

Elektrisko skrejriteņu kustības un manevrēšanas parametru pētījums

Pētījuma autori: pētnieks **Māris Gailis**, *Ph.D.*, pētnieks *Mg.sc.ing.*, *MBA* **Juris Kreicbergs**;
pētnieks *Mg.sc.ing.* **Gundars Zalcmanis**, pētnieks *Mg.sc.ing.* **Jānis Rudzītis**, zinātniskā asistente *Bc.sc.ing.* **Santa Odmiņa**,
zinātniskais asistents **Raimonds Širants**, asistents **Valdis Priede**.



Satiksmes ministrija

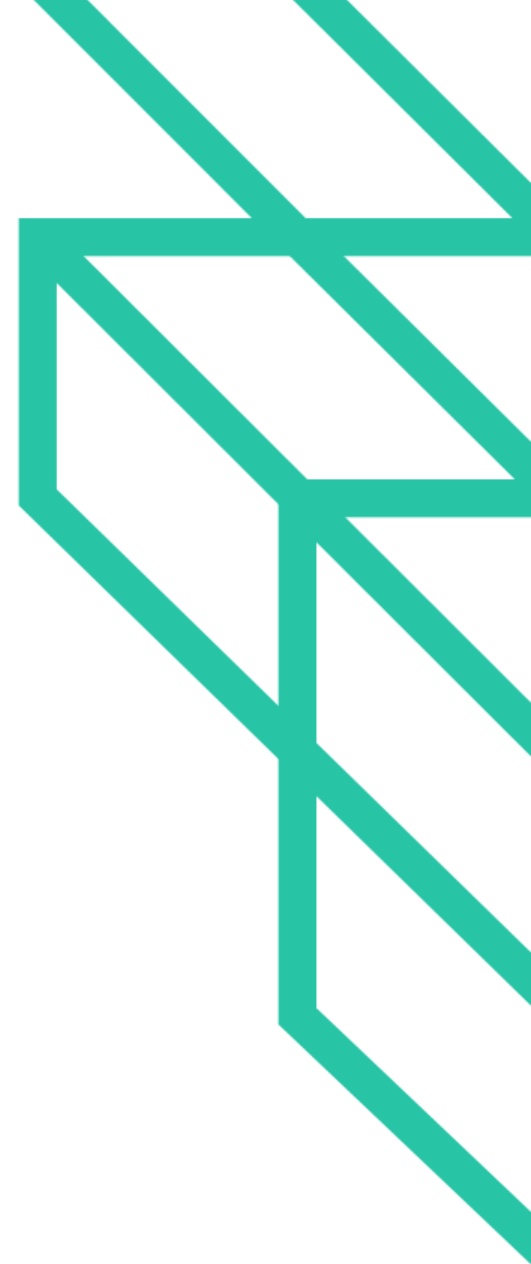


RTU
MAŠĪNINĪBU, TRANSPORTA
UN AERONAUTIKAS
FAKULTĀTE

Administratīvā informācija

Ceļu satiksmes drošības padome 2020. gada 17. februāra sēdē, protokols Nr 04-05/1, nolēma piešķirt līdzekļus noteiktam mērķim – elektrisko skrejriteņu kustības un manevrēšanas parametru pētījuma īstenošanai.

Pētījums veikts Rīgas Tehniskajā universitātē, (RTU) laika posmā no 2020. gada 31. marta līdz 2021. gada 31. janvārim.



Ievads

Esošo personu pārvietošanās līdzekļu klāstu arvien redzamāk papildina jauna veida motorizēti transportlīdzekļi. Pilsētvidē pamanāmi kļūst mikromobilitātes līdzekļi – elektriskie skrejriteņi.

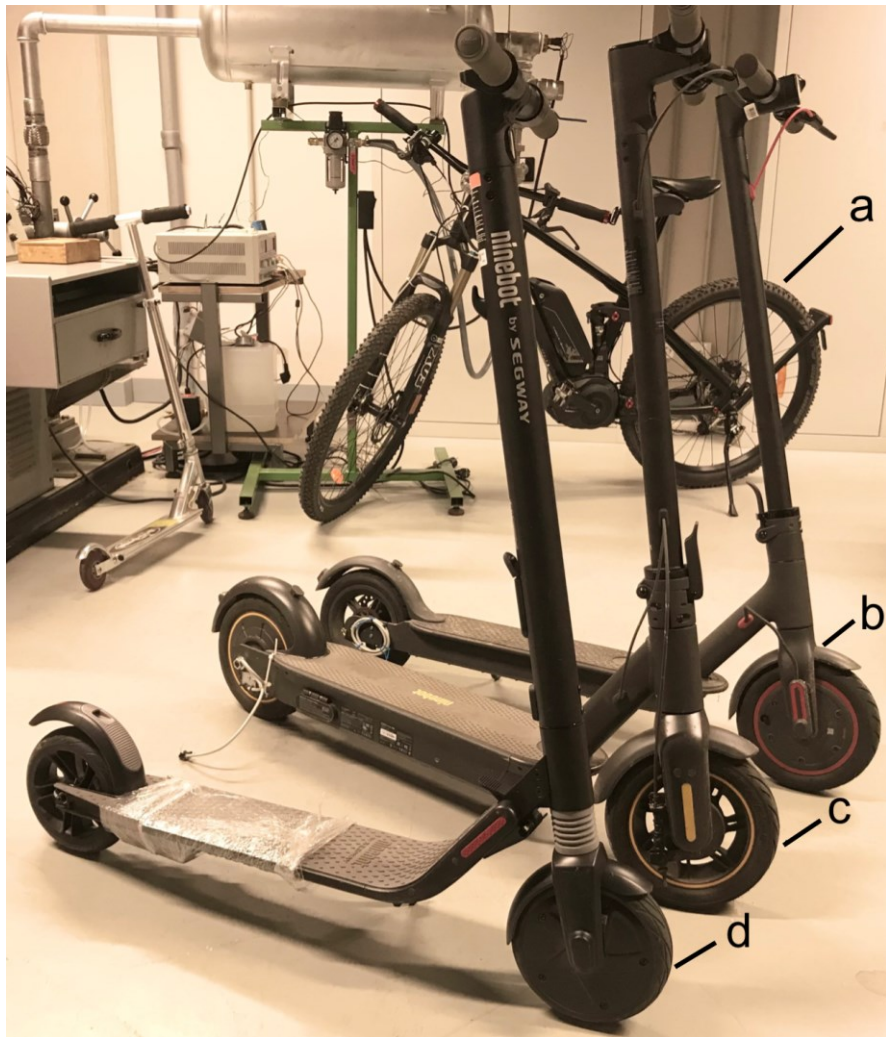
Zinot elektrisko skrejriteņu manevrēšanas dinamikas raksturlielumu robežas, var spriest par šī transporta veida saderību ar citiem pārvietošanās līdzekļiem, kā arī nepieciešamajiem tehniskajiem ierobežojumiem.

Ievērojama ietekme uz vadāmību un bremzēšanu var būt braucēja masai un kopējam masas centra augstumam. Informācija par elektrisko skrejriteņu kinemātiskajiem un dinamiskajiem parametriem var būt noderīga satiksmes negadījumu analīzē, ko veic satiksmes drošības eksperti. Šobrīd šāda veida informācija nav publiski pieejama.

Šajā pētījumā eksperimentāli pētīti un noskaidroti Latvijā izplatītu elektrisko skrejriteņu modeļu dinamiskie parametri. Izstrādāta un aprobēta metodika skrejriteņa dinamisko parametru noteikšanai. Noskaidroti ieskriešanās un bremzēšanas parametri dažādos ceļa apstākļos, kā arī veikts šo parametru salīdzinājums ar velosipēdam raksturīgajiem.



Pētījumā lietotie mikromobilitātes līdzekļi



a - elektrovelosipēds *Moustache Samedi 27 Speed*;

b - elektroskrejritis *Xiaomi MI 365 Pro*;

c - elektroskrejritis *Segway G30*;

d - elektroskrejritis *Segway ES1*.

Pētījuma braucēji



Pētījumā iegūti dati ar trīs atšķirīgiem braucējiem – to masa 58, 83 un 127 kg.

Rīgas Tehniskā universitāte

Pētījumā lietotās ātruma mērīšanas ierīces

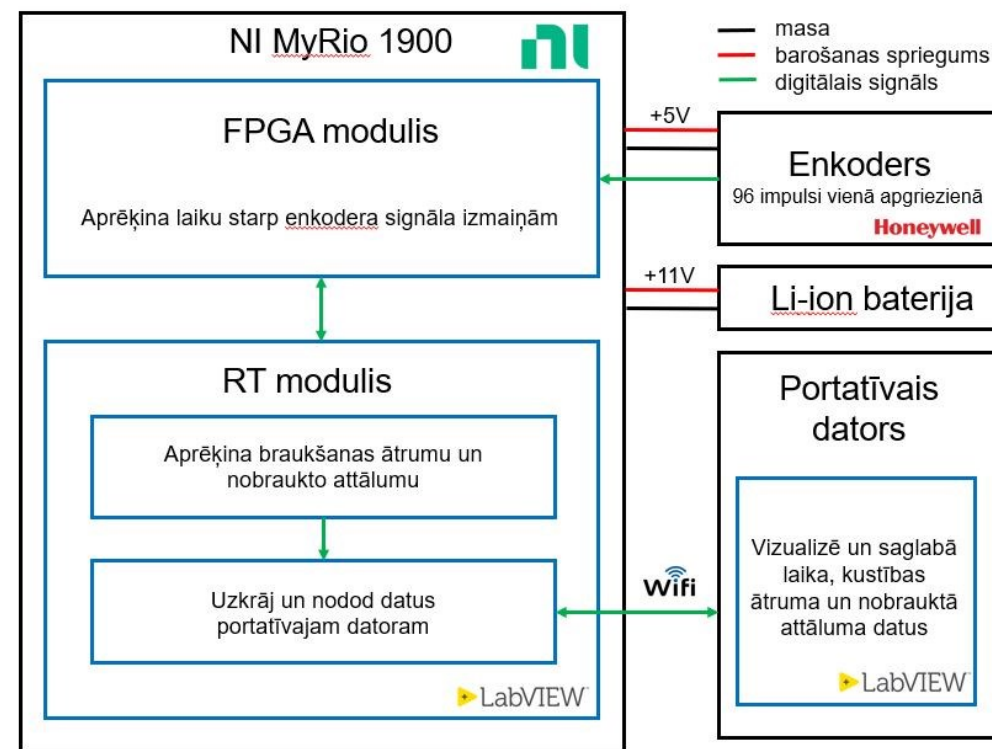
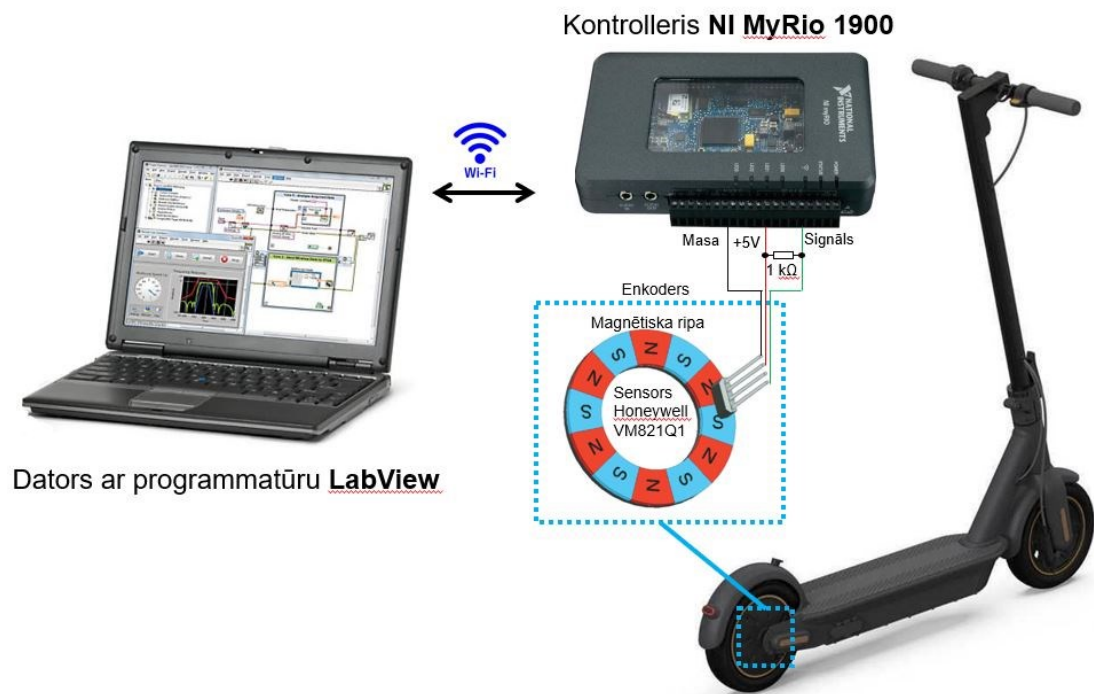


GPS logeris VBox Sport

- ārējā antena;
- datu reģistrācijas biežums 10 reizes sekundē



Pētījumā lietotās ātruma mērīšanas ierīces

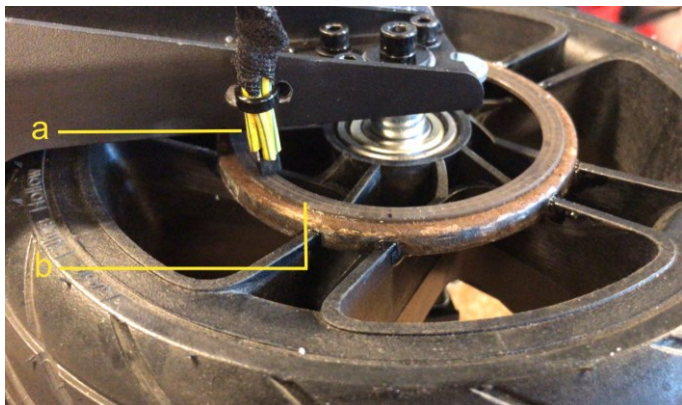


Pētnieku izveidotā riteņa ātruma reģistrācijas iekārta

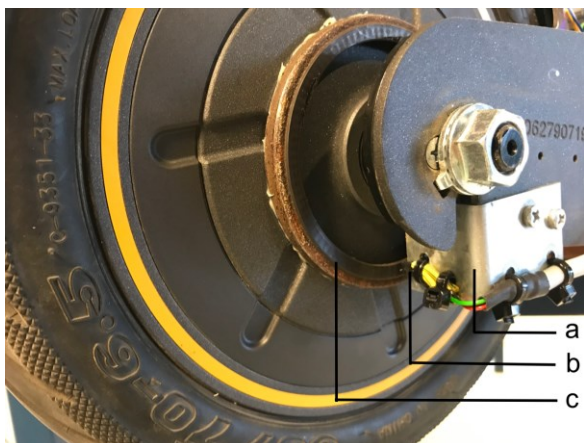
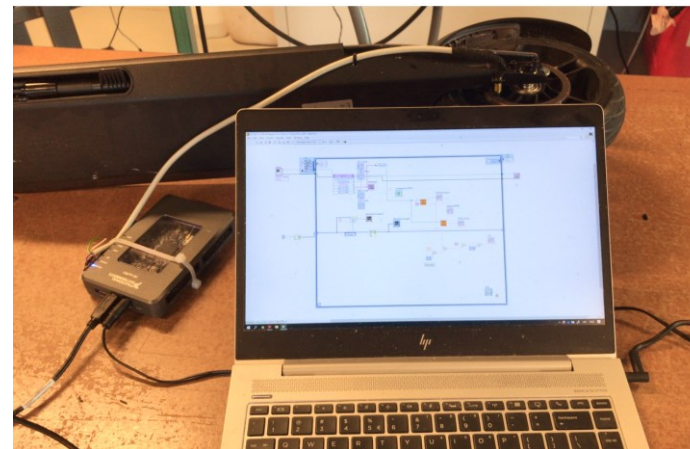
- rotācijas sensora izšķirtspēja 96 impulsi uz apgriezienu (ātruma mērījums ik pēc 6 – 8 mm nobraukuma)

Ātruma mēriekārtas blokshēma

Skrejriteņu aprīkošana ar ātruma mērīšanas ierīci



Elektroskrejriteņa Segway ES1 ritenis ar enkoderu:
a -- magnētiskā lauka sensors; b - magnētiskais gredzens



Elektroskrejriteņa Segway G30 ritenis ar enkoderu:
a - stiprinājums; b - magnētiskā lauka sensors; c - magnētiskais gredzens

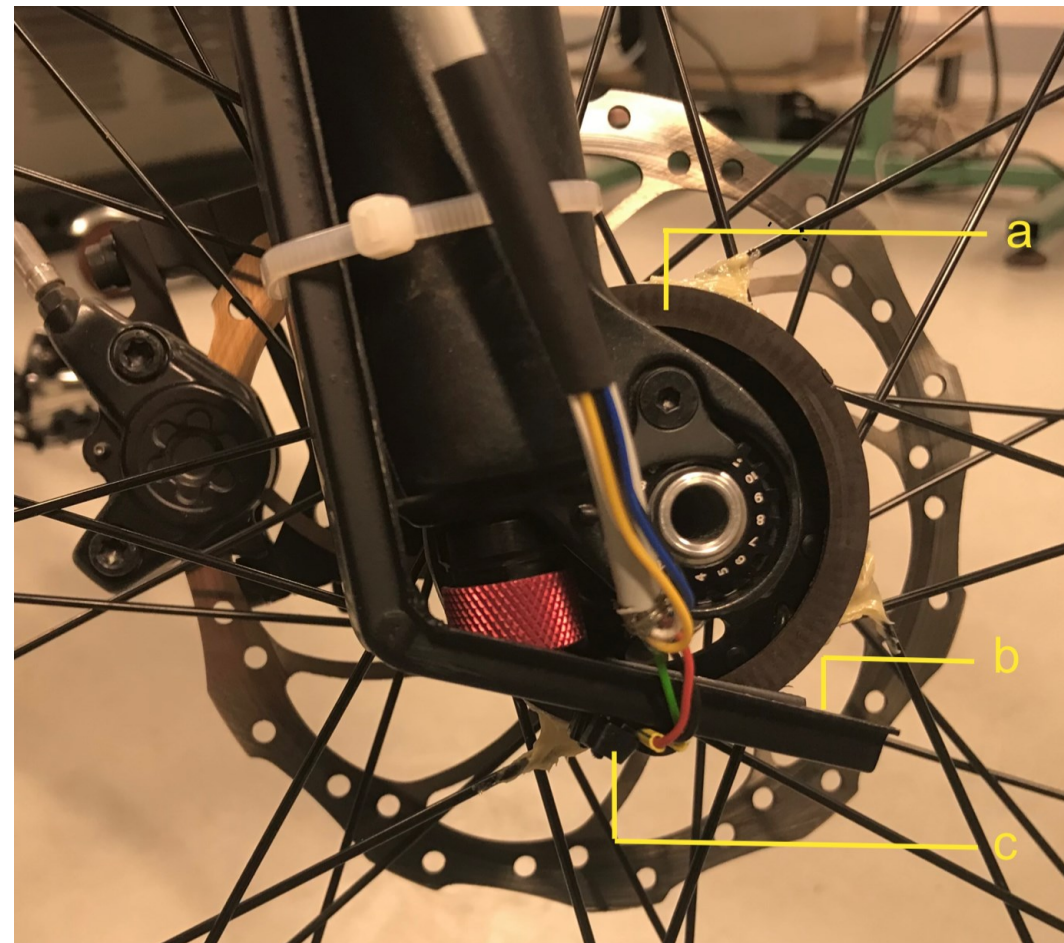


Ātruma mērīšanas sistēmas izmēģinājums

Velosipēda aprīkošana ar ātruma mērīšanas ierīci

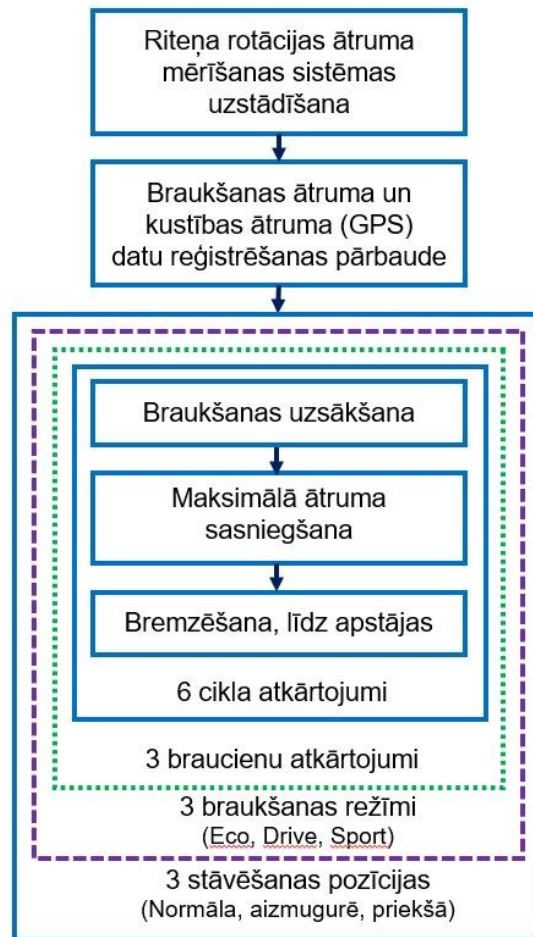


Magnētiskā gredzena uzstādīšana

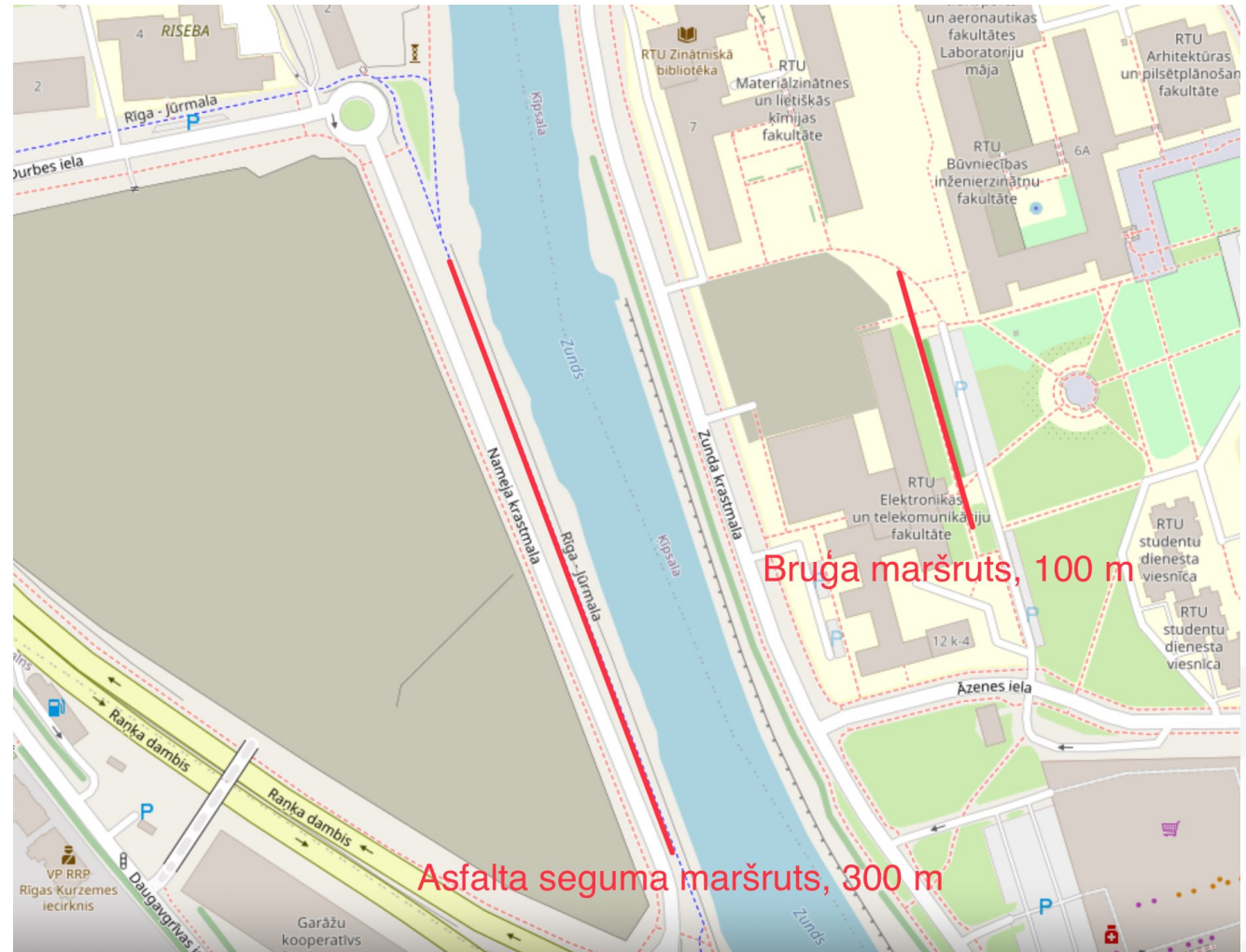


Elektrovelosipēda Moustache Bikes ritenis ar enkoderu:
a - magnētiskais gredzens; b - stiprinājums; c - magnētiskā lauka sensors

Izmēģinājumu braucienu maršruts un blokshēma

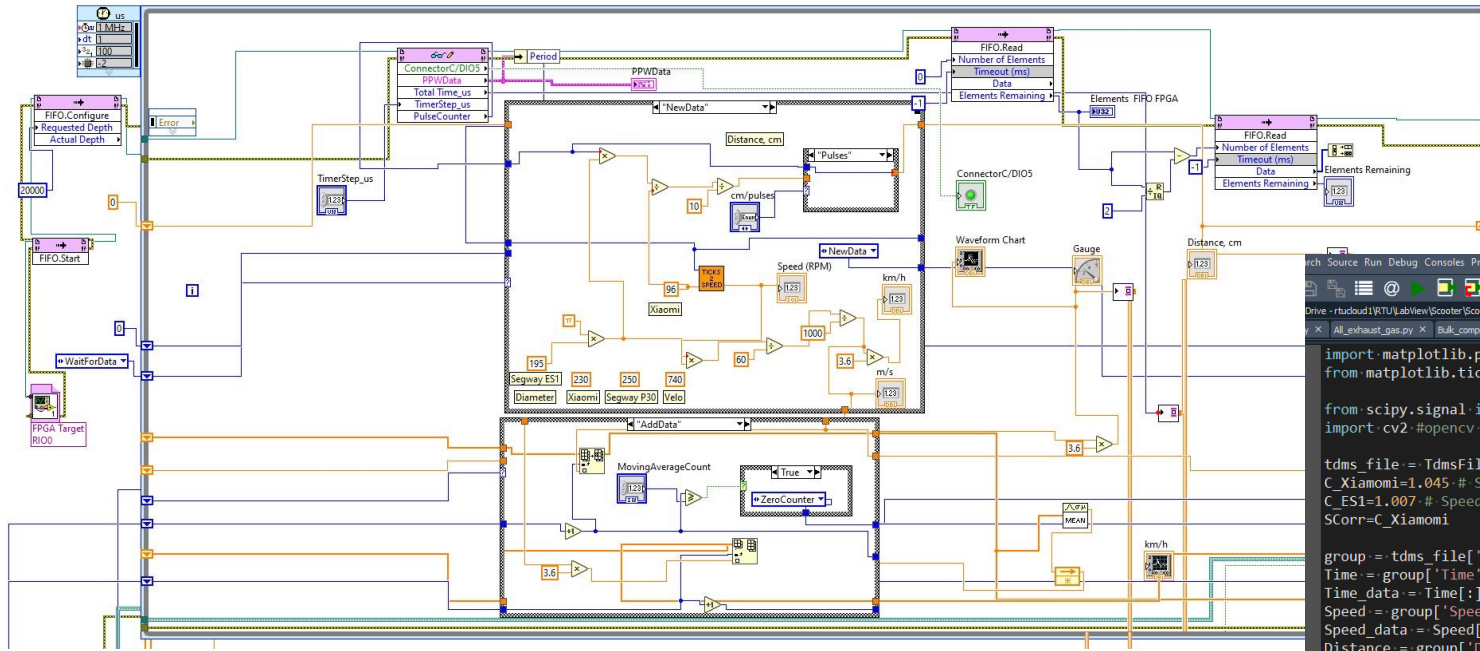


Braucienu veikšanas blokshēma



Izmēģinājumu braucienu maršruts un garums vienā virzienā

Datu apstrādes rīki NI LabVIEW un Spyder/Python



Datu sākotnējās apstrādes kods *LabVIEW* sintaksē

The screenshot shows the Spyder Python IDE interface. The main window displays Python code for data processing. A plot window titled 'Figure 7' shows a line graph of acceleration (Paātrinājums, m/s²) versus distance (Ātrums, km/h). The plot contains six data series labeled 'cikls 1' through 'cikls 6'. The y-axis ranges from -1 to 2, and the x-axis ranges from 10 to 24. The plot shows a general downward trend in acceleration as distance increases, with some fluctuations.

```
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import (MultipleLocator, FormatStrFormatter, AutoMinorLocator)

tdms_file = TdmsFile.read('Speed_G30Santa_S_3.tdms')
C_Xiamomi=1.045 # Speed correction (also G30)
C_ES1=1.007 # Speed correction
SCorr=C_Xiamomi

group = tdms_file['Speed']
Time = group['Time']
Time_data = Time[:]
Speed = group['Speed']
Speed_data = Speed[:]
Distance = group['Distance']
Distance_data = Distance[:]/SCorr

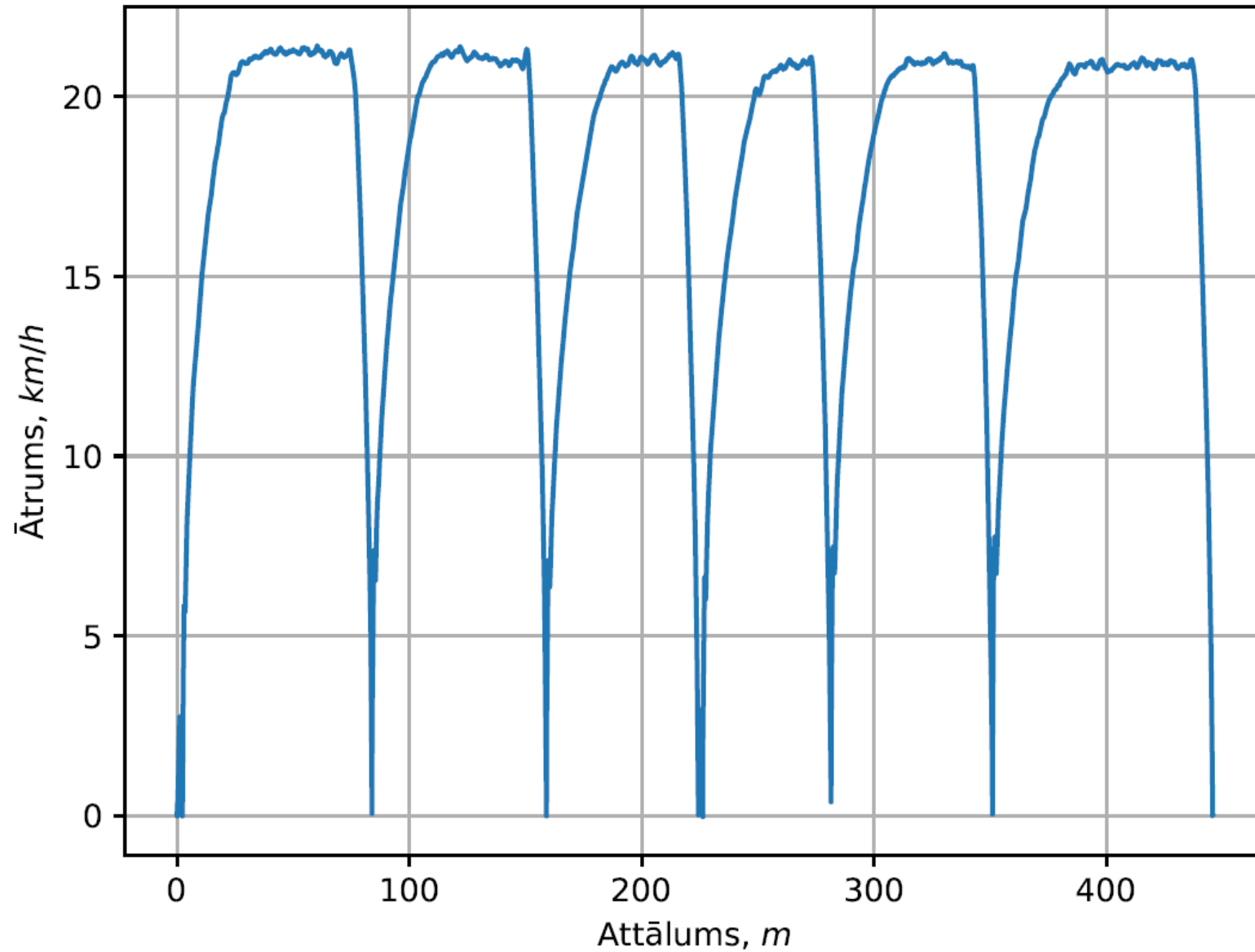
Array_size=np.size(Distance_data)
for ii in range(0,Array_size):
    ..... if Distance[ii]>0:
    ..... Start_i = ii #index for start of the driv
    ..... break
Time_data=Time_data[Start_i:Array_size]

Speed_data=Speed_data[Start_i:Array_size]/SCorr#*3.6
Distance_data=Distance_data[Start_i:Array_size]

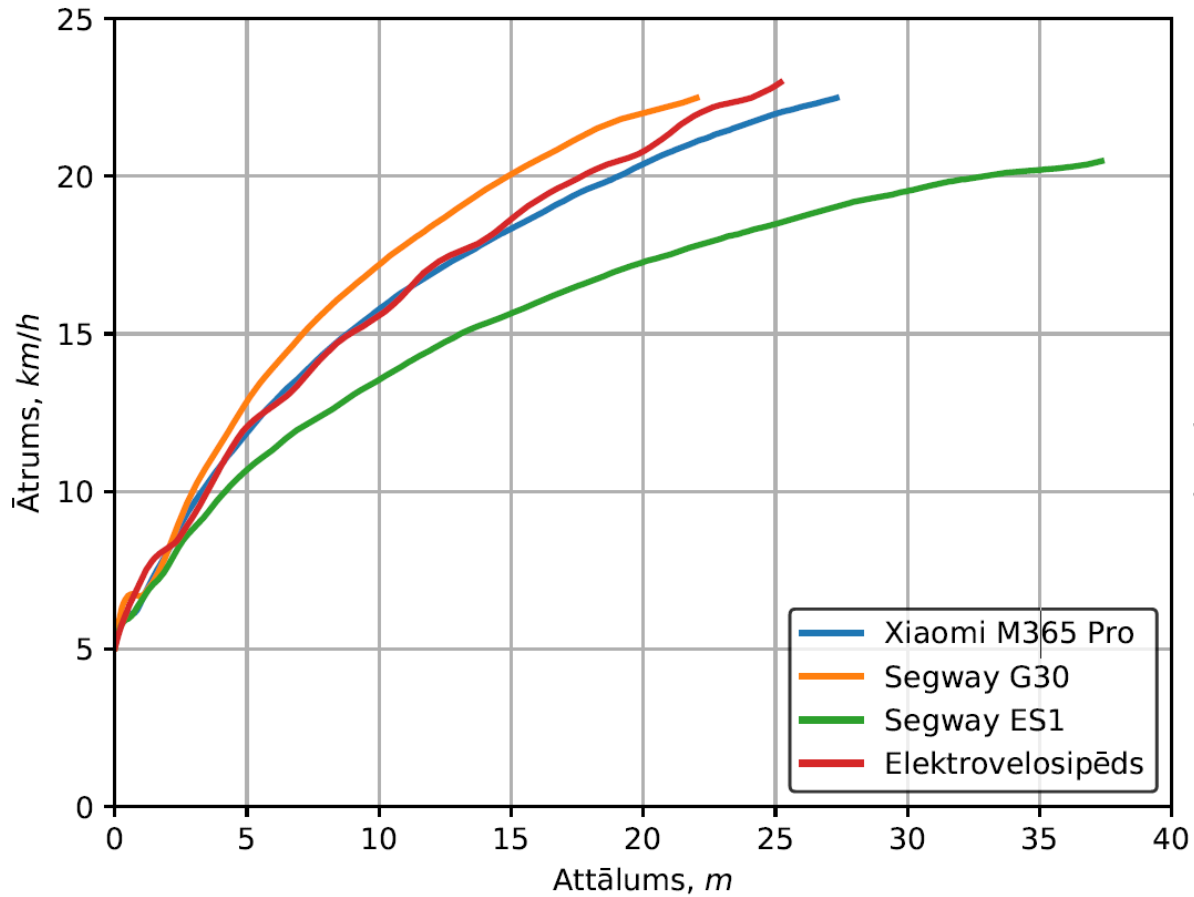
Time_data=Time_data-Time_data[0]
Distance_data=Distance_data-Distance_data[0]
Distance_data_m=Distance_data/100
Time_data_s=Time_data/100 # time in seconds
# Savitzky-Golay filter.
```

Datu apstrādes kods *Python* sintaksē

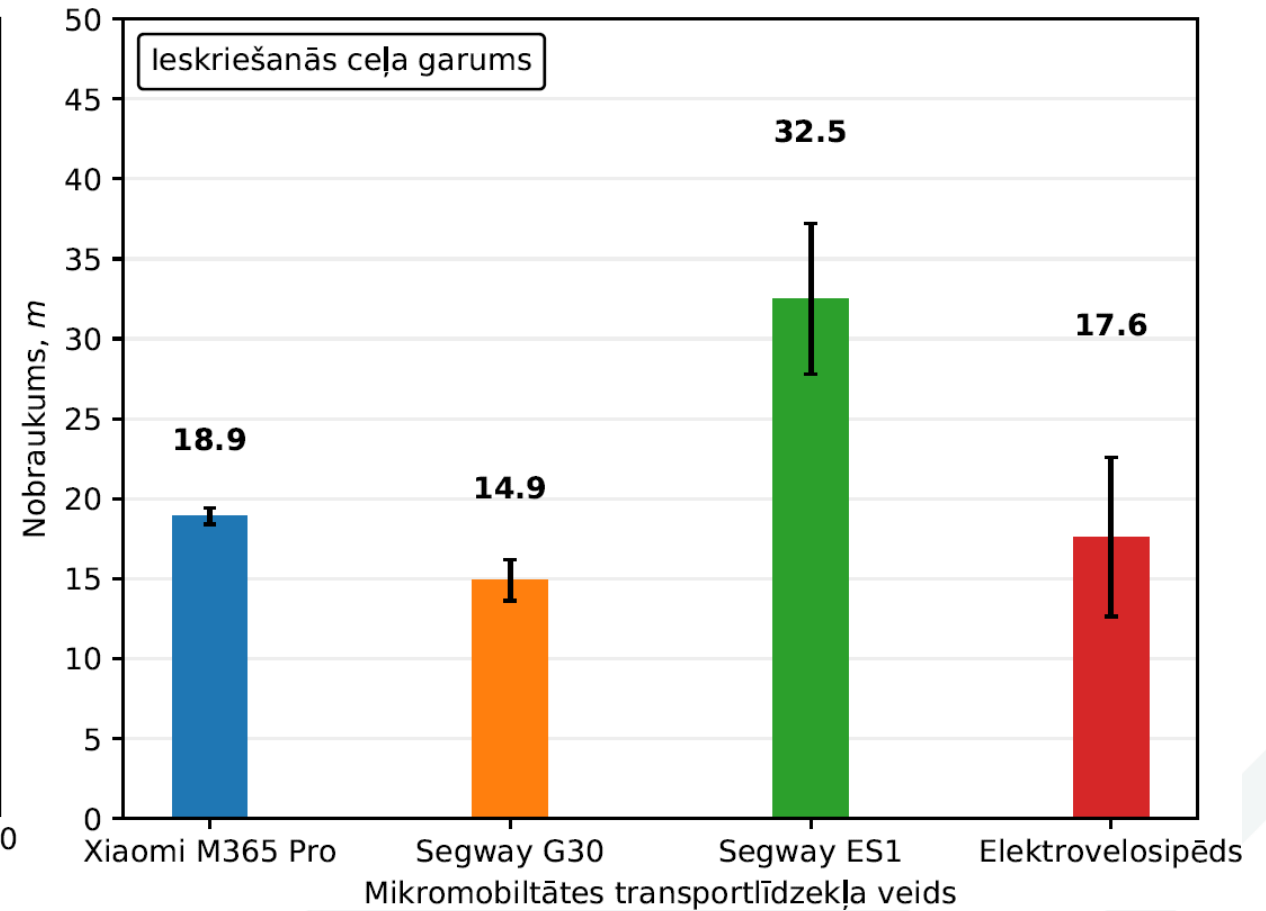
Ātruma izmaiņas vienā izmēģinājuma brauciena atkārtojumā



Ātruma izmaiņu un nobraukuma salīdzinājums, ieskrienoties dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu

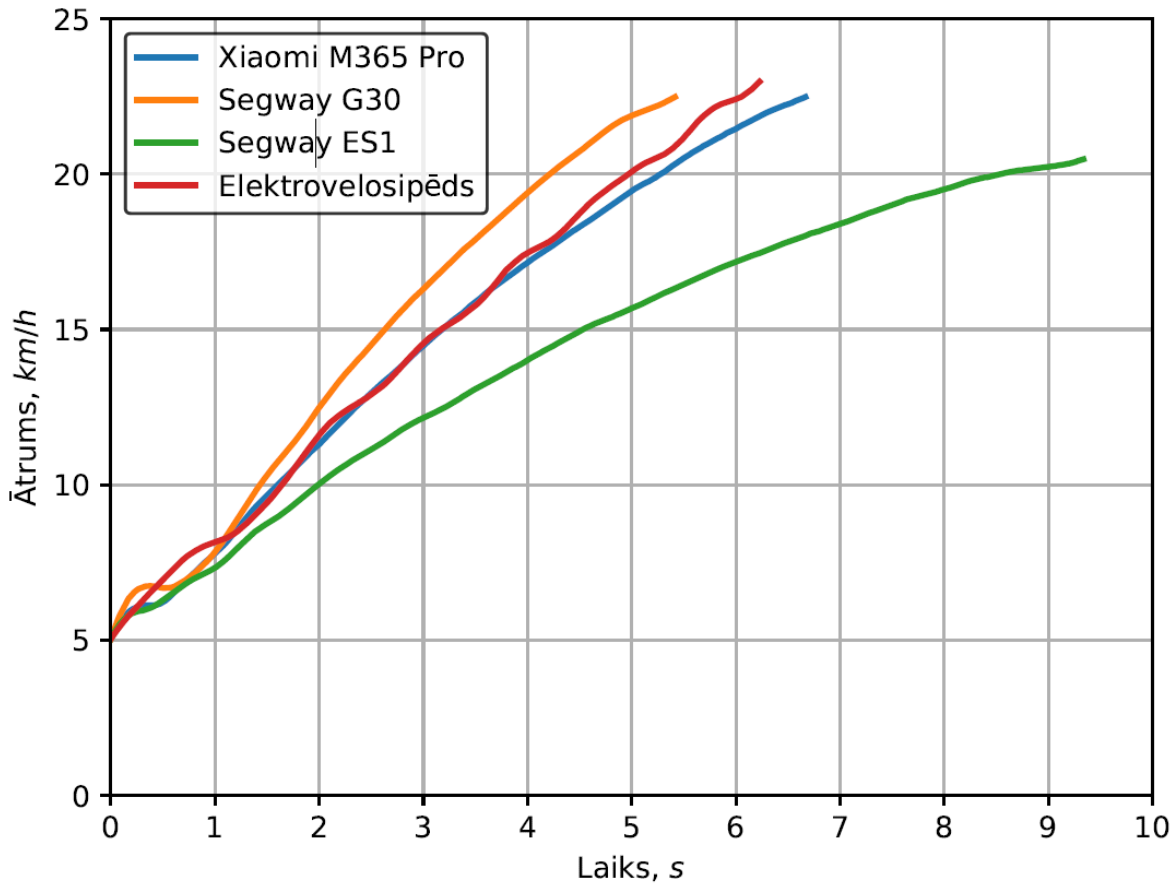


Ātruma izmaiņas ieskriešanās ceļā

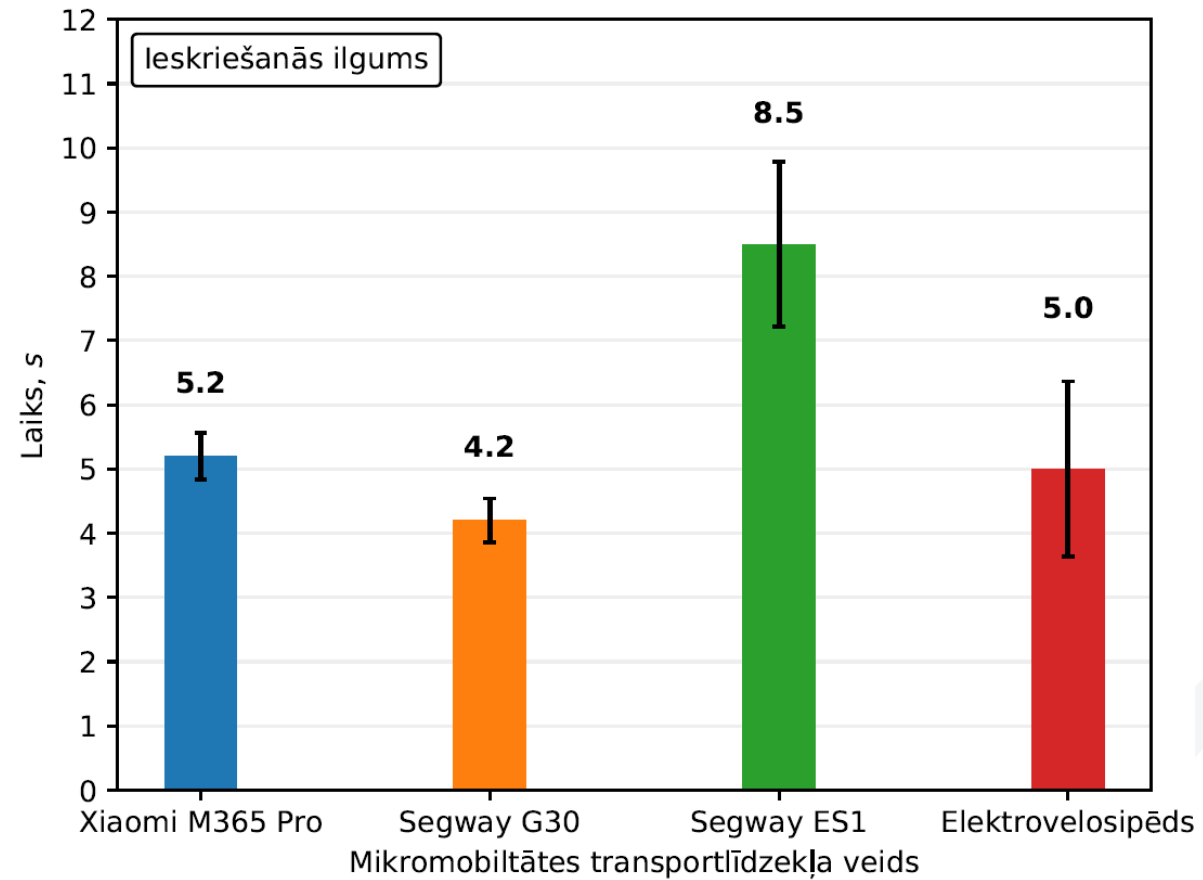


Ieskriešanās ceļš līdz ātruma 20 km/h sasniegšanai

Ātruma izmaiņu un ilguma salīdzinājums, ieskrienoties dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu

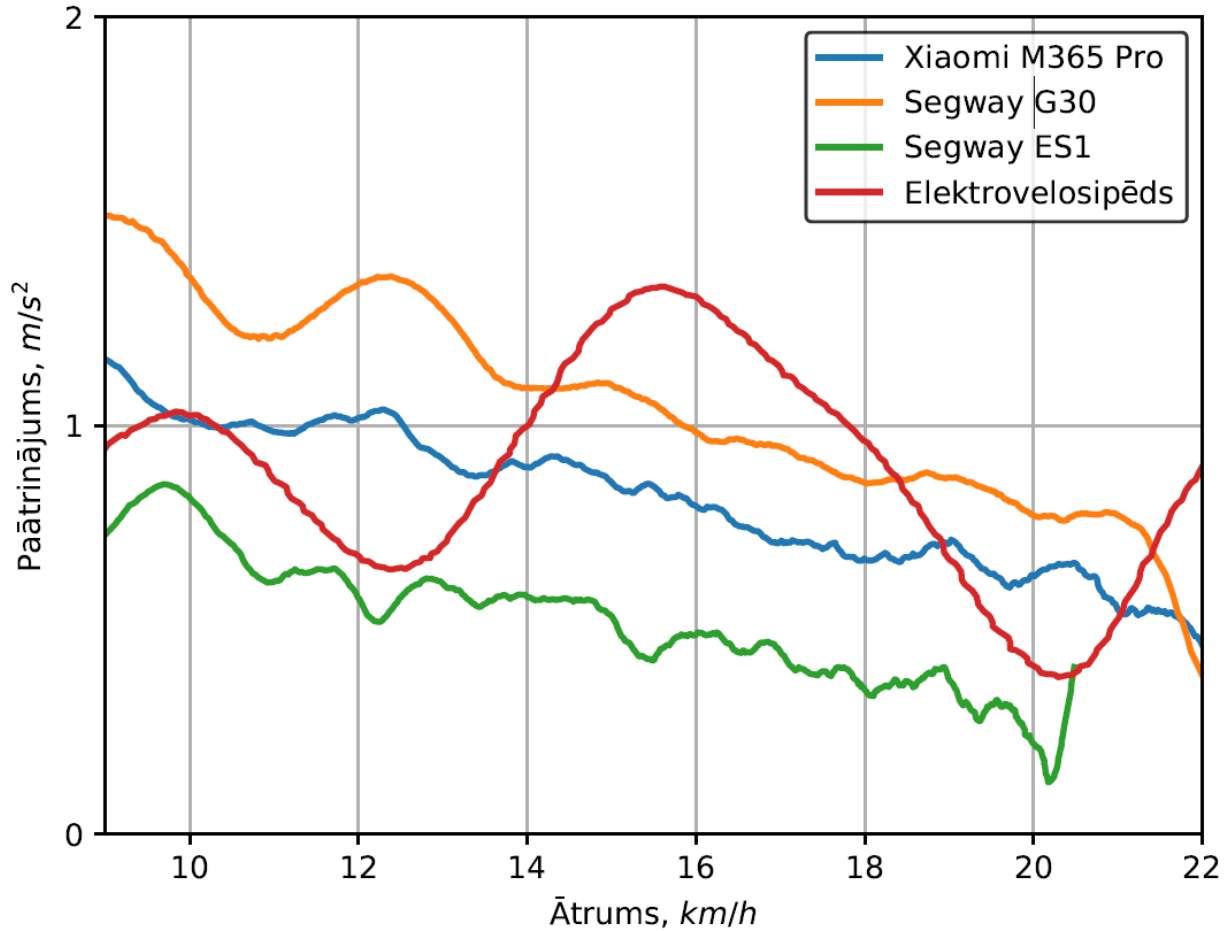


Ātruma izmaiņas ieskriešanās laikā

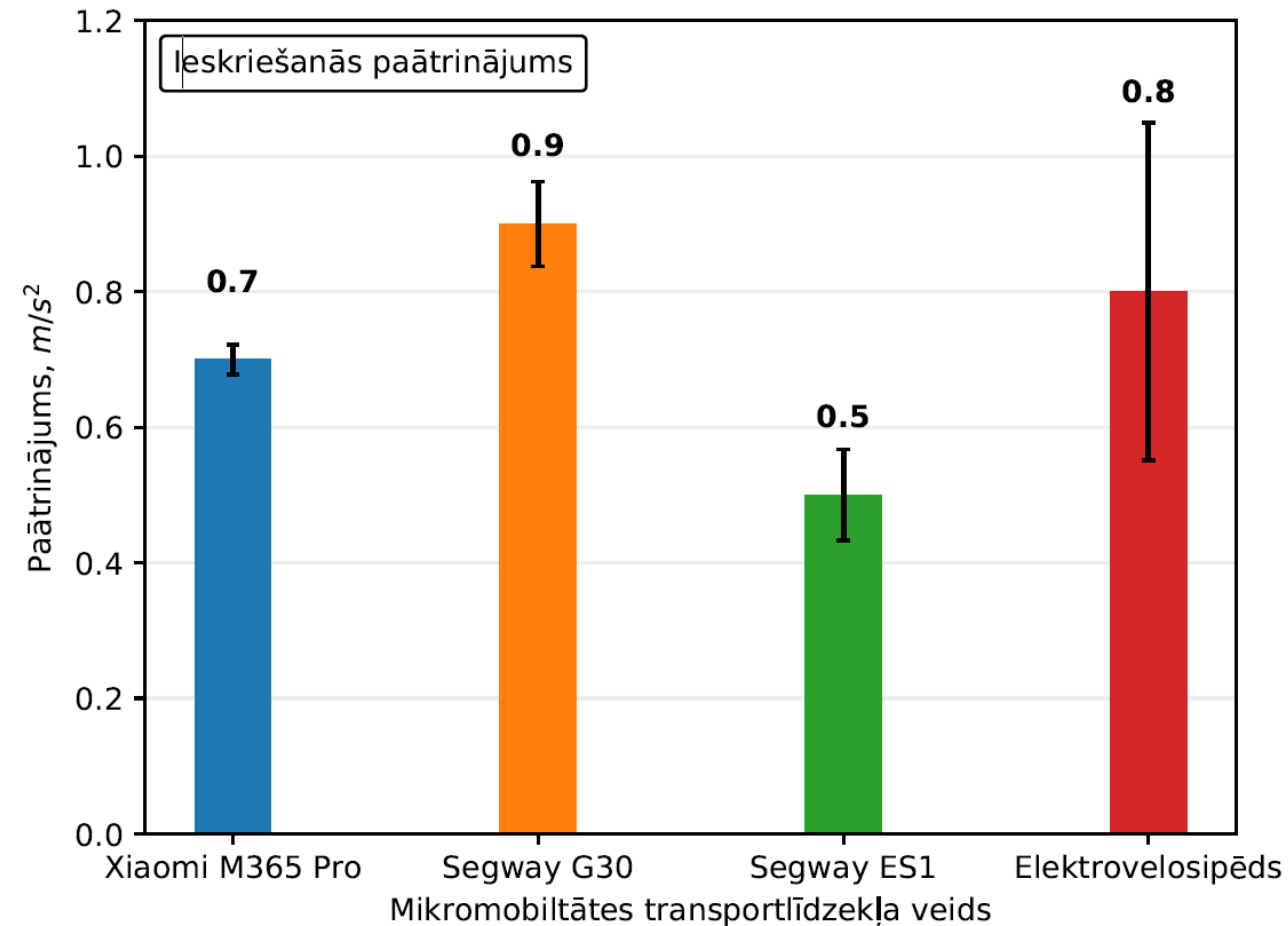


Ieskriešanās laiks līdz ātruma 20 km/h sasniegšanai

Paātrinājuma izmaiņu salīdzinājums, ieskrienoties dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu

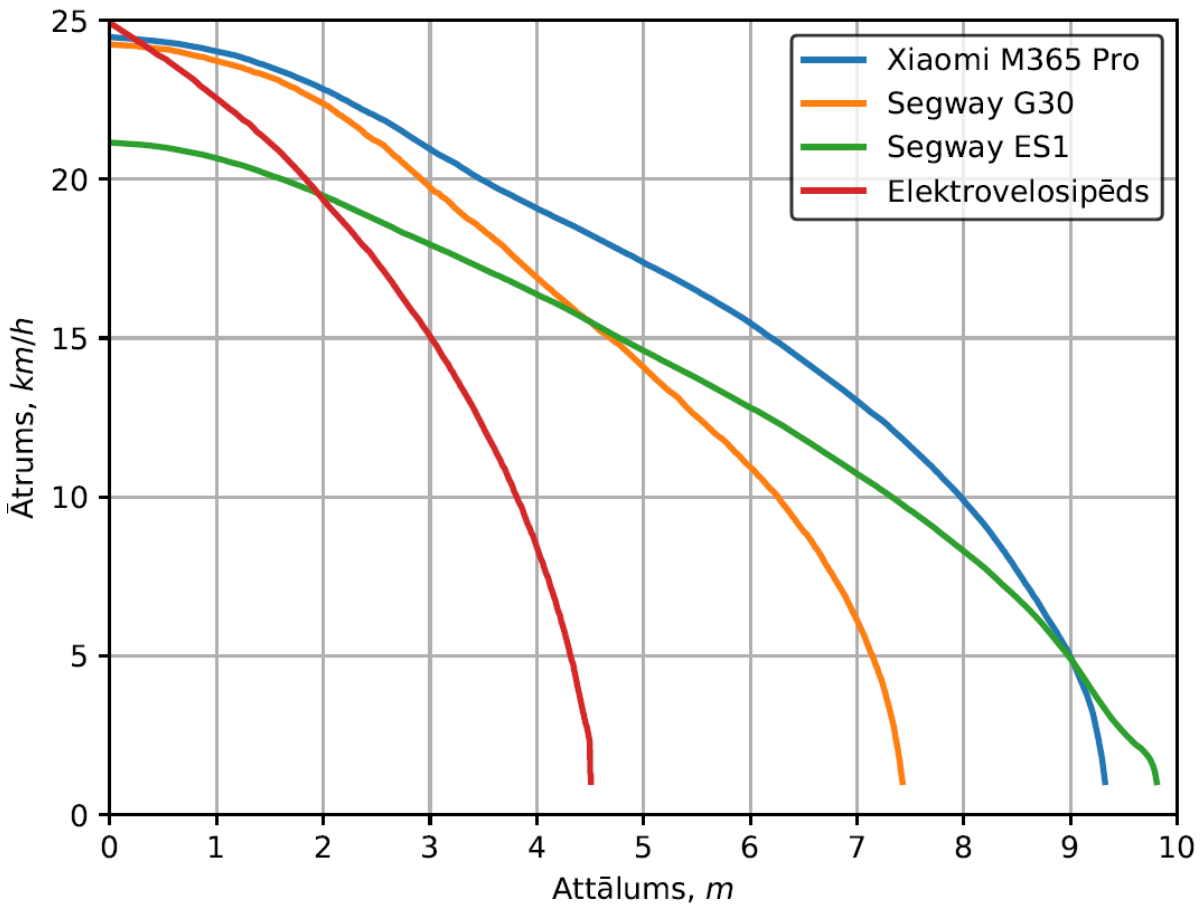


Paātrinājuma izmaiņas ieskriešanās laikā

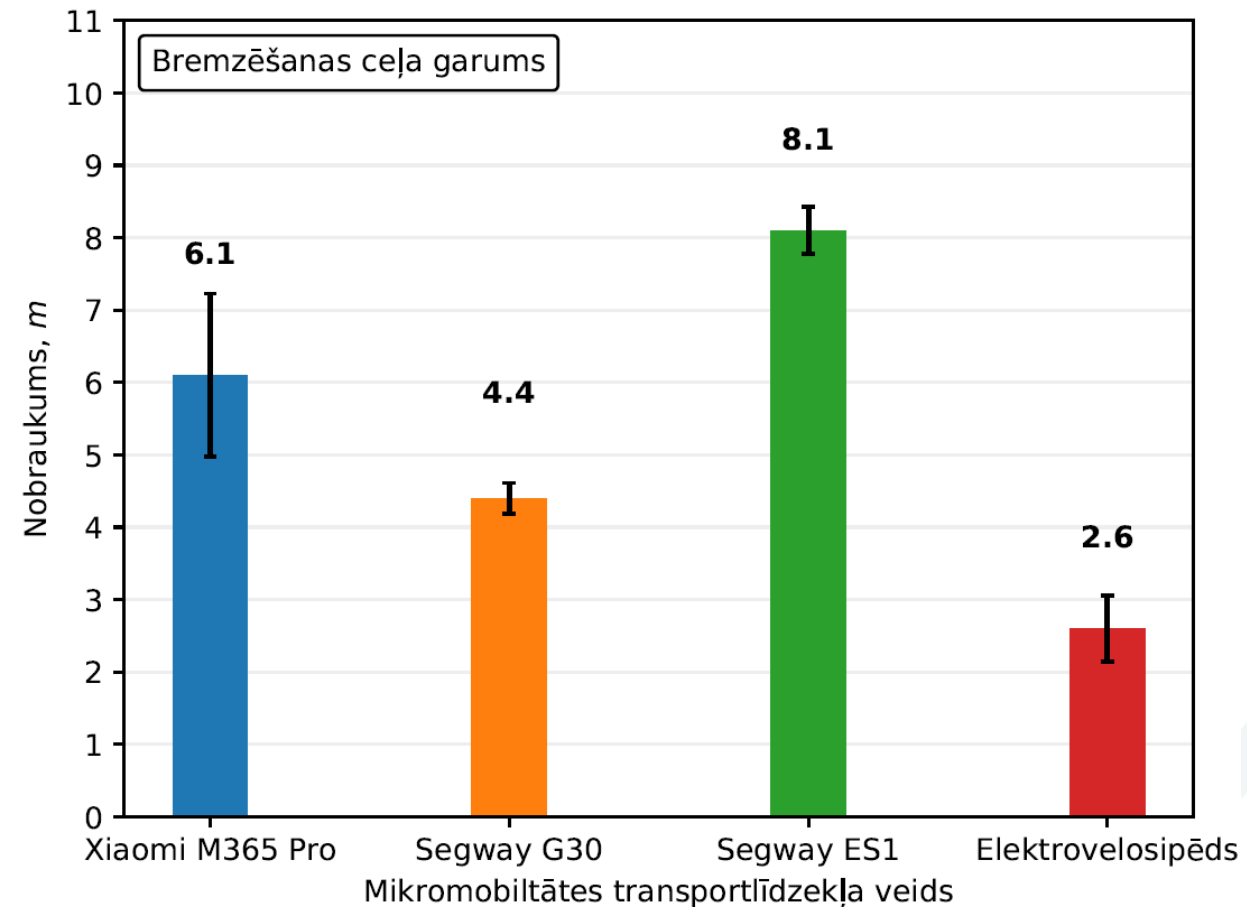


Vidējais ieskriešanās paātrinājums

Ātruma izmaiņu un ceļa garuma salīdzinājums, bremzējot dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu

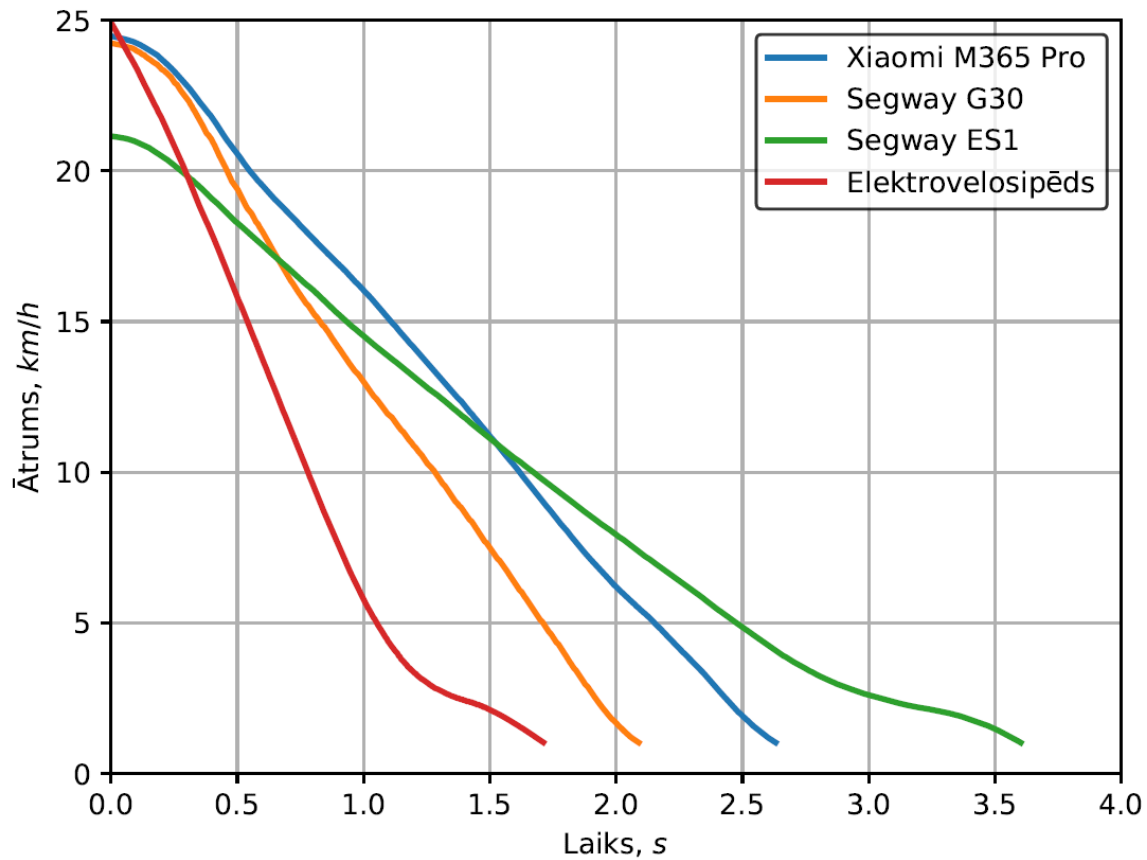


Ātruma izmaiņas bremzēšanas ceļā

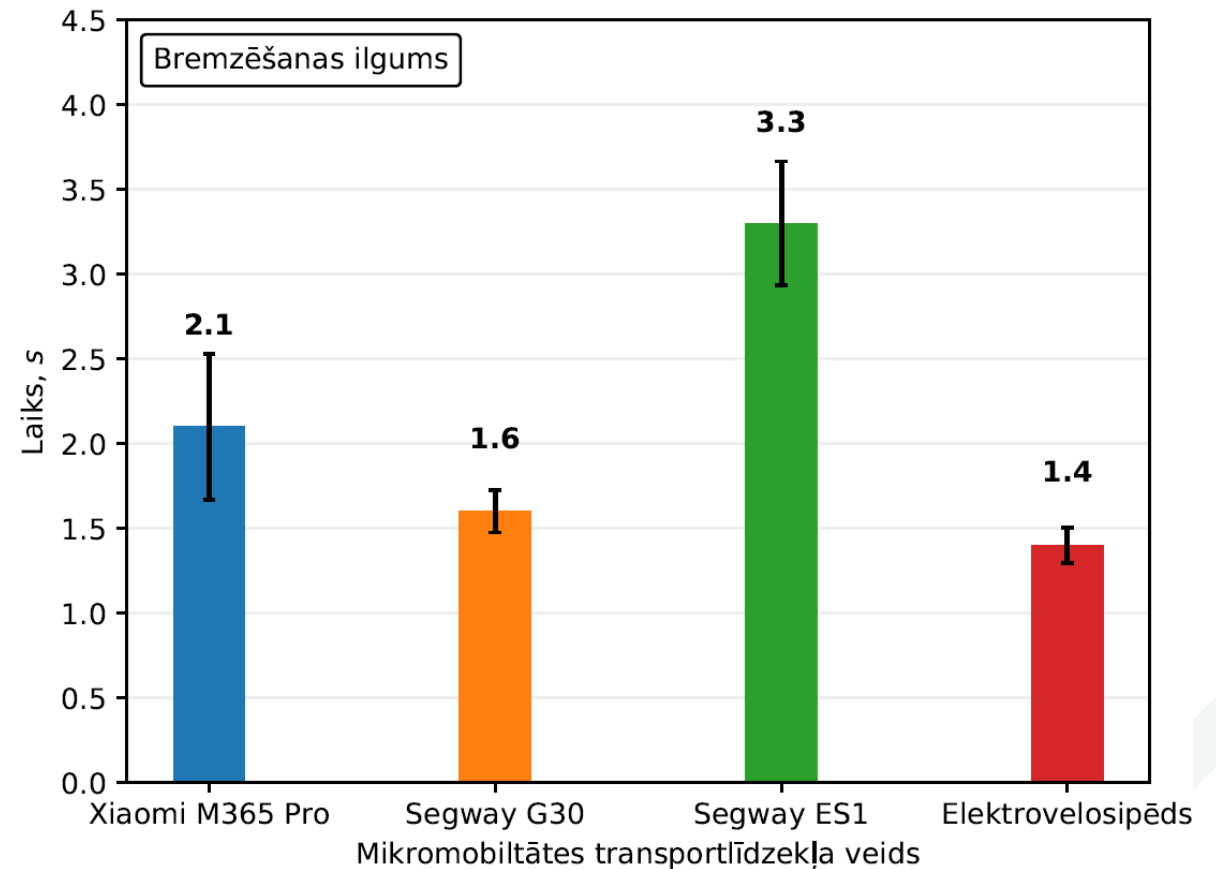


Bremzēšanas ceļš no ātruma 20 km/h līdz 1 km/h sasniegšanai

Ātruma izmaiņu un laika salīdzinājums, bremzējot dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu

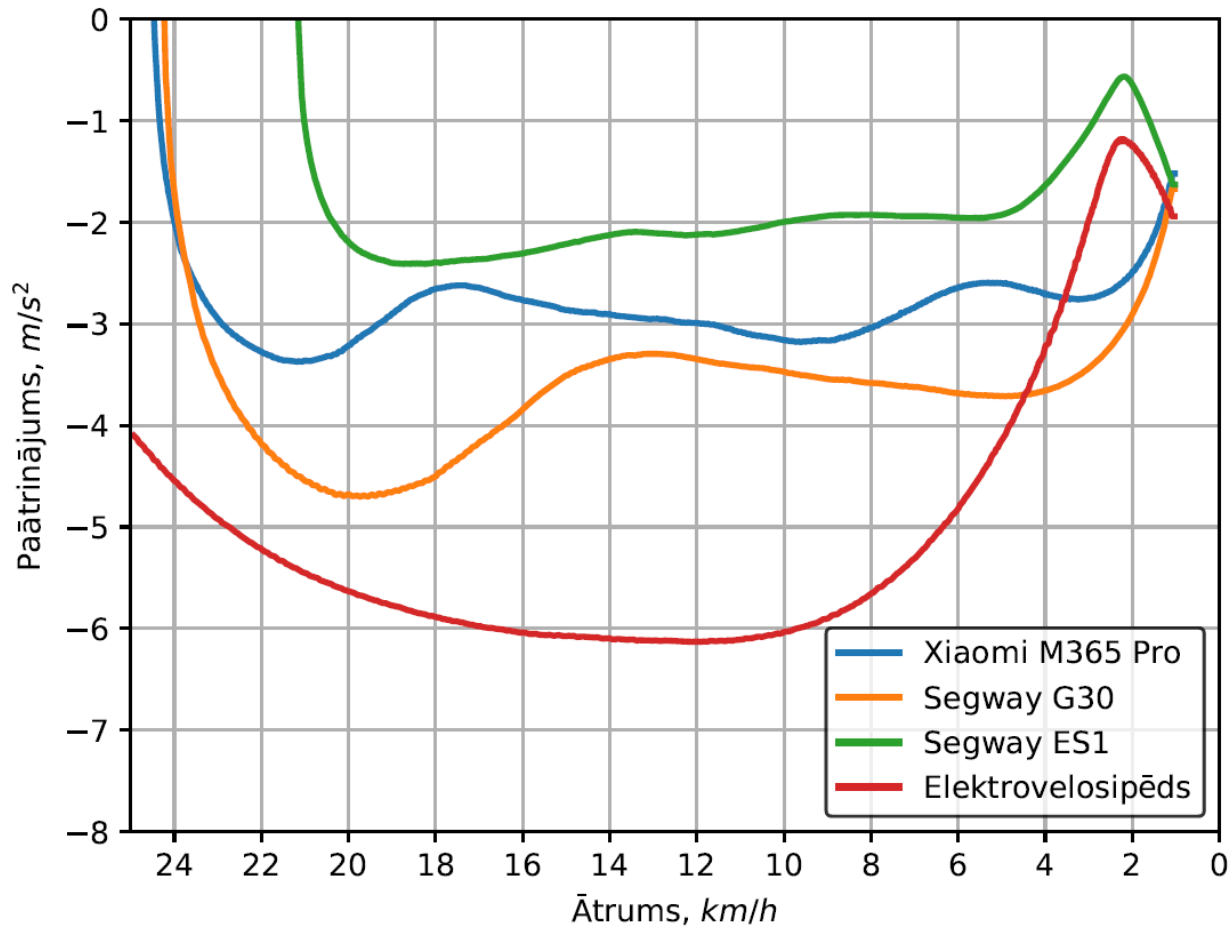


Ātruma izmaiņas bremzēšanas laikā

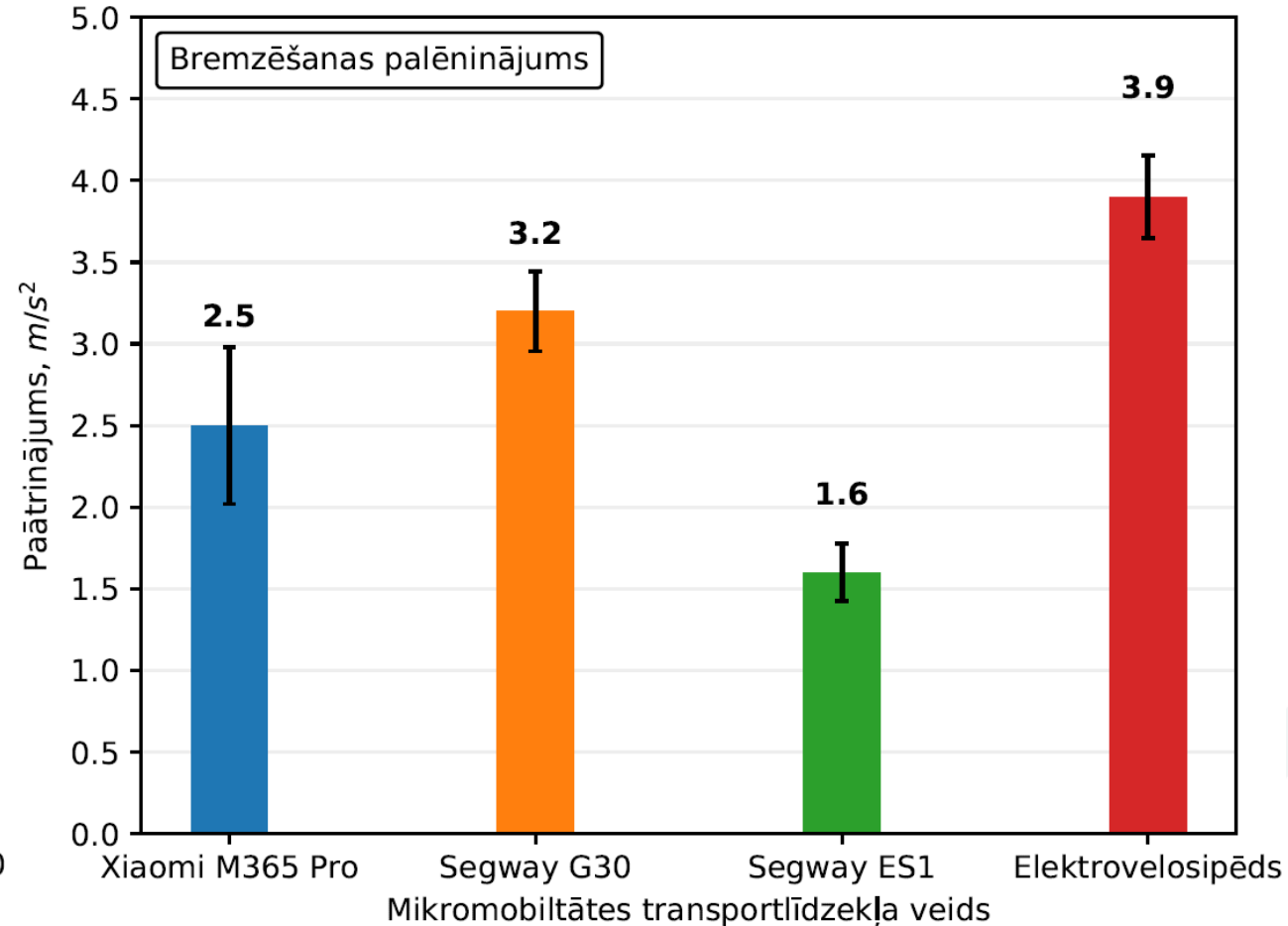


Bremzēšanas laiks no ātruma 20 km/h līdz 1 km/h sasniegšanai

Palēninājuma izmaiņu salīdzinājums, bremzējot dažādi mikromobilitātes līdzekļi, braucējs ar vienādu masu



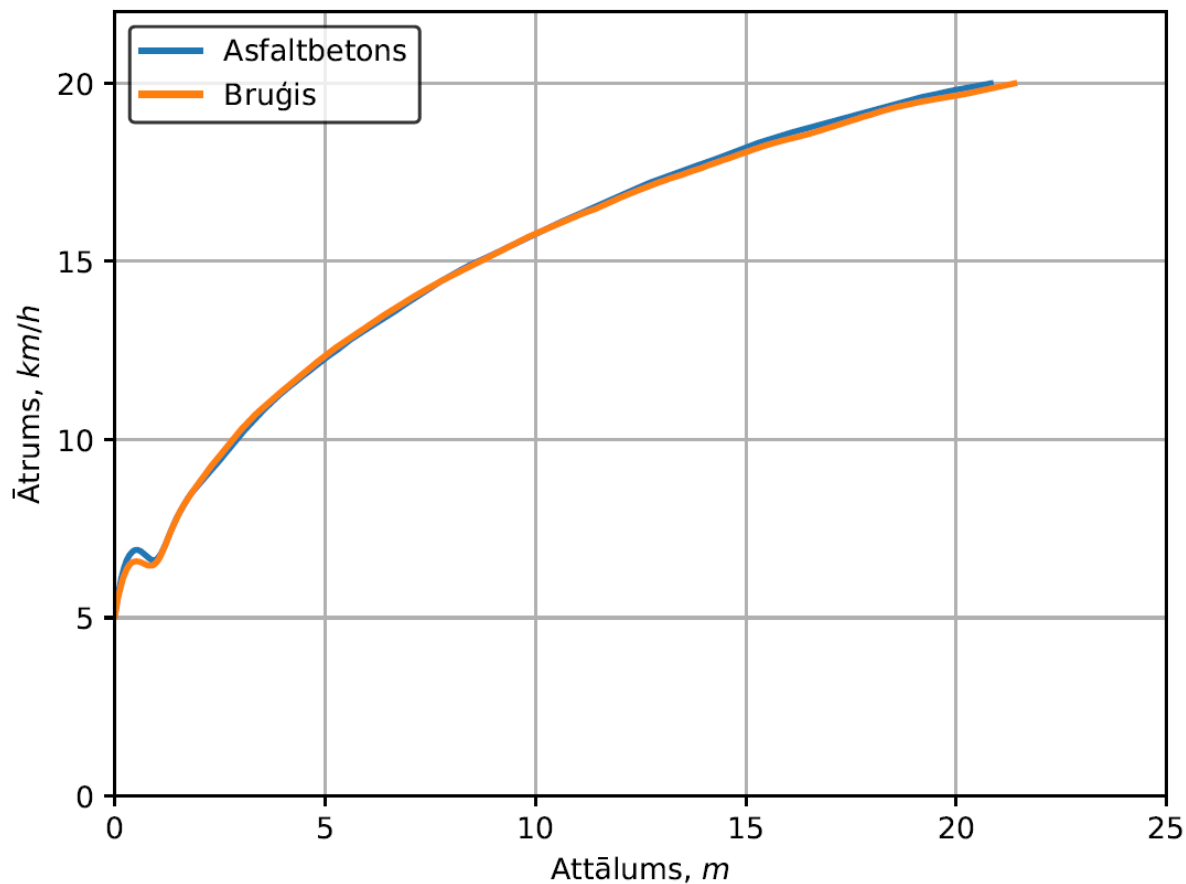
Palēninājuma izmaiņas bremzēšanas laikā



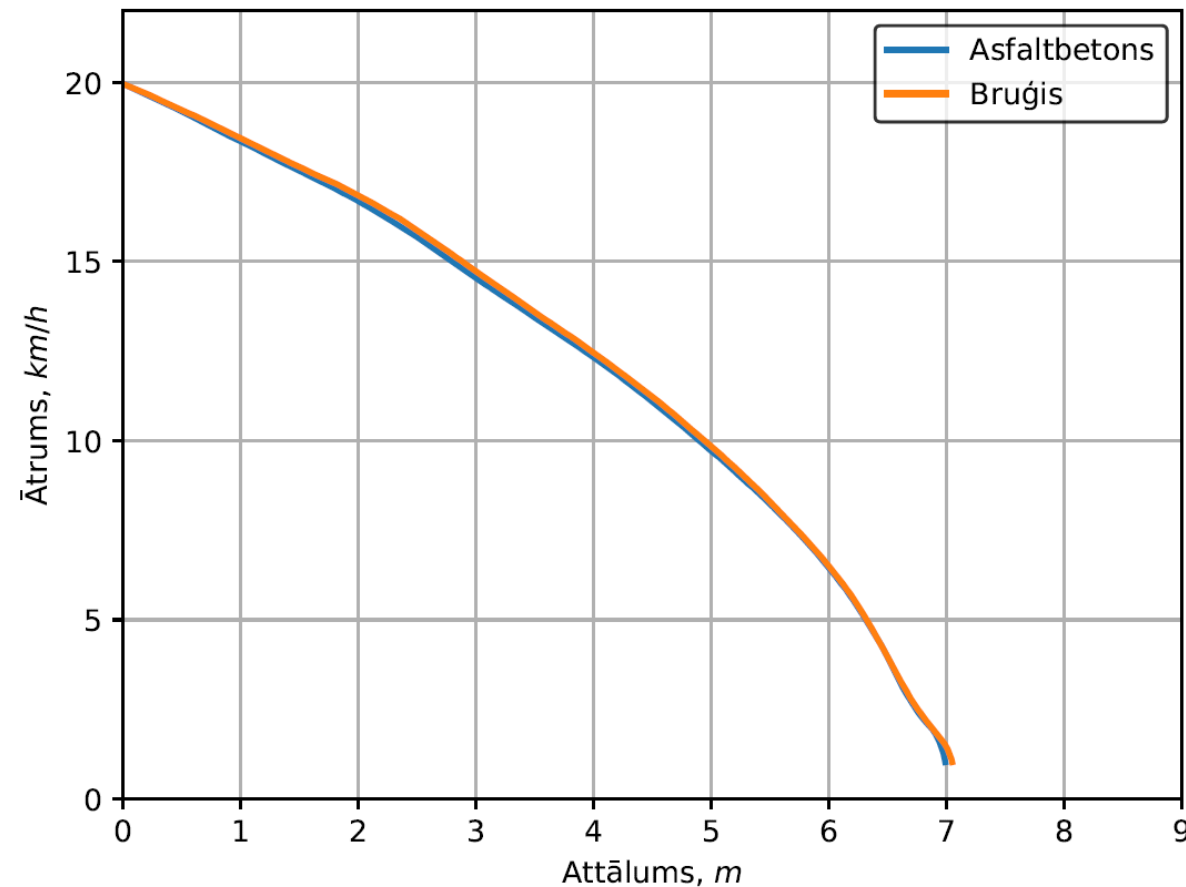
Vidējais bremzēšanas palēninājums

Ceļa seguma ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

Elektroskrejritenis Segway ES1, braucējs ar vienādu masu



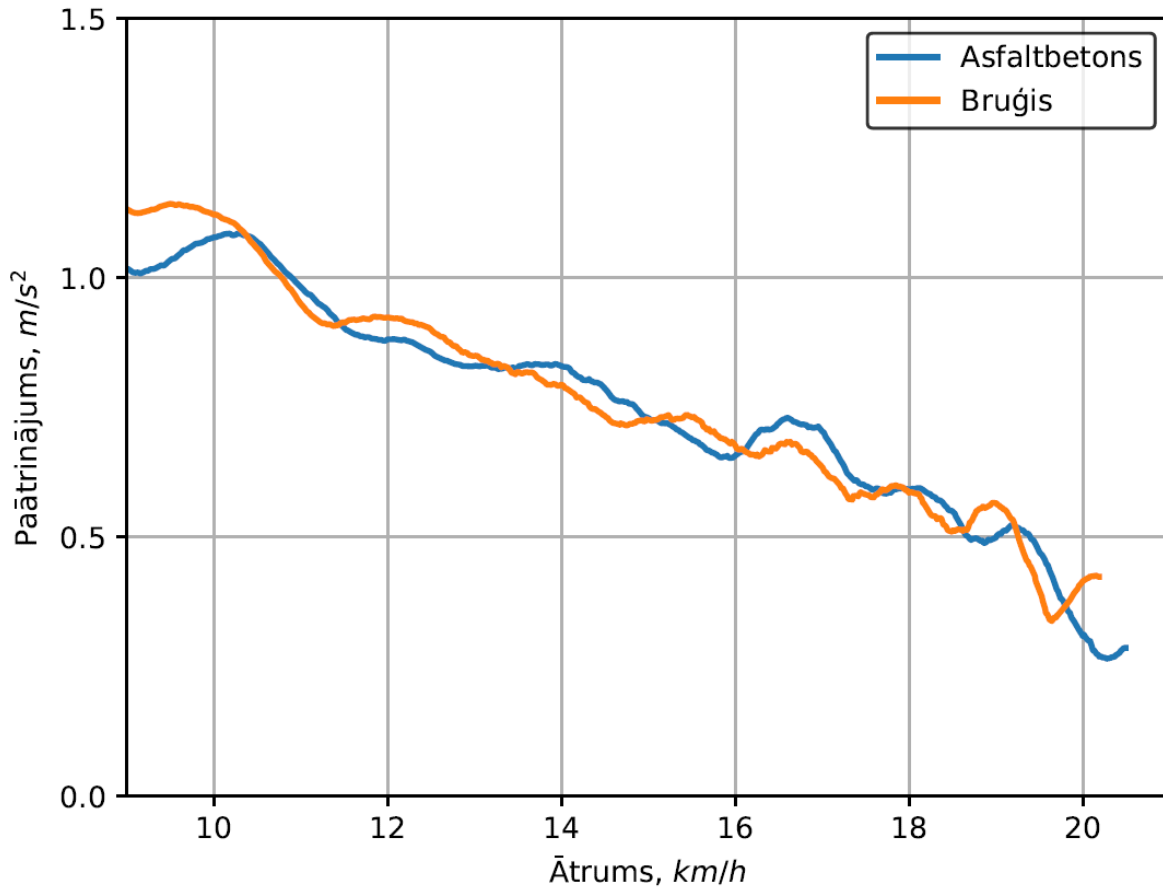
Ātruma izmaiņas ieskriešanās ceļā



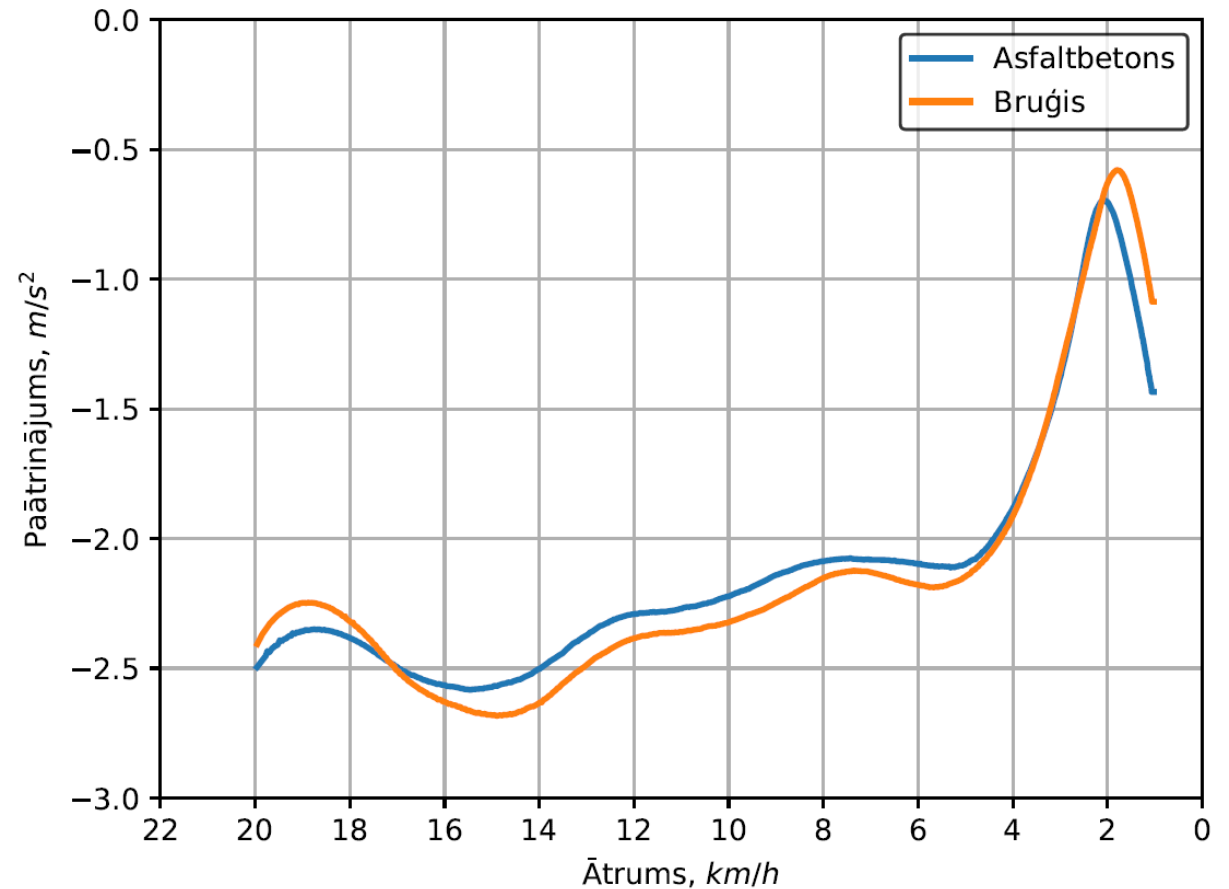
Ātruma izmaiņas bremzēšanas ceļā

Ceļa seguma ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

Elektroskrejritenis Segway ES1, braucējs ar vienādu masu



Paātrinājuma izmaiņas ieskriešanās laikā



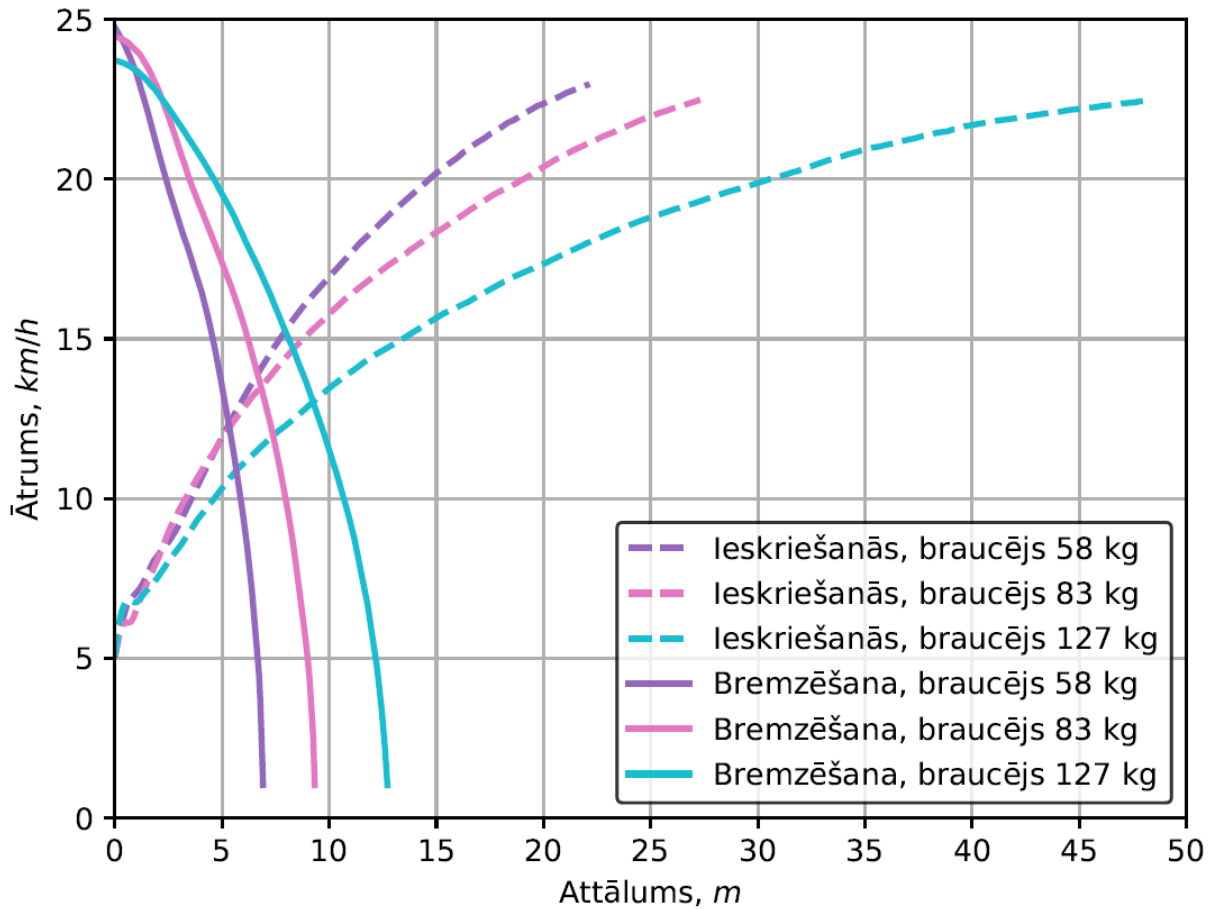
Palēninājuma izmaiņas bremzēšanas laikā

Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

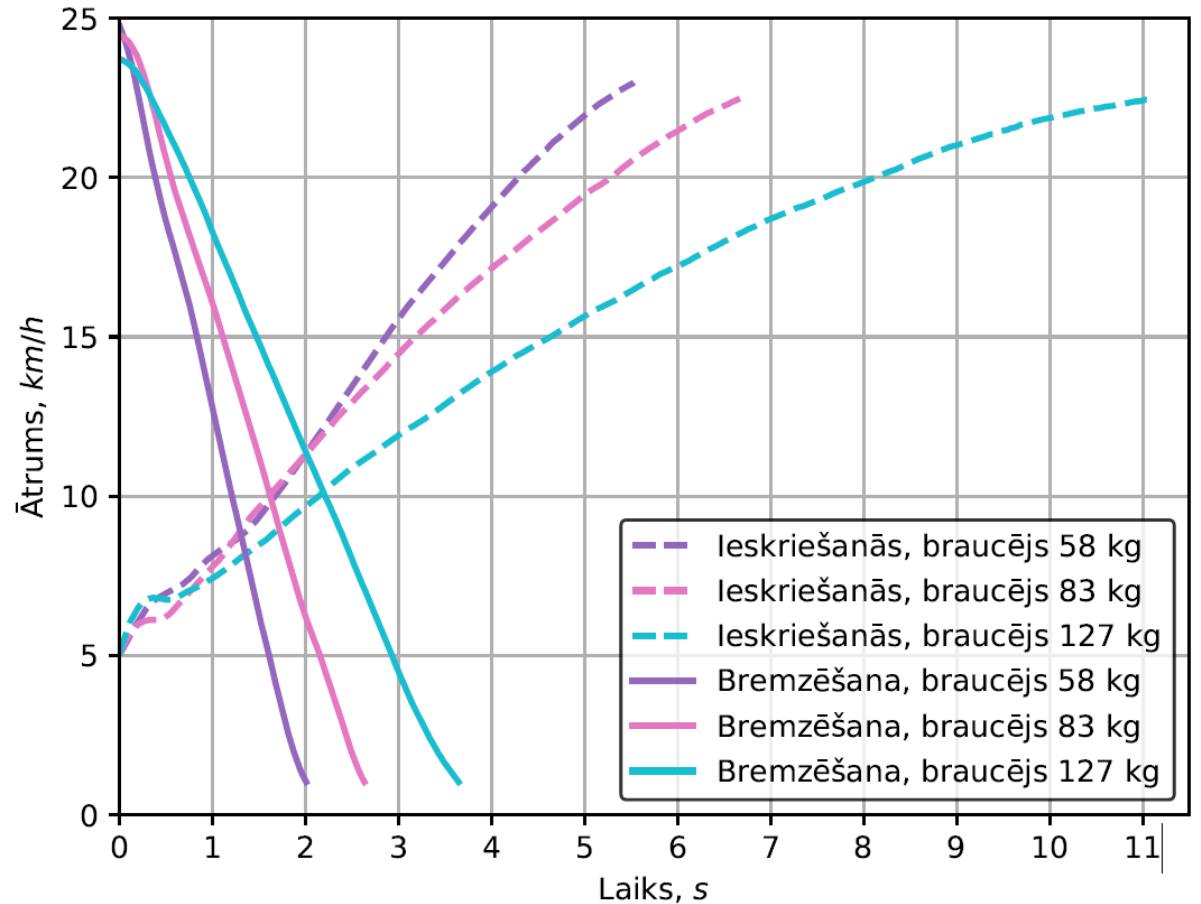


Ātruma izmaiņu un nobraukuma salīdzinājums, ieskrienoties

Elektroskrejritenis Xiaomi M365 Pro, trīs braucēji ar atšķirīgu masu



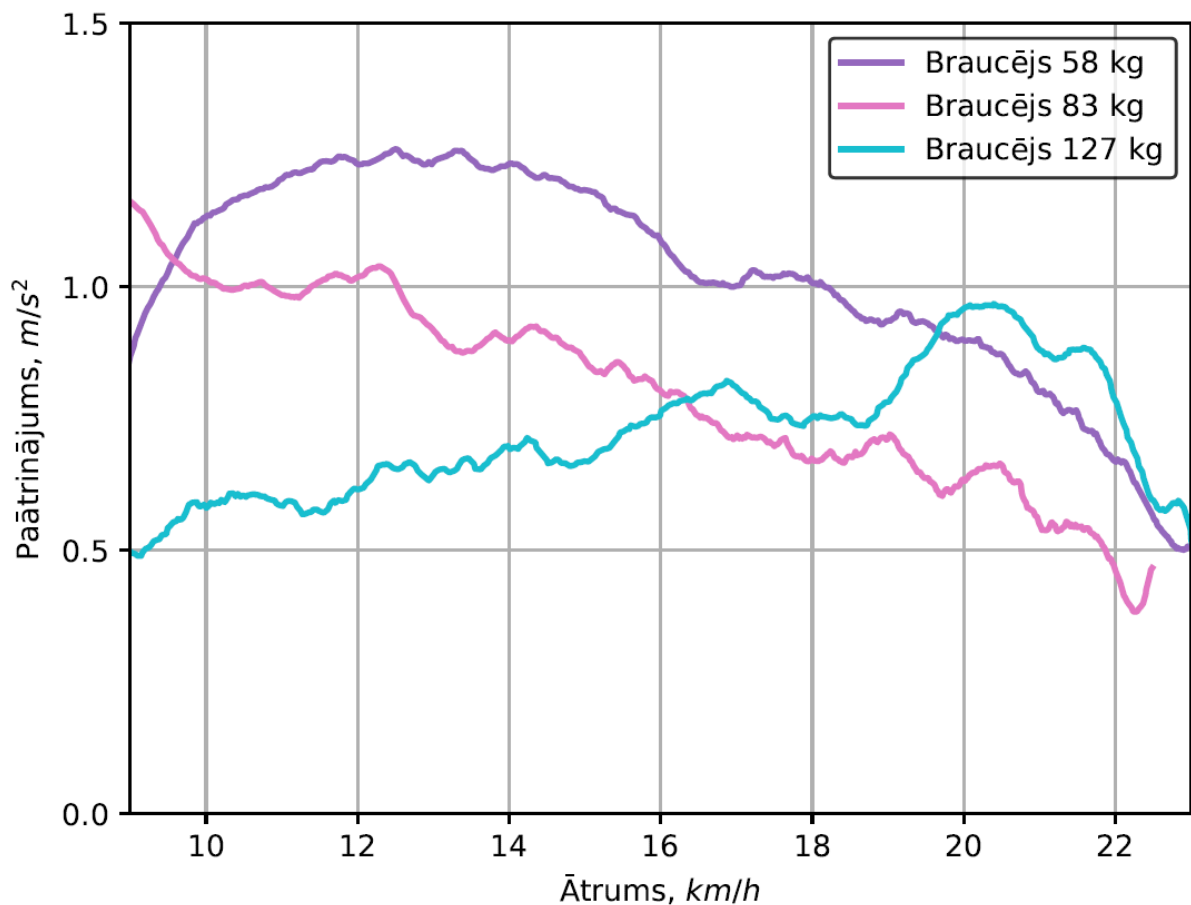
Ātruma izmaiņas ieskriešanās un bremzēšanas ceļā



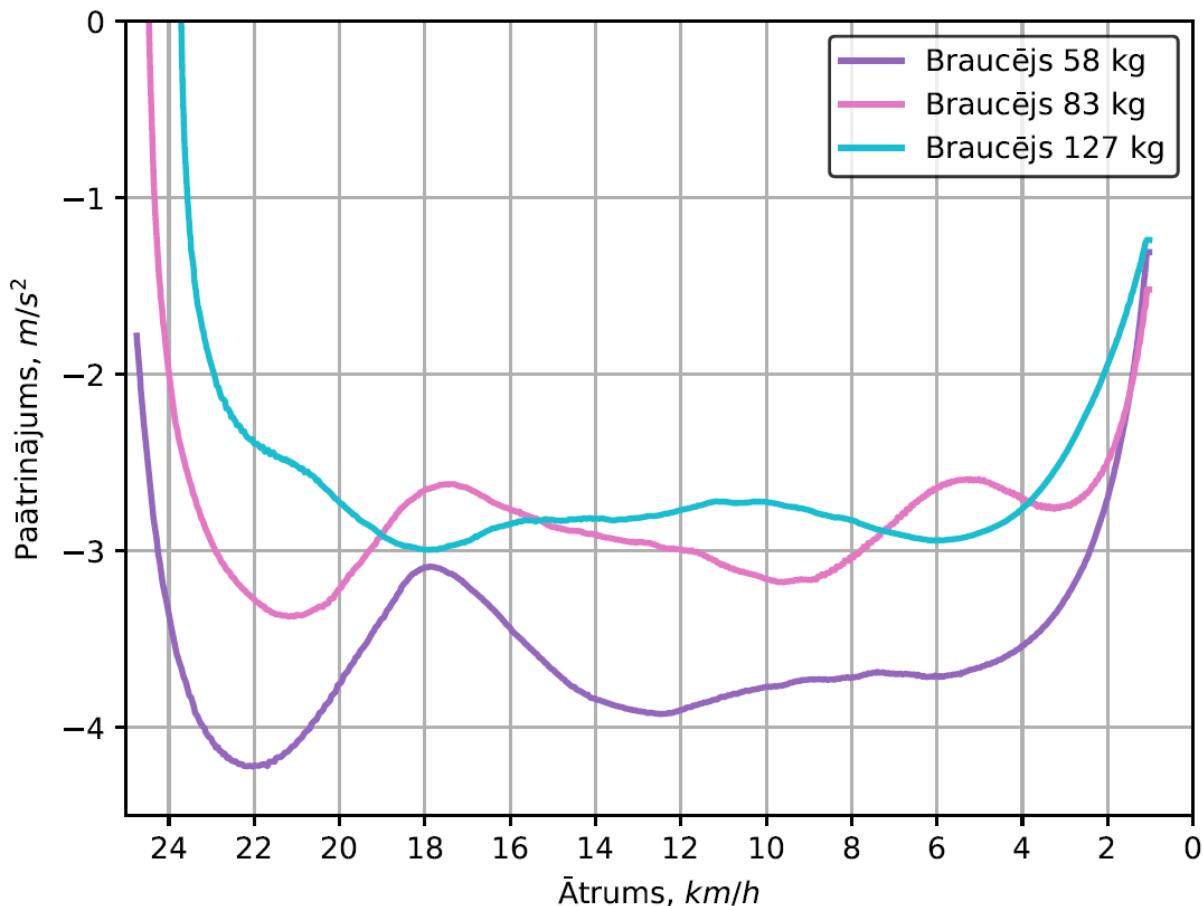
Ātruma izmaiņas ieskriešanās un bremzēšanas laikā

Palēninājuma izmaiņu salīdzinājums

Elektroskrejriteņis Xiaomi M365 Pro, trīs braucēji ar atšķirīgu masu



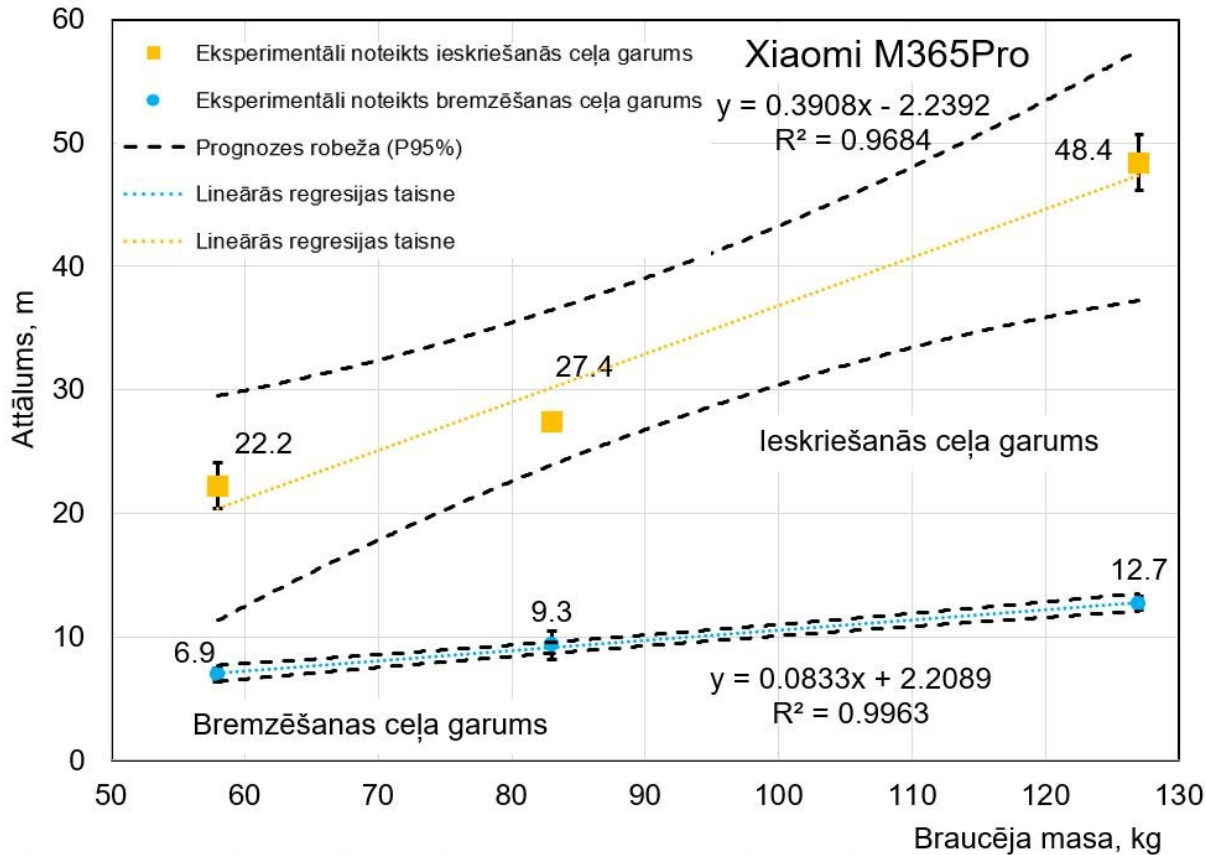
Paātrinājuma izmaiņas ieskriešanās laikā



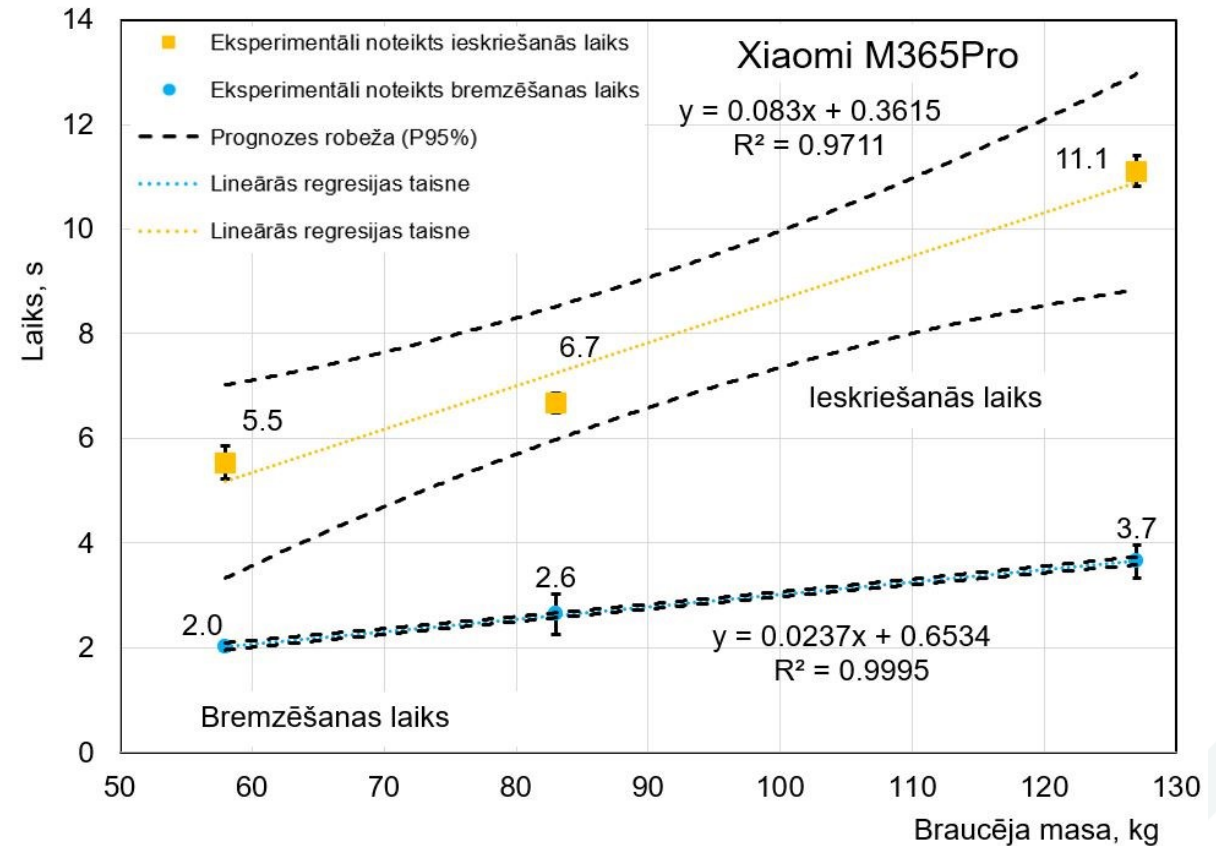
Palēninājuma izmaiņas bremzēšanas laikā

Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

Elektroskrejritenis Xiaomi M365 Pro, trīs braucēji ar atšķirīgu masu



Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas ceļu



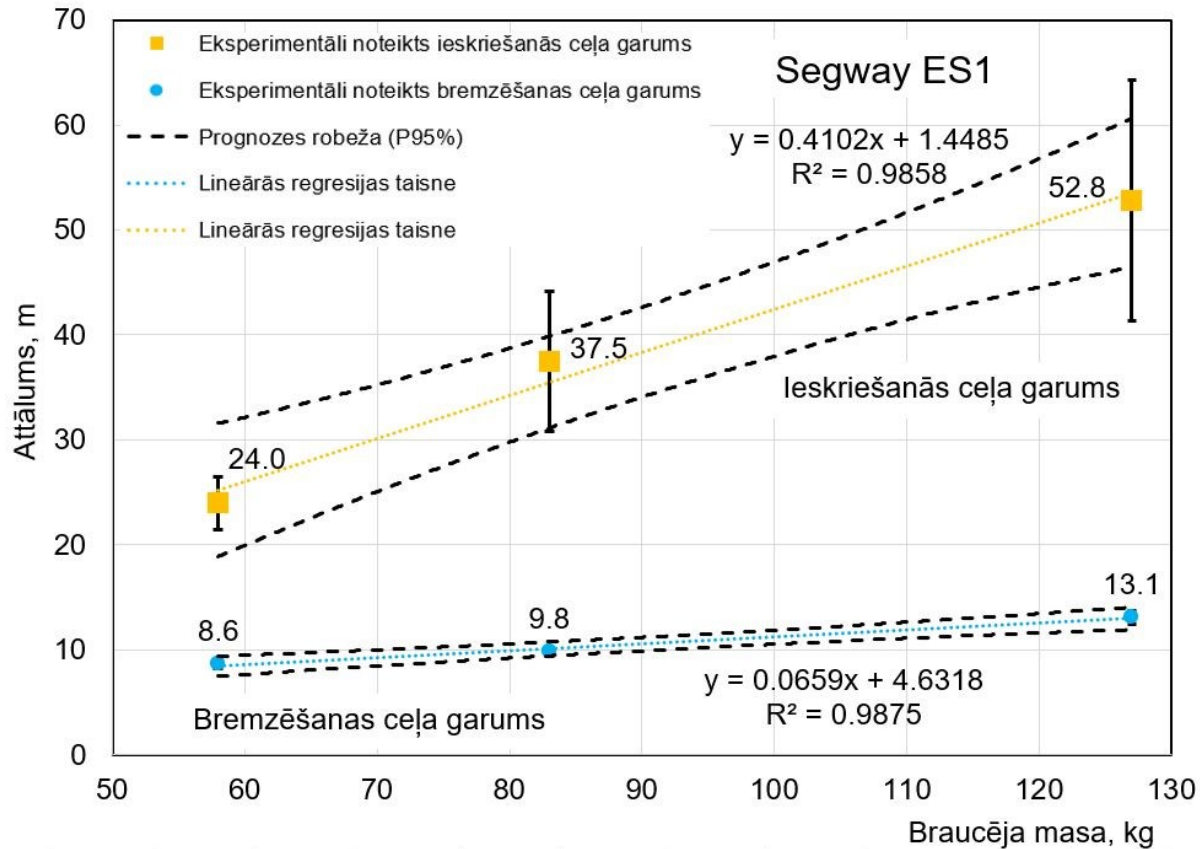
Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas laiku

Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

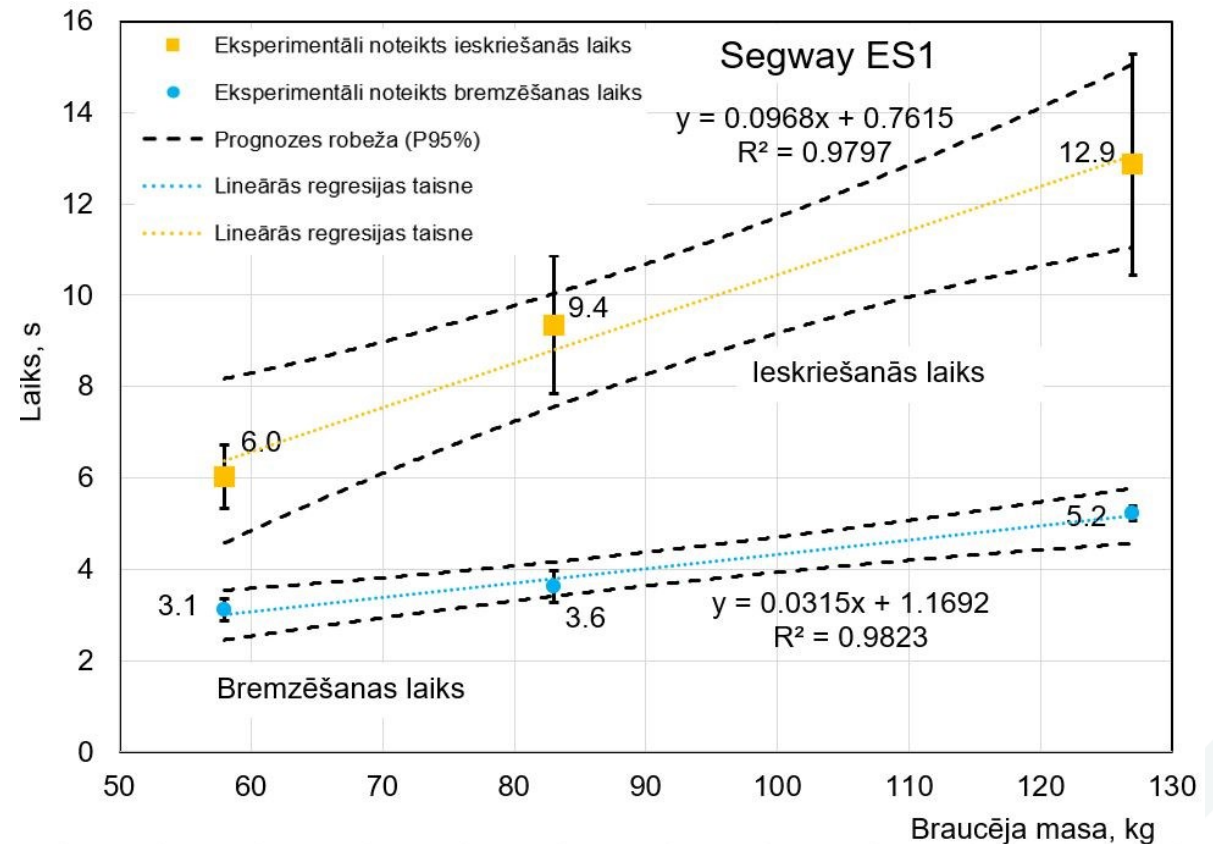


Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

Elektroskrejritenis Segway ES1, trīs braucēji ar atšķirīgu masu



Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas ceļu

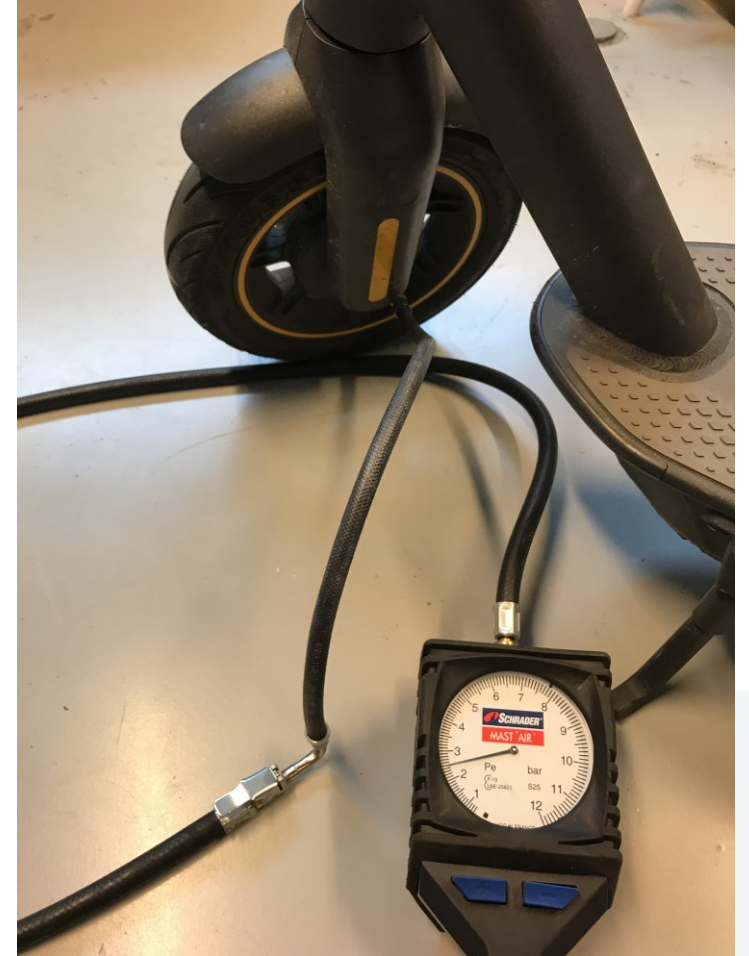


Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas laiku

Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu



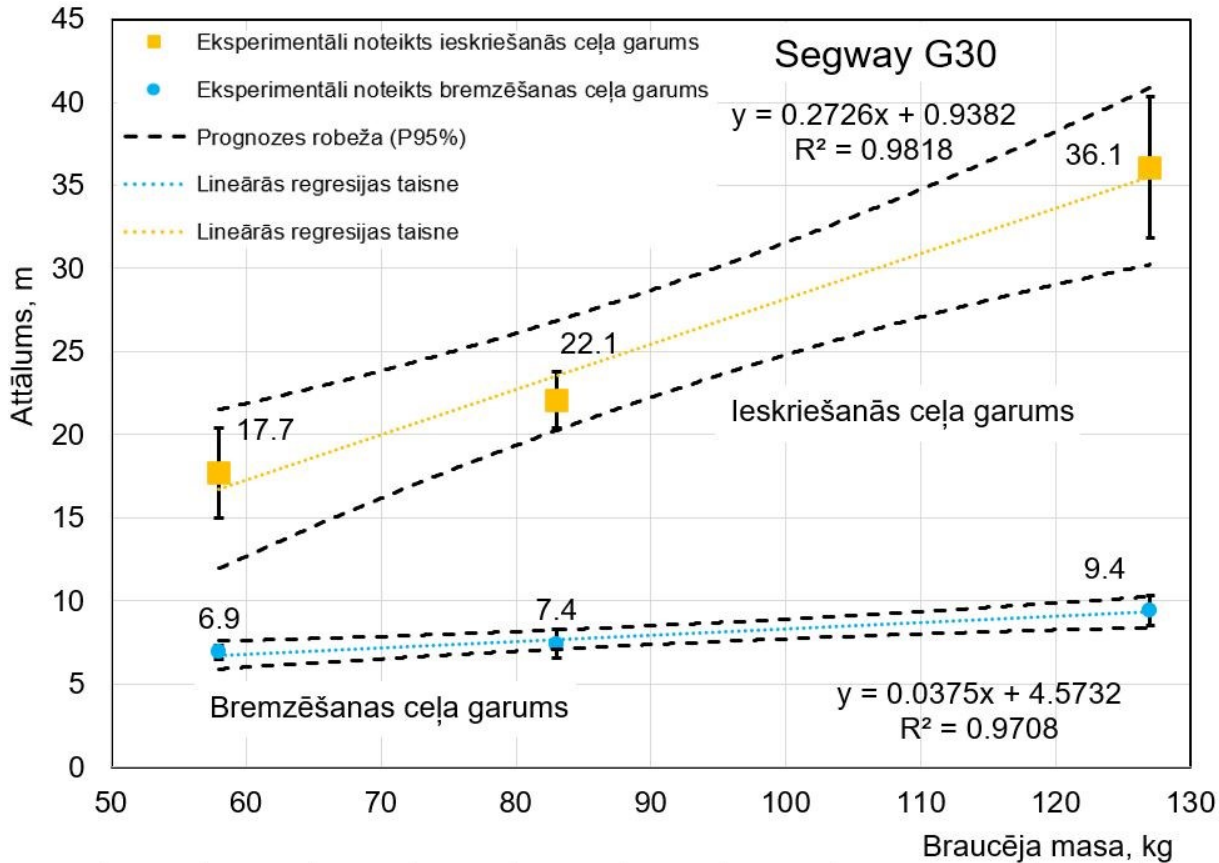
Izmēģinājumiem sagatavots elektroskrejritenis Segway G30



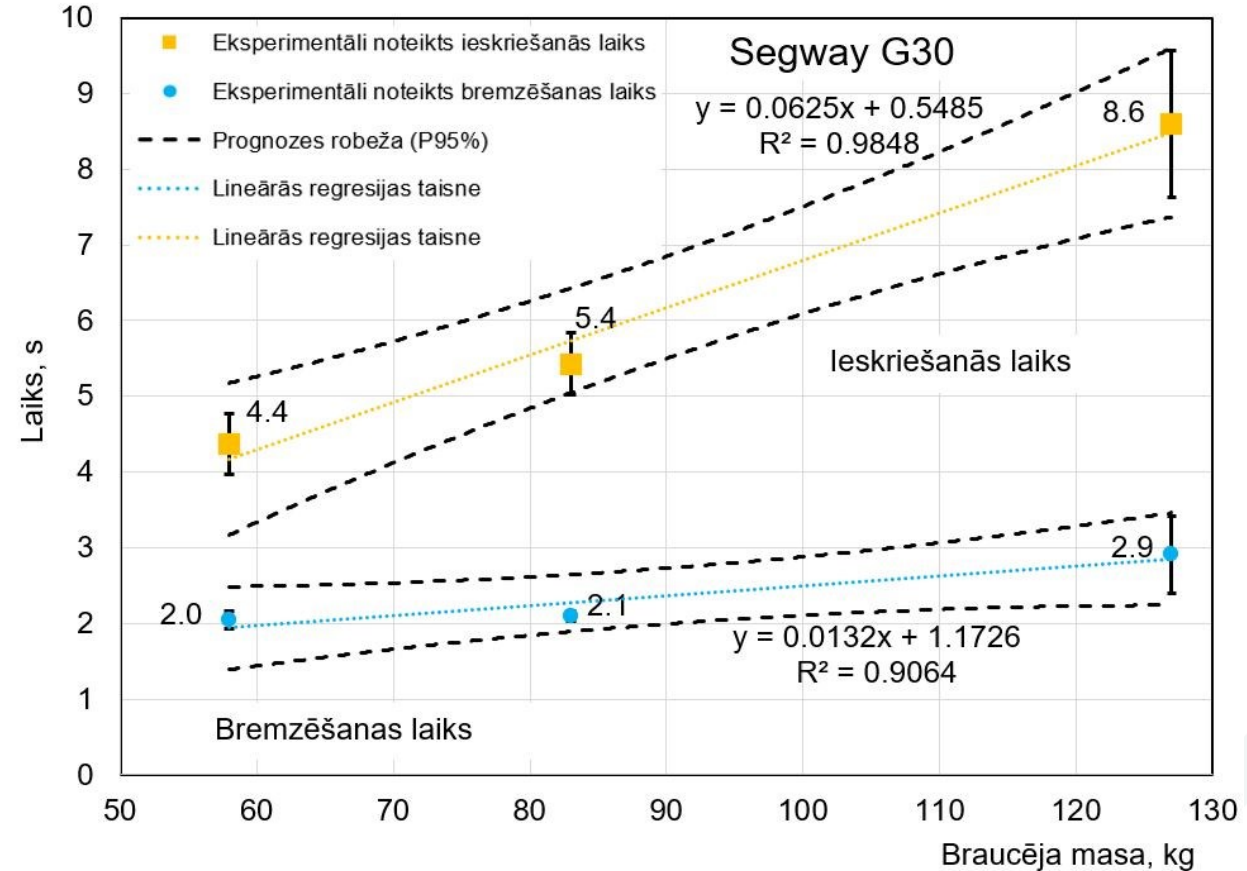
Riepu gaisa spiediena kontrole pirms katras braucienu sērijas

Braucēja masas ietekme uz ieskriešanos un bremzēšanu

Elektroskrejritenis Segway G30, trīs braucēji ar atšķirīgu masu



Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas ceļu



Braucēja masas ietekme uz ieskriešanās un bremzēšanas laiku

Secinājumi

1. Elektroskrejriteņu ieskriešanās ceļš līdz ātrumam 20 km/h līdz bija līdzīgs vai zemāks, salīdzinot ar tipisku velosipēda ieskriešanās ceļu.
2. Pētījumā iegūtās elektroskrejriteņu bremzēšanas ceļa robežas, bremzējot no maksimālā ātruma līdz 1 km/h, ko ietekmē braucēja masa:
 - Segway ES1 - 8.6 ... 13.11 m;
 - Segway G30 - 6.9 ... 9.4 m
 - Xiaomi M365 Pro - 6.9 ... 12.7 m.
3. Pieaugot braucēja masai, palielinās elektroskrejriteņu bremzēšanas ceļš un laiks. Pētījumā iegūtas sakarības ieskriešanās un bremzēšanas ceļa un ilguma aprēķinam, ja zināma braucēja masa, brauciens notiek pa sausu asfaltebetona vai betona bruģa ceļa segumu, un bremžu iekārtas regulējums atbilst elektroskrejriteņu ražotāja iestatījumiem.

Secinājumi

4. Salīdzinot elektroskrejriteņu bremzēšanas ceļu ar elektrovelosipēda bremzēšanas ceļu, noskaidrots, ka elektroskrejriteņu bremzēšanas ceļš ir ievērojami garāks. Rēķinot to no vienāda kustības sākuma un beigu ātruma (20 km/h – 1 km/h) un izmēģinājumu veicot vienam un tam pašam braucējam, iegūti šādi rezultāti, attiecinot pret elektrovelosipēda bremzēšanas ceļu:
 - Segway ES1 - palielinājums par $210 \pm 17\%$;
 - Segway G30 - palielinājums par $69 \pm 33\%$;
 - Xiaomi M365 Pro - palielinājums par $131 \pm 44\%$.
5. Ja elektroskrejriteņa vadītāja masa būs lielāka par velosipēdista masu, sagaidāms, ka atšķirība bremzēšanas ceļa garumā palielināsies.
6. Salīdzinot elektroskrejriteņa ieskriešanās un bremzēšanas paātrinājumu, ceļu un laiku starp sausa asfaltbetona un betona bruģa segumu, netika novērotas būtiskas atšķirības.

Secinājumi

7. Izmēģinājumi ar slapju ceļa segumu parādīja, ka notiek dzenošā riteņa izslīdēšana ieskrienoties, un pakāļējā riteņa izslīdēšana bremzējot. Izmēģinājuma braucieni šādos apstākļos bija nedroši, un iegūtie dati ar lielu izkliedi. Tādēļ izmēģinājumi pa slapju ceļa segumu netika turpināti.
8. Pētījumu turpinājumā plānots izstrādāto elektroskrejriteņa ar braucēju masas centra augstuma noteikšanas algoritmu publicēt starptautiskā recenzētā zinātnisku rakstu krājumā.
9. Plānots izstrādāt un aprobēt algoritmu elektroskrejriteņu bremzēšanas garenstabilitātes kritēriju robežu noteikšanai.

Ieteikumi

Ieteikumi izriet no pētījuma rezultātiem, autoru pieredzes, kā arī no informācijas avotu analīzes.

1. Par ķiveru lietošanu. Traumu risks, lietojot elektroskrejriteņus, ir augstāks, salīdzinot ar velosipēdu. Bremzēšanas ceļš ir garāks, un pat laicīgi pamanot apdraudējumu, braucējs var nepagūt nobremzēt līdz drošam ātrumam vai apstāties. Tāpat salīdzinoši nelielais riteņu rādiuss rada palielinātu risku, pārvarot ceļa nelīdzenumus un bedres. Vēl viens riska faktors ir ļoti apgrūtinātā elektroskrejriteņa vadība, atbrīvojot no stūres vienu roku. Īslaicīgi to iespējams paveikt, taču pat neliels ceļa nelīdzenums vai nepieciešamība izmanīt braukšanas virzienu rada tūlītēju kritiena risku. Ieteikums ieviest obligātu cieto ķiveru lietošanu.
2. Par braukšanu pa brauktuvi. Elektroskrejriteņu ierobežotā iespēja stabili pārvarēt ceļa nelīdzenumus, piemēram lietus ūdens noteces un apkalpošanas lūkas rada lielu risku, piedaloties satiksmē pa brauktuvi. Ieteikums neatļaut elektroskrejriteņu lietošanu pa brauktuvi un ceļa nomalēm, izņemot ielas ar ierobežotu maksimālo braukšanas ātrumu (30 km/h un zemāku).

Ieteikumi

3. Par ceļa virsmas stāvokli. Elektroskrejriteņu salīdzinoši nelielais riteņu rādiuss rada apgrūtinājumu tādu ceļa nelīdzenumu pārvarēšanai, kas velosipēda gadījumā būtu uzskatāmi par nebūtiskiem. Piemēram, ietvei perpendikulārās lietus ūdens noteces, slīpās nobrauktuves starp brauktuvi un ietvi salaidumi, koku saknes zem ceļa seguma un nelielas bedres. Elektroskrejriteņa vadītājs, pamanot tādu nelīdzenumu, var mēģināt strauji bremzēt, radot risku sev un citiem. Ieteikums pārskatīt esošo veloceliņu un ietvju esošo stāvokli un prasības attiecībā tā uzturēšanai.
4. Ceļu virsmas defektu apzināšanai ieteicams izveidot un popularizēt ziņojumu iesniegšanas mobilo lietotni.
5. Tāpat ieteicams izveidot mobilo lietotni nekorektas nomas elektroskrejriteņu novietošanas paziņošanai.
6. Par maksimālā braukšanas ātruma kontroli. Privātā lietošanā esošu elektroskrejriteņu kontrolera programmatūru var salīdzinoši viegli nomainīt vai modificēt. Tādā veidā var palielināt maksimālo braukšanas ātrumu, līdz tas pārsniedz Ceļu satiksmes likumā atļauto 25 km/h. Satiksmes drošības uzlabošanai ieteicams ieviest regulārus braukšanas ātruma kontroles pasākumus. Vienkāršākais pārbaudes veids ir pacelt no ceļa virsmas un iegriezt elektroskrejriteņa dzenošo riteni, un nolasīt maksimālo braukšanas ātrumu no vadības paneļa

Paldies par uzmanību!

