

## Stabilnost vijuganja osebnih vozil z lahkimi tovornimi priklopniki

Gašper Šušteršič – Ivan Prebil – Miha Ambrož\*  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

V strokovnih krogih je bil identificiran problem 'vijuganja' (ang. 'snaking') lahkih tovornih priklopnikov, ki jih vlečejo osebni avtomobili. Gre za pojav, ko pri določenih pogojih sistem osebnega vozila s priklopnikom postane nestabilen. Vlečno vozilo in priklopnik začneta v ravnini vozišča nihati okoli navpične osi z naraščajočo amplitudo. Če voznik skupine vozil takšnega gibanja ne zazna pravočasno, praviloma to vodi v izgubo nadzora nad skupino vozil in ima za posledico prometno nezgodo. Drugi avtorji so pojav večinoma obravnavali na skupinah osebnih vozil in stanovanjskih priklopnikov. Cilj predstavljenega dela je bil ugotoviti, ali je podroben model na osnovi sistema togih teles (MBS) mogoče uporabiti za modeliranje pojava vijuganja. Na podlagi rezultatov simulacij ter meritev smo želeli ugotoviti, ali so pojavu vijuganja podvrženi tudi lahki tovorni priklopniki in kako na njihovo gibanje vplivajo posamezni parametri skupine vozil.

Za potrebe raziskave je bil razvit podroben MBS model vlečnega vozila in priklopnika. Kot osnova so bili uporabljeni podrobni geometrijski modeli sprednjega in zadnjega obešenja koles vlečnega vozila ter obešenja koles priklopnika. Masne in vztrajnostne karakteristike teles v sistemu so bile deloma pridobljene z geometrijskim modeliranjem in deloma z meritvami. Vzmetne in dušilne karakteristike elementov, ki generirajo sile, so bile izmerjene neposredno na komponentah preizkusnih vozil. Zasnovan in izdelan je bil merilni sistem za merjenje količin na vozilih med vožnjo (zasuk volana, zasuk priklopnika na spenjalni napravi, pospeški, hitrost), ki je skrbel tudi za zajemanje in shranjevanje podatkov ter za zajem slike.

S preizkusno skupino vozil, opremljeno z razvitim merilnim sistemom je bilo izvedenih več preizkusnih voženj, pri katerih je bil sistem vozil vzbujan z motnjo v obliki impulznega zasuka volana vlečnega vozila. Za vsako preizkusno vožnjo je bil izmerjen in shranjen časovni potek opazovanih količin na vlečnem vozilu ter na priklopniku. Poleg preizkusnih voženj so bile pod enakimi pogoji (hitrosti) izvedene simulacije z uporabo razvitega MBS modela. Pri tem so bili kot vzbujanje uporabljeni izmerjeni impulzi zasuka na volanu. Za preveritev aerodinamičnih vplivov na gibanje skupine vozil so bile s podrobnim geometrijskim modelom skupine vozil ter pri pogojih, ki so ustrezali eksperimentom, izvedene računalniške simulacije dinamike tekočin (CFD), s katerimi so bili simulirani sile in moment, ki jih na skupini vozil povzroča tok okoliškega zraka.

Primerjava rezultatov simulacij z eksperimentalno pridobljenimi podatki kaže, da je pristop z modeliranjem na osnovi sistema teles za zadano nalogo primeren. Rezultati kažejo, da lahko sistem osebnega vozila z lahkim tovornim priklopnikom postane nestabilen že pri s predpisi dovoljenih hitrostih, če je le-ta nepravilno naložen. Simulacija zračnega toka okoli skupine vozil je pokazala, da aerodinamične sile in momenti na lahkem tovornem priklopniku, oblike kakršne je bil uporabljeni, nimajo pomembnega vpliva na njegovo stabilnost. Eksperimentalni rezultati so pokazali, da ima pomemben vpliv na stabilnost priklopnika poleg njegove vztrajnosti in navpične sile na spenjalni napravi tudi delež tovora, ki se lahko omejeno prosto giblje glede na priklopnik. Ta del tovora je lahko podvržen pojavu trčnega dušenja ('impact damping'), ki je bil ugotovljen pri analizi eksperimentalnih rezultatov in utegne biti predmet nadaljnjih raziskav. Potencial za nadaljnje raziskave in razvoj je sistem, ki bi ga bilo mogoče vgraditi v priklopnik in bi na podlagi podatkov iz zaznaval določil vztrajnost priklopnika ter opozoril voznika na nepravilno naložen tovor.

**Ključne besede:** lahki tovorni priklopnik, skupina vozil, vijuganje, simulacija, dinamika vozil, sistem togih teles, računalniška simulacija dinamike tekočin, trčno dušenje