9 pav.):

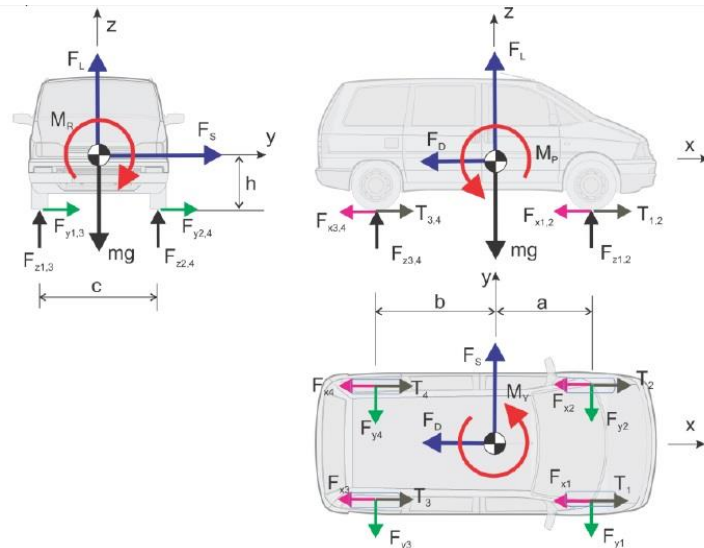
- apvirtimo
- šoninio slydimo
- pasukimo



9 pav. Šoninio vėjo įtaka transporto priemonių stabilumui [11]

Pirmuoju atveju automobilis gali būti apverčiamas (kai kontaktinės jėgos tarp padangų ir kelio dangos vienoje automobilio pusėje tampa lygios 0), antruoju jis priverčiamas nuslysti šonu nuo važiavimo trajektorijos (kai vėjo sukeliama jėga nugalė visų ratų trinties jėgą), o trečiuoju - pasukamas kampu apie vertikaliąją automobilio ašį, taip nukrypstant nuo numatomos važiavimo trajektorijos (kai vėjo jėga viršija bent vieną automobilio rato ir kelio dangos trinties jėgą).

Jei transporto priemonę laikysime standžiu kūnu, kurią veikia pastovaus dydžio šoninė jėga, galima parašyti šešias statinės pusiausvyros jėgų ir momentų lygtis apie transporto priemonės svorio centrą. Jėgų, momentų, reakcijų kryptys ir išdėstymas parodytas 10 pav.



10 pav. Oro sraute esantį automobilį veikiančių jėgų, momentų, reakcijų schema [12]

Darome prielaidą, kad ratų atstojamosios jėgos nekinta dėl pakabos elementų ir kad automobilis praranda sukibimą kai  $F_z < 0$ . Kadangi pagrindinis aspektas, lemiantis automobilio virtimą yra prarastas abiejų šoninių automobilio ratų kontaktas su kelio danga, tuomet kritinis santykinis vėjo greitis, priverčiantis automobilį prarasti stabilumą ir virsti yra [12]:

$$v_{a, \text{virtimo}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A} \cdot \frac{B}{[2H(C_S + C_R) + BC_L]}} \quad (1.6.1)$$

Čia  $C_S$ ,  $C_R$ ,  $C_L$  – aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai.

Sekantis nestabilumo atvejis dėl šoninio vėjo – automobilio slydimas šonu. Kuomet automobilio ratų šoninio slydimo jėgos vienu metu nugali trinties jėgas, automobilis pradeda slysti. Vėjo greitį, kuris išprovokuoja automobilio šoninį slydimą, galima apskaičiuoti taip [12]:

$$v_{a, \text{šoninoslydim o}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A} \cdot \frac{\mu}{(C_S + \mu \cdot C_L)}} \quad (1.6.2)$$

Sunkvežimio elgsena viršijant vėjo  $v_{a, \text{šoninio slydim o}}$  greitį: (11 pav.)



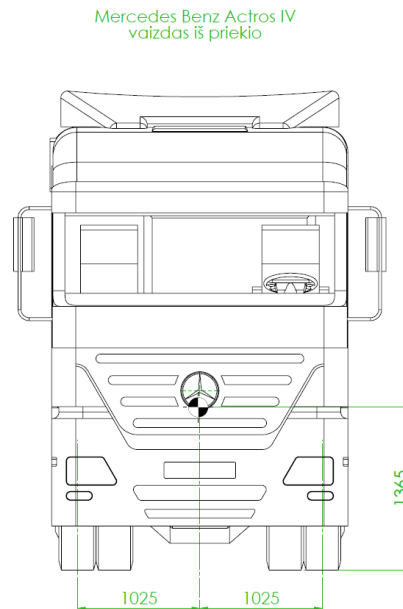
11 pav. Sunkvežimio elgsena esant gūsingam šoniniam vėjui [13]

Iš formulės matome, kad automobilio pasipriešinimas slydimui priklauso nuo jo masės, padangų ir kelio sukibimo ir mažo paviršiaus ploto. Taip pat matyti, kad šoninį slydimą išprovokuoja šoninė ir kėlimo jėgos, atsirandančios dėl automobilį veikusio šoninio vėjo gūσιο.

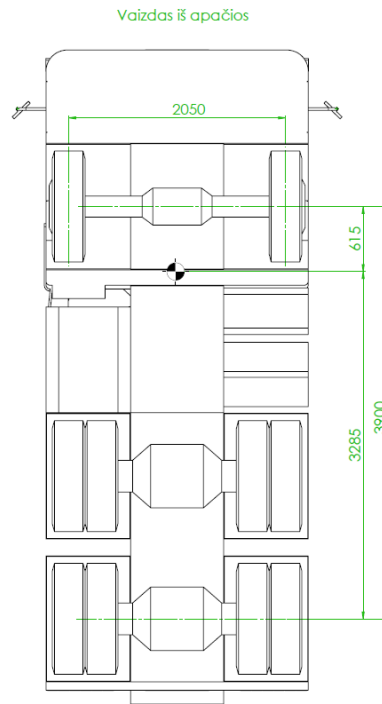
## 2. TIRIAMOJI DALIS

### 2.1. „Mercedes Benz Actros IV“ kritinis greitis posūkio metu be priekabos

Ištirkime konkretų „Mercedes Benz Actros IV“ sunkvežimį be priekabos, pasinaudoję 1.5.2 – 1.5.8 formulėmis. Kadangi sunkvežimis be priekabos, todėl jo masę priimame  $m=10\ 500\text{kg}$ . Atlikę skaičiavimus, galime rasti ratų jėgas, kurios dėl savo svorio spaudžia automobilį prie kelio  $R_{IF}$ ,  $R_{OF}$ ,  $R_{IR}$ ,  $R_{OR}$  ir išlaiko transporto priemonę stabilia. Gavę šias jėgas, galime apskaičiuoti maksimalų konkrečios transporto priemonės greitį posūkio metu.



12 pav. „Mercedes Benz Actros IV“ sunkvežimis iš priekio be priekabos



13 pav. „Mercedes Benz Actros IV“ sunkvežimio iš apačios be priekabos

Reikalingi sunkvežimio „Mercedes Benz Actros IV“ duomenys pateikti 1 lentelėje iš 12 ir 13

pav.:

2 lentelė. Sunkvežimio „Mercedes Benz Actros IV“ duomenys norint apskaičiuoti veikiamas jėgas į ratus posūkio metu

Eil. Nr.	Žymima raidė	Vertė	Matavimo vienetai	Aprašymas
1.	m	10500	kg	Sunkvežimio masė
2.	l	3,285	m	Atstumas nuo svorio centro iki rato
3.	b	3,9	m	Ratų bazė
4.	h	1,365	m	Svorio centro aukštis nuo žemės
5.	a	2,05	m	Ratų provėža
6.	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Laisvojo kritimo pagreitis
7.	R	8÷20	m	Posūkio lanko spindulys

Įstatę į formulę reikšmes gauname, kad  $R_{IF}=R_{OF}=4422\text{N}$ , o  $R_{IR}=R_{OR}=827\text{N}$ . Reiškia  $P_{IF}=P_{OF}$  neturi viršyti  $4422\text{N}$ , o  $P_{IR}=P_{OR}$  neturi viršyti  $827\text{N}$ .

Kad sunkvežimio išliktų stabilus posūkio metu, turi tenkinti šią sąlygą, tai priekinės ašies maksimalus greitis yra:

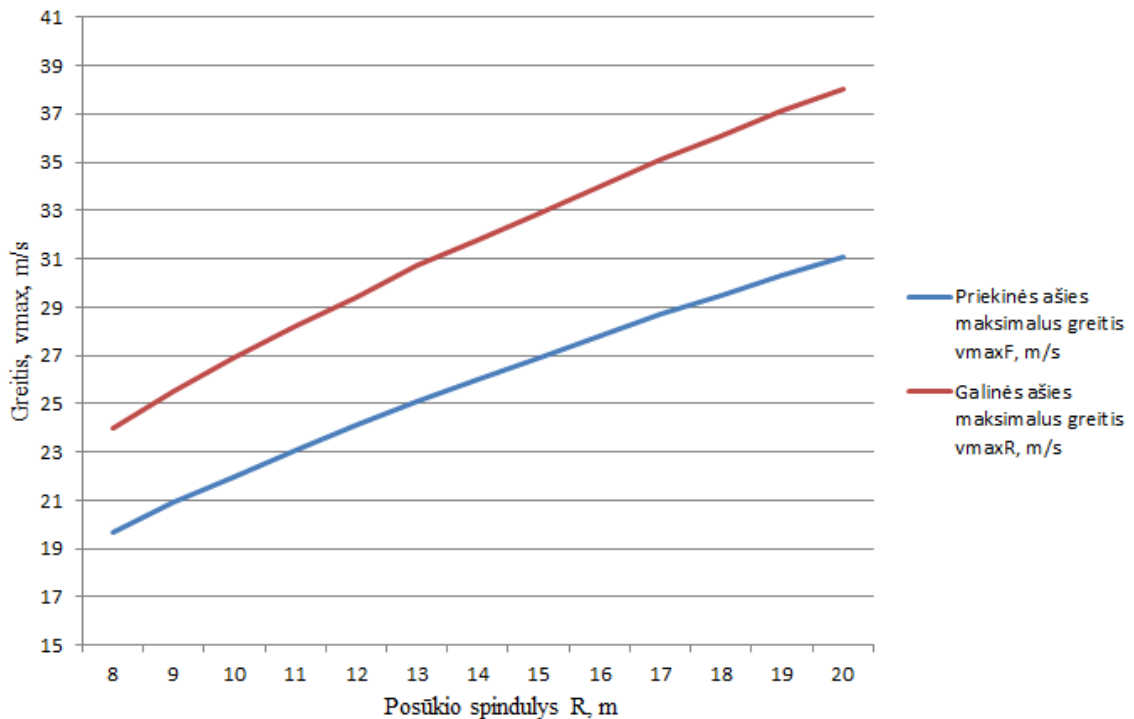
$$v_{maxF} = \sqrt{\frac{R_{IF,OF} \cdot 2 \cdot b \cdot g \cdot R \cdot a}{m \cdot h}}$$

Taip pat ir šią sąlygą, tai galinės ašies maksimalus greitis:

$$v_{maxR} = \sqrt{\frac{R_{IR,OR} \cdot g^2 \cdot R \cdot a}{m \cdot (1 - \frac{l}{b}) \cdot h}}$$

Kadangi tos pačios transporto priemonės priekinė ir galinė ašis gali judėti tik tokiu pat greičiu, tai maksimalų greitį  $v_{max}$  posūkio metu paimsime mažesnj.

Gauname tokius rezultatus: (14 pav.)



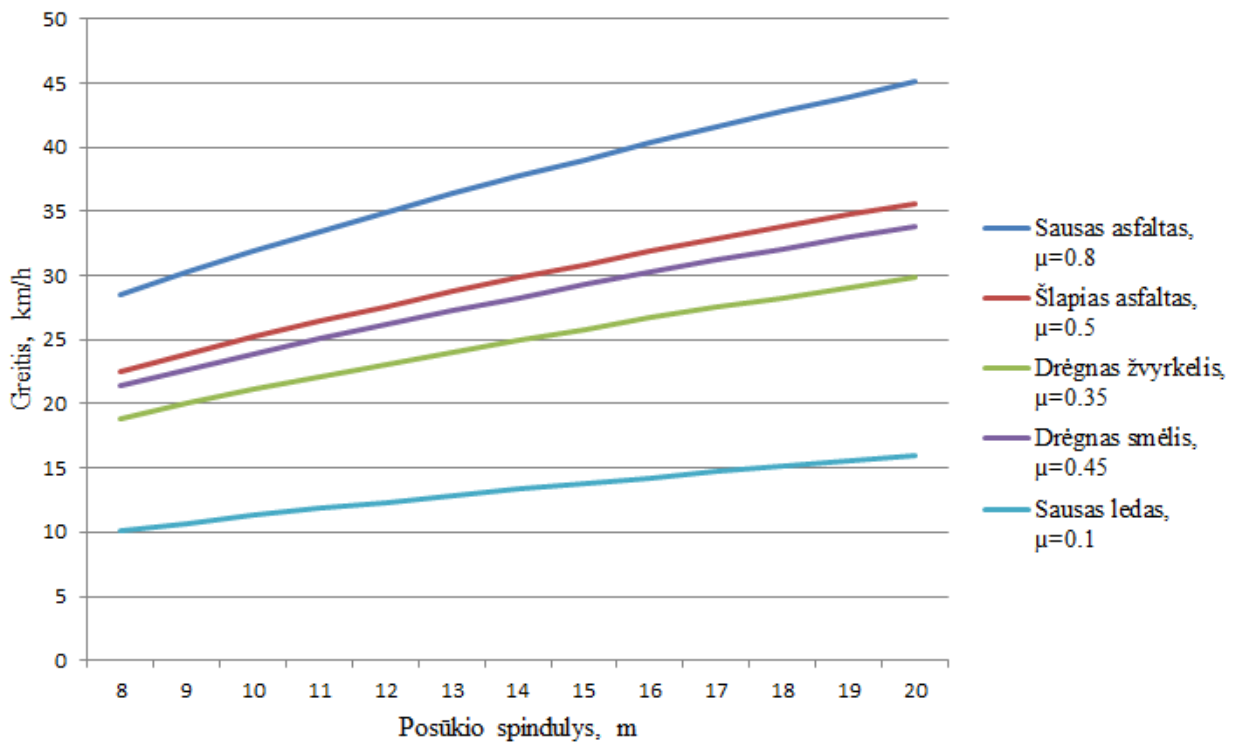
14 pav. Didžiausias kritinis sunkvežimio greitis prie tam tikro posūkio spindulio be priekabos

## 2.2. Kritinis krovininio automobilio neslydimo greitis posūkio metu

Apskaičiuokime sunkvežimio kritinius nelydimo greičius, pasinaudoje 1.5.23 formule, posūkio metu be vėjo ir su vėjo įtaka, kurio greitis kinta nuo 0m/s greičiu iki 5m/s greičiu kas 1m/s. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$  (žr. 1 lentelę). Laisvojo kritimo pagreitį imame  $g=9,81\text{m/s}^2$ , o posūkio spindulį  $R=8\div 20\text{m}$ . Žinodami šiuos duomenis galime apskaičiuoti kritinį konkrečios transporto priemonės neslydimo greitį posūkio metu.

Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant vėjui 0m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (15 pav.)

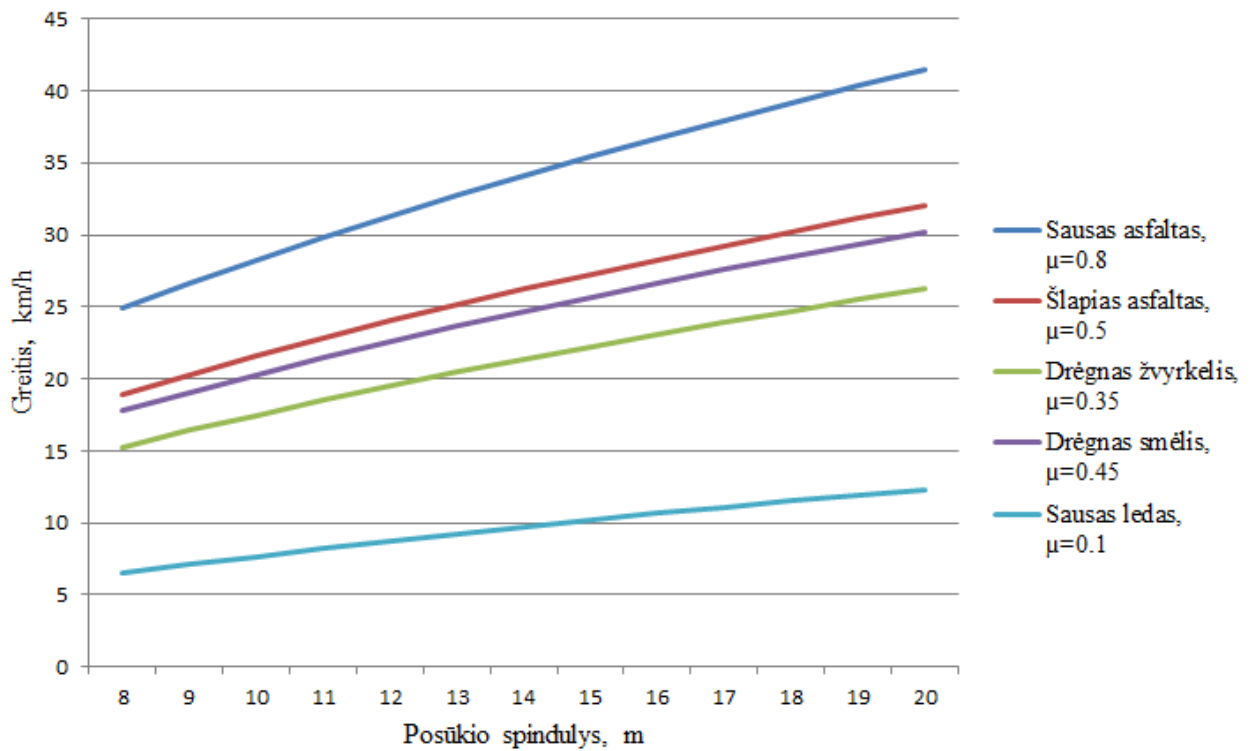




15 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 0m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo posūkio spindulys didesnis, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias neslydimo greitis yra sauso ledo, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$  ir posūkio spindulys 8m, greitis 10,1km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūkio spindulys 20m, neslydimo greitis 45,1km/h.

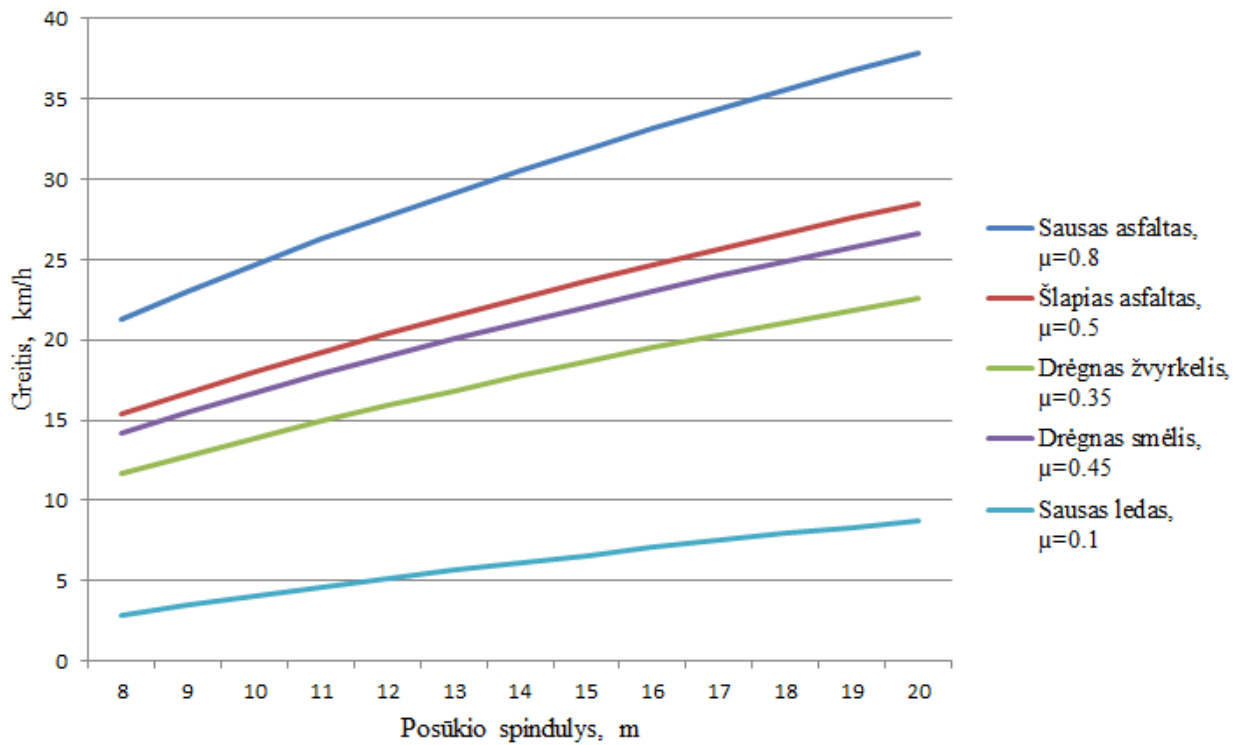
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant vėjui 1m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (16 pav.)



16 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 1m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias neslydimo greitis yra sauso ledo, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$  ir posūkio spindulys 8m, greitis 6,5km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūkio spindulys 20m, neslydimo greitis 41,5km/h.

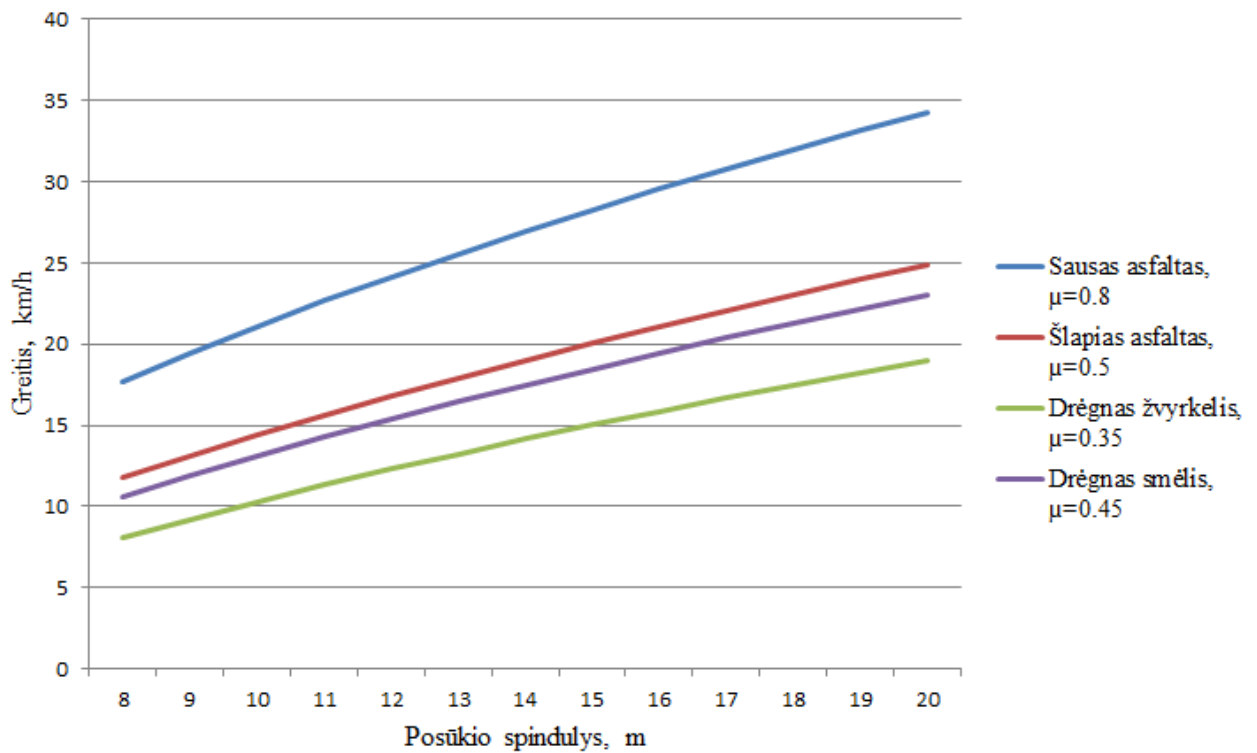
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant vėjui 2m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (17 pav.)



17 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 2m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias neslydimo greitis yra sauso ledo, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$  ir posūkio spindulys 8m, greitis 2,9km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūkio spindulys 20m, neslydimo greitis 38km/h.

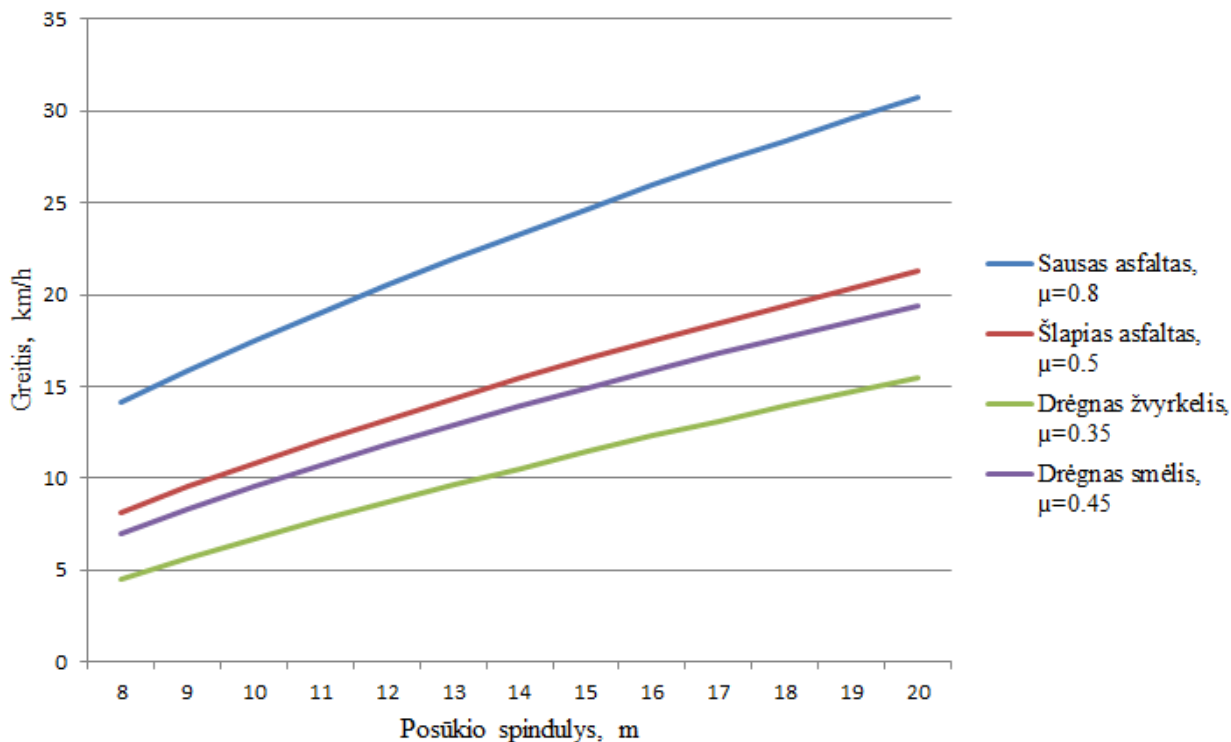
Apskaičiuokime krovinio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant vėjui 3m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (18 pav.)



18 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 3m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias greitis yra drėgno žvyrkelio, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,35$  ir posūkio spindulys 8m, neslydimo greitis 8km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūkio spindulys 20m, neslydimo greitis 34,3km/h.

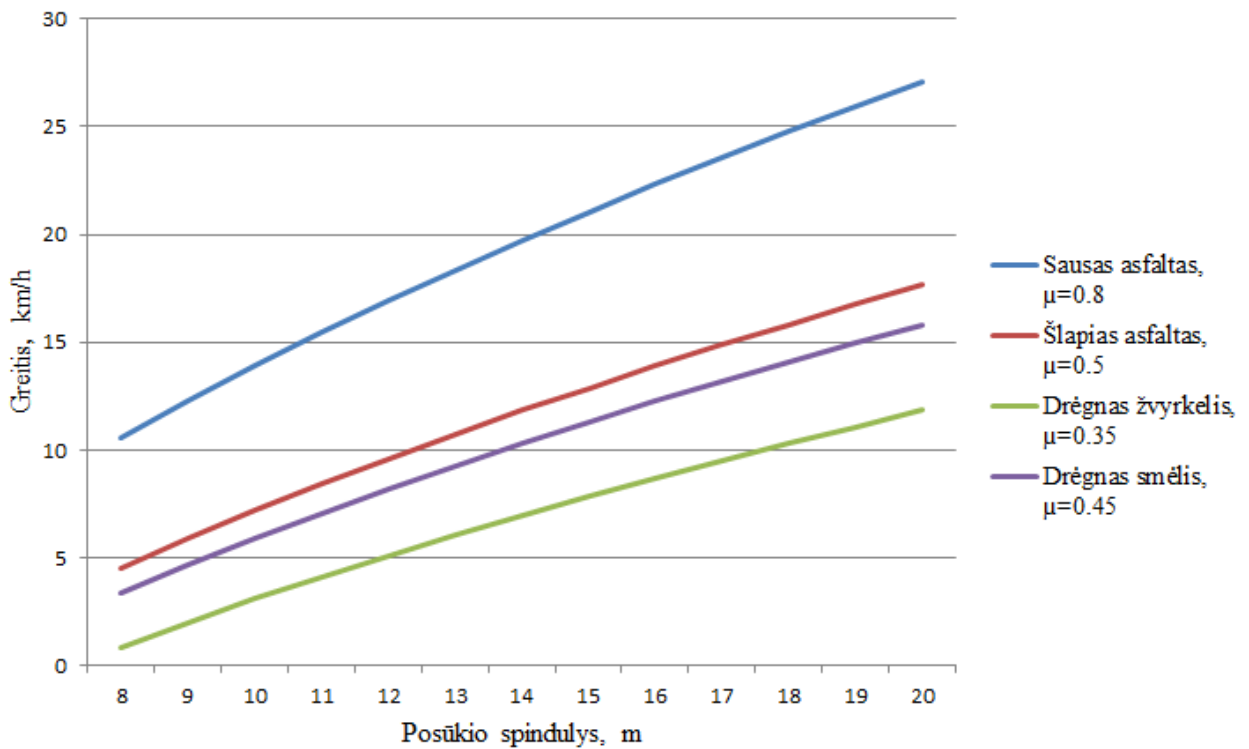
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant vėjui 4m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (19 pav.)



19 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai vėjo greitis 4m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūčio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūčio spindulys, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūčio metu. Matyti, kad mažiausias greitis yra drėgno žvyrkelio, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,35$  ir posūčio spindulys 8m, neslydimo greitis 4,5km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūčio spindulys 20m, neslydimo greitis 31km/h.

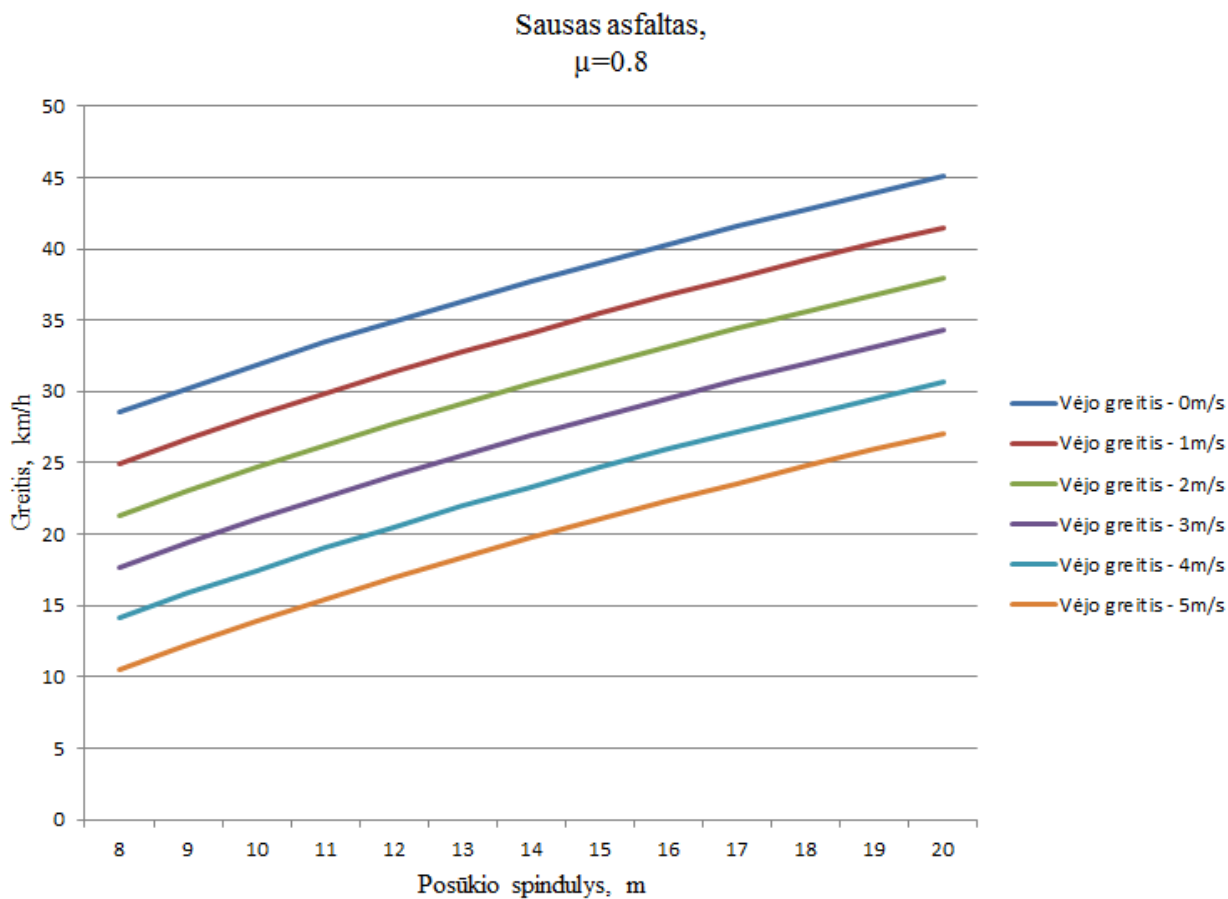
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, esant vėjui 5m/s greičiu ir skirtingiems sukibimo koeficientams  $\mu$ : (20 pav.)



20 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 5m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis neslydimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias greitis yra drėgno žvyrkelio, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,35$  ir posūkio spindulys 8m, neslydimo greitis 1km/h, o didžiausias – sauso asfalto, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$  ir posūkio spindulys 20m, neslydimo greitis 27km/h.

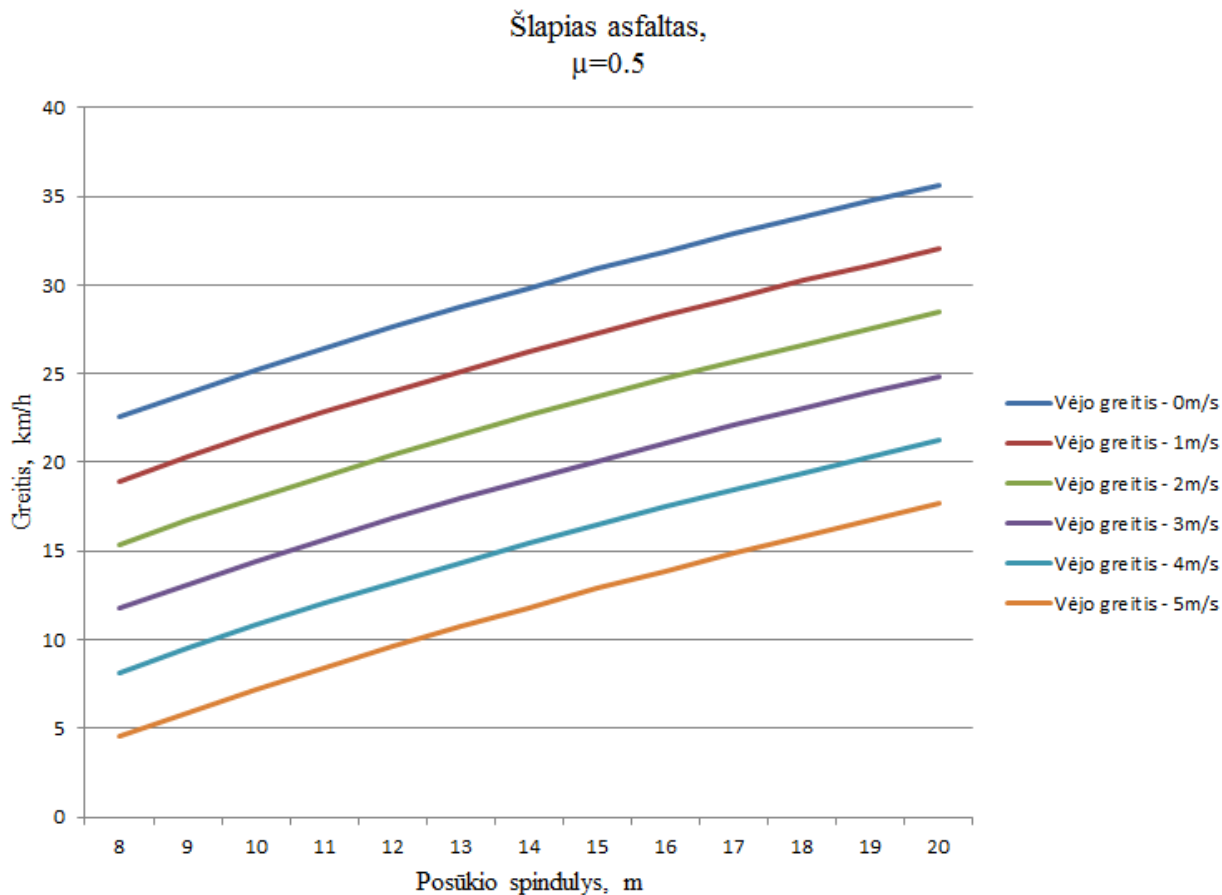
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, važiuojant sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (21 pav.)



21 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant sukibimo koeficientui  $\mu=0,8$ , neslydimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2 kartus.

Apskaičiuokime krovinio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, važiuojant šlapiu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,5$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (22 pav.)

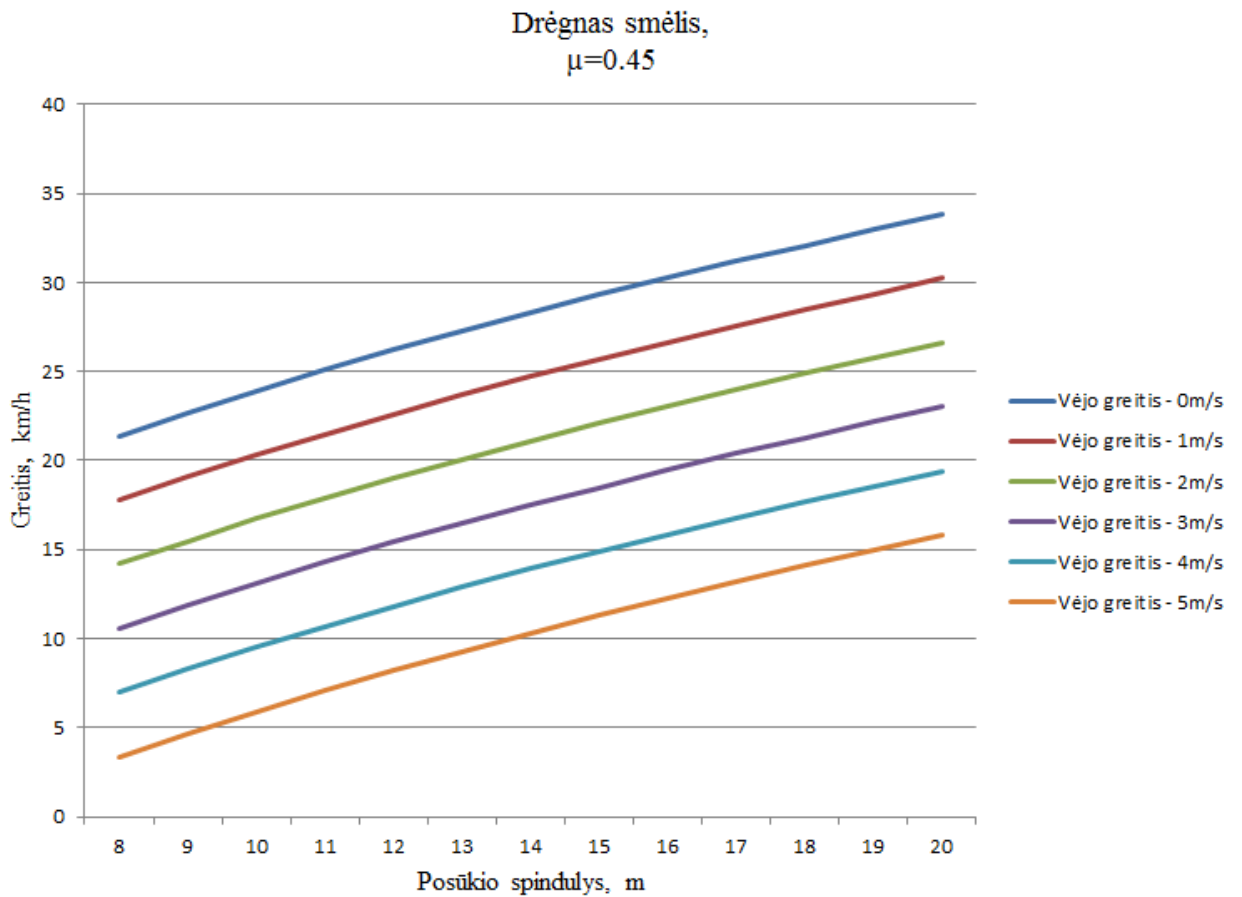


22 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koeficientas  $\mu=0,5$

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant sukibimo koeficientui  $\mu=0,5$ , neslydimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2,8 karto.

Apskaičiuokime krovinio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, važiuojant drėgnu smėliu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,45$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (23 pav.)

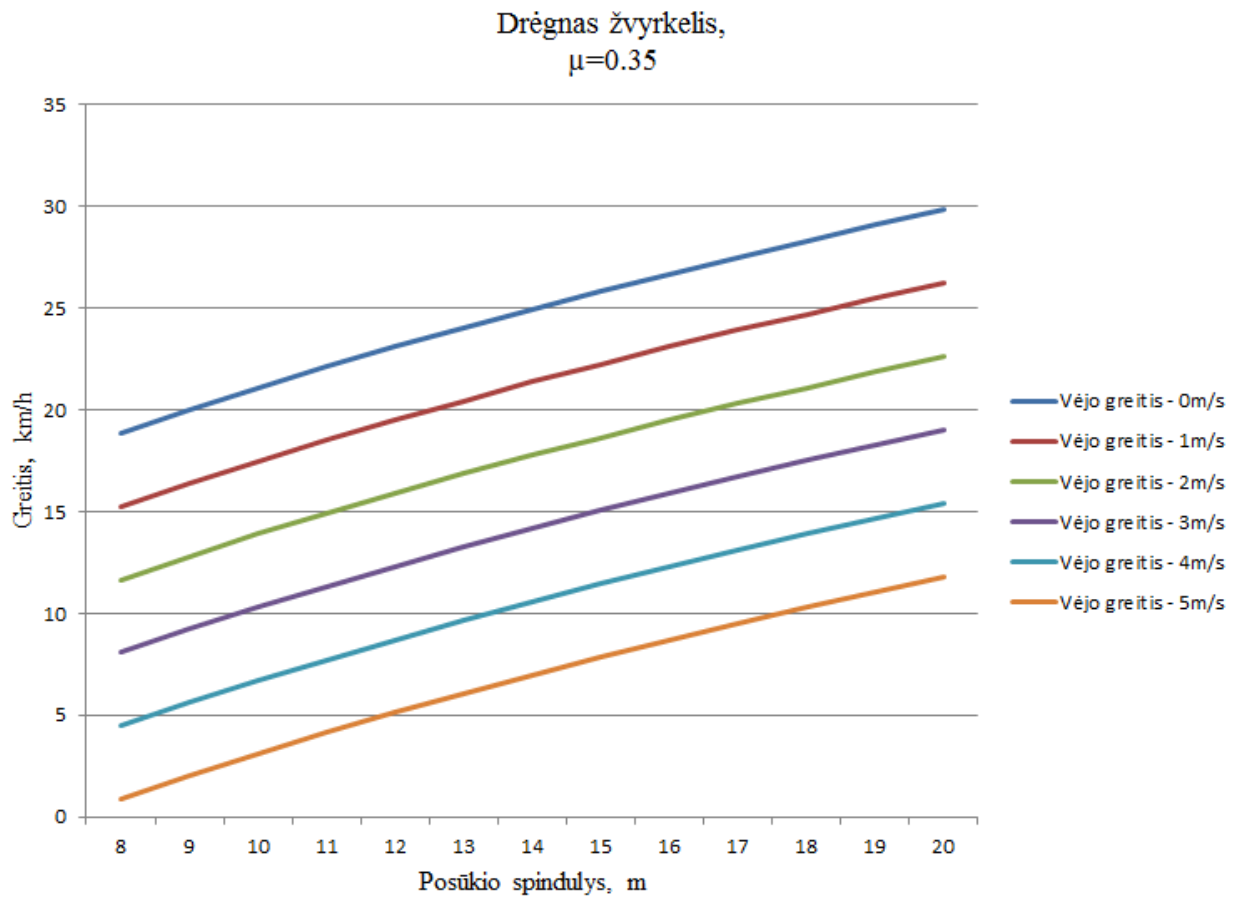




23 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai sukibimo koeficientas  $\mu=0,45$

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant sukibimo koeficientui  $\mu=0,45$ , neslydimo greitis vidutiniškai sumažėjo 3,2 karto.

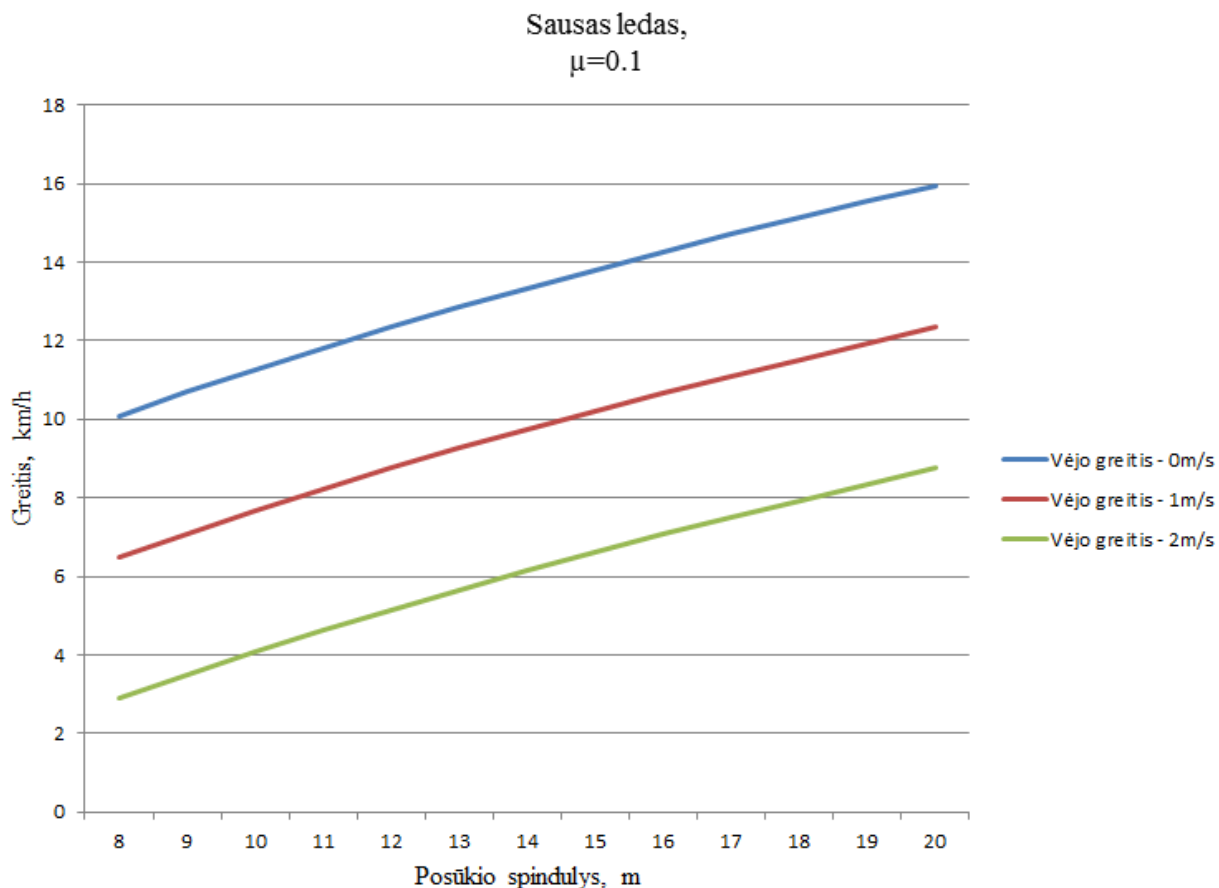
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, važiuojant drėgnu žvyrkeliu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,35$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (24 pav.)



24 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai sukibimo koeficientas  $\mu=0,35$

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant sukibimo koeficientui  $\mu=0,35$ , neslydimo greitis vidutiniškai sumažėjo 5,6 karto.

Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį neslydimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, važiuojant sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (25 pav.)



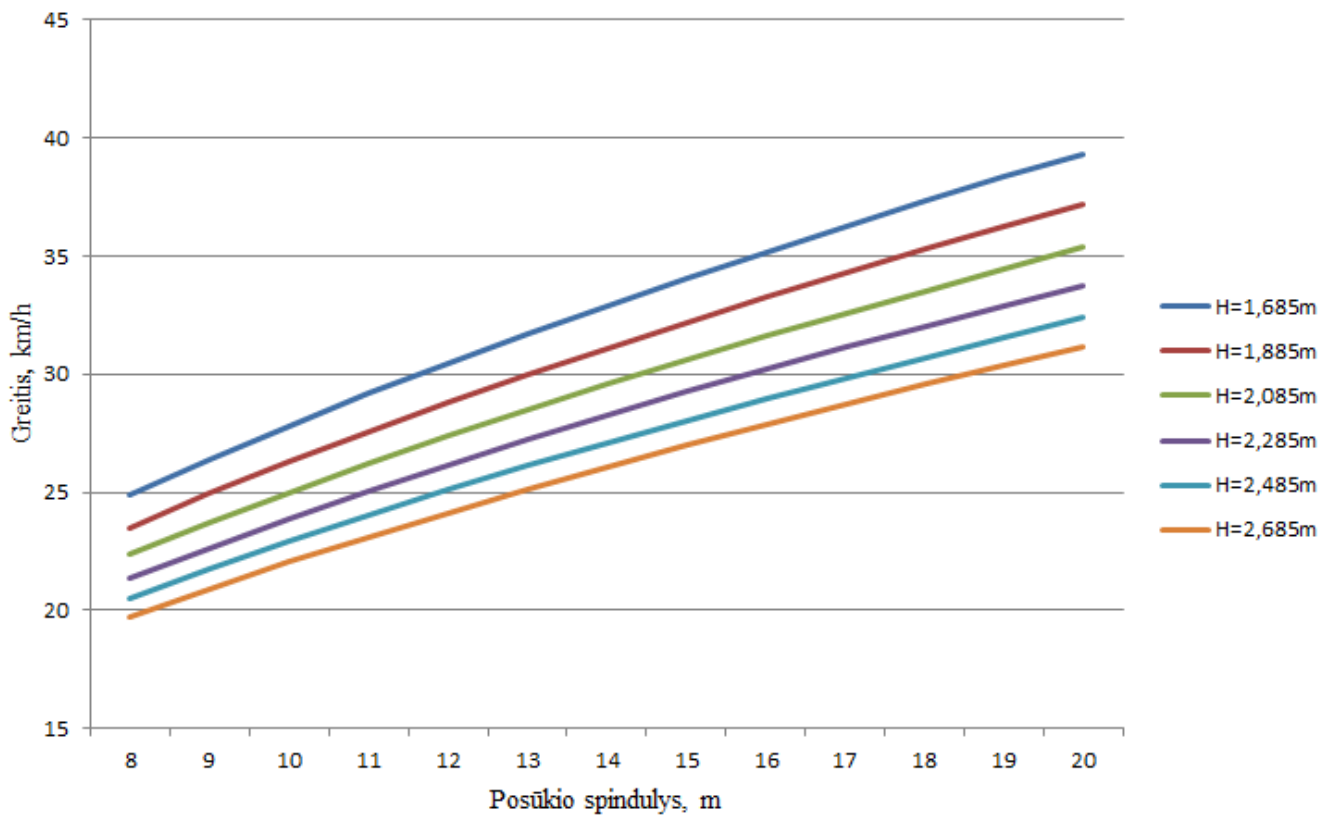
25 pav. Kritinis neslydimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 2m/s, esant sukibimo koeficientui  $\mu=0,1$ , neslydimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2,3 karto.

### 2.3. Kritinis krovininio automobilio nevirtimo greitis posūkio metu

Apskaičiuokime sunkvežimio kritinius nevirtimo greičius, pasinaudoje 1.5.16 formule, posūkio metu be vėjo ir su vėjo įtaka, kurio greitis kinta nuo 0m/s greičiu iki 5m/s greičiu kas 1m/s. Svorio centro aukštį kelsim kas 200mm, nuo  $H=1,685\text{m}$  iki  $H=2,685$ . Laisvojo kritimo pagreitį imame  $g=9,81\text{m/s}^2$ , ratų provėža iš 24 pav. Nustatyta  $B=2,05\text{m}$ , posūkio spindulys  $R=8\div 20\text{m}$ . Žinodami šiuos duomenis galime apskaičiuoti kritinį konkrečios transporto priemonės nevirtimo greitį posūkio metu.

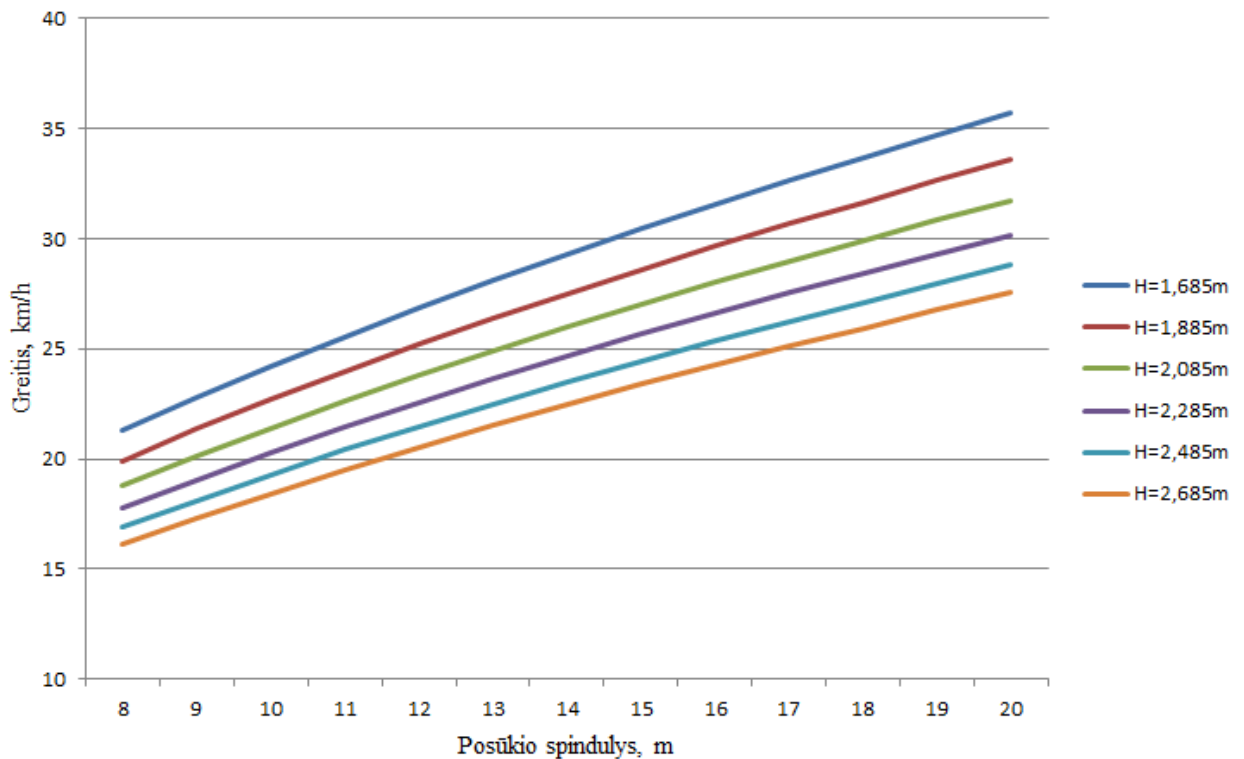
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 0m/s: (26 pav.)



26 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 0m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 19,7km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 39km/h.

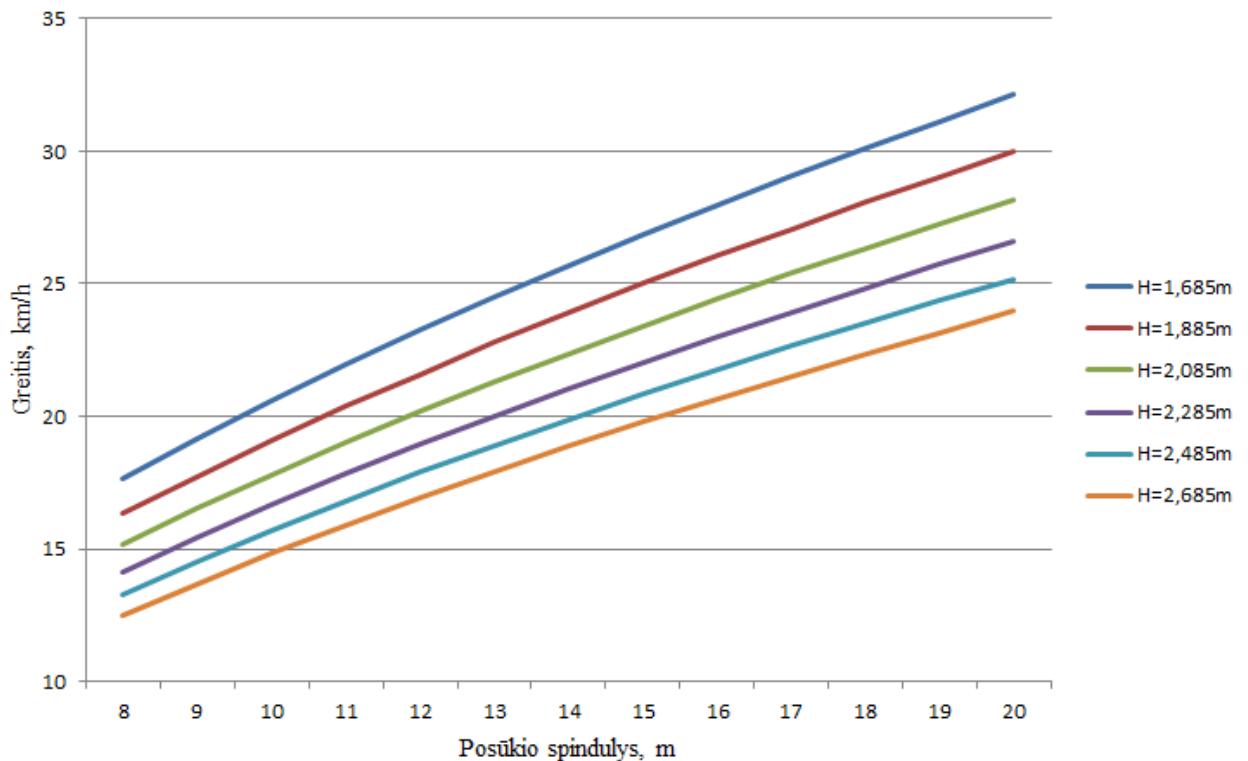
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 1m/s: (27 pav.)



27 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 1m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 16km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 35,7km/h.

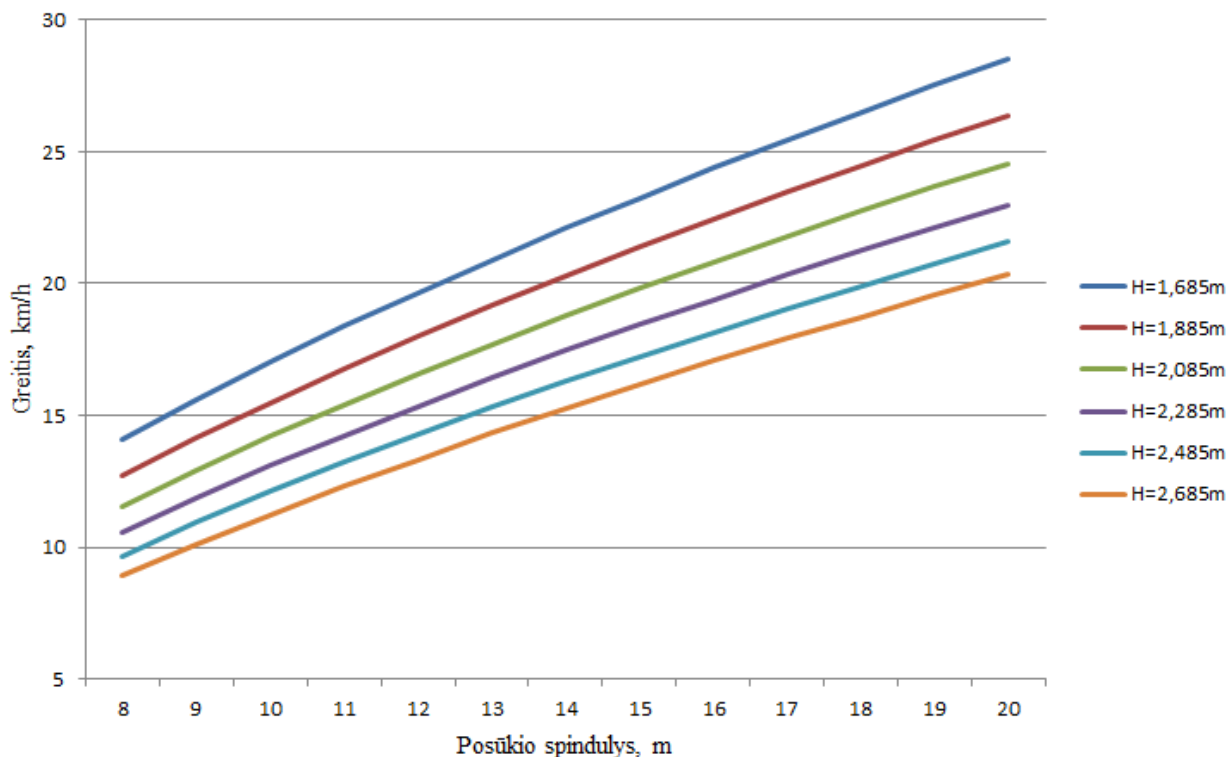
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 2m/s: (28 pav.)



28 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 2m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 12,5km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 32km/h.

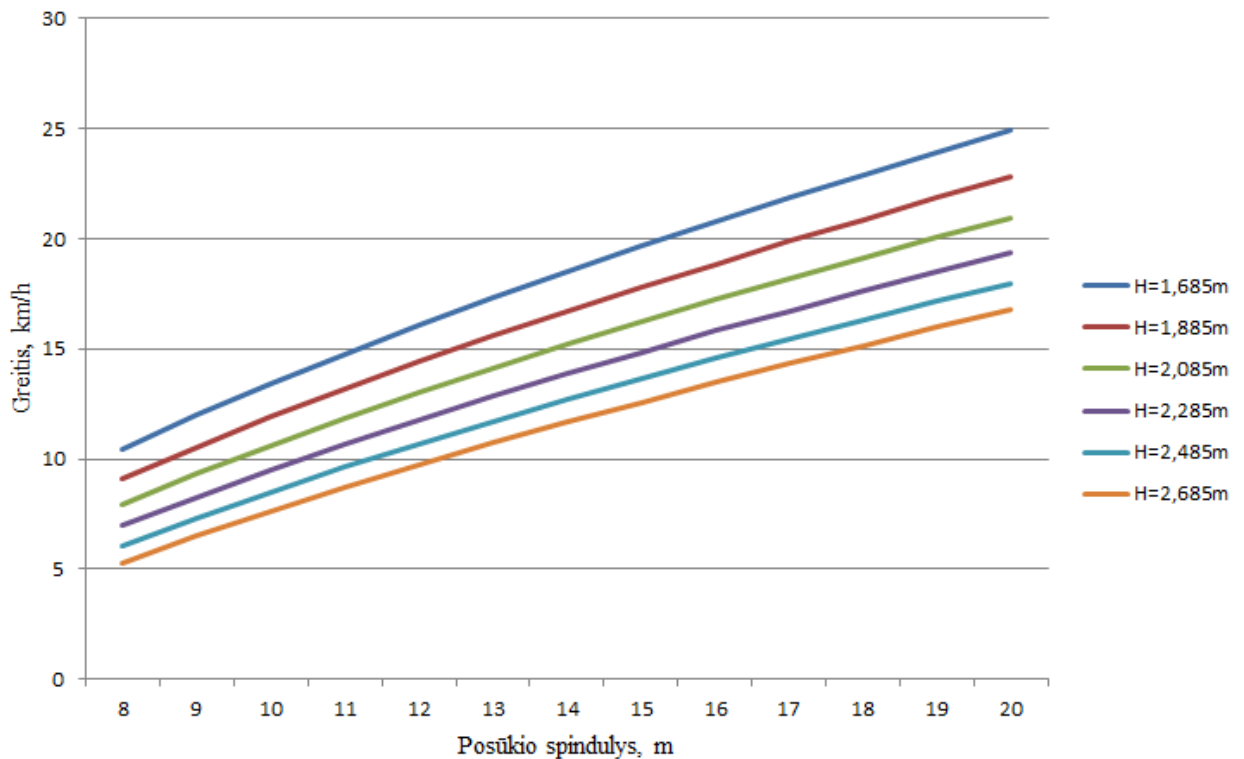
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 3m/s: (29 pav.)



29 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 3m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 8,9km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 28,5km/h.

Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 4m/s: (30 pav.)

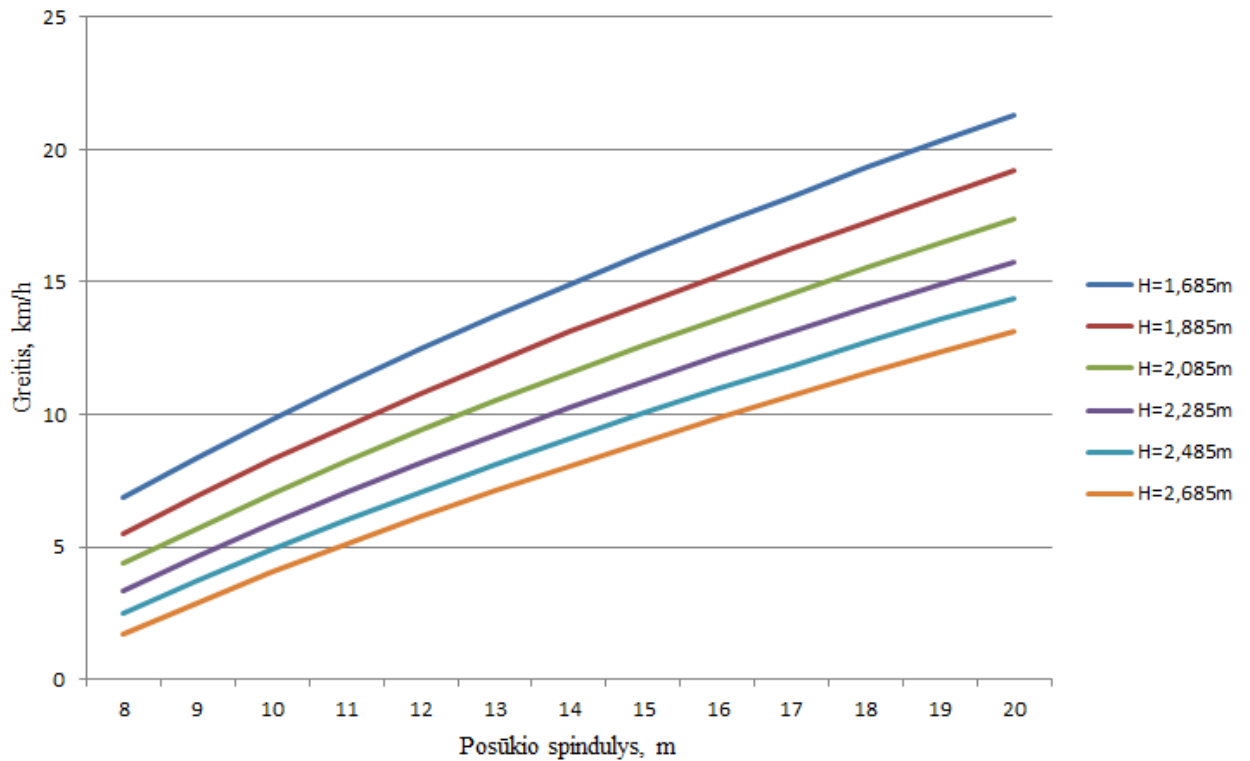


30 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 4m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 5,3km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 25km/h.

Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, esant skirtingiems svorio centro aukščiams  $H$ , kai vėjo greitis 5m/s: (31 pav.)

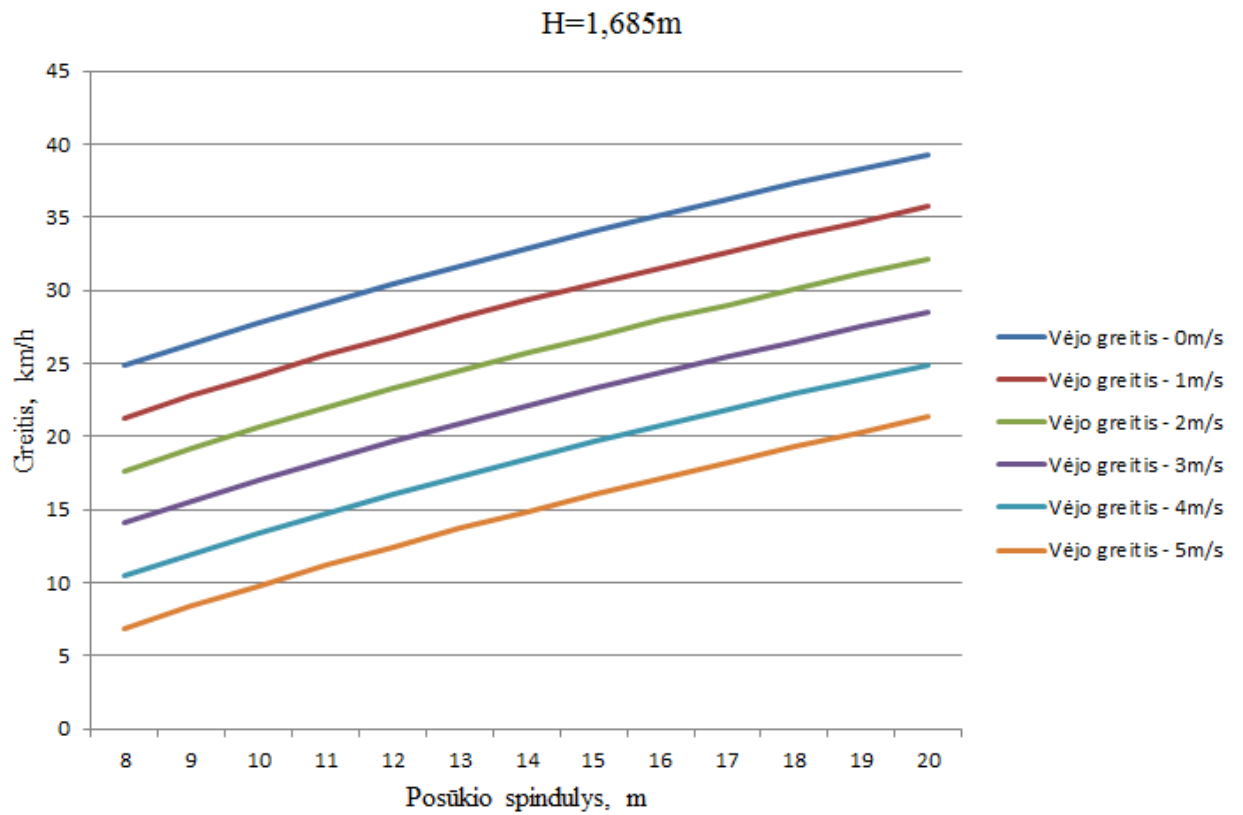




31 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai vėjo greitis 5m/s

Gauname greičio priklausomybę nuo posūkio spindulio. Nustatyta, kad kuo didesnis posūkio spindulys, tuo mažesnis kritinis nevirtimo greitis posūkio metu. Matyti, kad mažiausias nevirtimo greitis, kai sunkvežimio svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 8m, yra 1,7km/h, o didžiausias nevirtimo greitis, kai svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$  ir posūkio spindulys 20m, yra 21km/h.

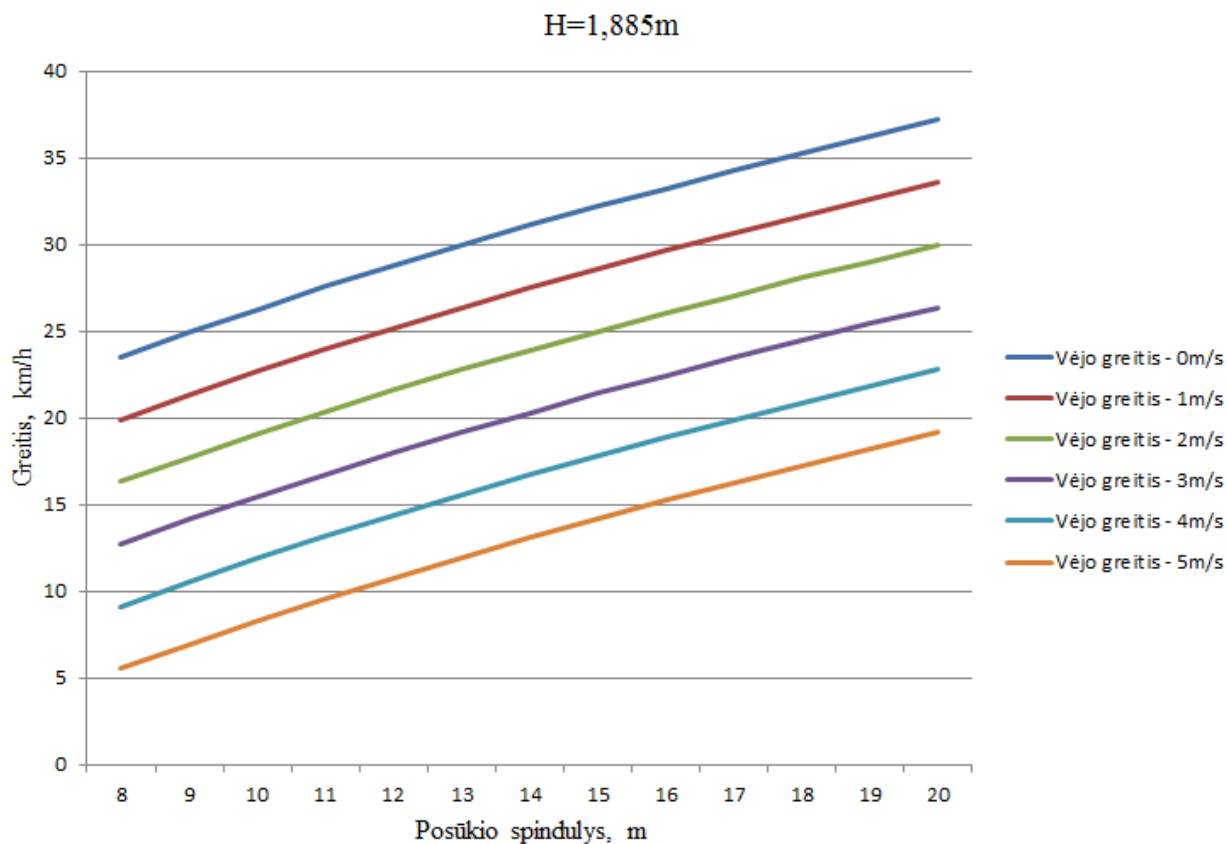
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, kurio svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$ , esant skirtingam vėjo greičiui: (32 pav.)



32 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=1,685m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=1,685m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2,4 karto.

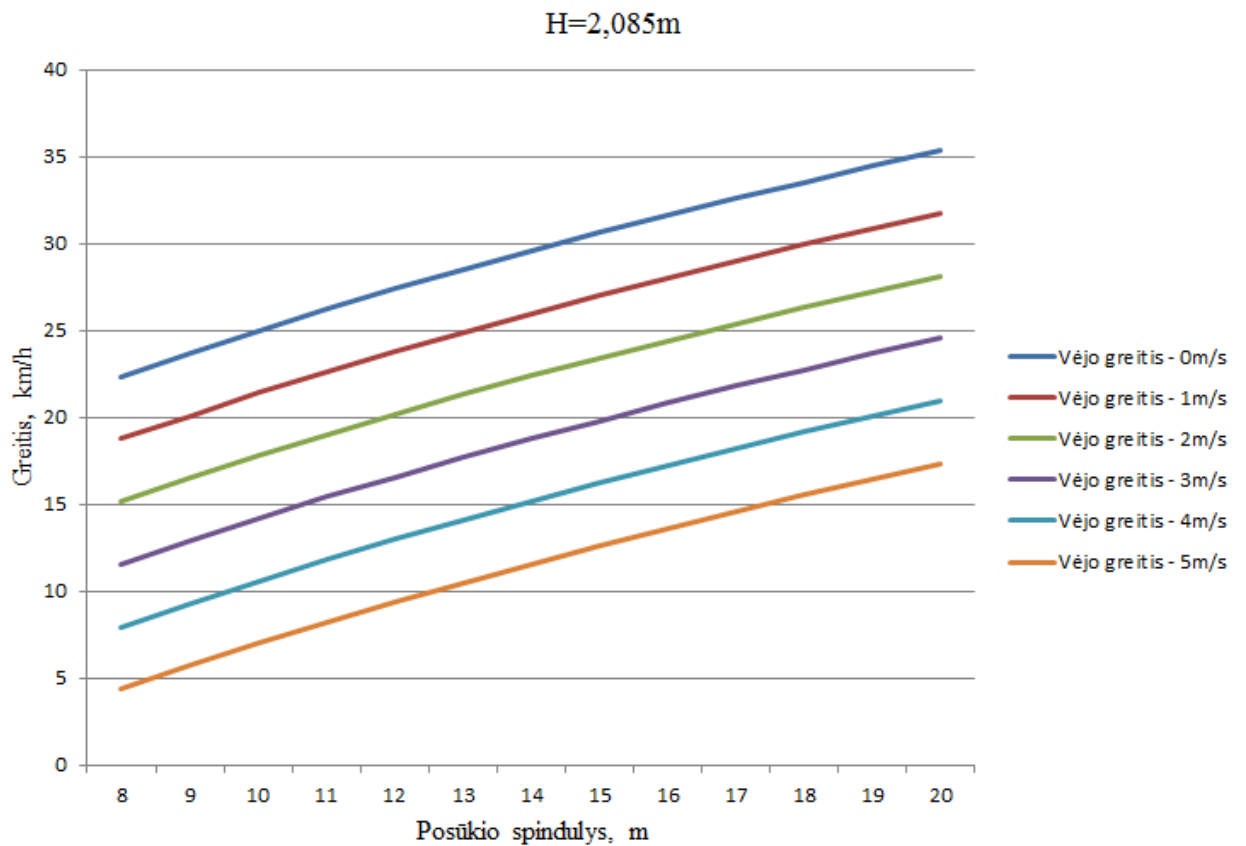
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, kurio svorio centro aukštis H=1,885m, esant skirtingam vėjo greičiui: (33 pav.)



33 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=1,885m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=1,885m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2,6 karto.

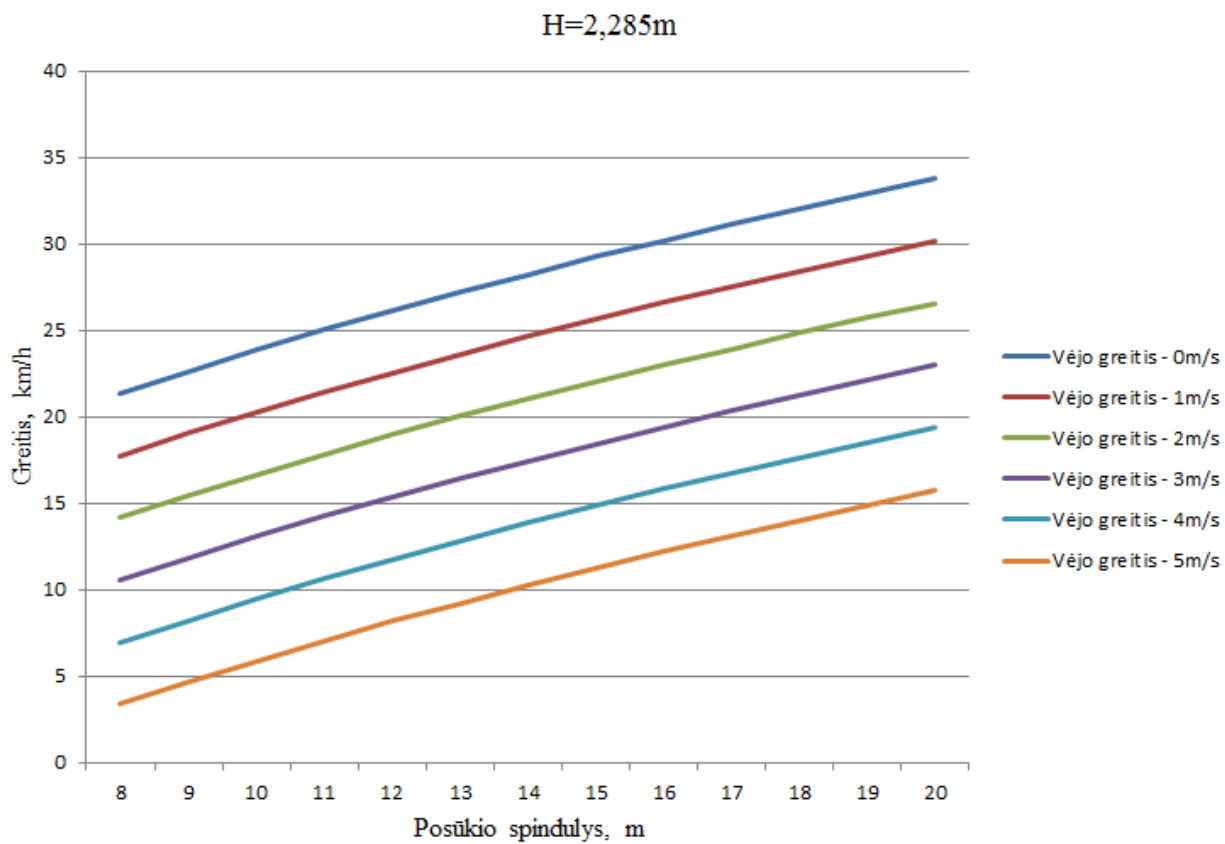
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, kurio svorio centro aukštis H=2,085m, esant skirtingam vėjo greičiui: (34 pav.)



34 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=2,085m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=2,085m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 2,9 karto.

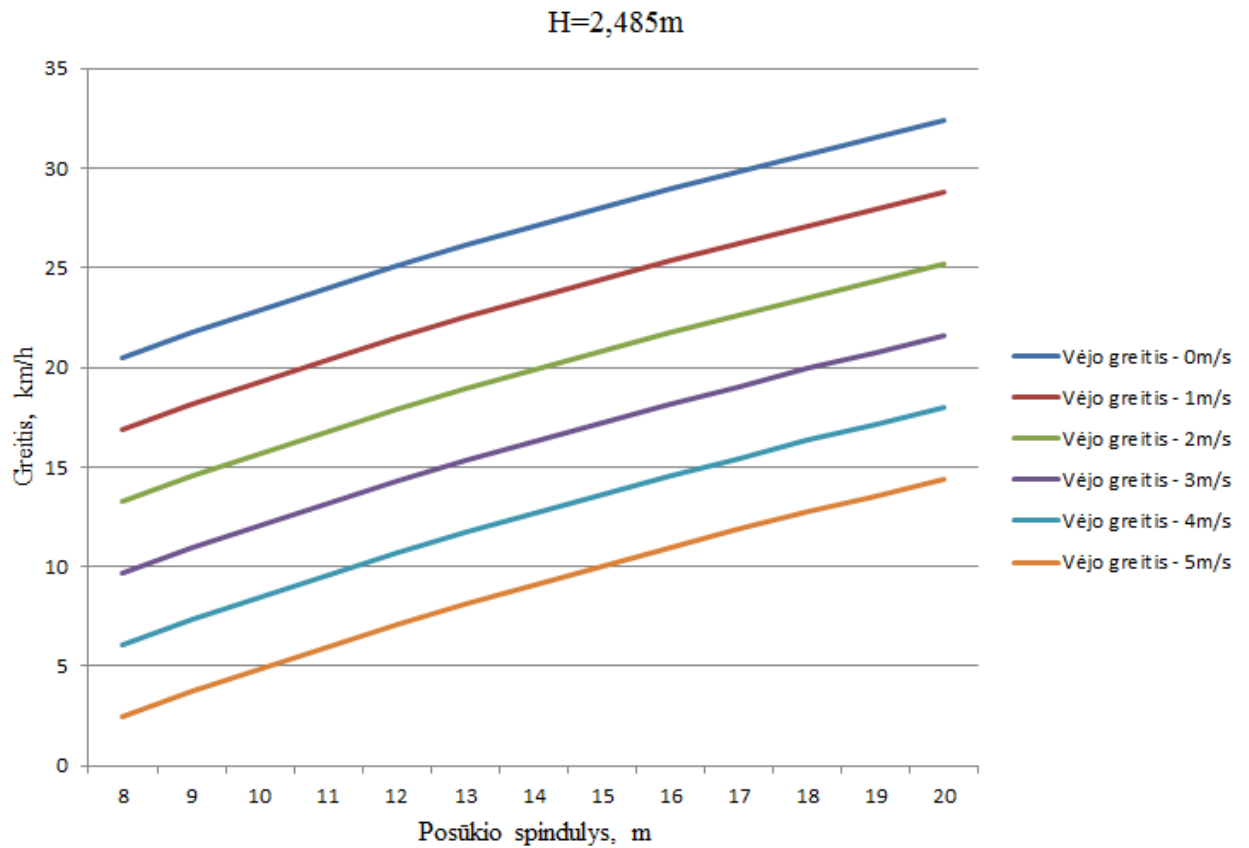
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, kurio svorio centro aukštis H=2,285m, esant skirtingam vėjo greičiui: (35 pav.)



35 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūkio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=2,285m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=2,285m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 3,2 karto.

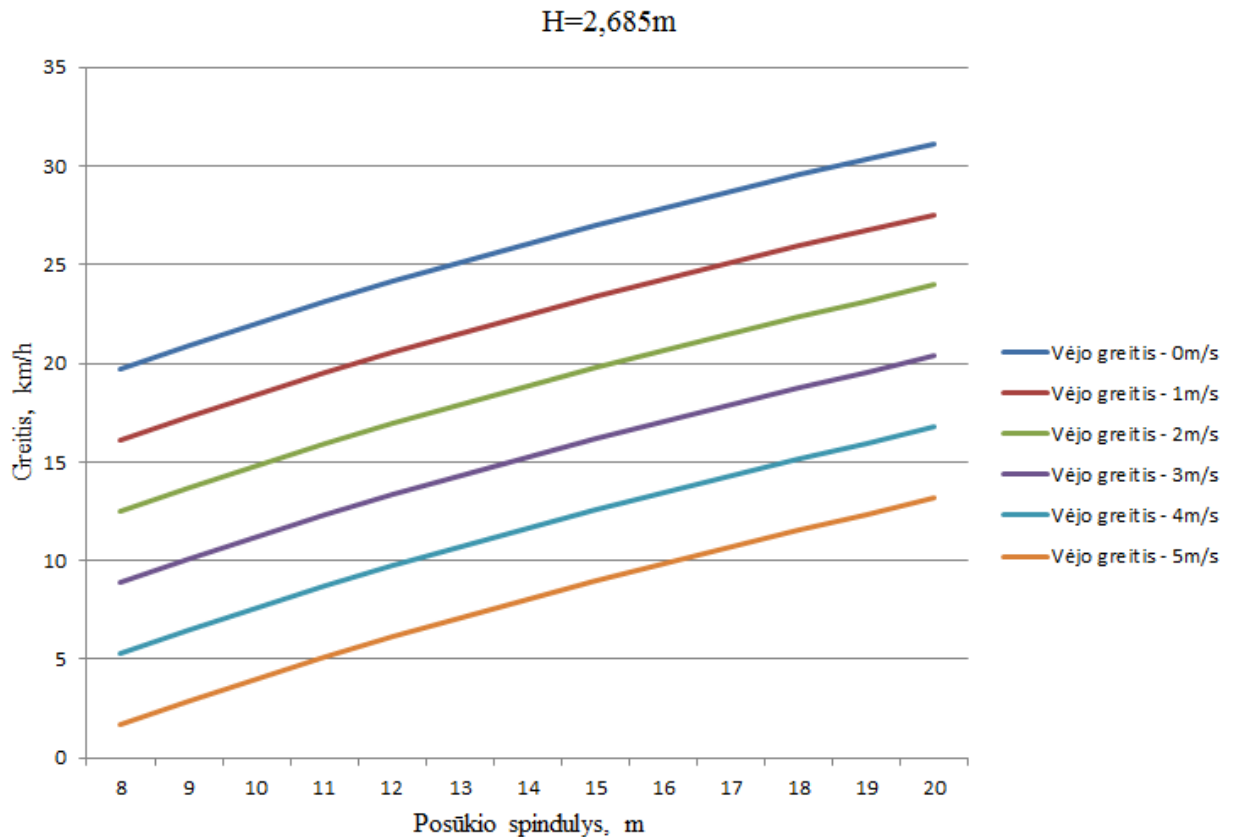
Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūkio spindulio, kurio svorio centro aukštis H=2,485m, esant skirtingam vėjo greičiui: (36 pav.)



36 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=2,485m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=2,485m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 3,65 karto.

Apskaičiuokime krovininio automobilio kritinį nevirtimo greitį prie tam tikro posūčio spindulio, kurio svorio centro aukštis H=2,685m, esant skirtingam vėjo greičiui: (37 pav.)



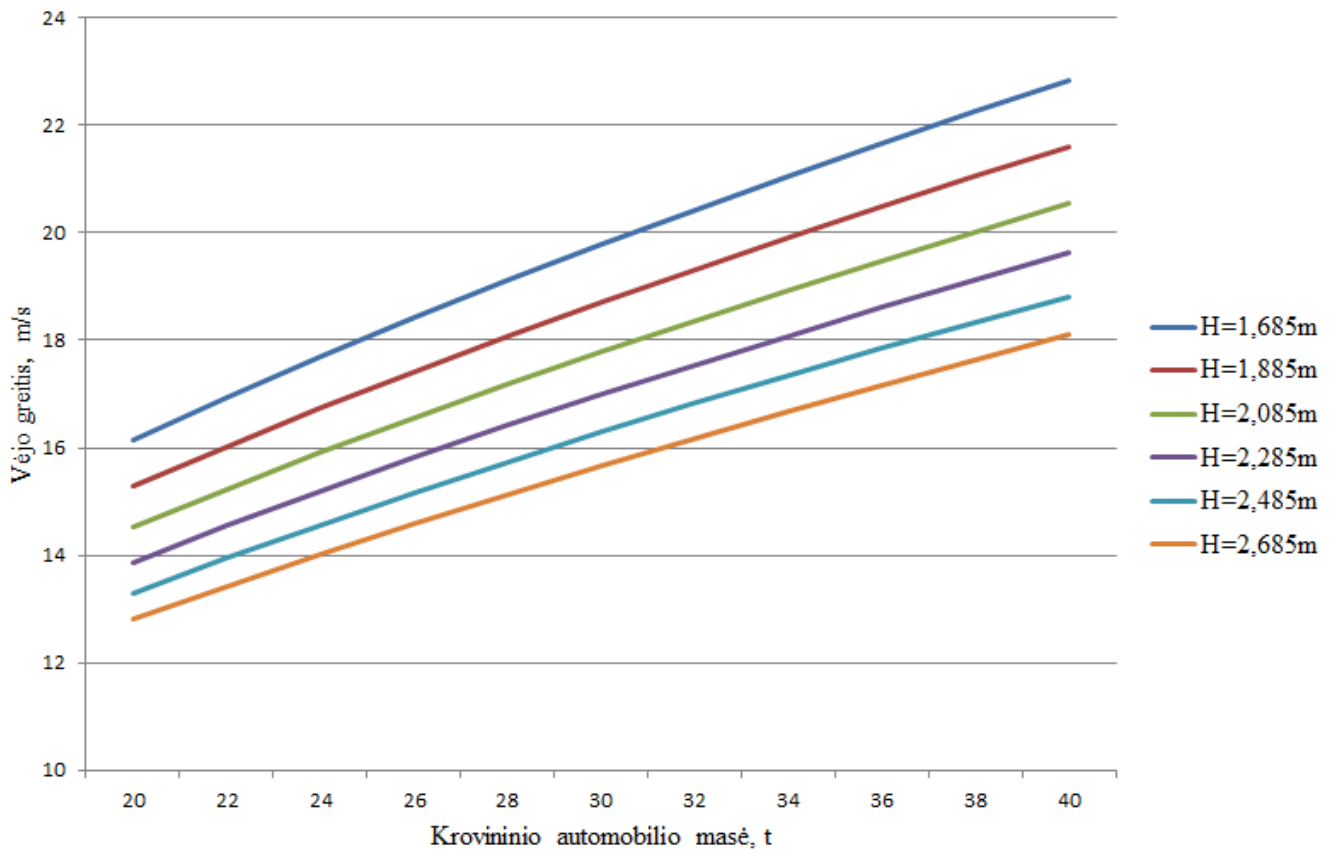
37 pav. Kritinis nevirtimo greitis esant skirtingiems posūčio spinduliams, kai svorio centro aukštis H=2,685m

Iš grafiko matyti, kad pakitus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, esant svorio centro aukščiui H=2,685m, nevirtimo greitis vidutiniškai sumažėjo 4,25 karto.

## 2.4. Šoninio vėjo įtaka kroviniui automobilio virtimui

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.1 formule, virtimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kurio ratų provėža B=1,85m, o šoninis plotas lygus A=71,4m<sup>2</sup>. Sunkvežimio masę imsime m=20÷40t, tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant 0° ir 760mm Hg stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ . Svorio centro aukštis nuo žemės H=1,685÷2,685m, laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui važiuojant tiesiai skirtingai pakrautam, su skirtingu svorio centro aukščiu, kroviniui automobiliui, kurio ratų bazė B=1,85m: (38 pav.)



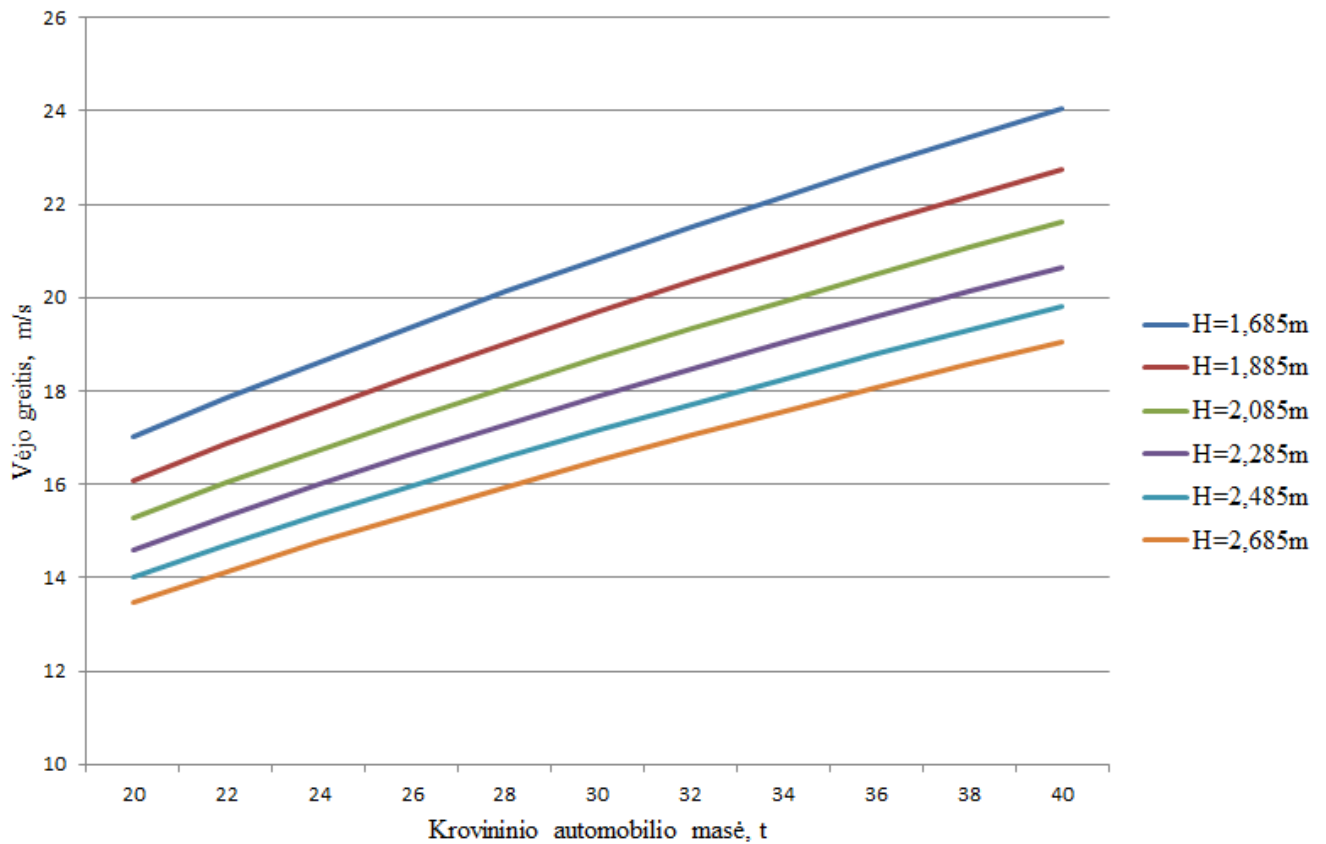
38 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė B=1,85m

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo svorio centro aukštis yra didesnis, tuo mažesnis kritinis šoninio vėjo greitis virtimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis virtimui, kai sunkvežimis pilnai nepakrautas ir svorio centro aukštis H=2,685m, yra 12,8m/s, o didžiausias greitis, kai sunkvežimis pilnai pakrautas ir svorio centro aukštis H=1,685m, yra 22,9m/s.

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoje 1.6.1 formule, virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kurio ratų provėža B=2,05m, o šoninis plotas lygus A=71,4m<sup>2</sup>. Sunkvežimio masę imsime m=20÷40t, tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant 0° ir 760mm Hg stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ . Svorio centro aukštis nuo žemės H=1,685÷2,685m, laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui važiuojant tiesiai skirtingai pakrautam, su skirtingu svorio centro aukščiu, krovininiui automobiliui, kurio ratų bazė B=2,05m: (39 pav.)



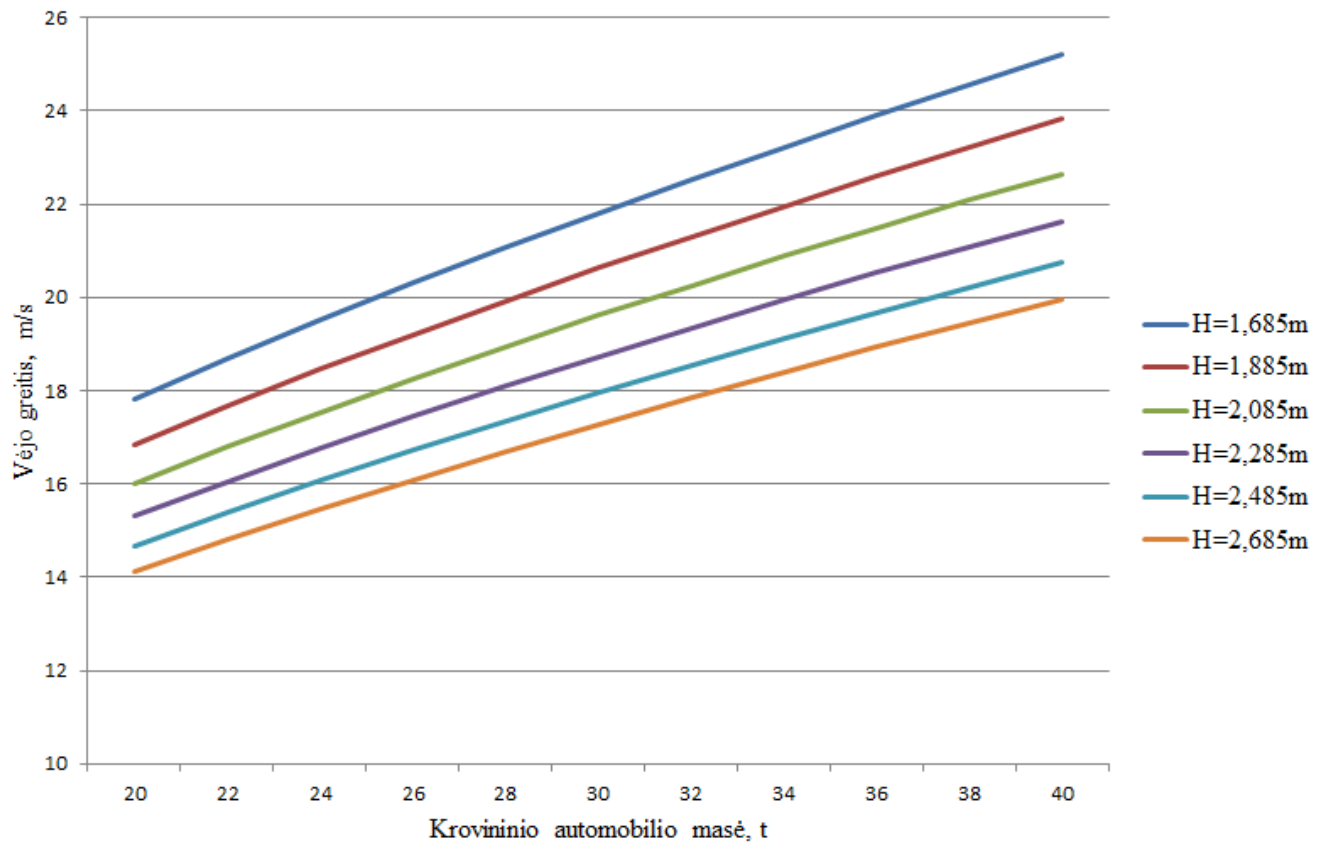


39 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,05\text{m}$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo svorio centro aukštis yra didesnis, tuo mažesnis kritinis šoninio vėjo greitis virtimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis virtimui, kai sunkvežimis pilnai nepakrautas ir svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$ , yra  $13,5\text{m/s}$ , o didžiausias greitis, kai sunkvežimis pilnai pakrautas ir svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$ , yra  $24\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.1 formule, virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kurio ratų provėža  $B=2,25\text{m}$ , o šoninis plotas lygus  $A=71,4\text{m}^2$ . Sunkvežimio masę imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ . Svorio centro aukštis nuo žemės  $H=1,685\div 2,685\text{m}$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui važiuojant tiesiai skirtingai pakrautam, su skirtingu svorio centro aukščiu, krovininiui automobiliui, kurio ratų bazė  $B=2,25\text{m}$ : (40 pav.)

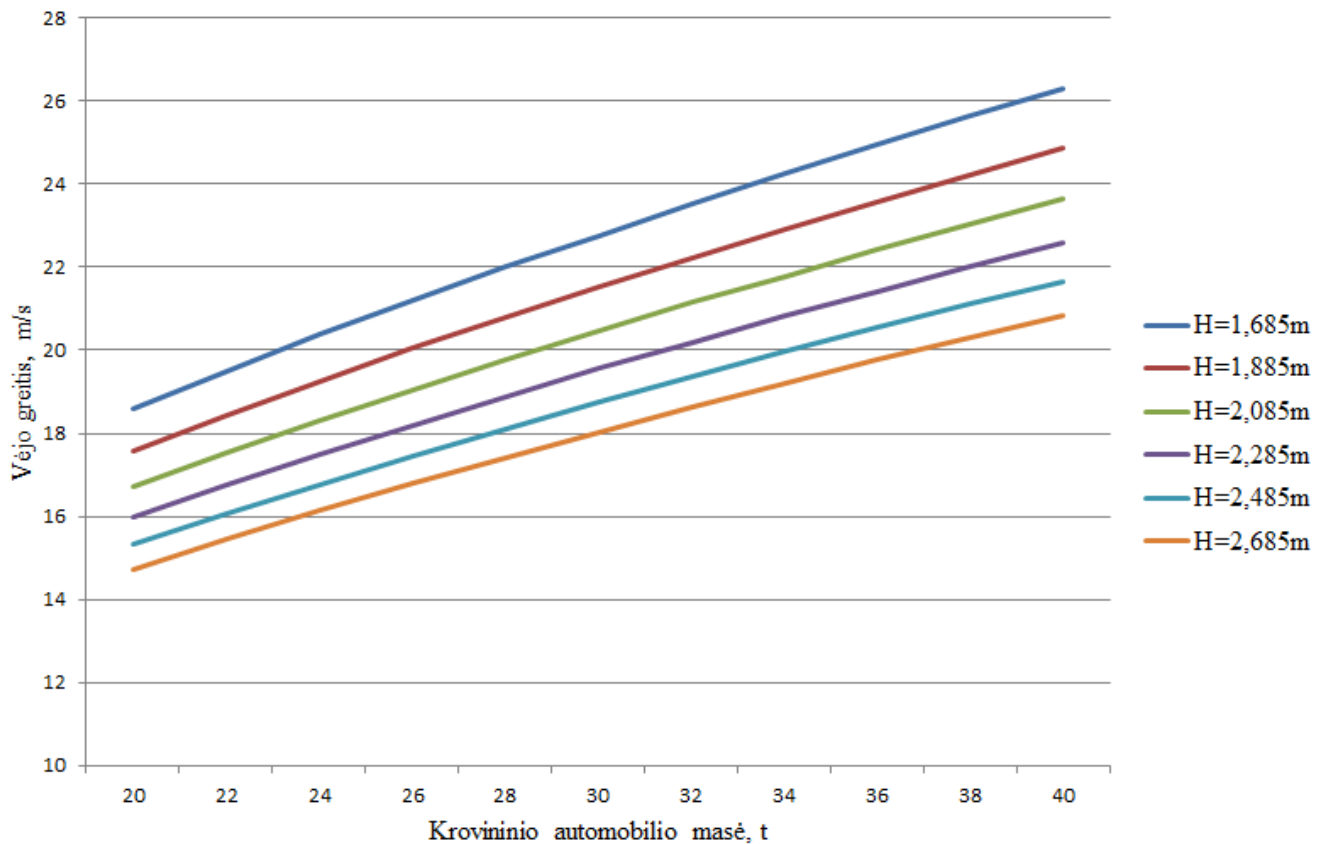


40 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,25\text{m}$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo svorio centro aukštis yra didesnis, tuo mažesnis kritinis šoninio vėjo greitis virtimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis virtimui, kai sunkvežimis pilnai nepakrautas ir svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$ , yra  $14,1\text{m/s}$ , o didžiausias greitis, kai sunkvežimis pilnai pakrautas ir svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$ , yra  $25,2\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.1 formule, virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kurio ratų provėža  $B=2,45\text{m}$ , o šoninis plotas lygus  $A=71,4\text{m}^2$ . Sunkvežimio masę imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ . Svorio centro aukštis nuo žemės  $H=1,685\div 2,685\text{m}$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui važiuojant tiesiai skirtingai pakrautam, su skirtingu svorio centro aukščiu, krovininiui automobiliui, kurio ratų bazė  $B=2,45\text{m}$ : (41 pav.)



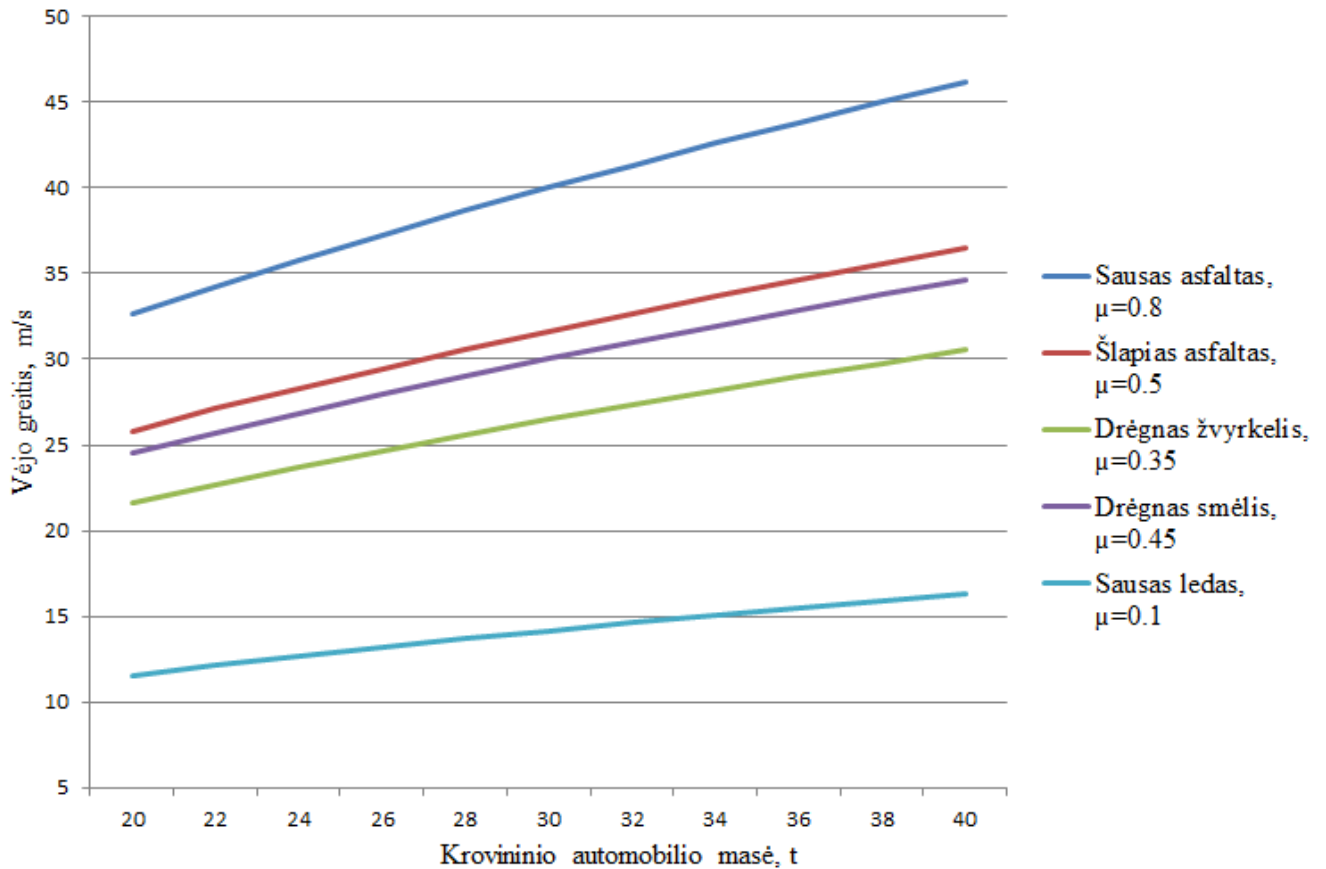
41 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis virtimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai, kai ratų bazė  $B=2,45\text{m}$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo svorio centro aukštis yra didesnis, tuo mažesnis kritinis šoninio vėjo greitis virtimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis virtimui, kai sunkvežimis pilnai nepakrautas ir svorio centro aukštis  $H=2,685\text{m}$ , yra  $14,7\text{m/s}$ , o didžiausias greitis, kai sunkvežimis pilnai pakrautas ir svorio centro aukštis  $H=1,685\text{m}$ , yra  $26,3\text{m/s}$ .

## 2.5. Šoninio vėjo įtaka krovininio automobilio slydimui

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui krovininiui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=50\text{m}^2$ , masę imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam kroviniui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=50\text{m}^2$ : (42 pav.)

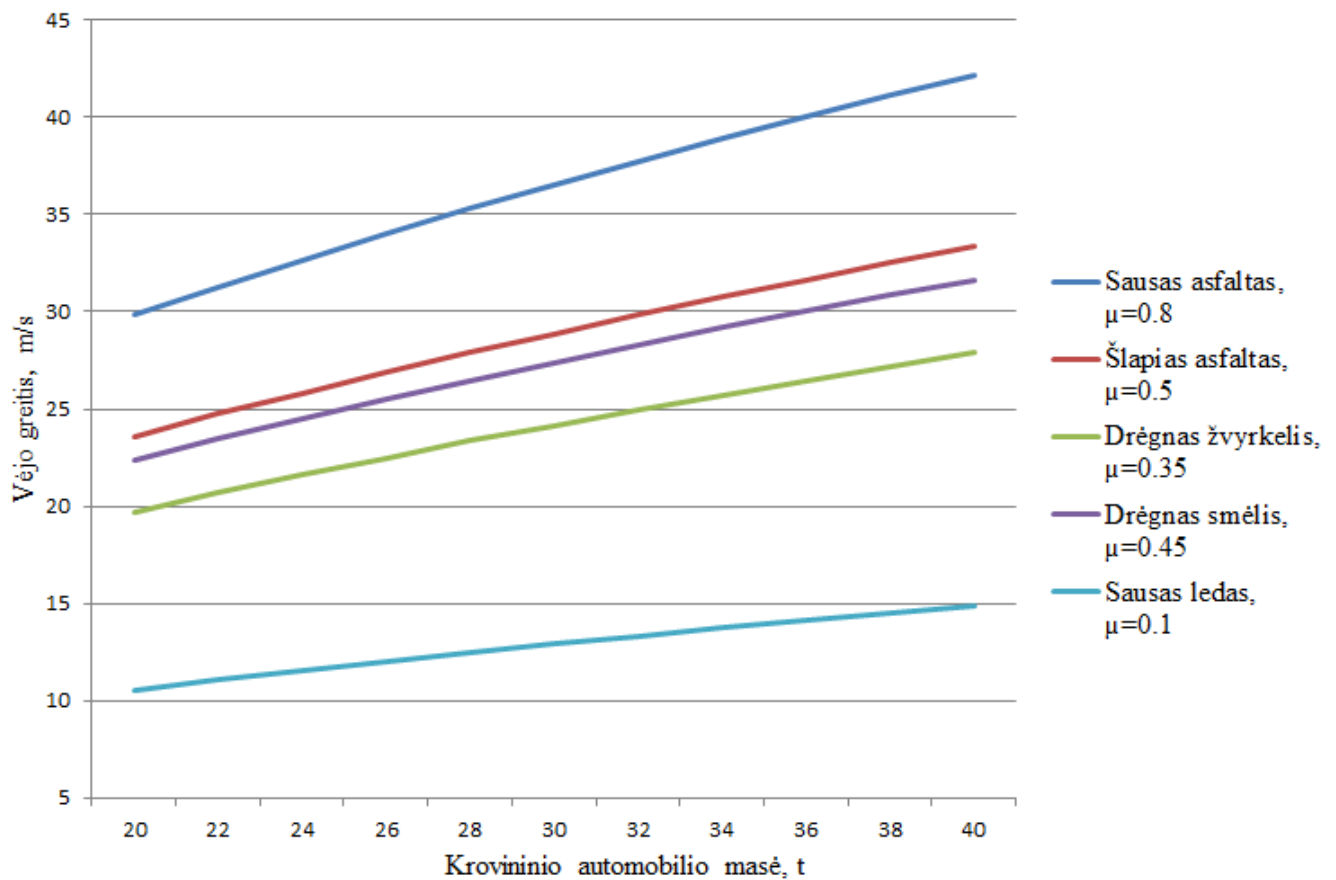


42 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=50\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovinio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $11,5\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $46,2\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=60\text{m}^2$ , masė imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam kroviniui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=60\text{m}^2$ : (43 pav.)

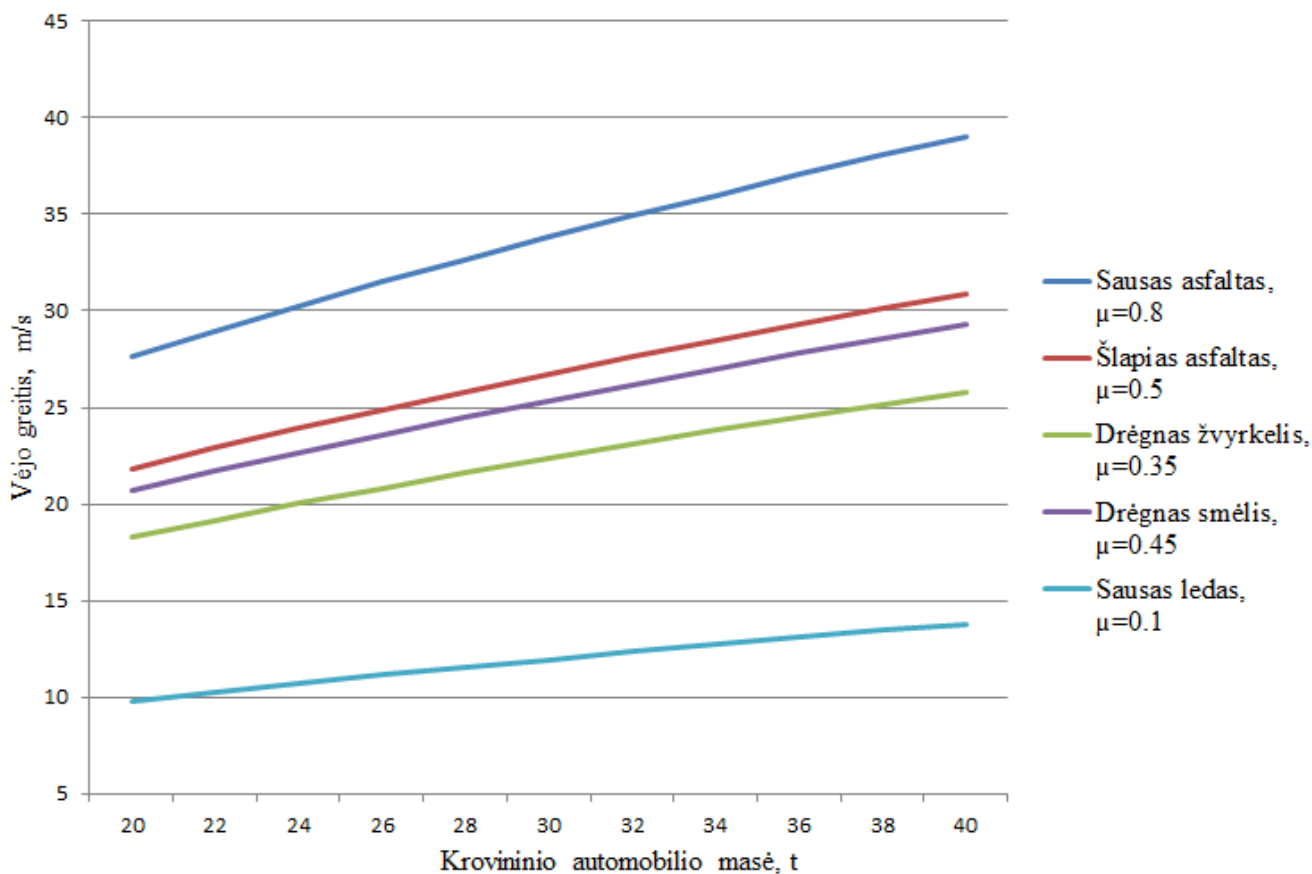


43 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=60\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovinio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $10,5\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $42,2\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=70\text{m}^2$ , masė imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, vortimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam krovininui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=70\text{m}^2$ : (44 pav.)

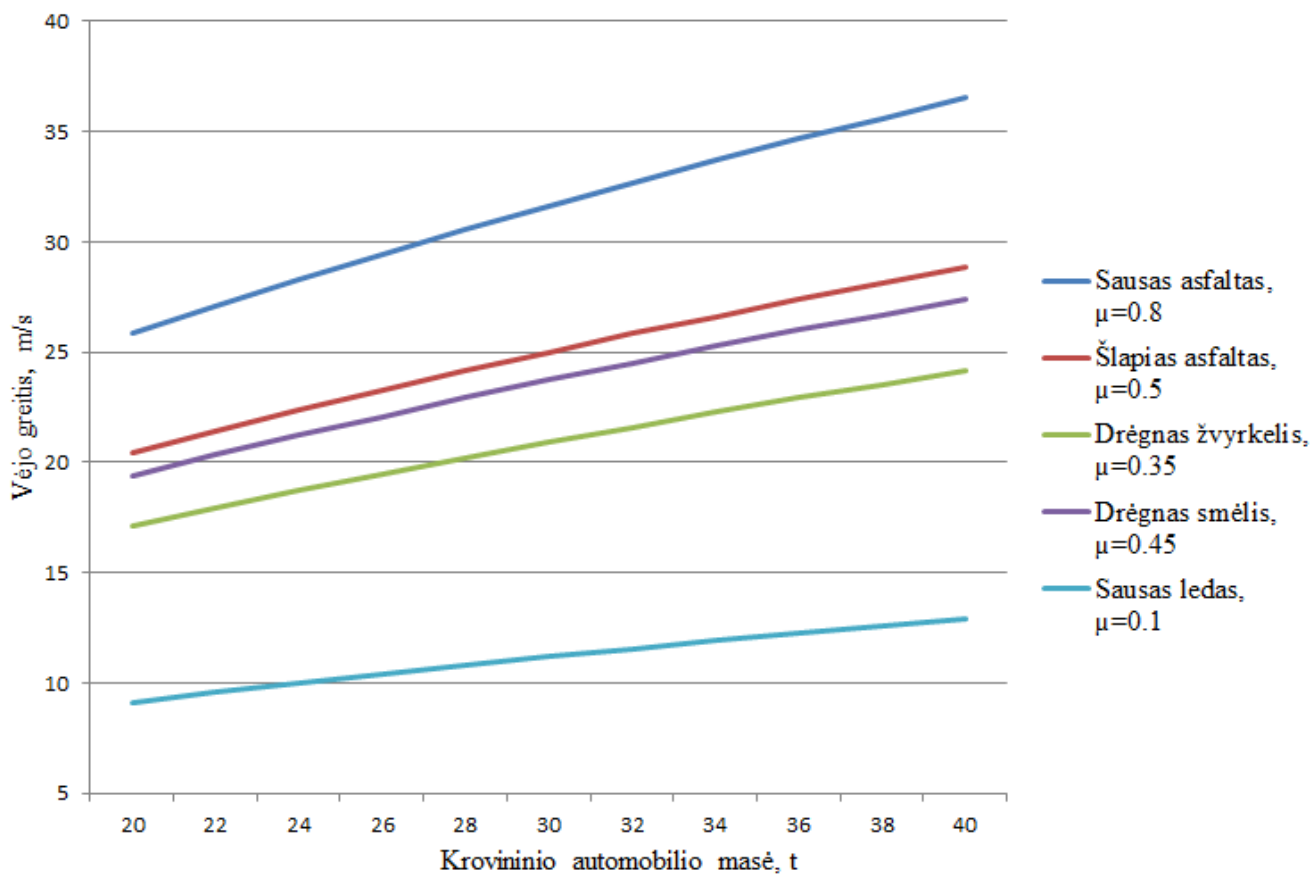


44 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui krovininui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=70\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $9,8\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $39\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui krovininui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=80\text{m}^2$ , masė imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, vartimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam krovininui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=80\text{m}^2$ : (45 pav.)

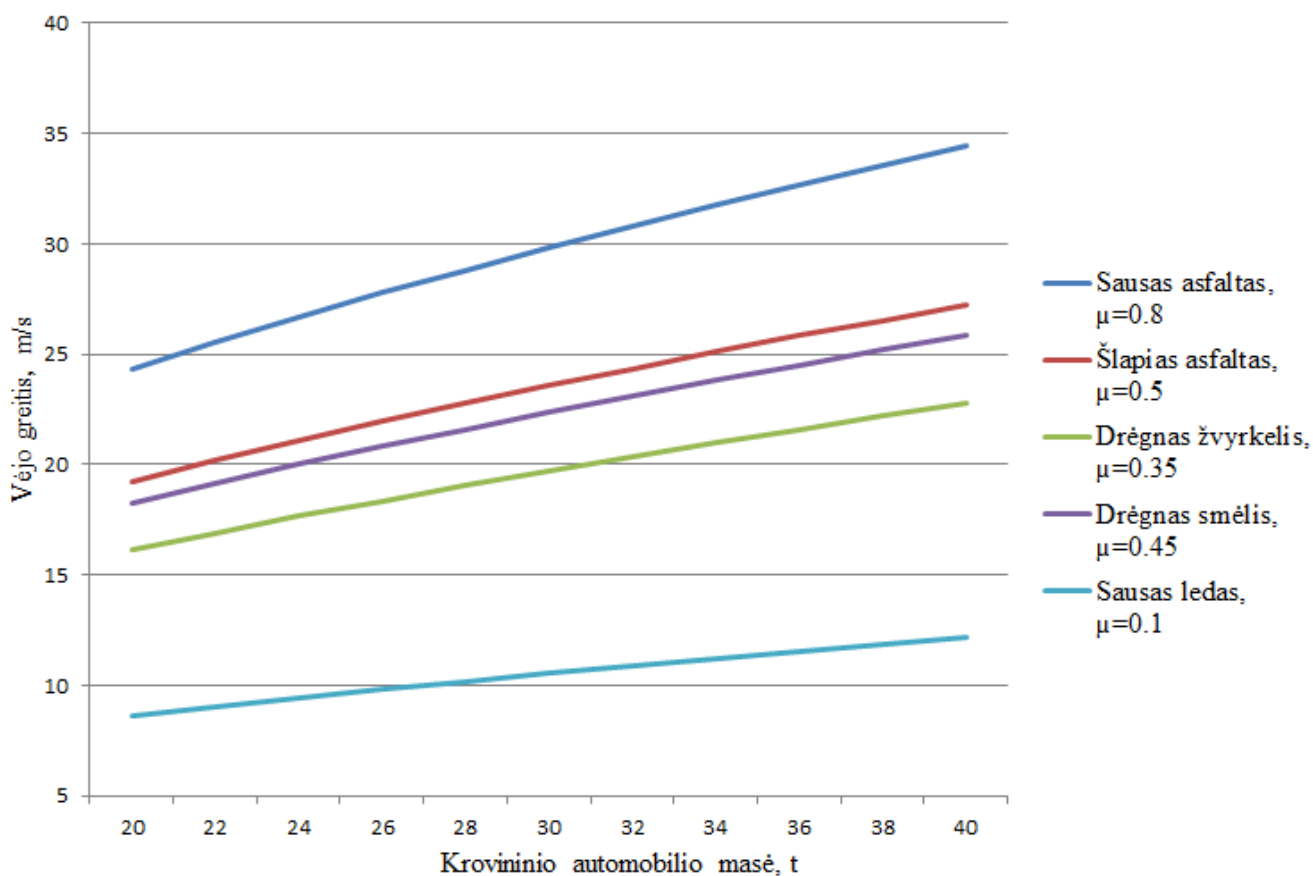


45 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui krovininui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=80\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovininio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $9\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $36,5\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui krovininui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=90\text{m}^2$ , masė imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .

Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam kroviniui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=90\text{m}^2$ : (46 pav.)



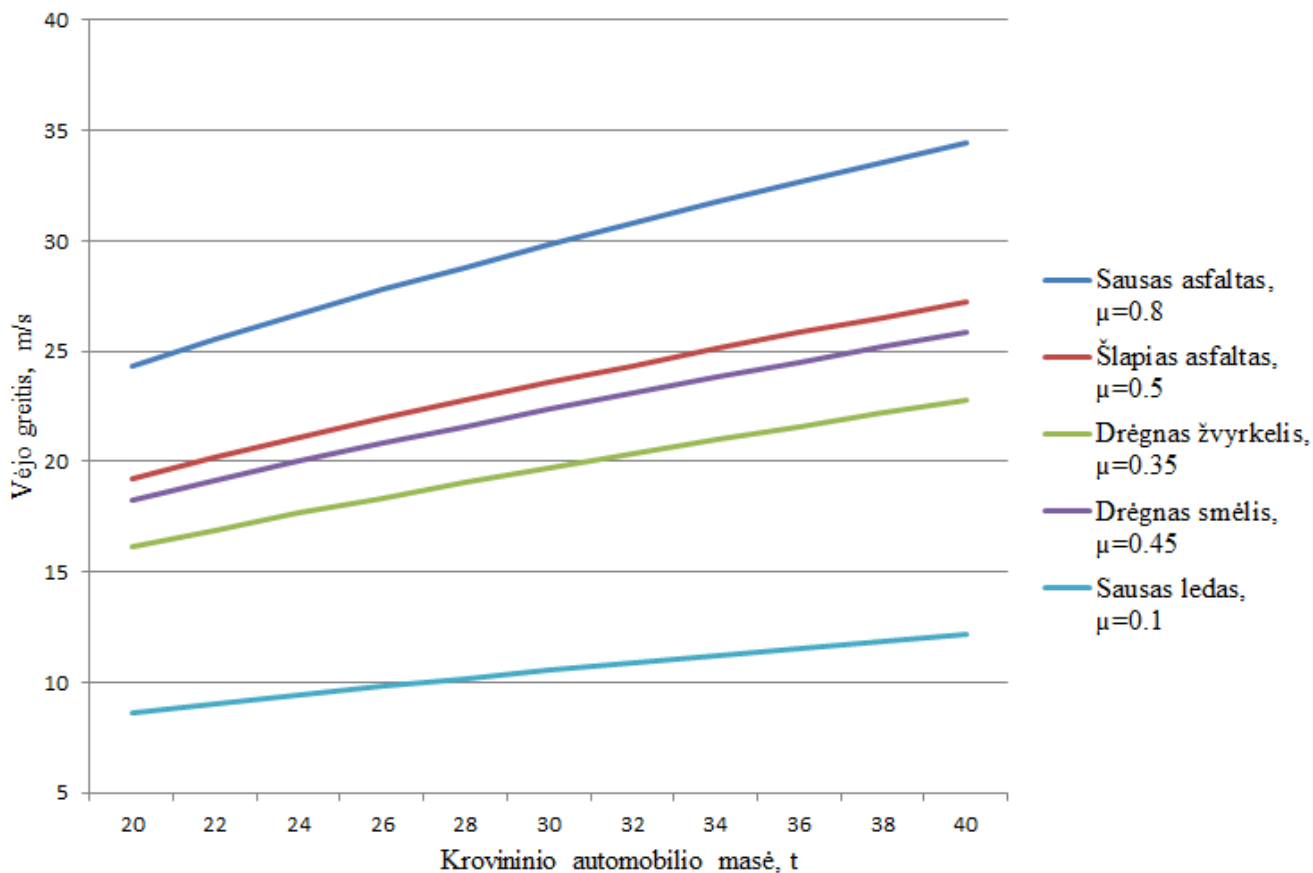
46 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=90\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovinio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $8,6\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $34,4\text{m/s}$ .

Apskaičiuokime kritinį šoninio vėjo greitį, pasinaudoję 1.6.2 formule, slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis. Pasirenkame 5 skirtingas kelio dangas su skirtingais sukibimo koeficientais: sausas asfaltas  $\mu=0,8$ ; šlapias asfaltas  $\mu=0,5$ ; drėgnas žvyrkelis  $\mu=0,35$ ; drėgnas smėlis  $\mu=0,45$  ir sausas ledas  $\mu=0,1$ . Sunkvežimio šoninis plotas lygus  $A=100\text{m}^2$ , masė imsime  $m=20\div 40\text{t}$ , tai pilnai nepakrautas ir pilnai pakrautas sunkvežimis, oro tankis esant  $0^\circ$  ir  $760\text{mm Hg}$  stulpelio slėgiui  $\rho=1,29\text{kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $g=9,81\text{ m/s}^2$ . Atitinkimai aerodinaminiai slydimo, virtimo ir kėlimo koeficientai  $C_S=4,56$ ;  $C_R=4,4$ ;  $C_L=0$ .



Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui važiuojant tiesiai skirtingomis kelio dangomis, su skirtingais sukibimo koeficientais  $\mu$  ir skirtingai pakrautam kroviniui automobiliui, kurio šoninis plotas  $A=100\text{m}^2$ :  
(47 pav.)



47 pav. Kritinis šoninio vėjo greitis slydimui kroviniui automobiliui važiuojant tiesiai, kai šoninis plotas  $A=100\text{m}^2$

Gauname vėjo greičio priklausomybę nuo krovinio automobilio masės. Nustatyta, kad kuo sukibimo koeficientas  $\mu$  yra didesnis, tuo didesnis ir kritinis šoninio vėjo greitis slydimui. Matyti, kad mažiausias šoninio vėjo kritinis greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu ledu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,1$ , yra  $8,2\text{m/s}$ , o didžiausias greitis slydimui, kai sunkvežimis važiuoja sausu asfaltu, kurio sukibimo koeficientas  $\mu=0,8$ , yra  $32,7\text{m/s}$ .

## Išvados

1. Kuo posūkio spindulys didesnis, tuo didesnis ir neslydimo bei nevirtimo, krovininio automobilio ribinis greitis;
2. Ištyrus penkias skirtingas kelio dangas (sausas ir šlapias asfaltas, drėgnas žvyrkelis, drėgnas smėlis ir sausas ledas) nustatyta, kad krovininio automobilio ribinis neslydimo greitis posūkio metu, imant mažiausią reikšmę sauso ledo ir didžiausią – sauso asfalto, skiriasi apie 2,8 karto;
3. Padidėjus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, vidutiniškai, krovininio automobilio neslydimo greitis sumažėja 3,4 karto.
4. Padidėjus krovininio automobilio masei du kartus, vėjo greitis, kad sunkvežimis apvirstų turi padidėti 1,6 karto, o pakilus svorio centro aukščiui 1 metru, vėjo greitis, kad sunkvežimis apvirstų turi sumažėti 1,28 karto;
5. Padidėjus krovininio automobilio masei du kartus, vėjo greitis, kad sunkvežimis pradėtų slysti turi padidėti 1,5 karto, o pasikeitus sukibimo koeficientui nuo 0,8 iki 0,1, vėjo greitis, kad sunkvežimis pradėtų slysti turi sumažėti 3 kartus;
6. Padidėjus vėjo greičiui nuo 0m/s iki 5m/s, vidutiniškai, krovininio automobilio nevirtimo greitis sumažėja 3,16 karto.
7. Padidėjus sunkvežimio ratų provėžai nuo 1,85m iki 2,45m vėjo ribinis greitis, kad krovininis automobilis neapvirstu padidėja 1,15 karto;
8. Padidėjus sunkvežimio šoniniui plotui nuo 50m<sup>2</sup> iki 100m<sup>2</sup> vėjo ribinis greitis, kad krovininis automobilis nepradėtų slysti sumažėja 1,4 karto;

## Naudota literatūra

1. V. Mitunevičius. Lengvojo automobilio ir autotraukinio stovumo ir vairumo palyginamasis tyrimas taikant matematinio modeliavimo metodų: Daktaro disertacija / VGTU. Vilnius, 1996m.;
2. Ragelis, D. 2007. Devynviečio autovežio stovumo tyrimas, iš Straipsnių rinkinio Mokslas–Lietuvos ateitis. Transportas. 1-oji sekcija;
3. Saugaus vairavimo pagrindai. Prieiga per internetą  
<[http://www.ketbilietai.lt/uploads/1237829366\\_saugaus%20vairavimo%20pagrindai.pdf](http://www.ketbilietai.lt/uploads/1237829366_saugaus%20vairavimo%20pagrindai.pdf)>  
[žiūrėta 2016-05-25].
4. Automobilių saugos sistemos. Prieiga per internetą  
<<http://www.sekunde.lt/automanija/automobiliu-saugos-sistemas/>>  
[žiūrėta 2016-05-20].
5. Automobilinės elektroninės sistemos. Prieiga per internetą  
<<http://milvis.lt/automobilines-elektronines-sistemas-abs-eba-ebd-ebf-esp-esc-dsc-edl-acc-afl-cbc-dds-tss-asr-dsr/>> [žiūrėta 2016-05-20].
6. Automobilio važiavimo dinamikos valdymo. Prieiga per internetą  
<http://automobilistas.blogspot.lt/2013/01/automobilio-vaziavimo-dinamikos-valdymo.html>  
[žiūrėta 2016-05-20].
7. Kemzuraite, K.; Mikaliunas, Š.; Sokolovskij, E; Garbincius, G. 2011. Automobilio judėjimo posukyje tyrimas žiemos sąlygomis. Iš Mokslas – Lietuvos Ateitis;
8. Šerkšnas „Autovežio stovumo kelio posūkyje skaičiavimo metodika“ – Transportas, 1999m.;
9. Mokymo vairuoti ekstremaliomis sąlygomis technologinių kompetencijų tobulinimo programos mokymo medžiaga. Prieiga per internetą  
<<http://www.pmdtkc.upc.smm.lt/dokumentai/Medziaga/transportas/mm1/transportas-1medziaga.pdf>>  
[žiūrėta 2016-05-22].
10. Vidas Žuraulis, Kristina Kemzūraitė, Dariusz Wieckowski – Automobilio dinaminė savybių tyrimas skirtingomis sukibimo sąlygomis naudojant slydimo sistemą;
11. Šoninio vėjo įtaka stabilumui. Prieiga per internetą  
<[ftp://ftp.atdd.noaa.gov/pub/cwe2010/Files/Papers/337\\_Tan.pdf](ftp://ftp.atdd.noaa.gov/pub/cwe2010/Files/Papers/337_Tan.pdf)> [žiūrėta 2016-05-25].
12. M.Batista, M.Perkovič – Šoniniame vėjyje judančių transporto priemonių statinė analizė. Prieiga per internetą  
<[http://www.geocities.ws/icts\\_papers/Papers/Batista,%20Perkovic,%20Najdovski.pdf](http://www.geocities.ws/icts_papers/Papers/Batista,%20Perkovic,%20Najdovski.pdf)> [žiūrėta 2016-05-25].

13. Robertas Pečeliūnas, Edgar Sokolovskij – Automobilių dinamika. Vilnius „TECHNIKA“  
2012m. Prieiga per internetą  
<[http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1353/3/1307\\_Peceliunas\\_Automobiliu\\_WEB.pdf](http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1353/3/1307_Peceliunas_Automobiliu_WEB.pdf)> [žiūrėta  
2016-05-25].