

Michelberger Pál

Karosszériervezés

Michelberger Pál

Karosszériertervezés

Szerzőtársak:

Kissné Hunyadi Ildikó

Susánszki Zoltán

Dóra Sándor

Szerkesztette:

Galambosi Frigyes





EJJSZ Tudásbázis

© Dr. Michelberger Pál, Kissné Dr. Hunyadi Ildikó,
Dr. Susánszki Zoltán, Dóra Sándor, Dr. Galambosi Frigyes, 2015

Első kiadás: Typotex, Budapest, 2015

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

ISBN 978 963 279 810 3

Témakör: műszaki tudomány

Kedves Olvasó!

Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!

Újabb kiadványainkról, akcióinkról a

<http://www.typotex.hu> és a [facebook.com/typotexkiado](https://www.facebook.com/typotexkiado) oldalakon értesülhet.

Kiadja a Typotex Elektronikus Kiadó Kft.

Felelős vezető: Votisky Zsuzsa

Főszerkesztő: Horváth Balázs

Szerkesztette: Dr. Galambosi Frigyes

Az ábrákat készítette: Dr. Susánszki Zoltán

Borítóterv: Szalay Éva

Készült a Kódex Könyvgyártó Kft. nyomdájában

Felelős vezető: Marosi Attila

Tartalomjegyzék

Előszó	1
1. A járművek kialakulása	4
1.1. A kezdetek	4
1.2. Változások a XIX. és XX. században	6
1.3. A járművek fajtái	8
1.3.1. Alvázis járművek	8
1.3.2. Önhordó járművek	8
1.3.3. Vegyes, integrált építésű (együttműködő) szerkezetek	8
1.4. A felépítményméretezés sajátos feladatai	9
2. Szempontok a járműtervezésben	10
2.1. Piac	11
2.2. Gyártói adottságok	12
2.3. Törvényi, rendeleti előírások, vevői megkötések	13
2.4. Biztonság	15
2.5. A tudományos kutatások és az általános műszaki fejlesztés eredményeinek felhasználása	16
2.6. Infrastruktúra	22
3. Üzemi terhek	23
3.1. A tehermodellezés általános kérdései	23
3.1.1. A tömegeloszlás modellezése	24
3.1.2. Tehertörténet	26
3.2. Mértékadó terhek	29
3.2.1. Terhek a jármű főmozgásából (statikus teher)	30
3.2.2. Terhek dinamikai hatásokból	34
3.3. Különleges eseti terhek	36
3.3.1. A működéssel összefüggő eseti terhek	36
3.3.2. A gyártás során ható terhek	36
3.3.3. Baleseti terhek	37
3.4. Méretezési elvek	37
3.4.1. A teher és a méretezési elvek kapcsolata	37
3.4.2. Méretezési és teherelőírások	39

4. Közelítő szerkezetanalízis	40
4.1. Alvázak analízise	41
4.2. Sík lapokkal határolt, zárt dobozszerkezetek	45
4.2.1. A lapok szerkezetéről	46
4.2.2. Dobozszerkezetek erőjátéka	51
4.2.3. Erőbevezetés dobozszerkezetekbe	61
4.2.4. Alvázzal vagy fenékvázzal kiegészített dobozszerkezetek (statikailag határozatlan erőbevezetés)	66
4.2.5. Alkalmazások, gyakorlati fogások dobozszerkezetek erőjátékának számításakor	70
5. Kocsiszekrények dinamikája	80
5.1. Lengéstani összefoglalás	80
5.1.1. Alapfogalmak	80
5.1.2. Periodikus, állandósult gerjesztés	84
5.1.3. Rövid ideig tartó nem periodikus gerjesztés	86
5.1.4. Sztochasztikus gerjesztés	90
5.2. A kocsiszekrények dinamikai modellezésének kérdései	95
5.2.1. A szabadságfok kérdése	95
5.2.2. Nemlinearitások	97
5.2.3. Tranziens terhelések	99
5.2.4. Modellellenőrzés	99
5.2.5. Példa a tranziens viselkedésre	100
5.3. Sok szabadságfokú dinamikai rendszerek	103
5.3.1. A mozgásegyenletek felállítása	104
5.3.2. Koordináta-transzformációk	107
5.3.3. Állandósult periodikus gerjesztés	109
5.3.4. Rövid ideig tartó tranziens gerjesztés	110
5.3.5. Sztochasztikus gerjesztés	111
5.3.6. Példák több szabadságfokú lengőrendszerekre	112
5.4. Rugalmas járműszerkezetek lengései	127
5.4.1. A hasznos teher (utas) befolyása a jármű lengésére	129
5.4.2. A vázszerkezet csillapításának és merevségének modellezése (Szabadságfok-redukció)	133
5.4.3. A merevségi mátrix közvetlen előállítása erőmódszerrel	134
6. A járműfelépítmények gyártástechnológiája	138
6.1. A felépítmény gyártástechnológiai fogalma	138
6.2. Az egyes felépítményfajták alapvető konstrukciós és technológiai jellemzői	139
6.3. A felépítmények alapanyagai	143
6.3.1. Acélok	143
6.3.2. Alumínium	147
6.3.3. Műanyagok és kompozitok	149
6.4. A felépítmények előállításához használt félgyártmányok	151
6.4.1. Acél félgyártmányok	151
6.4.2. Alumínium félgyártmányok	154
6.5. A felépítményelemek előállítása	158

6.5.1.	Darabolás, vágás	158
6.5.1.1.	Egyenes késű és ferde késű ollóvágás	159
6.5.1.2.	Lyukasztás és körülvágás	160
6.5.1.3.	Vízugaras vágás	166
6.5.1.4.	Lángvágás	166
6.5.1.5.	Plazmavágás	168
6.5.1.6.	Lézervágás	171
6.5.2.	Sajtoló eljárások	174
6.5.2.1.	Mélyhúzás és mélyhúzás jellegű műveletek	175
6.5.2.2.	A lemezajtolás gépi berendezései	184
6.5.2.3.	Gumipárnás és hidrosztatikus mélyhúzás	185
6.5.2.4.	Hengerítés	187
6.6.	A felépítmény integrált főegységeinek előállítása	187
6.6.2.1.	Rácsos integrált főegységek	190
6.6.1.	A személygépkocsi-karosszériaelemek gyártókészülékei	200
6.6.2.	A haszonjármű-felépítményelemek gyártókészülékei	202
6.6.3.	A vasúti személykocsielemegek gyártókészülékei	202
6.7.	A felépítmény főegységeinek összeépítése	203
6.7.1.	Kötésmódok	203
6.7.2.	Villamos ívhegesztés	204
6.7.3.	Ponthegesztés	205
6.7.4.	Vonalhegesztés	207
6.7.5.	Fóliahegesztés	207
6.7.6.	Szegecselés	208
6.7.7.	Fémragasztás	209
6.8.	A felépítmény összeállítása	211
6.8.1.	A személygépkocsi-karosszéria összeépítése	211
6.8.2.	Az autóbusz-felépítmény összeépítése	214
7.	Szellőzés, fűtés, hűtés és klimatizálás	221
7.1.	Szellőzés, fűtés, hűtés, légkondicionálás alkalmazása járműveknél	221
7.1.1.	A légkondicionálás előnyei, hatása a járművezetés biztonságára	222
7.1.2.	A járművek klimatizálásának környezeti és energetikai hatásai	223
7.2.	Termikus komfort, a belső környezet kialakítása	225
7.2.1.	A kellemes közérzet, a komfort fogalma	225
7.2.2.	A nedves levegő jellemzői	225
7.2.3.	Az emberi test termofiziológiája	230
7.2.4.	Az emberi test és környezete közötti hőcsere	232
7.2.5.	A kellemes közérzet tartománya, a belső légállapot ajánlott tervezési értékei	234
7.2.6.	A szükséges friss levegő mennyisége	237
7.3.	Hőterhelés és hűtőterhelés számítása	239
7.3.1.	A külső környezet jellemzői	240
7.3.2.	A belső hőterhelésből eredő hűtési igény	243
7.3.3.	A külső hőterhelés összetevői	244
7.3.4.	Hőtranszport nem átlátszó, opaque határoló szerkezetekben	245

7.3.5.	A falszerkezet hőtechnikai jellemzőinek meghatározása	249
7.3.6.	Hőtranszport sugárzást átbocsátó (transzparens) szerkezetekben	251
7.3.7.	A külső levegő beszívargásából, ajtónyitásokból eredő hő- és ned- vességterhelés	257
7.3.8.	A szellőzőlevegő állapota, mennyisége	258
7.4.	Mobil hűtőberendezések járműveknél	260
7.4.1.	A mobil hűtőrendszerek kifejlesztése, üzemi viszonyai	260
7.4.2.	A kompresszoros hűtés elve	260
7.4.3.	Járművek légkondicionálásához alkalmazott kompresszoros hűtő- gép kialakítása, működése	265
7.4.4.	A hűtőrendszer működésének biztonsága	267
7.4.5.	A járműklíma hűtőrendszerében alkalmazott hűtőközegek és kör- nyezeti hatásaik	268
7.5.	A járműklíma termikus rendszerének elemei	270
7.5.1.	Járművek mobil hűtőrendszerében alkalmazott hűtőkompresszorok	271
7.5.2.	Kondenzátorok és a kondenzátort hűtő axiálventilátor	280
7.5.3.	Expanziós szelepek	282
7.5.4.	Elpárologtatók	284
7.5.5.	Szárítószűrő	289
7.5.6.	Centrifugálventilátor	289
7.5.7.	Fűtőradiátor	291
7.6.	Személygépkocsi légkondicionálása	292
7.6.1.	A levegőellátó rendszer	293
7.6.2.	A levegőellátó rendszerben fellépő nyomásvesztések	296
7.6.3.	A levegőbevezetés kialakítása, frisslevegő- és belsőlevegő-keringetés üzemmód	298
7.6.4.	Hőmérséklet szabályozás a levegő keverésével	299
7.6.5.	Páramentesítés/jégtelenítés üzem mód	300
7.6.6.	A termikus komfort létrehozása	302
7.6.7.	A levegőelvezetés kialakítása	304
7.6.8.	A levegőben lévő szennyezőanyagok kiszűrése	305
7.6.9.	A klímaberendezés zajszintje	306
7.6.10.	Vezérlés és szabályozás	306
7.7.	Haszonjárművek és munkagépek légkondicionálása, hűtése, fűtése	318
7.7.1.	Autóbuszok légkondicionáló rendszerének kialakítása	318
7.7.2.	Autóbusz-tetőklíma	319
7.7.3.	Integrált buszklíma, „split” elrendezés	322
7.7.4.	Kompakt építésű, integrált hátsó klíma kialakítás	323
7.7.5.	Munkagépek vezetőfülkéjének légkondicionálása, álló helyzeti hű- tés, fűtés	324
7.7.6.	Áruszállító járművek hűtése	328
7.8.	Vasúti kocsik szellőzése, fűtése, légkondicionálása	332
7.8.1.	Mesterséges szellőzés	333
7.8.2.	Vasúti kocsik fűtése	335
7.8.3.	Vasúti kocsik légkondicionálása	337

8. Járművek formatervezése	343
8.1. A járműarchitektúra kialakulása	344
8.2. Az esztétikai tervezés művészi fogásai	351
8.2.1. Harmónia a jármű eleje és vége között, szerkezeti arányok megválasztása	351
8.2.2. Szimmetriák	352
8.2.3. Optikai fogások a kocsiszekrény-tervezésben	355
8.2.4. A mozgás esztétikai megjelenítése	356
8.2.5. Hagyomány, arculat, divat, kölcsönhatás a környezettel	358
8.3. A formát befolyásoló „kemény” feltételek	361
8.3.1. Természeti feltételek a formatervezésben	362
8.3.2. Műszaki korlátok a formatervezésben	365
8.3.3. Jogi természetű korlátok a formatervezésben	371
9. Az erőmódszer	373
10.A végeelem-módszer	411
10.1. Modellalkotás	412
10.2. Szilárdságtani feladatok általános megfogalmazása	412
10.3. A szilárdságtani feladat véges elemes megfogalmazása	414
10.3.1. Végeelem-típusok	415
10.3.2. A véges elemek lokális koordináta-rendszerei	417
10.3.3. Közelítés bázisfüggvényekkel	418
10.3.4. A geometria közelítő leírása bázisfüggvények használatával	425
10.3.5. A véges elemek alakjával szemben támasztott minőségi követelmények	429
10.3.6. A deformációs mező közelítő leírása formafüggvények használatával	433
10.3.7. A másodlagos mennyiségek származtatása	435
10.3.8. Terhek	436
10.3.9. Kényszerek	437
10.3.10. Az egyensúlyi egyenletek felírása	437
10.3.11. A merevségi mátrix szemléletes jelentése	440
10.3.12. Az eredmények megjelenítése a véges elemes szoftverekben	442
10.4. A végeelem-háló elkészítése a gyakorlatban	443
10.4.1. Az elemtípusok kiválasztása	444
10.4.2. A szükséges elemméret meghatározása	446
10.4.3. Hálózási módok	447
10.4.4. Szimmetriatulajdonságok érvényesítése	449
10.5. A lineáris számítás specialitásai	451
10.6. A lineáris statikai számítás eredményeinek kiértékelése	452
10.7. A szilárdságtani véges elemes számítások további lehetőségei	454
10.7.1. Nemlineáris statika	454
10.7.2. Stabilitás, kihajlás	455
10.7.3. Modálanalízis	455
10.7.4. Kifáradás	455

11.Függelék – képgyűjtemény	456
11.1. Ősautók múzeuma	458
11.2. Mai autók gyűjteménye	465
11.3. Haszonjárművek képei	472
A témához köthető egyetemi (BME) és akadémiai disszertációk	476
Irodalomjegyzék	480

Előszó

A könyv a kocsiszekrényt, karosszériát tervező mérnököknek és az erre a feladatra készülő egyetemi hallgatóknak készült. Feltételeztük, hogy az e téren dolgozó mérnökök vagy az erre a területre szakosodó egyetemi hallgatók bőséges és alapos ismereteket szereztek a járművek gépészeti egységeinek működéséről, tervezéséről. Ezek ismeretanyaga nélkülözhetetlen a karosszériatervezésben még akkor is, ha a gépészeti tervezést más, erre szakosodott mérnök végzi, vagy esetenként a teljes járműgépészet a karosszériagyártótól független vállalatától kész előgyártmányként származik. A karosszériának és a gépészetnek a felhasználónál harmonikusan, egységben és megbízhatóan kell működnie.

A tárgyalásra kerülő anyag elsősorban közúti haszonjárművekre koncentrál, de szükség esetén személygépkocsikra vagy vasúti járművekre (elvétve repülőgépekre is) hivatkozik, hiszen a karosszériaépítésben az összes járműfajtánál igen sok a közös vonás, és kölcsönhatásuk minden iparágban kimutatható.

Felmerülhet az olvasóban a kérdés, hogy mi indokolja a könyv megjelenését? A gazdasággal foglalkozók számára trivialis a járműipar kiemelkedő szerepe. A járműiparban dolgozik minden hatodik munkavállaló, egy új járműipari munkahely további három munkahelyet létesít a háttériparban. A XXI. században járművek nélkül megoldhatatlan a lakosság ellátása fogyasztási cikkekkel. A járműipar esetleges visszaesése a gazdaság összeomlásához és politikai instabilitáshoz vezetne. A járműiparon belül a személygépkocsi-gyártás megindításához rendkívül nagy tőke szükséges, ugyanezt mondhatjuk el a repülőgépgyártásról és vasúti kocsigyártásról is. Jelenleg egyedül a közúti haszonjárműgyártás területén lehetséges viszonylag szerény tőkebefektetéssel számottevő gazdasági eredményt elérni. Természetesen létrejöhetnek (és létrejöttek) Magyarországon személygépkocsigyárak (később akár repülőgépgyárak is), de az ezeket létrehozó beruházó mindig kész konstrukcióval és kész technológiával fog érkezni, és az esetleges változtatások még igen hosszú ideig a beruházó anyavállalatánál készülnek, azaz számunkra – az egyébként nem lebecsülendő – végrehajtás marad a kreatív mérnöki munka helyett.

A közúti haszonjárművek a megrendelő sajátos szállítási igényéhez alkalmazkodva többnyire igen kis sorozatokban, sőt esetenként csak néhány példányban készülnek. Számos karosszériagyártó cég évi 50–100 db luxuskarosszériával látta el szűk vevőkörét. Ezen a területen a külföldi gyártókkal összemérhető, számottevő hazai tapasztalattal is rendelkezünk. Az ipari átalakulás során ugyan tönkrement az Ikarus, a Csepel Autógyár, a Rába Camion, a Budamobil, de ezek romjain és szakembergárdájának felhasználásával jött létre a Suzuki, az Audi, a Knorr-Bremse és még számos, járműiparnak fontos beszállító vagy végtermék-kibocsátó vállalat (Schwarzmüller, Credo stb.).

A karosszériatervezésről viszonylag kevés irodalom található magyar nyelven, de a külföldi irodalom sem bőséges. *Pawlowski, Dolmatovszkij, Yamanaka* könyvein kívül

inkább csak egyetemi jegyzetek (*Tidbury, Sadeghi, Kecman*) és folyóiratcikkek említhetők, zömük 20–50 éve jelent meg, és jó részük hozzáférhetetlen. A karosszíatervezés módszere nagyrészt az ezzel foglalkozó gyárak mérnökeinek fejében összegzett értékes tapasztalatokon alapul. Ez a könyv e tapasztalatokat szeretné továbbadni az érdeklődőknek.

A karosszíatervezés szoros rokonságban áll az építészek, építészmérnökök tevékenységével. Ez a rokonság indokolja a „kocsiszekrény architektúrája” kifejezés gyakori használatát. A karosszíáknak is van – az épületekhez hasonlóan – funkciójuk, gépészetük, klímájuk, és emberközelségük miatt esztétikájuk. A kocsiszekrénynek is illeszkednie kell környezetébe, alkalmazkodnia kell (nem minden áron) az adott kor divatjához, őriznie kell a kialakult és letisztult hagyományokat. Ilyennek tekinthető pl. a járműveknél szinte kivétel nélkül megvalósított tükrös szimmetria (vasúti kocsiknál esetleg többszörös szimmetria), eltolási szimmetriák használata. A hasonlóságokon kívül jelentős különbségek is mutatkoznak az építészethez képest:

- Az épület adott környezetben *áll*, a jármű változó környezetben *mozog*. Ez mind a műszaki, mind az esztétikai tervezést lényegesen bonyolítja, statikus feladat helyett dinamikus problémákat vet fel.
- A jármű geometriai méretei sokkal korlátozottabbak, mint az épületek előírásai (hossz, szélesség, magasság korlátozása, tengelytávolság, mellső és hátsó túllógás, hasmagasság, terepszög stb. előírása látszólag gúzsba köti a tervező fantáziáját).
- A karosszíatervezőt nagymértékben kötik saját gyárának technológiai lehetőségei és az adott cég arculatának szinte kötelező megőrzése (l. Mercedes, ill. BMW jellegzetes hűtőmaszkjai a személygépkocsikon).
- Az épületeket sok évtizedig, esetleg évszázadig használjuk, a járművek nagyon gyorsan elavulnak, élettartamuk legfeljebb néhány év, esetleg néhány évtized.

A könyv a karosszíát tervező mérnök feladatmegoldásának a módszerét követi. Megkülönbözteti az előzetes és végleges tervezést, kitér a karosszíatervező mérnöki feladathoz kapcsolódó más mérnöki és nem mérnöki területekre is. Feltételezi, hogy a kapcsolódó területek tervezője (döntéshozója) más – az adott területen jártas – szakember. Az együttműködő műszaki, jogi, gazdasági, művész stb. szakembereknek azonban meg kell egymást érteniük, és a már korábban említett „harmonikus”, sikeres piaci terméket kell létrehozniuk. A mérnöki tervezésnek központi feladata a kis önsúlyú, ugyanakkor az üzemelés során keletkező erőhatásokat megbízhatóan elviselő, kellő élettartamú karosszía szilárdsági analízise. A kis darabszámok miatt – sokszor prototípus, ill. 0-szíria nélkül gyártott termékeknél – kiterjedt kísérletezésre és próbaüzemeltetésre csak korlátozottan van lehetőség, ezért szilárdsági, stabilitási analízis csak az üzemelést és a szerkezetet egyaránt jól leíró modellek vizsgálatával végezhető el. Az előtervezés során egyszerűbb, a tervek véglegesítése során egyre bonyolultabb, végső ellenőrzésnél pedig már igen részletes végeselemes modelleket kell használnunk. Ez a modellhierarchia egyúttal ellenőrizhetővé teszi az egyébként részleteiben már áttekinthetetlen nagyméretű végeselemes számításokat. A modellalkotásra példákat, ajánlásokat lehet tenni, de biztos algoritmust és receptet nem adhatunk.

Az irodalomjegyzékben bőségesen találhatóak – ma már klasszikusnak tekinthető – egyszerűsített modelleket tárgyaló szerzők (*Bieck, Fabry, Erdős, Sutter, Pawlowski* stb.). Az általuk kidolgozott modellek az előzetes számításokban jól használhatók,

pontosabb analízist azonban nem tesznek lehetővé. Érdekes azonban az egyes szerzők modellalkotását tanulmányozni, mivel a számítógéppel segített tervezés bevezetése előtt kézi számítással (logarléc, mechanikus számítógép) csak a fizikai lényeget megragadó, végletekig leegyszerűsített modellek erőjátéka tisztázható. Az ezekből nyert közelítő eredmények segítik a bonyolult végeselemes modellek számítási eredményeinek nagyságrendi ellenőrzését.

A könyv – és a karosszíriatervező mérnök tevékenységének – gerincét a 3. és 4. fejezetben összefoglalt teher- és szerkezetmodellezés, valamint az ezekhez kapcsolódó statikus és dinamikus szerkezetanalízis alkotja. A könyv további fejezetei a karosszíriatervezésben érintett egyéb szakemberekkel folytatott eredményes párbeszédhez szükséges ismereteket foglalják össze.

A könyv megírását nagymértékben segítette, hogy a BME Közlekedésmérnöki karának Mechanika Tanszékén (korábban Mechanika–Gépelemek Tanszék, utóbb Járműváz- és Könnyűszerkezetek Tanszék) évtizedeken keresztül intenzív tudományos munka folyt a járművek mechanikai problémái területén.

A tanszéket alapító **Palotás László** akadémikus a tartórácsok elmélete területén végzett munkájával előkészítette az alvázak és padlóvázak buszok méretezésének kidolgozását, **Silbersdorf László** a járművek gumirugózásáról, **Rudnai Guidó** professzor a könnyűszerkezetek (vékonyfalú szerkezetek) átfogó kérdéseivel és az üzemi terhek statisztikájával, **Simonyi Alfréd** a járművek dinamikai stabilitásával, **Várlaki Péter** a járműrendszerek indentifikációjával, **Vörös Gábor** a gátolt csavarás végeselemes általánosításával, **Béda Péter** ürmechanikával foglalkozott. Itt kell megemlíteni **Gedeon József** kifáradáselemélet területén elért eredményeit is.

Ugyanez elmondható a tanszéken dolgozó egyetemi docensekről is: **Berke Péter** járműkifáradással, **Fekete Attila** a létraalvázak méretezésével, **Fekete Tibor** a vegyes építésű (fém, üveg) kocsiszekrényekkel, **Horváth Sándor** a járművek általános szimmetriatulajdonságaival és szimmetriahibáival, **Keresztes Albert** a járművek üzemi terheléstörténetével, **Kiscelli László** és **Kuti István** a járművek lengéseivel, **Nándori Ernő** a járművek sztochasztikus méreteltéréseivel, **Pósfalvi Ödön** a járműdinamika általánosításával, **Samu Béla** szerkezetmodellezési kérdésekkel, **Sályi Béla** a sík keretek általános térbeli terhelésével, **Szőke Dezső** a rugalmas kocsiszekrények dinamikájával foglalkozott és ért el kandidátusi (ill. PhD) fokozathoz vezető eredményeket.

Fel kell sorolni azokat a kollégákat is, akik „csak” egyetemi doktori fokozatot szereztek kutató munkájukkal, az ő dolgozataik és eredményeik is hozzájárultak a tanszék teljesítményéhez: **Feminger Gábor**, **Galambosi Frigyes**, **Hennel Beatrix**, **Maróczy Miklós**, **Susánszki Zoltán**, **Szabó Zoltán** és **Takács Ferenc**.

A téma interdiszciplináris jellegét mutatja, hogy a tanszékünkön kívül számos külső munkatárs is részt vett a kutatásokban. Közülük jelentős hozzájárulást fejtettek ki: **Bokor József** és **Palkovics László** akadémikusok, **Szeidl László**, az MTA doktora, **Kovács Margit** kandidátus.

A szerzők köszönik a sok közös munkában részt vett felsoroltak és az esetenként egy-egy feladat megoldásában közreműködő, fel nem sorolt kollégák együttműködését.

A szerzők nevében: **Michelberger Pál**

1. fejezet

A járművek kialakulása

1.1. A kezdetek

A technikatörténetek többsége a járművek megjelenését összekapcsolja a kerék felfedezésével. E felfogás szerint mintegy 5000–5500 évvel ezelőtt a Közel-Keleten fedezték föl a kereket és vele együtt megalkották a járművet is. A kő- és fémkorszakokat megelőző fakorszakból nincsenek emlékeink, pedig szinte biztos, hogy a csont- és kőeszközöket megelőzte a természetben talált, alkalmasan letört (tehát még nem megmunkált) fa használata. A fa (és vele együtt az állati bőr és a különféle rostokból készült textília) könnyen megsemmisül a hosszú évezredek alatt, és így egy tudós régész, történész – leletek hiányában – erről a korszakról nem mondhat semmit.

Ez a könyv azonban nem történelem, bátran feltételezhetjük, hogy a kőkorszaki vagy akár az azt megelőző korokban élt homo sapiensnek is szállítania kellett terheket (sérült személyt, levadászott állatot, összegyűjtött terményt) kisebb-nagyobb távolságra. A szállító eszköznek (járműnek) kezdetől fogva két, egymástól el nem választható, de jól megkülönböztethető feladatot kellett ellátnia:

- elválasztani a szállított terhet (személyt, terményt) a pályától, annak érdekében, hogy ne sérüljön meg a vontatás során;
- mozgatni (vonszolni) a terhet a pálya mentén.

Ezt a két feladatot azonban nem csak a kerekes jármű képes megoldani, hanem

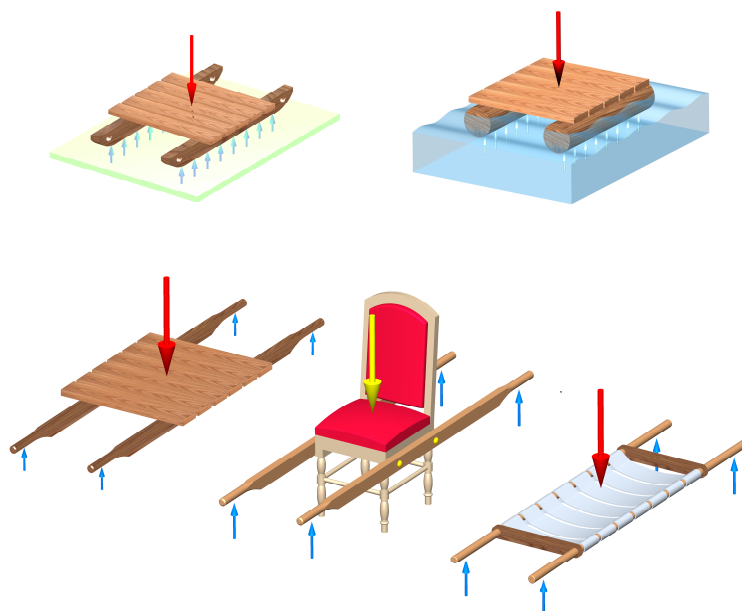
- a szán, a tutaj:
a teherhordó felület felfekszik a pályán, de méretei miatt a tetejére helyezett terhet elválasztja a pályától, vontatás emberi erővel;
- a saroglya, a hordszék, a hordágy:
a teher és pálya elválasztását a teherhordó emberek a szerkezet felemelésével oldják meg, továbbítás emberi erővel.

E „járművek” (1.1. ábra) szerkezeti kialakítása nagymértékben meghatározta a kerekes járművek felépítését is.

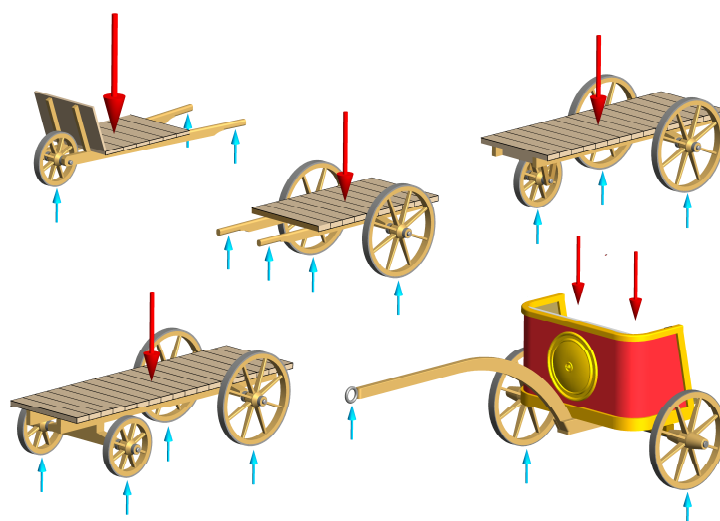
A második csoportnál az emberi erő kifejtésénél sokkal kedvezőbb a szállító eszközök alá épített 1–4 kerék és az ezekkel kialakított valódi jármű (1.2. ábra):

- taliga (1 kerék és két emberi alátámasztás),

- kordé (2 kerék és egy vagy két alátámasztás),
- tricikli (3 kerék statikailag kielégítő alátámasztás),
- kocsi (4 kerék a jármű csavarómerevségétől függően statikailag határozatlan/vagy határozott alátámasztás).



1.1. ábra. Szállító eszközök



1.2. ábra. 1–4 keréssel kialakított valódi járművek

Az így kialakított járművek mozgását – az emberi erőfeszítés helyett – háziasított állatokkal (kutya, szamár, ló stb.) is meg lehetett valósítani. Ez az emberi, ill.

állati erőre alapozott szállítás – szinte változatlan formában – több mint 5000 éven át kielégítette a társadalom szükségleteit, és bár visszaszorulva, de még napjainkban is léteznek. Ezeket a járműveket mesteremberek készítették évezredekken keresztül, ügyelve a méretek, formák megőrzésére, a hagyományok átadására. Ezek a kocsigyártó mesterek tisztában voltak a statika, kinematika és a geometria alapvető szabályaival és nagyon jól ismerték a járművek szerkezeti anyagának – a fának – a mechanikai tulajdonságait, felismerték a csúszó súrlódás és a gördülési ellenállás közti minőségi különbséget, a kanyarban haladó jármű külső és belső kerekének eltérő kerületi sebességét stb. A geometriai ismereteik mélységét a több ezer éves küllős kerék geometriájának gondos megszerkesztése igazolja. Nem véletlen, hogy a külön is számon tartott kerékgyártó szakma igen büszke az esztétikailag is mutatós 5-, 7-, 10-küllős kerekeire. Tudták, hogy a szállítandó terhet a 3 (vagy 4) alátámasztási pont által alkotott háromszögön (vagy négyszögön) belül kell a járműre helyezni. A fordulékony kétkerekű harci kocsikon a kerekek forogtak a járműhöz mereven rögzített tengelyen, míg a négykerekű kocsikon igen sokszor forgótengelyre ékelték mereven a kerekeket, és ezzel tudatosan kinematikailag hibás, csúszva gördülést valósítottak meg kanyarodáskor. (Vasúti járműveknél még a XX. században is ezt az elvileg hibás konstrukciót használjuk, ezért a vasúti pálya íves szakaszainak görbületi sugara néha több száz méter is lehet.) A kéttengelyes járművek első tengelyének elfordítása kanyarodáskor viszonylag késői találmány. Ennek első említése 1433-ban Magyarországon történt (kocsi, szekér elterjedése Európában).

A terhet hordozó szerkezet általában a tengelyekre illeszkedő két kellő távolságú, menetiránnyal párhuzamos (kivételesen gyengén összetartó) gerenda, melyeket a tengelyeken kívül néhány kereszttartó köt össze. (A viszonylag rövid kelta kocsiknál megelégedtek egyetlen hossztartóval és a merevtengelyre helyezett padlóval.) A kereszt- és hossztartók csatlakozása kezdettől fogva lehetett nyomatékátvivő merev (csapolt) vagy lágyabb, csuklós jellegű, mely csak erőt tud a két tartóelem között átadni, sőt a kereszttartók egy része bőrből vagy textilből készült hevederekkel is helyettesíthető.

Ezt az egymást többnyire merőlegesen keresztező tartókból álló szerkezetet tartórácsnak (rostély) nevezzük. Merev kapcsolatnál csavarást felvevő, csuklós kapcsolatnál csavarásmentes jelzővel kiegészítve. Ez az alapszerkezet lényegében napjainkig fennmaradt, bár méretében, szerkezeti anyagában és részleteiben megváltozott.

1.2. Változások a XIX. és XX. században

Az ipari forradalom ugrásszerűen megnövelte a szállítási feladatokat, hiszen nem csak az ipari nyersanyagok és késztermékek mennyisége nőtt meg, hanem az ipari munkásság városokba településével az élelmiszerszállítás és a napi munkába járás is növelte a forgalmat. Ezt a hagyományos járművek számával alig lehetett követni. Növelni kellett az egyes járművek szállítási teljesítményét (a jármű méretét, teherbírását, utazási sebességét, gyorsulását stb.). Ez az 5000 éves, állati vonóerőt felhasználó hagyományos járművel nem volt megoldható. Szükség volt a gőzgépnek, a belsőégésű motornak, a villamos motornak mint a mozgatás erőforrásának kifejlesztésére és a járműbe építésére.

A XIX–XX. század járműfejlesztése nem csak a rendkívül gyors változásokban és azok robbanásszerű elterjedésében különbözött a korábbi évezredek hagyományörző igen lassú ütemű fejlesztésétől, hanem abban is, hogy az ipari forradalom fejlesztőinek eredményeit a technika történet számon tartja. (J. Watt, R. Fulton, G. Stephenson,

G.W. Daimler és C.F. Benz neve általánosan ismert, de számos, lényeges haladást elérő mérnök nevééről megfedekezünk, noha eredményeik nélkül a kiemelkedő „nagyok” aligha alkothatták volna meg találmányaikat.) Hangsúlyozni kell, hogy ezek a fejlesztők a mozgatáshoz szükséges erőforrással (motorral) és a hajtáslánccal (haladó és forgómozgás egymásba alakítása, sebességváltó, differenciálmű, futóművek) foglalkoztak. A vázszerkezetet kezdetben szinte változtatás nélkül átvették a hagyományos, állati erővel mozgatott járművekről, legfeljebb a nagyobb teher miatt megerősítették és a fáról áttértek a fémre mint szerkezeti anyagra.

A szállítási teljesítmény növekedését a kocsigyártó mesterek nem tudták követni, a jármű megtervezése mérnöki feladattá változott. A járműszerkezet igénybevétele a jármű hosszának négyzetével arányosan növekedett, a keresztirányú és magassági méret növelése még tovább fokozta az igénybevételeket. A sebesség növelése a rugók beépítése ellenére is a dinamikai többletterheket fokozza, és figyelembe kell venni kanyarmenetnél az oldalirányú erőhatásokat. Igen nagy sebességnél a légerők nemcsak a menetellenállásban játszanak szerepet, hanem erősen befolyásolják a jármű stabilitását is.

Ezeknek a korábban fel sem merült feladatoknak a megoldásához fel kell használni a műszaki tudományok minden, időközben elért új eredményét, beleértve a modern fémfizika, elektronika és informatika – a járműtől látszólag távol álló – eszköztárát, sőt a XX. században ugyancsak robbanásszerűen kifejlődött repülés áramlástani és szerkezetanalízisre vonatkozó eredményeit is.

A XXI. század ehhez a teljesítménykényszer okozta fejlődéshez még további új feladatokat társít, a járművek tömeges elterjedésének negatív következményeit is csökkentenünk kell. Ezek közül a legjelentősebbek:

- a fajlagos anyag- és energiafelhasználás csökkentése,
- a környezeti ártalmak csökkentése,
- a közlekedési balesetek számának és súlyosságának csökkentése.

Mindhárom feladat érinti a járműfelépítményt tervező munkáját. A probléma nagyságát jól érzékelteti, hogy a világ 7 milliárd lakójának már a fele városokban és az egyre szaporodó számú megapoliszokban él. A városok ellátása élelemmel, árucikkkel, a személyforgalom lebonyolítása csak a közlekedés fejlesztésével oldható meg. Az országok közötti turistaforgalom évi 600 millió utasa mellett a hajdani népvándorlás eltörpül. A világon jelenleg közel 1 milliárd jármű üzemel, zömmel koncentráltan a városokban, autópályákon és nagy forgalmú vasútvonalakon. (Hasonló megállapítás tehető a hajózásról és repülésről is.) Ez a koncentráció megköveteli a járműtervezés, forgalomszervezés és szabályozás teljes újragondolását, mert a jelenlegi évi 60 millió közlekedési balesetben megsérült ember egészségügyi ellátása és az évi 1–1,5 millió halálos baleset, a számos súlyos környezeti károkat okozó szállítási baleset nem csak emberileg elviselhetetlen, hanem gazdaságilag is szinte beláthatatlan károkat okoz.

A járműtervezőnek teljesen új feladatot jelent a túlélést biztosító (sérülést csökkentő) karosszériertervezés, mert a balesetek többsége két jármű ütközéséből adódik, és a túléléshez nem csak az általunk tervezett jármű utasának, vezetőjének, hanem a másik jármű utasának is joga van. Egy személygépkocsi és egy kamion tömegaránya ezt alapvetően megkérdőjelezi. Az ütközési partnervédelem kérdése még megoldatlan.

1.3. A járművek fajtái

A sokrétű szállítási feladat elképesztő mértékben differenciálta a járműszerkezeteket. Az osztályozás során elkülöníthetők a személy- és teherszállító járművek, megkülönböztethetők a közlekedési pálya alapján, a tulajdonviszonyok szerint (egyéni, vállalati, bérelhető). A szempontok felsorolása tovább folytatható (katonai/polgári, erőforrás szerint stb.). Bármelyik felosztást választjuk, megállapíthatjuk, hogy az elhatárolás az egyes kategóriák között nem éles és a járműfejlesztés folytonosan keletkező újabb eredményeit tekintve nem is végleges, hiszen rendszeresen megjelennek a járműpiacon újabb, különleges feladatokat is ellátó járműnek is tekinthető munkagépek (darus kocsik, olajkútűró kocsik, traktorok, mezőgazdasági gépek).

A járműfelépítmény-tervezés szempontjából egyetlen osztályozást – a szerkezet teherherviselő szerepe alapján – kell figyelembe venni. Eszerint megkülönböztethető alváz, önhordó és vegyes építésű (együttműködő) jármű.

1.3.1. Alváz járművek

A járműre ható terhek (önsúly, hasznos teher, az üzemeltetés során ható összes, időben változó tömegterhelés stb.) hordozására az alváz szolgál. A hajtáslánc elemei (motor, sebességváltó, futóművek), a nagyobb koncentrált terhet jelentő szerkezeti elemek (üzemanyagtank, akkumulátorok, klimatizálás elemei), a hasznos terhet közvetlenül hordozó rakfelület (plató, tartály, billenő serleg stb.) és a vezetőfülke mind – általában külön-külön – az alváza van építve. Kapcsolatuk az alvázzal statikailag határozott. A kapcsolatokban redundancia csak a biztonság növelése érdekében szokásos (pl. a vezetőfülke a 6 szabadságfokot megkövetelő 3 pontos felerősítés helyett általában szimmetrikus elrendezésben 4 ponton csatlakozik az alvázzal – az előrebillenés megakadályozása érdekében valamely kötés meghibásodásakor).

1.3.2. Önhordó járművek

A teljesen zárt (dobozos) felépítmények – kis falvastagságuk ellenére – általában igen nagy merevséggel rendelkeznek. Az 1900-as évek első felében a zárt személygépkocsik építésénél, a század közepén az autóbuszoknál (Cséfalvay István világ első önhordó Tr. 3,5 autóbúsa 1948-ban, a Kässbohrer „Setra” 1950-ben készült el), majd a zárt felépítményű áruszállító teherautóknál merült fel a súlycsökkentés érdekében az alváz teljes elhagyása, a vezetőfülke és a raktér egybeépítése. A teljes hajtásláncot (motor-futóművek) és az összes kiegészítő tartozékot (akkumulátor, pótkerék) közvetlenül a kocsiszekrényre szerelték. Az önsúlycsökkenés jelentős volt, de a kényelmi felszerelések (klíma, fűtés) beépítése ezt a súlymegtakarítást viszonylag rövid idő alatt felemészttette.

Az önhordó járművek szerkezeti elemeinek falvastagsága közel egy nagyságrenddel kisebb, mint a fém alvázak szelvényeinek vastagsága, ezért a nagy, koncentrált erők (pl. futóműbekötések) bevezetése az önhordó szerkezetekbe igen gondos tervezést igényel.

1.3.3. Vegyes, integrált építésű (együttműködő) szerkezetek

A speciális szállítási feladatokat ellátó járművek jelentős részét nem a nagyvállalatok, hanem az egyedi vagy kis sorozatgyártásra szakosodott felépítménygyártók állítják elő.

Az alapjármű ilyenkor mindig alváz. Az alvázat a későbbi többcélú felhasználást figyelembe véve az alapjárművet kibocsátó gondosan méretezi az üzemeltetés során keletkező igénybevételekre. Részletes előírásokat ad a speciális felépítmény erőtanilag elfogadható szerkezetére és alvázhoz erősítésére.

A nehézséget az okozza, hogy a felépítmény speciális feladata nem minden esetben engedi meg az alapjárművet kibocsátó előírásainak betartását. Ilyenkor elemezni kell a két szerkezet együttdolgozását és az elvégzett vizsgálatok alapján kell megállapodni – a garancia fenntartása érdekében – az alapjárművet gyártó céggel az összeépítés módjában.

Különleges igényeket kielégítő járműveknél a hagyományos alváz és a felépítmény teherhordó elemei szoros egységet képeznek (összeolvadnak, egymásba integrálódnak) eleget téve mindkét feladat szilárdsági követelményeinek. Erre az integrált vázra kerülnek fel az egyes járműelemek (motor, futómű, hajtáslánc, darukoszorú stb.).

1.4. A felépítményméretezés sajátos feladatai

Az időben változó teher két, jellegében eltérő szakaszra bontható:

- a jármű mozgásával (menettel) kapcsolatos terhek;
- a szállítási feladat teljesítésével kapcsolatos egyéb terhek (rakodás, ürítés stb.).

Az első csoportba tartozó, változó sebességű mozgással kapcsolatos terhek tulajdonképpen minden járműre érvényes szabályok szerint analizálhatók, míg a második csoportba tartozó speciális terhek járműfajtanként teljesen eltérőek lehetnek, ezért ez utóbbiakkal – bármennyire fontosak is – a további fejezetekben nem foglalkozunk.

A munkavégzéssel kapcsolatos erőhatásoknál vizsgálni kell az ömlesztett vagy darabáru rakodásával, ürítésével kapcsolatos speciális terheket, billenthető platós, ill. serleges felépítményeknél az emelőhidraulika bekötését az alvázba, ill. felépítménybe. Darus kocsiknál a szélsőséges gémhelyzeteket, az esetleges letalpalás okozta terheket. Tartálykocsiknál a folyadék/gáz töltése, ürítése közben keletkező túlnyomás vagy részleges vákuum hatását a tartályra. Olajkútúró járműnél a fúrás közben keletkező járulékos terheket stb.

A lehetséges üzemi terheket a tervezés során számba kell venni és a járműhöz adott gépkönyvben pontosan körül kell írni a rendeltetésszerű használat feltételeit.

Az üzemi terhek különleges – előre nem tervezett – esete fordult elő az 1950-es évek végén az Ikarus gyárban gyártott tejszállító tartálykocsiknál. A jármű súlypontjának alacsonyan tartása miatt az alvázra fekvő ellipszis keresztmetszetű hengeres tartályt építettünk. A jármű a tejgazdaságokból származó, frissen fejt tejet gyűjtötte be és a tejfeldolgozó üzembe szállította. A friss tej testmeleg volt, téli szállításnál egy ízben a félig telt tartályban a tej és a fölötte lévő levegő is lehűlt és összehúzódott, a zárt fedél következtében a keletkező részleges vákuum miatt a tartály behorpadt. Erre a rendkívüli üzemi teherre előzetesen nem méreteztük a tartályt. Utólag kellett biztonsági szelepet építeni a tartályra. Közben kiderült, hogy a külső nyomással terhelt ellipszis keresztmetszetű henger stabilitásvizsgálata abban az időben még megoldatlan feladat volt, a feladat teljes tisztázása egy évi kutatást igényelt.

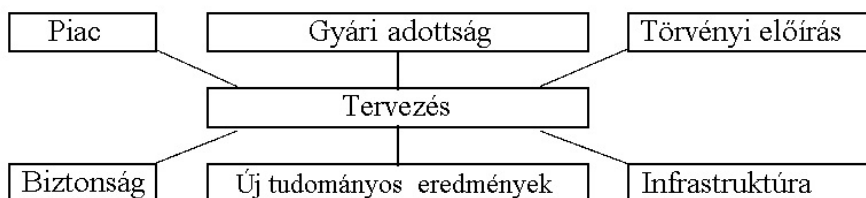
2. fejezet

Szemponatok a járműtervezésben

A járművek a gépek különleges csoportját alkotják. Az üzemeltetési viszonyok rendkívül széles tartományban helyezkednek el (pl. klimatikus hatások). A működtetők többnyire műszaki ismeret nélküli laikusok. Gazdasági tekintetben a gépipar legnagyobb ágazata. A fejlett országokban a foglalkoztatottak 16%-a a járműiparban vagy az azt kiszolgáló beszállító iparban (szerkezeti alapanyag gyártása, alkatrészgyártók stb.) dolgozik. Ez a kiemelt gazdasági és társadalmi szerep súlyos felelősséget ró a járműtervező mérnökökre.

Ez a felelősség az időben egyre növekszik. Jelenleg kb. 1 milliárd jármű közlekedik földünkön. A fajlagos járműsűrűség azonban még csak néhány iparilag fejlett országban érte el a telítettséget (500–550 jármű 1000 lakosként). A fejlődő országok természetesen szeretnének felzárkózni a fejlettekhez, de jelenleg még elképzelésünk sincs a 2100-as évekről, amikor a telítettség várhatólag az egész Földön bekövetkezik és 4 milliárd jármű mozgásához szükséges úthálózatról és üzemanyag- (elektromosenergia-) ellátásáról is gondoskodnunk kell.

A járműtervező csak az összkép figyelembevételével tervezhet. Figyelembe kell vennie egyrészt a jelenlegi és a közeli jövőben várható piaci igényeket, a járművekre vonatkozó törvényi előírásokat, a járművek és a közlekedési folyamatok hatását a természeti környezetünkre, a járműgyártó cég és a beszállítók műszaki, gazdasági felkészültségét, a közlekedés biztonságát. Másrészt ki kell használnia a tervezésben a tudomány és a műszaki fejlődés minden új eredményét annak érdekében, hogy a korábbi járműveknél jobbat, megbízhatóbbat és gazdaságosabbat tervezzen (2.1. ábra).



2.1. ábra

2.1. Piac

A tervezést alapvetően a piac befolyásolja, mert a járművet más gyártókkal versenyezve eladásra gyártjuk. A piac a különféle jármű-kategóriákban teljesen eltérően viselkedik. A személygépkocsik eladhatósága a makrogazdaság állapotától függ. Növekvő gazdaság, növekvő egyéni jövedelmek esetén a kereslet a műszakilag fejlettebb (drágább) járművek felé tolódik el, rövidül a járművek lecserélésének ideje. Recesszió, csökkenő életszínvonal esetén a műszakilag igénytelenebb, kis fogyasztású járműveket vásárolják, a járművet hosszabb idő után cserélik. A jármű használatáról azonban még súlyos gazdasági válság idején sem szívesen mondanak le. A személygépkocsi-ipar ezt a piaci ingadozást széles típusválasztékkal ellensúlyozza. (A fejlett cégeknél a rugalmasság akár az „egyedi” gyártást is megengedi, a típusvariánsok száma a több százat is elérheti.) Természetesen egy adott vállalat gazdasági eredményességében a típusválaszték eltolódása az igénytelenebb, olcsóbb variánsok irányába érzékeny bevételecsökkenést okoz, de módot adhat a válság túlélésére, a foglalkoztatás fenntartására és a gyártókapacitás kihasználására.

A személygépkocsi-ipar piacpolitikáját a magyar gazdaságpolitika nem tudja befolyásolni. A hazai személyautókat gyártó cégek piaci döntéseiket Japánban vagy Németországban hozzák meg. Ránk csak a végrehajtás marad.

A haszonjárműpiac ettől eltérően működik, bár végső soron ez is a makrogazdaság függvénye. Gazdasági fellendüléskor növekszik az építési és beruházási kedv. Ez nyilván több általános és speciális, szállító járművet igényel, növekszik a foglalkoztatás, ez pedig növeli a személyszállítási igényeket is. Az igénynövekedés azonban jóval korlátozottabb, mint a személygépkocsik esetén. A közúti haszonjárművek élettartama kb. kétszerese, a vasúti járművéké pedig akár négyszerese az átlagos személygépkocsi üzemelési idejének. Gazdasági válság idején sok felhasználó még ezt az élettartamot is túllépi. (Pl. a BKV autóbusz-állománya a kívánatos 10–15 éves átlagéletkor helyett fokozatosan elérte a 20 éves életkort.) A haszonjárművek piaci helyzetét nehezíti, hogy a személygépkocsiknál lényegesen kisebb darabszámban készülnek, az alaptípus-választék ezért sokkal szűkebb, a speciális igényeket egymással konkuráló, szakosodott, kis tőkeerejű cégek elégítik ki.

A haszonjármű-tervezésnél ezért nélkülözhetetlen a felhasználók várható műszaki igényeinek prognosztizálása. Közismert, hogy az egyes európai országok üzemeltetői eltérően ítélik meg a beszerzendő járművek műszaki és gazdasági jellemzőinek fontosságát. A svéd vásárlók mintegy 70%-a kifejezetten a műszaki csúcsparamétereket igényli új jármű beszerzésekor (sokoldalú felhasználhatóság, növelt aktív és passzív biztonság, vezetői kényelem, megbízhatóság, kis karbantartási igény stb.). Az angol vevők 70%-a ezzel szemben az egyszerűbb kivitelűt vásárolná (egycélúság, kevesebb elektronika, kedvezőbb ár-teljesítmény arány).

Ezek a vásárlói felmérések nem tekinthetők pontos műszaki paraméterelőírásnak. A prognózisok inkább az egyes országokban kialakult műszaki, gazdasági szemléletet mutatják, mely azonban már egyetlen súlyos baleset után is radikálisan megváltozhat. A kérdőívek kitöltői hajlamosak a jelent extrapolálni jövőként („úgy mint eddig, csak egy kicsit jobban”), és nem vesznek tudomást a kor felgyorsult technikai változásairól. A vevői prognózisokat mindig ki kell egészíteni a saját tervezői prognózisunkkal. A haszonjármű-tervező e tekintetben kedvező helyzetben van, mert a személygépkocsi-fejlesztés időben általában megelőzi a haszonjármű-fejlesztést, érdemes tehát a tervezői

prognózisnál a személygépkocsokra is figyelni (környezetvédelem, biztonság, vezetői kényelem stb.).

A tervezői döntéseknél figyelembe kell venni azt is, hogy a haszonjármű nem egyetlen végtermékgyártó cég produktuma. Benne egy sereg beszállító terméke is megtalálható (fék, elektromos rendszer, hidraulika, futóművek, nyeregszerkezet stb.), de az egészért a végtermékgyártó felel. A tervezés során a beszállítókkal folyamatosan egyeztetni kell, tőlük is megkövetelhető a fejlesztés, sokszor indokolt lehet a közös fejlesztés is.

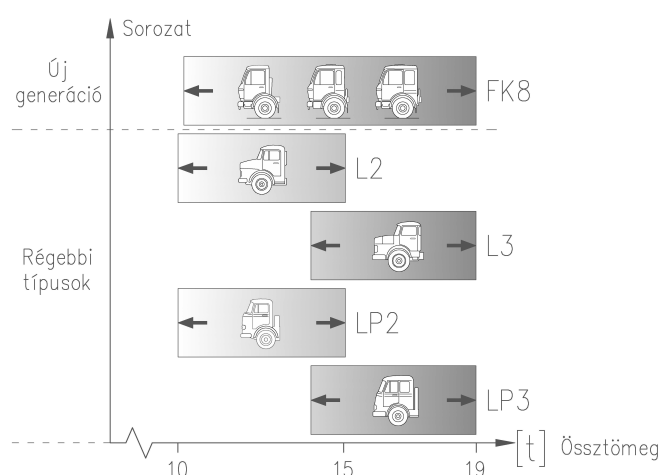
A piac nem csak a jövőre ad útmutatást, hanem a múltat is folyamatosan értékeli. Különösen a több járművet üzemeltető jelentősebb vevők tapasztalatai hasznosak a járműfejlesztők számára (Pl. a BKV 1000 autóbusz meghibásodásairól, karbantartási munkáiról, üzemanyag-felhasználásáról stb. tud típusokra bontott statisztikát közölni.) Megfelelően kiépített statisztikai rendszer adatai alapján a tervezők a legsűrűbben előforduló hiányosságok megszüntetésére koncentrálhatnak a fejlesztés során. Különösen értékes lehet a több üzemeltetőt feldolgozó statisztikák összehasonlítása, mert a csak lokálisan jelentkező problémák az üzemeltetés hiányosságaira vagy a jelentősen eltérő üzemi körülményekre (eltérő klimatikus viszonyok, utak állapota, vezetési stílus stb.) vezethetők vissza, és a rendellenesség konstrukciós változtatás nélkül egy-egy sikeres gépkocsivezetői tanfolyammal vagy gyakoribb olajszűrőcserével megszüntethető. A vevőszolgálati tapasztalatok folyamatos beépítése a járműtervezésbe nagymértékben javítja a gyártó elismertségét a vevőknél.

A vevőszolgálati tapasztalatokat az esetleg érintett beszállítókkal is közölni kell, szorgalmazva a közös fejlesztés lehetőségét. (Kitűnő példa volt az 1970-es és 80-as években az Ikarus és Knorr-Bremse együttműködése a fékrendszerek fejlesztésében a Szovjetunióban üzemelő buszok tapasztalatai alapján.)

2.2. Gyártói adottságok

Egy-egy új termék bevezetésénél vagy a termelés bővítésénél felmerülhet a meglévő gyártókapacitás bővítése, kiegészítése vagy bővítés nélküli átszervezése. Az ezekre vonatkozó döntést igen körültekintően kell meghozni, mert a megalapozatlan döntés könnyen a cég tönkremenetelét okozhatja. (Az 1980-as évek elején a Magirus gyár 10 ezer léghűtéses motorral szerelt tehergépkocsira kapott rendeltetést a Szovjetunióból. A gyár vezetői a gyártókapacitás bővítését határozták el, az egyszeri megrendelést azonban további nem követte. A beruházás miatt a cég eladósodott, végül beolvadt az IVECO-ba. A Kässbohrer üzem bővítése hasonló eredménnyel járt. Ezt a céget a Daimler-Benz vásárolta fel.)

Hasonló gondossággal kell eljárni a technológiai változtatásoknál is. Egy-egy új technológia bevezetése új, drága gépek beszerzését is megkívánhatja. Erre csak akkor kerülhet sor, ha az új technológia nem csak egy terméknél, hanem termékek sorozatánál is felhasználható. A terméktervezés és gyártás összhangjának a megteremtésére a Daimler-Benz nehéztehergépkocsi-programjának átalakítása mutat frappáns példát. Az 1970-es években a 10–19 t teherbírású járművek négy alapvető kivitelben készültek, négy különböző vezetőfülkével (2 orrsátoros, 2 orrsátor nélküli) és négy különböző alvázsal. A termékcsoporthoz leváltó új generáció már csak 3 vezetőfülkével készült. A vezetőfülkék első része a három kivitelben egységes és képes a 10–19 t teherbírású nehéztehergépkocsi-tartományt teljes mértékben kiszolgálni (2.2. ábra).



2.2. ábra

2.3. Törvényi, rendeleti előírások, vevői megkötések

Az előírások figyelembevétele – azok sokrétűsége miatt – az egyik legmunkaigényesebb tervezői feladat. A sokrétűség sajnos több dimenziós. Az előírások különböznek országonként, az előírások változnak az időben, az előírások egyre több tervezési szempont-ra térnek ki, a vevők saját kötelezettségeik miatt kiegészítő kívánságokat fogalmazhatnak meg, és végül az előírások járműfajtánként teljesen eltérő tartalmúak és szerkezetűek. Az előírások egyes részei külön-külön vastos köteteket töltenek meg. (Ilyenek pl. a hajókra vonatkozó angol British Lloyd Register vagy a repülőkre vonatkozó német Bauvorschriften für Flugzeuge stb. Természetesen az angoloknak is van repülőkre és a németeknek is van hajókra vonatkozó előírásuk, a nemzeti előírások csak igen lassan konvergálnak egy egységes nemzetközi előíráshoz.) Könnyen belátható, hogy az előírások ismertetése egy rövid alfejezetben lehetetlen, és az állandó változás miatt fölösleges is. E fejezetben inkább a figyelmet szeretnénk felkelteni annak érdekében, hogy egy-egy fejlesztés zátonyra futását a tervezők az aktuális törvény tanulmányozásával és betartásával (esetleg a változtatás kezdeményezésével) elkerüljék.

Az előírások közötti járművek esetén az alábbi főbb csoportokra bonthatók:

- Geometriai előírások:
 - hosszúság,
 - szélesség,
 - magasság,
 - hasmagasság (a tengelyek között),
 - első-hátsó terepszög,
 - fordulókör méretei,
 - tengelytáv és mellső-hátsó konzol mérete.
- Teljesítmény jellegű előírások:
 - tengelynyomás (keréknyomás),

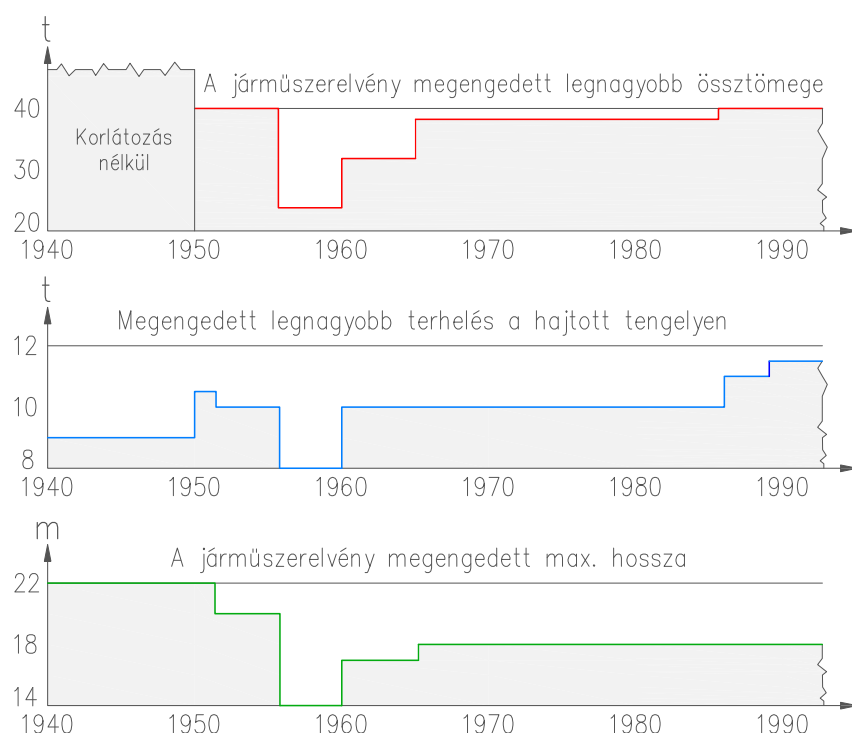
- össz-gördülőtömeg,
 - kinematikai (sebesség, gyorsulás).
- Biztonsági előírások:
 - túlélési tér (ütközésnél, borulásnál),
 - biztonsági öv, légpárna,
 - aláfutásgátló (haszonjárműveknél),
 - tető szilárdság,
 - boruló keret,
 - súlypont helyzete.
- Világítási előírások:
 - első-hátsó világítás,
 - oldalvilágítás,
 - irányjelzés,
 - fékjelzés.
- Tűzrendészeti előírások:
 - elektrosztatikus feltöltődés megakadályozása,
 - tűzoltókészülék-használat.
- Környezetvédelmi előírások:
 - CO₂ kibocsátás,
 - egyéb szennyezők kibocsátása,
 - szerkezeti anyagok (pl. azbeszt tiltása),
 - sugárvédelem.

Az előírások változékonyságára néhány példa:

- Megengedett tengelynyomás:
 - 13 t (Belgium, Franciaország, Luxemburg),
 - 12 t (Magyarország, Nagy-Britannia, Olaszország),
 - 11 t (Németország).
- A közúti járműszerelvénny össz tömege 20–52 t között változhat Európában.
- Megengedett szélesség haszonjárműveknél:
 - 2400 mm (Finnország),
 - 2500 mm (általában Európa),
 - 2600 mm (Egyesült Államok).

Az időbeli változást Németországban a 2.3. ábra szemlélteti.

Az előírások változtathatóságára jellegzetes példa volt a személygépkocsik hátsó, középen elhelyezett kiegészítő féklámpája. Először tűrték, majd tiltották és büntették a használatát, végül a jogászok is belátták hasznosságát és most már kötelező a használata.



2.3. ábra

2.4. Biztonság

A közlekedés biztonságának javítása a XXI. század műszaki fejlesztésének – a törvényi előírásoktól függetlenül – egyik legfontosabb kérdése.

Közlekedési balesetben évente 60 millió ember sérül meg és több mint 1 millió (egy közepes nagyváros lakossága) hal meg. A közlekedés biztonságát a pálya és kiegészítői (világítás, előrejelzés stb.), a jármű és az azt irányító határozza meg. A biztonság növelése érdekében mind a pályát (és szignalizációt), mind a járművet intenzíven fejlesztik világszerte. Elsősorban az aktív biztonság területén kívánják megközelíteni a fizikailag lehetséges értékeket. Mivel a jármű mozgásállapotát véső soron csak külső erővel tudjuk megváltoztatni, ezért mindent elkövetünk annak érdekében, hogy a kerék és pálya közötti érintkező erőket az optimális tartományba szabályozzuk. A legtöbb járműnek 4 kereke van, a pálya állapota a kerekek talppontjában általában egymástól eltérő, ezért a kerekek külön-külön szabályozást igényelnek. A bonyolult szabályozási feladatba a jármű függőleges, kereszt- és hosszirányú mozgásai elválaszthatatlanul összekapcsolódnak, az optimumot megközelítő megoldást csak a legkorszerűbb informatikai eszközökkel érhetjük el. A fejlesztéshez nélkülözhetetlen a futómű felfüggesztésével, a fékkel és a kormányzással, valamint motorszabályozással foglalkozó szakemberek (adott esetben cégek) együttműködése.

A passzív biztonság területén a túlélési tér, a biztonsági öv és a légpárna már eddig is jó eredményeket hozott.

Haszonjárművek esetében az aktív és passzív biztonság mellett a partnervédelem

érdemel említést. Haszonjármű és személygépkocsi ütközésekor ugyanis az utóbbi part-nervédelem nélkül teljesen esélytelen az ütközésben résztvevő járművek tömegeinek aránya (aránytalansága) miatt. E feladat megoldása még csak a kezdeteknél tart, bőséges lehetőséget ad új szerkezetek tervezésére, hatékonyságuk kikísérletezésére.

2.5. A tudományos kutatások és az általános műszaki fejlesztés eredményeinek felhasználása

Az előzőekben már említett „teljesítményfokozási kényszer” egyre „kihegyezettebb” járműkonstrukciókat követel. Minimális önsúlyú szerkezetek maximális tartósság, biztonság, megbízhatóság és kényelem mellett. Ez a feladat csak a valós üzemi körülmények pontos modellezésével és a szerkezet gondos analizálásával oldható meg. A korszerű számítástechnika, a végeselem- és a soktestdinamika-módszer lehetővé teszi a már megtervezett jármű tetszőleges pontosságú analizálását. Az előtervezés során egyszerűbb modellekkel kell eljutni az alapjaiban elfogadható helyes szerkezethez. Ehhez az előzetes méretezéshez kívánunk néhány gondolatot hozzáfűzni.

A hagyományos mérnökképzés és a hagyományos tervezői munka szemlélete jobbára determinisztikus volt. Ez a determinisztikus szemlélet érvényesül a szabványosításban, hatósági előírásokban és jogszabályokban is.

A determinisztikus szemlélet – bár tudjuk, hogy a valóságfolyamatok nem determinisztikusak, sokkal inkább véletlenszerűek – a korábbi időszak mérnökeinek ösztönös önvédelme volt a túlságosan bonyolult világ leegyszerűsítése, kezelhetősége érdekében. A mérnök csak akkor tudta feladatait megoldani, ha a létrehozandó alkotásnak csak a kiemelkedően domináns, kezelhető oldalaival foglalkozott, a többi, kezelhetetlen szempontot, mint lényegtelen vizsgálatában mellőzte. Szándékkal emeltük ki a kezelhető és kezelhetetlen ellentétpárt, mivel szívesebben hivatkoztunk e magatartás kapcsán a lényeglátásra mint a mérnöki tevékenység elengedhetetlen összetevőjére, pedig számos esetben a „lényegtelen” dolgok nagyon is lényegesnek bizonyultak, és elhanyagolásukat nem a lényeglátás, hanem a tudatlanság, az elégtelen ismeret indokolta. A tudatlanság, elégtelen ismeret nem a konkrét elhanyagolást tevő mérnök jellemzője, hanem az adott kor tudományos, műszaki színvonala volt elégtelen egy-egy új feladat megoldásához. Ez a leegyszerűsítő magatartás nemcsak a sztochasztikus–determinisztikus szemlélet-párban, hanem pl. az analízis–szintézis, ill. nemlineáris–lineáris ellentétpárokból is érvényesült. A XX. század második felében a számítógépek használatának elterjedésével (és a matematika fejlődésével) a korábban megoldhatatlannak tartott feladatok is kezelhetővé váltak, és nem kényszerülünk hiányos eszköztárunk miatt szaporítani az „elhanyagolható, lényegtelen” vizsgálati szempontokat.

Anélkül, hogy a méretezés-elmélet fejlődését részleteiben taglalnánk, érdemes egy egyszerű példán elemezni a problémáit. Egytengelyű feszültségi állapotban lévő prizmatikus, egyenes rudat kell méreteznünk húzásra. A méretezés alapképlete (az összefüggés adott formájában tulajdonképpen utólagos ellenőrzésre szolgál):

$$\sigma_{\text{meg}} \geq \sigma = \frac{F}{A}.$$

Az összefüggésben F az ismert, a rúd hosszanti súlyvonalában működő terhelő erő, A a prizmatikus rúd rúdtengelyre merőleges keresztmetszete, $\sigma = \sigma_1$ az egytengelyű

feszültségi állapot első főfeszültsége, σ_{meg} a rúd anyagára jellemző, kísérletek során meghatározott adatokból számított megengedett feszültség. Ez utóbbit az F terhelés ismeretében legtöbbször az ún. szakítószilárdság, esetleg folyáshatár valamilyen tört részében adják meg.

Az összefüggés determinisztikus. A gyakorlatban azonban a képlet bal oldalán álló σ_{meg} értékét olyan szakítószilárdsági adatokból vezetjük le, melyek statisztikailag kiértékelt kísérletsorozatokból származnak, és egyetlen adat helyett csak eloszlásfüggvényükkel vagy sűrűségfüggvényükkel, a műszaki gyakorlatban hisztogramjukkal jellemezhetők. A képlet jobb oldalán szereplő F terhelő erő értéke sem ismert pontosan és az A keresztmetszet is csak tűréshatárokkal adható meg, azaz mind F , mind A ugyancsak valószínűségi változók. Érdemes külön elmélkednünk a terhelő erőt és keresztmetszetet elválasztó törtvonalról is. A tört által meghatározott egyenletesen megoszló σ feszültség csak a konkrét F erő bevezetési helyétől elegendően távol fogadható el, ha a prizmatikus rúd anyaga homogén kontinuumnak tekinthető. A gyakorlatban használatos fémrudak azonban kristályos szerkezetű inhomogén struktúrát mutatnak, melyek legtöbbször mikrohibákkal (diszlokációkkal, mikrorepedésekkel, esetleg üregekkel) is terheltek. Ezek környezetében a feszültségállapot már nem egytengelyű.

A rúd térfogategységében lévő hibák számát közelítőleg állandónak tekintve nyilvánvaló, hogy a szilárdsági méretezés eredménye függ a szerkezet méretétől is. (Ez utóbbit az anyagvizsgálat során a szakító próbatestek nagyságának megválasztásával vehetjük figyelembe.) A szilárdsági méretezés legegyszerűbb esete is gondok és problémák sokaságát veti fel, és látható módon a kielégítő megoldáshoz elengedhetetlen a determinisztikus szemlélet feladása, ellenkező esetben csak igen nagy biztonsági tényező választásával nyugtathatjuk meg lelkiismeretünket, miközben fogalmunk sincs a vállalt kockázat nagyságáról, ami végül is ugyancsak (részben szubjektív típusú) valószínűség-elméleti probléma.

Összetett gépészeti szerkezetek, pl. járművek tervezése során a szilárdsági méretezés lényegesen bonyolultabb. Mi okozza ezt a bonyolultságot? A mérnöki szerkezetek tömeges méretű elterjedése, a többségében laikus üzemeltetés, a gazdasági kényszeren alapuló anyag- és energiatakarékos kialakítás egyre részletesebb és valóságghűbb terheléstörténet figyelembevételét követeli meg a szilárdsági méretezőtől. Az így kialakított szerkezetekben egyre kevesebb a szilárdsági tartalék, ugyanakkor a felhasználók joggal követelik a kockázat előírt értéken tartását.

A teljesség igénye nélkül néhány, a szilárdsági méretezést bonyolulttá tevő körülmény:

- A nagy darabszámban készülő termékek egyes egyedei a gyártás során lényegesen különbözhetnek egymástól. A méretpontatlanságok, beállítási és szerelési eltérések véletlenszerűen változó tulajdonságú egyedeket eredményeznek. Számos esetben szándékolt típusvariánsok készülnek anélkül, hogy az eltérések szilárdsági ellenőrzésre kerültek volna. (A járműiparban egy-egy alaptípus esetenként több száz típusvariánsban is készülhet, ilyen nagyszámú egymástól független szilárdsági ellenőrzés viszont gyakorlatilag kivitelezhetetlen.)
- Az azonos termékek egymástól szignifikánsan különböző üzemeltetési körülmények közé kerülnek. Eltérő éghajlati viszonyok, eltérő terheléstörténet és üzemeltetői mentalitás, járművezetési stílus nagymértékben befolyásolja a termékek elhasználódását, kopását és végső soron az élettartamát.

- A termékek tulajdonságai az üzemeltetés során nagymértékben változnak. Az új állapotra elvégzett szilárdsági méretezés valójában semmitmondó az élettartama felét már teljesített szerkezetre. A dinamikai terheléseket befolyásoló szerkezeti tulajdonságok egy része időben rendkívül gyorsan változik és így a szilárdsági méretezését igen sok szerkezetvariánsra kell kiterjeszteni (pl. a járművek hasznos terhe rugalmas és csillapító tulajdonságokat is mutat, ezért nem elegendő passzív tömegnek tekinteni, a távolsági repülőgépek üzemanyagának tömegváltozása megközelítheti az össztömeg 50%-át stb.).
- Az üzemelés során figyelembe veendő, „mértékadó” független terhelési esetek igen nagy számúak. Ez tükröződik pl. a hajók regiszteri előírásaiban, a repülőgépek építési előírásaiban, a vasúti és közúti járművek baleseti terhelési előírásaiban. A különböző terhelési esetek egyidejűsége, azaz a szinergikus hatása azonban még feltáratlan. A többszörös szinergia pedig hatványozott mértékben (szinte exponenciálisan) megnövelné a szilárdsági ellenőrzés munkaigényességét.
- A terhelési esetek részben erőteherrel, részben kinematikai teherrel számolnak. A kétfajta teher méretezési filozófiája ellentmondó: erőteherre nagyobb teherbírású, kinematikai teherre pedig nagyobb flexibilitású szerkezetet célszerű ellenőrizni. Mindkét teherfajta természetesen véletlen valószínűségi változó.
- A terhekből számított belső erők általában az egyes szerkezeti elemekben összetett igénybevételt idéznek elő, mely az idő függvényében részben stacionáriusan, részben instacionáriusan változik. Az igénybevételekből ellenben – szemben a kiinduló példánkkal – általában többtengelyű feszültségállapot keletkezik a szerkezet különböző pontjaiban.
- Erre az időben változó többtengelyű feszültségállapotra a szakítószilárdság, ill. a szakítószilárdság valamilyen hányada már nem szolgáltat σ_{meg} megengedhető ellenőrző értéket. A vizsgálatokat – és anyagjellemzőket – ki kell terjeszteni a kifáradási jelenségekre is. A kifáradási vizsgálatok – még szabványosított (szinuszos) körülmények között is – igen nagy szórást mutatnak, tehát csak a valószínűség-számítás eszközeivel (eloszlásfüggvény, sűrűségfüggvény stb.) tárgyalhatók. Még inkább ez a helyzet az időben rendszertelenül váltakozó terheléseknél.

E rövid kitekintésből is érzékelhető, hogy szerkezeteink szilárdsági méretezése – különösen járművek esetében – mennyire bonyolult, összetett feladat. A bonyolultságot azonban nem csak a szilárdsági méretezésében tapasztaljuk. Hasonló eredményre jutottunk volna, ha pl. az utaskényelmet, baleseti viselkedést vagy a jármű dinamikai stabilitását vizsgáltuk volna. Az összetett lengéskényelmi, klimatechnikai vizsgálatok, zajvizsgálatok és méretezések, a baleseti viselkedés elemzése a szilárdsági méretezéssel egyezően sztochasztikus problémákra vezetnek az eltérő üzemeltetési körülmények (éghajlat, időjárás, útminőség, hasznos teherállapot, pillanatnyi sebesség, manőverezés stb.) miatt.

A szignifikánsan különböző szerkezeti paraméterértékek (pl. eltérő hasznos tömeg és a folytonosan változó üzemi körülmények) miatt matematikai értelemben a terheléstörténet, az utaskényelmi vagy baleseti viselkedés sztochasztikus, de nem tekinthető stacionáriusnak és ergodikusnak, még akkor sem, ha egyébként pl. az útegyenlőtlenségek gerjesztő hatása önmagában stacionárius és ergodikus sztochasztikus folyamat. Az

instacionárius és nem ergodikus sztochasztikus folyamat egészében – a mi vizsgálataink szempontjából – kezelhetetlen, ennek ellenére járművek jelenleg is készülnek, tehát valamilyen közelítéssel kell megoldanunk a tervezés során felmerülő feladatokat.

A teljes folyamat instacionárius és nemergodikus, de mindig találhatók véges, eleendően hosszú, állandó paraméteres (előírt hasznos teher, állandó sebesség, homogén útfelület) szakaszai, melyek önmagukban stacionáriusnak tekinthetők. A teljes, folytonos paramétertartományt így véges számú diszkrét realizációval közelíthetjük. A véges számú realizáció kiválasztása és relatív hosszuknak megállapítása korábban üzemelő (közelítőleg akár más típusú) jármű megfigyelése alapján történhet.

Ez a fajta statisztikai adatgyűjtés természetesen országonként (esetleg városonként) más-más eredményre vezethet, és ennek eredményeképp a különböző országokban üzemelő járművek eltérő élettartamúak lehetnek, de fordított tervezői döntéssel olyan szerkezeti módosítások (erősítések) is megvalósíthatók „felárért”, melyek mostohább körülmények között is azonos élettartamot biztosítanak.

Ez a fajta gondolkodás átvezet a Markov-láncok (ill. szemi-Markov-folyamatok) területére. A vizsgálatok kivitelezése két úton is lehetséges:

- A diszkrét realizációkból – előfordulási súlyuk arányaiban – mintegy 1000–1500 km-es egyesített realizációt állítunk össze, a járművet, ill. modelljét az idő függvényében végig futtatjuk ezen az egyesített realizáción (közben szakaszonként változtatjuk a hasznos teher mennyiségét, az útminőséget és a haladási sebességet, természetesen kellő számú átmeneti szakaszt is beiktatva a változó sebesség szimulálásával). A jármű dinamikai modelljének kellő számú, kiválasztott pontjában az idő függvényében meghatározzuk az igénybevétel, ill. feszültségállapot adatait, végül ezekből az időfüggvényes adatokból statisztikát készítünk a feszültségváltozásokról, melyből már kifáradási károsodás, ill. élettartambecslés számítható.
- A diszkrét realizációkból – a hozzájuk tartozó gerjesztési spektrum segítségével – a frekvencia függvényében egyenként meghatározzuk a dinamikai igénybevételeinek a spektrumait a járműmodell kiválasztott pontjaiban, majd ezekből „feszültségjel szint” kereszteződési számot állapítunk meg, mely közvetlenül felhasználható kifáradási károsodás, ill. élettartam becslésére.

Látható módon a két eljárás igen közeli rokon vonásokat mutat. Az első eljárás azonban nagyon munkaigényes, a számítógépes szimulációhoz gyakran az úrkutatásban kifejlesztett nagyméretű szimulációs programok bérlése szükséges. Különösen munkaigényes az utólagos statisztikai adatfeldolgozás. Előnye viszont, hogy a jármű dinamikai modellje a valósághoz közelebb állóan nemlineáris lehet.

A második, frekvencia függvényében végzett analízis lényegesen egyszerűbb, az igénybevételi, ill. feszültség szint-keresztezési adatok a válasz derivált spektrumával egyszerűen számíthatók. Hátránya, hogy a szerkezet dinamikai modellje az eredetihez kevésbé hasonlító linearizált modell. Ennek legkézenfekvőbb formája az aktuális paraméterkombinációhoz tartozó munkaponti linearizálás lehet.

Mindkét eljárás modellje tovább finomítható a hasznos teher aktív tulajdonságainak (rugalmasság, csillapítás) figyelembevételével, valamint a figyelembe vett diszkrét realizációk számának szaporításával, azaz a folytonosnak tekinthető változó üzemeltetési tartomány finomabb beosztású letapogatásával. Továbbfejlesztéseként elképzelhető a

szerkezet elhasználódásának figyelembevétele, azaz a teherhordó szerkezet kopásának, lazulásának, változó rugalmas és csillapító tulajdonságának lépcsőzése is. A modell finomításánál azonban tekintettel kell lenni arra, hogy két állapot feltételezése már megkétszerezi a vizsgálatához szükséges számítások és adatok mennyiségét.

A szilárdsági méretezéshez hasonlóan determinisztikus számítások helyett sztochasztikusan kell tárgyalni a járművek általános mozgásdinamikáját is. A kérdést végletekig leegyszerűsítve a jármű mozgását önkényesen szétválasztjuk főmozgásának irányába (longitudinális) és arra merőlegesen kereszt irányában (laterális dinamika), illetve „függőlegesen” (vertikális dinamika) parazitamozgásokra. A főmozgás elsősorban energetikai szempontból, a függőleges mozgás az utazási kényelem (áruvédelem) szempontjából, míg a keresztirányú mozgás biztonsági szempontból érdemel figyelmet. A szétválasztás természetesen csak durva közelítés, a valóságban mindhárom irányú mozgás kölcsönösen kihat a jármű energiafogyasztására, kényelmére és biztonságára is. Még szembetűnőbb ez a kölcsönhatás, ha a translációk mellett figyelembe vesszük a jármű főtengelei körüli forgó mozgásokat is (bólintás, támoltyás [legyezés], orsózás).

Tekintsük át a fő- és parazitamozgások vizsgálatában felmerülő sztochasztikus problémákat. Közismert, hogy a városi forgalomban a gépjárművek fajlagos (km-enkénti) üzemanyag-fogyasztása lényegesen nagyobb (a kis sebességek és kis légellenállás ellenére), mint városon kívül. A nagyobb fogyasztás több hatás következménye. A jármű motorja ilyenkor általában nem az optimális üzemállapotban működik, hanem a gyorsan változó forgalmi (sebesség) viszonyokhoz kell a fordulatszámot megválasztani; sűrűn kényszerülünk fékezésre, melynél a jármű mozgási energiáját hővé alakítjuk, a jármű újra gyorsítása is többlet energiát igényel; a piros lámpánál álló jármű motorja üres járatban is fogyasztja az üzemanyagot. Ez a tranziens üzemmód sztochasztikusan változik, a járművezetők reagálása is véletlenszerűen késleltetett folyamat. Átlagos felkészültségű vezető nagyvárosi forgalomban akár a kétszeresére is növelheti a fajlagos üzemanyag-fogyasztást az állandósult állapotú országúti fogyasztáshoz képest. A jelenségből kétirányú következtetést vonhatunk:

- A járművet olyan szabályozó berendezésekkel (érzékelők, fedélzeti számítógép, beavatkozók) kell felszerelni, melyek minimális késleltetéssel mindig optimális motorüzemelészt valósíthatnak meg, piros lámpánál pedig leállítják, majd szabad jelzésnél újra indítják a motort.
- Olyan forgalomirányítást (akár offline, akár online) kell kiépíteni, mely az egész városi forgalom energiafogyasztását minimálja. Ilyen bonyolult, nagy rendszer optimalása azonban nem nélkülözheti a teljes sztochasztikus közlekedési folyamat feltárását, beleértve a beavatkozások és szabályozások következményeinek a kimutatását is (lásd pl. a mikrokáosz-problémákat).

A járművek függőleges lengése elsősorban az utazó kényelemérzetét befolyásolja. A korábbi időszak járműtervezőinek egyik fő feladata volt a jármű főrugójának megtervezése úgy, hogy a járműfelépítmény függőleges lengésének első saját frekvenciája 1 Hz körül helyezkedjék el. A normális gyalogos lépés frekvenciájához szokott ember ugyanis ennél lényegesen kisebb, vagy lényegesen nagyobb frekvenciájú lengésnél igen kellemetlenül érzi magát. Determinisztikus problémaként kezelve a kívánatos frekvencia beállítása természetesen egyértelmű és lényegében egyszerű feladat. Sajnos azonban a jármű tömege az üzemelés során változó hasznos tehertől akár 100%-kal is növekedhet az üres

állapothoz képest, ez pedig az üres állapotbeli saját frekvenciát kb. 30%-kal csökkenti a teljesen terhelt állapotban. A 0,7 Hz-es saját frekvencia az emberek többségénél rosszul érzékelhetővé vált ki. Természetesen e megállapítás csak lineáris rugó karakterisztikára érvényes. Progresszív karakterisztikájú rugóval közel állandó frekvencia állítható be teherállapottól függetlenül. A determinisztikus tervezés nem vesz tudomást az útfelület (és motor) széles sávú gerjesztési spektrumáról sem. A frekvenciával együtt a gerjesztés amplitúdója is változik, tehát egy üzemi pont beállítása helyett sokkal általánosabb gerjesztési spektrumot, sőt a jármű több kereke miatt spektrumokat kell a fő rugók tervezése során figyelembe venni. Az egyes kerekek általában más-más nyomon futnak, a gerjesztések időbeli lefolyása a geometriai útegyenlőtlenségek mellett a jármű sebességétől is függhet, az útgerjesztés amplitúdója a pálya deformálhatósága (rugalmas és maradékos egyaránt lehetséges) miatt függ a pillanatnyi keréknyomástól, közvetve a jármű tömegétől és mozgásállapotától. Ráadásul a lengések okozta fárasztó hatások az utas szervezetében halmozódnak, a halmozódás nem egyszerű összegződés, mert az emberi szervezet érzékenysége is frekvenciafüggő. A kumulálódó hatásokra minden ember (ha kis mértékben is) eltérően reagál. A sztochasztikus tárgyalás tehát nemcsak a gerjesztés szabatos leírásához szükséges, hanem a tervezésnél figyelembe kell venni a gerjesztést elviselő személyek véletlenszerűen változó egyéni tulajdonságait is. A jelentőséget tovább színezi az, hogy a hosszdinamika (fékezés, gyorsítás) járulékos függőleges gyorsulásokat is eredményezhet a jármű egyes részeiben (bólintás) és ez a hatás a véletlenszerűen változó forgalmi szituációtól, a vezető szubjektív vezetési stílustól, valamint az útfelület minőségétől (pl. száraz vagy jeges) is függ.

Ezen belül különösen összetett a fékezés folyamata, mely a jármű és fék aktuális tulajdonságain kívül az útfelület kerekenként esetleg eltérő adhéziós viszonyaitól és a jármű tömegeloszlásától is függ. Bármilyen vezérlést és szabályozást is választunk a fékrendszerhez, az csak a fizikai lehetőségeket tudja kihasználni, de ezek a fizikai adottságok pillanatról pillanatra (helyről helyre) változhatnak.

Ugyanilyen megállapítások tehetők a jármű laterális dinamikájára. Az oldalirányú mozgást (a jármű keresztirányú kisodródását, borulását, stabilitását) a kerekek alatti pillanatnyi adhézió, a kerék aktuális függőleges lengésgyorsulása, a jármű súlypontjának rakománytól függő helyzete, a hasznos teher pillanatnyi önálló mozgásállapota (pl. folyadékszállító tartálykocsiknál) a vezető szubjektív vezetési stílusa, a forgalmi helyzet megkövetelte manőverkénszer mind véletlenszerűen befolyásolja.

Az oldalirányú parazitamozgás vizsgálatával áttértünk a közlekedés egyik fő problémáját jelentő balesetek területére. Az eddig tárgyalt befolyásoló körülmények mellett figyelembe kell venni a balesetet szenvedő jármű baleseti partnerét is. A „partner” lehet egy másik álló vagy mozgó jármű, esetleg épület, villanyoszlop stb. A lehetőségek száma szinte végtelen.

A baleset-, ill. katasztrófaelemzés a hagyományos mérnöki tevékenységnek korábban elhanyagolt területe volt. Jelenleg azonban már mind a kísérleti, mind az elméleti (számításos szimulációs) vizsgálatok a mindennapi tervező munka részévé váltak. A baleset-, ill. katasztrófaelemzés legérdekesebb eredménye az, hogy bár a baleseti szituációk véletlen valószínűségi változók, bennük mégis (még jelenleg is) dominál és szükséges a determinisztikus szemlélet. A sztochasztikus szemlélet, statisztikák feldolgozása, gyakorisági vizsgálatok a már megtörtént balesetekre terjednek ki. Ezekből az utólag készített statisztikákból választják ki a tipikus, gyakrabban előforduló baleseti szituáci-

ókat (baleseti partner tulajdonságai, az ütközés iránya, az ütközés előtti sebesség stb.), melyek – mintegy szabványosítva – megszabják az ütköztetési kísérlet kezdeti értékeit és peremfeltételeit. E kísérletek igen költségesek, és gyáranként legfeljebb néhány száz végezhető el belőlük évente, ez pedig nem elegendő a közlekedés balesetbiztonságának megkívánt szintjéhez. A kísérleteket kiegészítik a számítógépes szimulációs vizsgálatokkal is, ezzel a megvizsgált esetek száma akár 1-2 ezerre is növelhető. A számítógépes vizsgálatok is – a kísérletekhez hasonlóan – pontosan definiált determinisztikus esetekre korlátozódnak. A statisztikát a vizsgálatok stratégiájának megtervezésére kell felhasználni. Ez az utóbbi példa is világosan mutatja, hogy a sztochasztikus szemlélet nem teszi feleslegessé a determinisztikus módszereket.

A vázolt, egyszerűsített gondolatmenet alapján nyilvánvaló, hogy a sztochasztikus alapon történő tervezésnek és méretezésnek még csak a kezdetén tartunk. Természetesen az irodalomban számos részfeladat megoldása megtalálható. E könyv szerzői is szerény mértékben hozzájárultak a fogalmak szétválasztásához és tisztázásához.

2.6. Infrastruktúra

A jármű tervezésekor az infrastruktúrát igen tág értelemben kell figyelembe venni. A jármű közlekedési, szállítási feladatokat old meg és ehhez számos külső körülmény hozzájárulása is szükséges. A tág értelemben vett infrastruktúra elemei:

- a pálya minősége, sűrűsége, hossza, jármű és pálya kölcsönhatása;
- a közlekedéssel kapcsolatos szolgáltatások (parkolás, üzemanyag-töltő állomások, kényelmi létesítmények stb.);
- a járművek karbantartásához, javításához szükséges létesítmények, szolgáltatások;
- a közlekedés különböző ágazatai közötti együttműködés lehetőségei;
- a közlekedés, szállítás szervezése.

A felsoroltak közül a legfontosabb a pálya és jármű kölcsönhatása. Közismert, hogy a jármű szerkezetének igénybevétele a pályaeegyenlőtlenségektől függ. Egy adott jármű élettartama rossz minőségű úthálózat következtében az eredeti érték töredékére csökkenhet vagy a tervezés során olyan költséges változtatásokat kell megtervezni, melyek a nagyobb igénybevétel esetén is biztosítják az eredeti élettartamot. A választott megoldásnál a mindenkor vevővel kell megállapodni. Ismeretlen új piacon helyszíni vizsgálattal kell az úthálózat minőségéről meggyőződni.

A jármű természetesen visszahat az útra is. A pálya elhasználódásának mértéke a rajta gördülő jármű tengelynyomásának negyedik hatványával arányos. Ezért a helyszíni vizsgálódásnak ki kell terjednie a jármű tengelynyomásának megválasztására is.

Az infrastruktúra egyéb elemei tervezési szempontból azt jelentik, hogy a sikeres piaci szerepléshez nem elegendő a járművet megtervezni, hanem biztosítanunk kell a közlekedési, szállítási feladat eredményes megoldását is. Például a harmadik világbeli új piacokon a hiányzó infrastruktúrát is (legalább részlegesen) létre kell hoznunk. Ez ugyan nem járműtervezői feladat, de a gyártó cégnek ezt is fel kell vállalnia, mert hiányában az egyszeri értékesítésnek nem lesz folytatása.