

KOMPLEX JÁRMŰRENDSZEREK SOKVÁLTOZÓS FOLYAMATMODELLJE SZÉLSŐSÉGES TERHELÉSI KÖRNYEZETBEN

MULTIVARIABLE PROCESS MODELL FOR COMPLEX VEHICLE SYSTEMS UNDER EXTREME LOAD ENVIRONMENT

Rózsás Zoltán¹, Dr. Hány András², Dr. Viharos Zsolt János^{3,4}, Vadászné Dr. Bognár Gabriella⁵

¹Pannon Fejlesztési Alapítvány, Technológiai Centrum, 8900 Zalaegerszeg, Fészek u. 4. (zoltan.rozsas@tc.org.hu)

²APNB Kutató, Fejlesztő és Szolgáltató Kft., 8900 Zalaegerszeg, Gólyadombi út 3. (andras.hany@apnb.hu)

³Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézete, 1111 Budapest, Kende u. 13-17. (viharos.zsolt@sztki.mta.hu)

⁴Kecskeméti, Pallas Athéné Egyetem, 6000 Kecskemét, Izsáki út 10.

⁵Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros (v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu)

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT). Vehicle industry is facing two megatrends nowadays: alternative drives and autonomous vehicles. Extreme loads have crucial importance inside these trends, too. Unforeseen events happening in real life can be considered as special form of extreme loads, this is the key novelty of the paper together with the presentation that the classical 6 sigma approach applied typically e.g. in production environments can be used to describe this special form of extreme loads. Various examples represent the applicability of this proposed concept like extreme loads at vehicles of heavy weight & low speed (tractor), light weight and high speed (formula car) and autonomous vehicles. Finally, a concrete vehicle route in a city was analyzed with evaluation of unforeseen events highlighting the advantages of the proposed concept.

1. BEVEZETÉS

A járműiparban zajló átalakulások két irányában (alternatív hajtások és az autonóm járműirányítás) különösen hangsúlyos szerepet kapnak a *szélsőséges terhelések*. Ezek feltétlenül szükséges információt adnak pl. a járművek tervezéséhez, méretezéséhez és meghatározóak az élettartamuk során is. *A szélsőséges terhelés azonban több más aspektussal is rendelkezik.*

A járműirányítás tervező-beavatkozó algoritmusai tipikusan az előre jól modellezhető, szimulálható, ismert és reprodukálható események körére fejleszthetők célzottan. *A valóságos üzemi környezetben viszont számos, előre nem látható (itt hívjuk: „szélsőséges”) üzemi esemény lép fel, így kiemelkedő fontosságúak a nem tervezhető és nehezen reprodukálható jelenségek, mint szélsőséges terhelések, is.*

A cikk bemutatja e speciális jelenségek értelmezését és leírja a folyamatirányításban elterjedt 6-sigma módszerrel analóg megközelítést a járműrendszerek programjai kapcsán, továbbá kitér a szélsőséges esetek definiálására és értelmezésére is.

Az első fejezet a járműipari megatrendek bemutatásával mutatja a szélsőséges terhelések kutatásának fontosságát, amelyet a szélsőséges terhelések definíciója követ. A kapcsolódó kutatási áttekintést a szélsőséges terhelések statisztikai leírása, majd a javasolt technikából adódóan a jármű-, és gyártórendszerek analógiájának bemutatása követ. A következő rész, két, konkrét speciális járműrendszer (nagy tömegű, kis sebességű (traktorok), illetve, kis tömegű, nagy sebességű (formula autók) járművek) esetén mutatja meg a szélsőséges terhelés meghatározását, kiegészítve az autonóm járművek esetén alkalmazható leírással. Az összefoglalás előtt egy konkrét városi tesztútvonalon kiértékelésre került váratlan események, mint szélsőséges terhelések tükrözik a javasolt leírás előnyeit. A cikket a köszönetnyilvánítás és a hivatkozások zárják.

2. JÁRMŰIPARI TRENDEK

A cikkben tárgyalt kutatások kapcsolódnak azokhoz a járműiparban zajló változásokhoz, amelyek egyben illeszkednek a globális fejlődési irányokhoz (ún. megatrendekhez) is. A járműiparban zajló átalakulások két markáns irányra bonthatók, amelyekből a napjaink kutatási kihívásaiban lecsapódó feladatok levezethetők:

- a hagyományos fosszilis energiahordozókra épülő meghajtási megoldások átalakulása alternatív hajtási módokra [1],
- az autonóm járműirányítás irányába ható változások [2].

A járműipari trendek figyelembe vételével különösen hangsúlyos szerepet kap a nem tervezhető és nehezen reprodukálható jelenségek köre a járműirányításban (lásd autonóm járművek, környezettel kommunikáló járművek). Így a kutatásoknak kiemelt figyelmet kell fordítaniuk a speciális jelenségek értelmezésének egyik lehetőségére, a folyamatirányításban elterjedt 6-sigma módszerrel analóg megközelítésre, a járműrendszerek kísérleti programjai kapcsán.

2.1. A szélsőséges terhelések kutatása

Napjainkban az autonóm járművek kutatásai és fejlesztései a tudomány és az ipar fókuszában vannak, tekintettel az ilyen járművek előnyeire: megnövekedett biztonság, alacsonyabb emisszió, kisebb dugók, nagyobb mobilitás. Az autonóm megoldások kulcseleme a szoftveres háttér, valamint az érzékelés-beavatkozás kör folyamatos visszacsatolásokra épülő rendszere [7]. Katrakazas et al., 2015-ben foglalták össze a járműirányítással kapcsolatos releváns fogalmakat: útvonal (path), manőver (manoeuvre), trajektória (trajectory); illetve ezek tervezése. Az összeállítás áttekintést is tartalmaz a különböző beavatkozási stratégiákról (pl. jármű és környezeti tárgyak közötti távolság maximalizálása, foglaltsági rács optimalizálása, üzemi költség minimalizálása, stb.) [6]. Az optimális tervezést úgy írják le, mint:

- a legjobb geometriai út meghatározása,
- a legjobb manőver a kiválasztott út végrehajtásához,
- a legjobb trajektória a manőver optimalizálásához.

DARPA Urban Challenge, 2007 vizsgálati azt mutatták, hogy a manőverek tervezésének képesnek kell lenni az ún. motorizált és a nem-motorizált közlekedési helyzetek felismerésére és kezelésére is [8]. E tekintetben kiemelten fontos a különböző akadályok és események előrejelzésének képessége [9]. Kutásaik nyomán az ún. „motion modelling” fizikai alapú, manőver alapú és interakció jellegű modellekre osztható. Amint a szükséges információ rendelkezésre áll, a jármű irányításához szükséges döntési mechanizmusok már viszonylag jól ismertek [10].

Ezen a ponton jutunk el a szélsőséges események fogalmáig, amelyek a járművek tesztelésének és üzem közbeni viselkedésének kulcsfontosságú tényezői. A járműirányítás tervező-beavatkozó algoritmusai tipikusan az előre modellezhető, szimulálható, ismert és reprodukálható események körére fejleszthetők célzottan. A valóságos üzemi környezetben viszont számos, előre nem látható (itt hívjuk: „szélsőséges”) üzemi esemény lép fel, és ezek megfelelő kezelése csak növelt intelligenciájú, pl. tanuló rendszerekkel lehetséges. Ezen a téren viszonylag kevés kutatás folyik, a járműirányítás, a szélsőséges helyzetek, az autonóm megoldások közös halmazának kombinált kutatása a járművek üzemi tesztelése, kísérletei szemszögéből a rendelkezésre álló információk alapján úgy tűnik, egyelőre korlátozottan kutatott terület.

A biztonság és megbízhatóság érdekében jelentős mennyiségű tesztre van szükség [11], éppen ezért érdekesek a szélsőséges üzemi helyzetekhez kapcsolódó kutatások is. Egy speciális ilyen helyzet az időjárás és a láthatóság okozta szélsőség [12]. A járműirányítás tekintetében értelmezett szélsőséges jelenségek, mint az irányítási rendszer számára jelentkező kihívások sajátosságai bizonyos analógiát mutatnak a mechanikai típusú rendszerek esetén a szélsőséges mechanikai terhelések okozta jelenségekkel [13].

3. JÁRMŰVEK SZÉLSŐSÉGES TERHELÉSE

3.1. A szélsőséges terhelés definíciója és esetei

A szélsőséges terhelés definícióját fontos tisztázni, hiszen ezek alapján minősíthetjük a járművekre ható egyes terheléseket. Fontos meghatározni, hogy egy-egy tiszta terhelési helyzetet, vagy adott esetben több együttesen fennálló, nagy intenzitású terhelések eredő hatását nevezzük szélsőségesnek, ebben az irodalom is megosztott, illetve, ebben e témakörben még sok a potenciális, feltárandó terület.

A járműre a jármű mozgásából adódóan alapesetben 3 erő hat a mozgás irányában, mely meghatározza a jármű dinamikáját, sebességét és gyorsulását. Ezeket terhelésként is értelmezhetjük, mely a jármű és a talaj találkozásánál ébred, melyet a hajtásláncnak el kell viselnie, vagy le kell győznie.

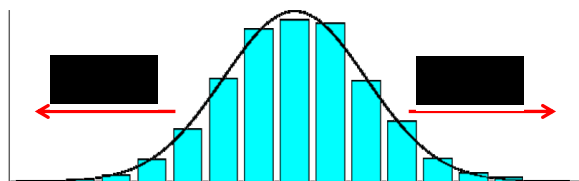
Szélsőséges üzemi terhelésnek [δ_{szel}] nevezzük, ha egy adott terhelés megközelítőleg ugyanazon pálya mentén és azonos feltételek mellett, a mért terhelések átlagát összegezve a szórás háromszorosával a mért érték ezt meghaladja, figyelembe véve a jármű életciklusának 99 %-ban fennálló terhelését.

Matematikailag egyszerűsítve, a szórás függvényre a szélsőséges terhelés az átlag plusz a szórás háromszorosán kívül esik, illetve az átlag mínusz a szórás háromszorosán:

$$\Delta\delta + 3S \leq \delta_{szel} \quad \text{vagy} \quad \Delta\delta - 3S \geq \delta_{szel}$$

- $\Delta\delta$ – átlag
- S – szórás
- δ_{szel} – szélsőséges terhelés

A definíciót az eloszlás görbén ábrázolva; az a terület, amely kívül esik az ábrán a két függőleges vonal közötti területen, amennyiben a két vonal jelöli az átlaghoz képest viszonyított plusz, illetve mínusz 3S tartomány határait (2. ábra).



2. ábra. Szélsőséges terhelés illusztrálása normális eloszlás görbével

3.2. A szélsőséges terhelések statisztikai leírása

Számos statisztikai és matematikai módszer létezik, melyek segítségével becsülhető, vagy statisztikailag meghatározható egy-egy rendszer paramétereinek alakulása, várható értéke [3]. A gépészetben leggyakrabban normális eloszlást feltételezünk, éppen ezért ha szükséges, a becsülendő paramétert a mérések átlagával becsüljük [4][5][6]. Amennyiben elegendő számú mérésünk vagy megfigyelésünk van, abban az esetben ezen adatokat felhasználva, normális eloszlást feltételezve, megadhatjuk azokat a határértékeket, melyek a 6σ tartományon kívül esnek, illetve ezek gyakoriságát is megkaphatjuk. Abban vannak olyan esetek, amikor nem ismert a kezdeti eloszlás, vagy a sűrűség függvény, így nullhipotézisként feltételezünk valamilyen eloszlást, majd megvizsgáljuk az állítás szignifikanciáját. Gumbel kutatásai szerint [3] a kezdeti adatok függvényében 3 féle módszer létezik arra, hogy meghatározzuk a szélsőséges értékeket és azok gyakoriságát:

1. A kezdeti valószínűségi eloszlás ismert. Ekkor a szélsőséges értékeket egyszerűen analitikus formulából kaphatjuk a rendstatisztikák alkalmazásával a kezdeti valószínűségi eloszlás ismeretében.
2. A kezdeti valószínűségi eloszlás nem ismert, de megfigyelések alapján adatok a rendelkezésünkre állnak. Az extrém érték becslését közelítő módszerekkel tudjuk elvégezni a megfigyelésekből kapott adatok alapján.
3. A kezdeti valószínűségi eloszlás nem ismert és csak a megfigyelt adatok maximuma áll rendelkezésre. Ekkor a szélsőséges értékek az aszimptotikus extrémérték eloszlásokra alkalmazott rendstatisztikából számítható.

A gépek, gépszerkezetek tervezésekor a szerkezeti meghibásodások elkerülése érdekében szükséges a szélsőséges terhelések abszolút értékét a méretezésben megjeleníteni.

Az extrém vagy szélsőséges érték az az érték, amelyet bizonyos számú megfigyelés elvégzését követően a legnagyobb értékkel definiálunk. Ez különbözőképpen adható meg egy minta esetébe. Lehet pl.: a mediántól való eltérés 1,5 – 3 szoros. A megfigyeléseket lehet rövid távú (30 perc, vagy néhány óra) és hosszú távú (több év) időszakra is rögzíteni.

3.3. Jármű-, és gyártórendszerek analógiája

Amennyiben a járműtesztelést, mint folyamatot szemléljük, többféle kimenetünk is lehet, az eseményekre adott rendszerválasz, mely önmagában számos jól monitorozható értéket tartalmaz (ennek száma akár több száz is lehet a rendszer összetettségétől függően) azonban mindenképp a legfontosabb a minősítés, mely lényegében két fontos értéket vehet fel, OK, illetve NOK, hiszen az autonóm járművekkel szembeni követelmény nem kevesebb, mint 100%-os biztonság.

Érzelkelhető, hogy a szélsőséges terhelések definiálása (six-sigma megközelítés), valamint az állapot leírása (OK/NOK minősítés) analógiát mutat a gyártó/termelő rendszerekben már bevált rendszerszabályozási elvekkel, pl. statisztikai folyamatszabályozás, lean elvek, stb.

4. SZÉLSŐSÉGES TERHELÉSEK SPECIÁLIS JÁRMŰRENDSZEREK ESETÉN

A szélsőséges terhelések speciális bemutatásához két szélsőséges járművet ismertet a következő két alfejezet, melynek példáján bemutatásra kerülnek a feltételezeten

szélsőséges terhelést okozó események, üzemi állapotok és helyzetek. A két kiválasztott jármű közül az egyik kis tömegű, de nagy sebességű, a másik egy nagy tömegű, de kis sebességű jármű. A terhelések két konkrét járműre egy Formula 2.0-ás egyedileg átalakított versenyautóra, valamint egy Rába Steiger nehézgépjárműre kerültek levezetésre, továbbá, a felvázolt terhelési esetek jellemzik ezen típusú járművek csoportjába tartozó egyéb gépeket is.

A vizsgált terhelések a normál üzemszerű működési környezetben valamilyen valószínűséggel bekövetkező eseményekként kerültek definiálásra és táblázatos formában bemutatásra, megadva azok gyakoriságát és az esemény körülményeit szöveges formában.

4.1. Szélsőséges terhelések nagy tömegű, kis sebességű járműveknél

A szélsőséges terhelések a traktor üzemi körülményei alapján kerültek összegyűjtésre, figyelembe véve a terep és környezeti viszonyokat, valamint a munkavégzésből adódó terheléseket is (1. táblázat). Ezek a Rába Steiger kialakítására vonatkoztatva kiértékelésre kerültek, mely derékcsuklós kialakítású, így egyes erők a törzscsuklón is jelentkezhetnek.

#	Esemény	Terhelés leírása	Előfordulás üzemi közben
1.	Nagy gödörbe belemegy	1. A kerék nem támaszkodik a talajra, a másik 3 kerékre oszlik szét a súlyerő 2. A kerék a gödör alján feltámaszkodik. A 4 kerék nem egyenletesen fekszik fel, a jármű X körül csavarodik, a csukló megfeszül	Gyakori
2.	Vontatmány (munkaeszköz) ellenállása	Visszahúzó erő a Z tengely negatív irányába	Rendszeres (üzemszerű)
3.	Külpontos emelt /függesztett teher	A jármű hátulján pl. munkaeszköz szállítása. Forgató nyomaték a hátsó tengely körül.	Gyakori
4.	Dombon oldalra dől, kanyarodik.	Emelkedőn/lejtőn keresztben áll, halad. Az alátámasztási pontok távolsága a súlyerőre merőleges sikon csökken. A jármű az X tengely körül elfordul. A talaj és a gumibroncs között Y-Z irányú súrlódás lép fel. Kanyarodáskor az alátámasztások helye is változik.	Gyakori
5.	Munkavégzés lejtőn	A súlyerő a lejtő miatt pálya irányú komponenssel is rendelkezik, ugyanakkor a pályára merőleges komponens csökken, a súrlódó erő csökken.	Gyakori
6.	Munkavégzés mély, sáros talajon	A vontatmány ellenállása megnő. A kerekek a mély talajba belesüppednek, a gördülési ellenállás növekszik.	Gyakori

#	Esemény	Terhelés leírása	Előfordulás üzemi közben
7.	Munkavégzés száraz, kemény talajon	A vontatmány ellenállása megnő. A gumibroncs és a talaj közti tapadás csökken, a kerék kipörög.	Gyakori
8.	Szántáskor oldalra dől	Szántáskor az egyik oldali kerekek az előző barázdában futnak. Hatása hasonló az (4)-gyel.	Rendszeres (üzemszerű)
9.	Szántáskor idegen testben elakad az eke	Elakadáskor a vontatási erővel ellentétes irányú erő hat a csatlakozási pontokra.	Ritka
10.	Elindulás munkaeszköz terhelése közben	Az első és hátsó járműfél között a terhelésmegosztás megváltozik, a hátsó járműfél veszi fel a vontatmány -X irányú visszahúzó terhelését.	Gyakori

1. táblázat. Terhelési esetek nagy tömegű, kis sebességű járműveknél

A terhelések közül extrém terhelésnek tekintjük azokat, amelyek az üzemi viszonyok között nem jelentkeznek, illetve dinamikus jellegük miatt a szerkezet tönkremeneteléhez vezethetnek. Ez alapján a szélsőséges terheléseket mutatja be a 2. táblázat.

#	Esemény	Terhelés leírása	Terhelési időtartama
1.	Szántáskor idegen testben elakad az eke	Elakadáskor az eke sebessége $v=8$ km/h -ról 0 km/h -ra csökken, ami miatt a vontatási erő ($F = 92 \sim 105$ kN) az eke csatlakozó pontjain dinamikus -X irányú terhelésként jelentkezik. Mivel az eke úgy van kialakítva, hogy elakadás esetén a biztosítócsap eltörjön, így ez a terhelés a munkagépben nem okoz tönkremenetelt.	$dT=0$
2.	Elindulás terhelés alatt, terhelés felvétel kezdete	Terhelés előtt a négy-kerék meghajtás miatt a királycsapon minimális nagyságú húzóerő ébred. Az ekézés indulásakor az ekét fokozatosan engedik a földbe, a vontatási erőt 3~5 s alatt fokozatosan kapja a munkagép. A vonóerő a királycsapon adódik át a két járműfél között. Az első kerék a barázdában halad, míg a hátsó nem. A jármű az X tengely körül csavarodik.	$dT=3\sim 5$ s

1. táblázat. Szélsőséges terhelési esetek nagy tömegű, kis sebességű járműveknél

A terhelések jellege megfelel az üzemelési környezetből adódó terheléseknek, mivel a szerkezetet erre tervezték, így a fent felsorolt terhelésekre olyan biztonsági

mechanizmusokat építettek be, melyek megakadályozzák a traktor biztonsági elemeinek törését. Derékcsuklós nehézjárművek esetében a királycsap terhelései közül az a jelenség a legkritikusabb, amikor a jármű első és hátsó kocsiszekrénye sztochasztikus (időbeni lefolyása nem írható le definiált formában) jelleggel hat egymásra, mégpedig egy vertikálisan és egy horizontálisan elhelyezett csapszem-csapszeg kapcsolat formájában megvalósulva.

4.2. Szélsőséges terhelések kis tömegű, nagy sebességű járműveknél

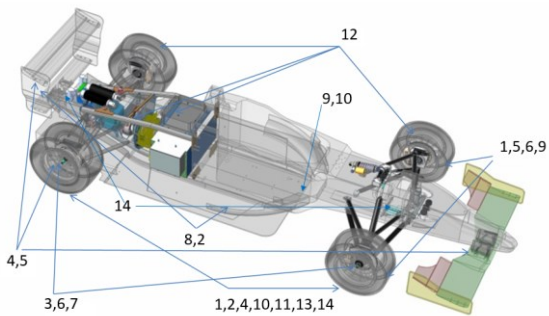
A kis tömegű nagy sebességű járművek jellemzően a versenysportban jelennek meg, így az üzemszerű működési környezetnek egy versenypályát tekinthetjük, és a lehetségesen bekövetkező terheléseket, illetve eseményeket ezen környezetben lehetséges elemekből állíthatjuk össze. A nagysebességű jármű üzemszerű terheléseinek meghatározásához számba venni a járműben fellépő terheléseket (3. táblázat).

#	Esemény	Terhelés leírása	Előfordulás üzem közben
1.	Rázókó kanyarodáskor	Kanyarodáskor a centrifugális erő Y irányba hat, a rázóköre felfutáskor az autó elemelkedik a pálya síkjából egy vagy több kerékkel, megváltozik a súlyerő eloszlása a kerekek és a talaj között (Z irányú erő).	Gyakori
2.	Oldalsó ütközés másik járművel	Az ütköző jármű X és Y komponensű ütközési erőt ad át az ütközés helyén	Ritka
3.	Hirtelen fékezés, gyorsítás	A tehetetlenségi erő X tengely irányba a mozgásváltozás irányával ellentétesen hat. A gumibroncsok és a pálya között megcsúszás léphet fel. A jármű Y körül fordul. Az első – hátsó kerekek közötti terhelés változik.	Gyakori
4.	Nagy sebességű kanyarodás	A centrifugális erőből a súlypontban Y irányú, a talaj és a gumibroncs között ellentétes Y irányú erő.	Rendszer (üzemszerű)
5.	Burkolati hibára ráhajítás	A kerék megemelkedik a többi kerék középpontjához képest, a Z irányú súlyerő eloszlása megváltozik.	Gyakori
6.	Idegen testre ráhajítás	(5)-tel egyező, de a mértéke nagyobb.	Ritka
7.	Defekt	1. Hátsó kerék elveszti a teljesítmény-közvetítő szerepét, a teljesítmény-átvitel a súlyponthoz képest nem szimmetrikus, a járműre Z tengely körüli forgatónyomaték hat. 2. Megváltozik az alátámasztás, X tengely körüli forgás.	Ritka
8.	Hirtelen oldalszél	A szél irányától függően X-Y komponensű erő.	Rövid idejű, gyakori

#	Esemény	Terhelés leírása	Előfordulás üzem közben
9.	Rázókó szemből kicsúszáskor	Az első kerekek ütköznek a kerékvetővel, X és Z irányú erő éri őket. A kerékvetőt elhagyva a kerekek a levegőbe emelkednek, a hátsó kerekekre esik a teljes súlyerő. Az autó továbbhaladva a hátsó tengely körül elfordul, a fenéklemez a kerékvetőre esik. Z irányú erő hat a felfekvő felületre. A hátsó kerekek futnak a kerékvetőre, X és Z irányú erő éri őket. A hátsó kerekek elemelkednek a levegőbe, a súlyerő az első kerekekre oszlik el.	Ritka
10.	Rendellenes talajon való haladás	A mély talajban a kerekek besüllyednek, az ellenállás nő, -X irányú erő hat. A fenéklemez leér a talajra, köztük -X irányú súrlódó erő ébred.	Ritka
11.	Megforgás, megcsúszás	Z tengely körüli elfordulás.	Ritka
12.	Magas/alacsony környezeti hőmérséklet	Magas hőmérsékleten a jármű hűtése csökken, a hajtás túlmelegedhet. Alacsony hőmérsékleten a kerekek hőmérséklete csökken az ideális üzemi hőmérséklethez képest, a kerék tapadása csökken.	Gyakori
13.	Eső/víz-es útpálya Szennyeződés (olaj) a pályán	A pálya és a gumibroncs közötti tapadás csökken. Nem egyenes tapadás esetén Z körüli forgás.	Ritka
14.	Szereléskor a járművet megemelik	A szereléskor a jármű az emelési pontokon van alátámasztva, az üzemszerű kerék alátámasztásokkal ellentétben.	Rendszeres (üzemszerű)

3. táblázat. Terhelési esetek nagy tömegű, kis sebességű járműveknél

A 3. ábrán láthatóak a fenti táblázatban felsorolt terhelési esetek sorszámát, annak függvényében, hogy melyik terhelési eset, melyik alkatrésze gyakorol hatást, a terhelési eset hatására fellépő erő, nyomaték, hőhatás, vagy egyéb terhelés melyik alkatrészen jelentkezik közvetlenül, vagy a az eseményt okozó jelenség megszűnéséig, vagy a nyugalmi állapot eléréséig.



3. ábra. Járműterhelési térkép – hatások csoportosítása

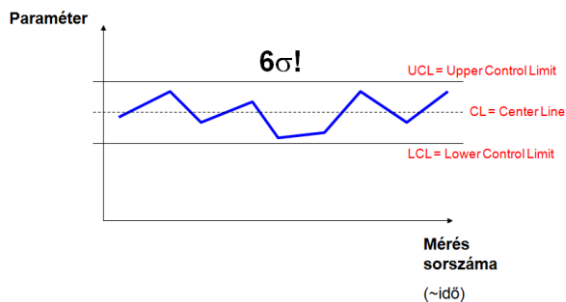
Az ábrán jól látszik, hogy az összegyűjtött terhelések nagy része a felfüggesztésen jelentkezik, közvetlenül azt éri a terhelés. Mivel ezek a terhelések nem korlátozódnak jellemzően csak az első kerékre, így a terhelések egy része visszahat a hajtásláncre is. Azonban mindenképpen szükséges a felfüggesztések részletes vizsgálata, és modellezése. Mivel a hajtott kerekek közvetlen összeköttetésben vannak a hajtáslánccal, illetve az útfelülettel, valamint egyes versenyautók esetében ezek adják meg a jármű szélességét, így elkerülhetetlen, hogy a szélsőséges terhelések ne ezen részegységen jelentkezzenek leginkább.

4.3. Szélsőséges helyzetek értelmezése autonóm járművek esetén

A hagyományos járművek vezetése során a vezető képes arra, hogy a nem várt helyzeteket kezelje, a szükséges döntéseket meghozza. Ezen döntések egy része algoritmizálható, más részük intuíción alapú, ösztönös. Az előbbiek jól segíthetők a különböző vezetéstámogató megoldásokkal, és egyben ezen funkciók integrálása az autonóm járműirányításba egyszerűbb. Az ösztönös döntések, vezetői ítéletek azonban nehezen fordíthatók le algoritmusokká. A különböző mesterséges intelligencia-alapú rendszerek részben jelentenek csak megoldást a hasonló kihívásokra, hiszen a tanuláshoz szükséges információs előzmények sokszor hiányoznak.

Éppen azért az autonóm járműveknél különösen nagy szerepet kap a váratlan helyzetek megfelelő kezelésének képessége. Validációs szempontból ez azt jelenti, hogy egy megfelelő környezetnek képesnek kell lennie a váratlan helyzetek, mint szélsőséges jelenségek és események generálására.

A témakör egyfajta analógiája a folyamatirányításban ismert statisztikai folyamatszabályozás (4. ábra). Ennek lényege, hogy a folyamatból vett mintákhoz tartozó mérési pontok egy stabilnak tekinthető folyamatnál a kellő számú adathalmaz esetén a folyamatra jellemző eloszlási függvénynek megfelelően kell, hogy alakuljanak.



4. ábra: Statisztikai folyamatszabályozás, mint szélsőérték szabályzó.

5. Váratlan események, mint szélsőséges terhelések

Ez a fejezet egy elvégzett kísérlet eredményeit ismerteti, egy közel 10 km-es útszakasz megtétele során, a közlekedési szabályokat betartva, miközben egy kamera segítségével rögzítésre kerültek a teljes megtett út alatt látott forgalmi helyzetek és események.

Az út megtétele után a rögzített videó kiértékelésre került, és kategorizálva lettek a látott események, valamint összegyűjtésre került az egyes események előfordulási gyakorisága is.

5.1. Váratlan helyzetek egy városi teszttútvonalon

A városi tesztkísérlet körülményei az alábbiak voltak:

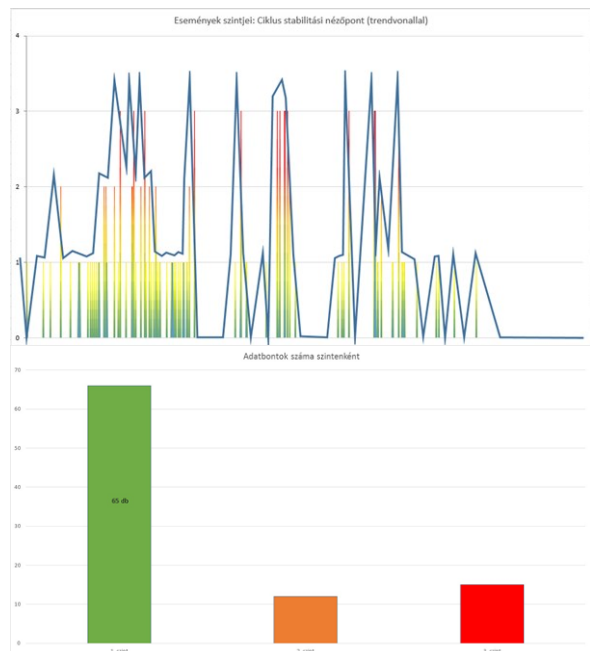
- A kísérlet ideje: 13:21 - 13:36; Az út időtartama: 14 perc 28 másodperc;
- Kiinduló pont: 8900, Zalaegerszeg Posta utca 63.
- Cél: 8900, Zalaegerszeg Fészek utca 4.
- A felvétel készítéséhez használt jármű: Mercedes G 350 W463.

A kísérlet során tapasztalat jelenségek 4 nagy, lehetséges kockázatok szintbe kerültek besorolásba, mérlegelve az esetleges balesethelyzet lehetőségét is:

- 3 szint: fokozott veszélyhelyzet: zavarosnak tűnő forgalmi helyzetek,
- 2 szint: mérsékelt veszélyhelyzet: nagyjármű, biciklisek, kanyarodó járművek,
- 1 szint: autó vagy gyalogos,
- 0 szint: normál üzem: útpálya.

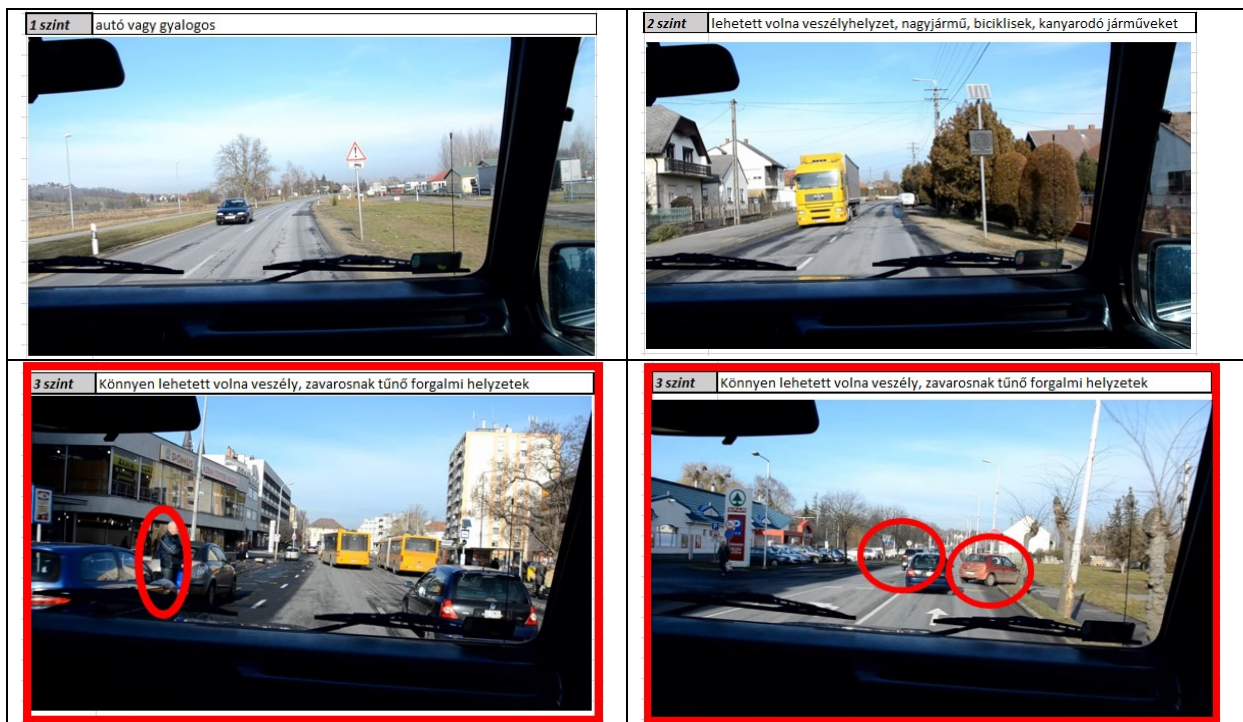
A tesztvideót kiértékelve kiemelésre kerültek azok a helyzetek, amelyek 0-tól eltérő kockázati szintnek lettek minősítve, ezekről mutat be néhány példát az 6. ábra, megjelölve, hogy mely szinthez tartozik az adott szituáció.

A teszt kiértékelés során meghatározásra kerültek az egyes szintek előfordulási gyakoriságai, illetve, a teljes időtartam alatt előforduló események időbeni alakulása is, ennek időbeli alakulását és gyakoriságát szemlélteti a 5. ábra.



5. ábra. Váratlan események, mint szélsőséges terhelések esetek időbeli alakulása (fent) és gyakorisága (lent)

Ezen kísérlet eredményei is alátámasztják a statisztikai folyamatszabályozás alapú megközelítés létjogosultságát, hiszen, pl. a magas kockázati szintek előfordulása viszonylag ritka eseménynek tekinthetőek, de egyértelműen előfordulnak a gyakorlati működésben.



6. ábra. Váratlan események, mint szélsőséges terhelési esetek

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk rámutatott a járműiparban a szélsőséges terhelések fontosságára, amely több aspektusból és módszerrel is vizsgálható. A járműirányítás előre kiszámítható és reprodukálható szituációkhoz tervezett algoritmusai a valóságos üzemi működés során számos, előre nem látható eseménnyel találkoznak, amelyek számára ezen szituációk szélsőséges terhelésként értelmezhetőek. A szélsőséges események diszkrét jellege és, hogy ezek leírhatóak statisztikai eszközökkel, vezet oda, hogy *járművek esetén analógia fedezhető fel a gyártórendszerek esetén alkalmazott 6-sigma módszertannal és annak alkalmazásaival*. Ezen felismerésre alapozva bemutatásra került néhány olyan szélsőséges terheléseket leíró eset, amely jól szemlélteti az eszköztár járműipari felhasználásait:

- szélsőséges terhelések nagy tömegű, kis sebességű járműveknél,
- szélsőséges terhelések kis tömegű, nagy sebességű járműveknél,
- szélsőséges helyzetek értelmezése autonóm járművek esetén, valamint,
- váratlan események, mint szélsőséges terhelések egy városi tesztútvonalon.

A bemutatott példák tükrözik, a váratlan eseményeket, mint szélsőséges terheléseket tekintő, pl. 6-sigma módszerrel történő rendszerleírás előnyeit.

12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával megvalósuló VKSZ_12- 1-2013-0038: "Stratégiai ipari ágazatok jövőbemutató gyártási technológiáihoz és termékeihez kapcsolódó térségi kutatási kompetenciáik megerősítése széleskörű együttműködésben megvalósított kutatásfejlesztési programmal" projekt támogatta.

13. IRODALOM

[1] Katrakazas, C.; Quddus, M.; Chen, W-H.; Deka, L.: Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions, *Transportation Research Part C* 60, 2015., pp. 416–442.

- [2] Burns, A vision of our transport future. *Nature L.D.*, 2013., Vol. 497, pp. 181–182.
- [3] Gumbel E.J.: *Statistics of extremes*, Columbia Press, New York 1958 Ochi M.K.: On prediction of extreme values, *Journal of Ship Res.*, Vol. 7., 1973, pp. 29-37.
- [4] Simiua, E.; Heckertb, N. A.; Fillibenb, J. J.; Johnsona, S. K.: Extreme wind load estimates based on the Gumbel distribution of dynamic pressures: an assessment, Elsevier *Structural Safety*. 2000.
- [5] Quan, Y.; Gu, M., Tamura, Y.; Chen, B.: An Extreme-Value Estimating Method of Non-Gaussian Wind Pressure, *The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering*, 2009.
- [6] Gmach, D.; Rolia, J.; Cherkasova, L.; Kemper, A.: *Workload Analysis and Demand Prediction of Enterprise Data Center Applications*, *Workload Characterization*, 2007. IISWC 2007. IEEE 10th International Symposium.
- [7] Falcone, P.; Borrelli, F.; Asgari, J.; Tseng, H. E.; Hrovat, D.: Predictive Active Steering Control for Autonomous Vehicle Systems, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 2007
- [8] Fletcher, L., Teller, S., Olson, E., Moore, D., Kuwata, Y., Leonard, J., Miller, I., Campbell, M., Nathan, A., Kline, F., The MIT – Cornell collision and why it happened. 2008, *J. Field Robot.* 25, 775–807.
- [9] Lefèvre, S., Vasquez, D., Laugier, C., A survey on motion prediction and risk assessment for intelligent vehicles. *ROBOMECH J.*, 2014. Vol. 1., pp. 1–14.
- [10] Furda, A., Vlacic, L.: Enabling safe autonomous driving in real-world city traffic using multiple criteria decision making. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.* 2011, Vol. 3, pp. 4–17.
- [11] Dokic, J., Muller, B., Meyer, G.: *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving*, *European Technology Platform on Smart Systems Integration*, 2015.
- [12] Yu, R., Xiong, Y., Abdel-Aty, M.: A correlated random parameter approach to investigate the effects of weather conditions on crash risk for a mountainous freeway. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 50, 68–77.
- [13] Maghsood, R.; Rychlik, I., Wallin, J.: Modeling extreme loads acting on steering components using driving events, *Probabilistic EngineeringMechanics*, 2015, Vol. 41., pp. 13–20.