

## Járművészet és konstrukció

Fülep Tímea\*, Pályi István\*\*  
Harth Péter\*\*\*

\*Széchenyi István Egyetem, Közlekedési tanszék, Győr

\*\* Pályi István és Társai Építész-stúdió, Budapest

\*\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárművek tanszék, Budapest

---

Absztrakt: A hagyományos járműtervezésben – ahol a forma igazodik a konstrukcióhoz – a jármű esztétikai megjelenését alapvetően befolyásolja a karosszéria tervezése. A tervezési arányok, szimmetriák egyértelműen hatást gyakorolnak az utazók viszonyulására az adott járműhöz. Ahhoz azonban, hogy a járműszerkezet az esztétikai megjelenésen túl műszakilag is megfelelő konstrukció legyen, már a tervezés fázisában elengedhetetlen a felépítés részletes elemzése és az általa felveendő terhelések alapján minél pontosabb vizsgálata. Az alábbiakban az említett követelményeknek megfelelő módszertani lehetőségeket is vizsgáljuk.

---

### 1. BEVEZETÉS

Minden jármű – még a kifejezetten teherszállító járművek is – végső soron emberi szükségleteket elégít ki és működésük, üzemeltetésük során változatos, emberi környezetben jelennek meg. A teljesen automatizált szállító berendezéseken kívül működtetésükhöz is közvetlen emberi beavatkozás szükséges. Fokozottan érvényes az állandó emberi jelenlét a személyszállító járműveknél. Különösen érzékenyek az utasok a hosszabb időben és nagyobb távolságokra szállító járművek külső és belső formai kialakítására. A nagy távolságokra szállító járműnek mind külseje, mind belseje ergonomiailag és esztétikailag is igényes kialakításúnak kell lennie.

### 2. JÁRMŰVEK FORMATERVEZÉSE

Az ergonómiai és esztétikai követelmények nem egyértelműek, függenek az éghajlati viszonyoktól, az eltérő antropometriai méretektől, az adott üzemeltetési területen történelmileg kialakult társadalmi szokásoktól, mentalitásbeli különbségektől, sőt a lokális divattól is. (Arab országokban elkülönített nő kabin létesítése, Indiában harsány színekre festett túl díszes külső megjelenés, Indonéziában a nálunk szokásosnál kisebb méretű ülések, egyes afrikai államokban vizeletálló belső hézagmentes burkolat, stb.)

A külső forma és a belső berendezés tervezése jelenleg nem a járműtervező főkonstruktor, vagy vezető tervező gépészmérnök feladata. A jelentősebb járműgyártók külön formatervező művészeket bíznak meg e feladatokkal, hasonlóképpen az elkülönült motor-, futómű-, fékrendszer-, elektromos hálózat-, stb. tervezéshez. A járműben azonban a sok részletnek harmonikusan illeszkednie kell egymáshoz. Az összhang megteremtése a főkonstruktor, (vezető tervező, főtervező) feladata. Amíg a különböző műszaki csoportok ellentmondó részletmegoldásainak összhangját műszaki

érvekkel lefolytatott vitákban racionálisan lehet megalkotni, addig az esztétikai, formai kérdésekben a racionális érvek mellett az ízlésbeli nézetek is döntőek lehetnek. Ez különösen nehezebbé teheti a vezető mérnök döntéseit. Nem célunk a formatervezés művészetének (vagy tudományának) a részletes kifejtése (vagy megtanítása), de a jövő járműtervező mérnökeinek ismernie kell a formatervező művész gondolkodásmódját, intuitív munkamódszerét legalább főbb vonásaiban annyira, hogy adott esetben képes legyen vele vitatkozni, érveket és ellenérveket mérlegelni és helyes döntéseket hozni.

A formatervező hangsúlyozottan a járművet használó embert (vezetőt, utast, kezelőt) tekinti a tervezés kiinduló pontjának, és törekszik a formán kívüli műszaki részleteket is ennek a szempontnak alárendelni. Az alacsony padlójú városi autóbuszok különleges kerék felfüggesztését és hajtáselrendezését végső soron a formatervezők kényszerítették ki a gépészeti tervezőkből.

#### 2.1 A jármű architektúra kialakulása

Az előzőek szerint a jármű – a maga alapvető szállítási funkcióján kívül – huzamosabb ideig emberi tartózkodásra is szolgáló zárt, vagy részben nyitott, az időjárás hatásától többé-kevésbé védett, elkülönített tér. Ez a fogalom nagyon közel áll az épületek definíciójához, és ebből a rokonságból ered a kocsiszekrény- (jármű) architektúrája kifejezés, valamint az alvázakra épített „felépítmény” elnevezés is. Az építészetben (építőművészetben) kialakult fogalmak, szemléletek, esztétikai normák a járműépítésben is (bár számos módosulással) érvényesülnek. Sikeres járműtervezéshez jól képzett, egyúttal ösztönös tehetséggel is rendelkező iparművészek, formatervezők szükségesek. Az épület és a jármű kétségtelen rokonsága ellenére természetesen lényegesen különbözik szerkezetében,

anyagában, funkciójában és az esztétikai követelmények tekintetében is. A legfontosabb különbségek:



1. ábra: A közlekedés statikus és dinamikus szereplői

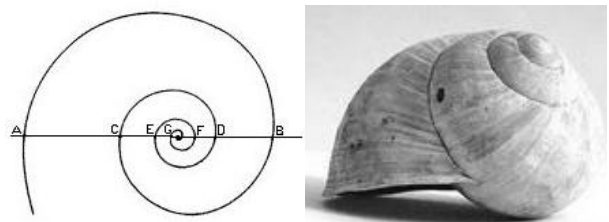
- Az épület áll, a jármű mozog. (1. ábra)
- Az épületnek egy adott természeti- vagy mesterséges környezethez kell illeszkednie, a jármű állandóan változó környezetben mozog (még egy városi jármű is eltérő korú és stílusú városrészekben üzemelhet).
- Az épületek egyedi tervek alapján, többnyire kis darabszámban készülnek, a járművek jó része tömeggyártással készül (akár milliós példányszám is előfordulhat).
- A jármű méretei (kubusa) és ezek arányai is a közlekedési előírások és funkcionális szempontok miatt sokkal kötöttebbek mint az épületek méretei. (Előírt magasság, szélesség, hosszúság, tengelytáv, első-hátsó terepszög, hasmagasság, úrszelvény, fordulófolyosó, stb.).
- Az épület egyetlen éghajlati zónában létezik, a jármű üzemeltetése során különböző éghajlati zónákba kerülhet.
- Bár mind az épület, mind a járművek jó része huzamosabb idejű emberi tartózkodásra szolgál, de a járműben töltött idő általában lényegesen rövidebb.
- Az épületen belül rendszeres a helyváltoztatás, a járműben általában ülünk (esetleg állunk, vagy fekszünk).
- A járművekben a fajlagos (egy emberre jutó) légtérfogat lényegesen kisebb, mint épületben.
- Az épület belső terét a használó is alakíthatja, a jármű belső tere, berendezése alig változtatható.
- Különösen a haszonjármű színében, díszítésében illeszkedik a használó (megrendelő) céges jellegzetességeihez (pl.: BKV autóbuszok kék-ezüst, villamosok sárga-fehér színe).
- Az épületek tartósak (évszázadokig is megmaradhatnak) szemben a járművek rövid, legfeljebb néhány évtizedes üzemelésével

## 2.2 Harmónia a jármű eleje és vége között, szerkezeti arányok megválasztása

Külső szemlélőnek a mozgó jármű eleje (közeledő) és vége (távolodó) a legfeltűnőbb. Általában ezekre a részletekre emlékeznek, ezeken összegzik a gyártó cég jellegzetes formai elemeit (hűtőrácszat, lámpák elhelyezése, lökhárítók kiemelése, stb.). A jármű két végét összekötő rész kevésbé jellegzetes, viszont illeszkednie kell mindkét véghez. A végek folytonosan változó görbületű térbeli felületek, a középső rész azonban többnyire – különösen hosszú járműveknél – egyszerű hengeres test, melynek csak egy irányban van görbülete. Az átmenet a térben görbült és hengeres rész között különösen érzékeny a formatervezés során, mert a szemlélő a görbületi sugár ugrásszerű változását optikailag törésnek érzékeli, ami a jármű egységes képét megbontja. A klasszikus gépészetben megszokott adott sugarú lekerekítés tehát a karosszériatervezésben legtöbbször szóba sem jöhet.

Az átmeneteken kívül ügyelni kell arra is, hogy a kocsiszekrény eleje és hátulja – bár funkcionálisan nagyon különbözhet (kilátás, hűtés, szellőzés, ütközés) – formailag rokon elemekből épüljön fel hangsúlyozva a közös funkcionális elemeket (pl.: relációtábla, első és hátsó lámpák, oldalvillogók stb.). Igen fontos a karosszéria egyes részei közötti méretarányok megválasztása. Közismert pl.: a művészetekben az aranymetszés szabálya, amely szerint pl.: egy téglalap akkor szép (harmonikus), ha a nagyobbik és kisebbik mérete között az  $a:b = b:(a-b)$  arány áll fenn (2. ábra).

Az esztétikum alapját képező szabály az emberiség egyik legjobban kimunkált, legtisztéletreméltóbb aránypárja. Két rész közül az egész úgy aránylik a nagyobbikhoz, mint az a kisebbhez. Az emberi testtől az építészetten át a képzőművészetiig egy sor gyönyörű példája van annak, hogy ez így jó. A nagyobbik rész nem kétharmada az egésznek, hanem kicsit kevesebb. Így szép! Mind eközben pedig, a tökéletesedésért folytatott harc tovább fokozódik.

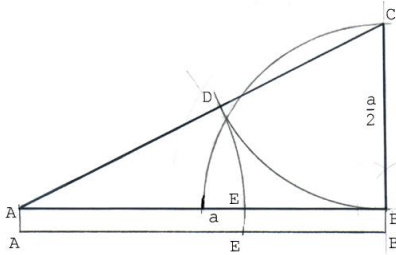


2. ábra: Az „aranymetsző” természet

Mint az könnyen belátható, az  $\frac{a}{b}$  arány irracionális számra vezet (1):

$$\frac{a}{b} = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2} = \begin{cases} 1,618034... \\ -0,618034... \end{cases} \quad (1)$$

szerkesztéssel természetesen a kívánt pontossággal megrajzolható pl.: egy adott  $b$ -hez tartozó  $a$  méret (3. ábra).



3. ábra: Az arany metszés szerkesztése

A gyakorlatban azonban a művészek a *Fibonacci* számsorozat két szomszédos tagjának az arányával közelítik a pontos értéket. (A Fibonacci számsor első két eleme 1, a további elemeket mindig az utolsó két elem összegéből képezzük). Tehát az 1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,... számsorozat bármely két szomszédos elemének aránya az  $a/b$  hányadost közelíti és pedig vagy alulról, vagy felülről. A közelítés annál jobb, minél nagyobb szomszédos elemeket választunk. A művészeti gyakorlatban leginkább a  $13/8$  közelítés terjedt el. Az arányszám közelítőleg az átlagos emberi magasság és a derékmagasság arányával egyezik.

### 2.3 Szimmetriák

A szerkezeti szimmetria tudatos felhasználása a kocsiszekrény esztétikai megjelenésének talán a legfontosabb eleme. Használata a kocsiszekrény egészén kívül kiter a részletekre is (pl.: kormánykerék szimmetriája, a gyári emblémák (logók) szimmetriája, stb.) A köznapi életben a szimmetriát leszűkítik a feltűnő tükrös szimmetriára, pedig a szimmetria fogalma sokkal gazdagabb, és a formatervezők is több formáját használják. Tekintsük át ezeket és felhasználásukat:

- Tükrös szimmetria a jármű hossz tengelyén átmenő, függőleges síkra. Ez a szimmetriafajta szinte univerzális minden jármű fajtánál (repülő, hajók, közúti- és vasúti járművek). A jármű esztétikai megjelenését nem zavarja, hogy közlekedésbiztonsági okokból a jármű vezetőjét és a vezetéshez szükséges kezelő szerveket, esetleg a jármű belső berendezéseit a helykihasználás javítása érdekében tudatosan aszimmetrikusan rendezzük el.
- Tükrös szimmetria a jármű súlypontján átmenő kereszt tengelyt tartalmazó függőleges síkra. Jellegzetes a vasúti személy- és teherkocsik építésében, de előfordulhat részlegesen autóbuszoknál is.
- Pontszimmetria többnyire a gyári emblémákon jelenik meg. Jellegzetes példája a Renault torzított rombusza, illetve a Suzuki S betűje, amely - szemben a Seat logóval - erőteljesen dinamikus hatást kelt (4. ábra).



4. ábra: Emblémák – Suzuki, Seat, Renault

- Körszimmetriát elsősorban a kerekek tartalmaznak, de előszeretettel használják a gyári emblémákon tükrös, vagy pontszimmetriával kombinálva.
- Eltolási szimmetria jelenhet meg a ritmikus ablakosztásban, ajtóosztásban, üléselrendezésben. De használható a gyári embléma egyszerű megjelenítésében is, pl.: Fiat logo (5. ábra).
- Zavart szimmetriák. A művészek néha tudatosan keverik a szimmetrikus és nem szimmetrikus, ill. kifejezetten antimetrikus formákat.

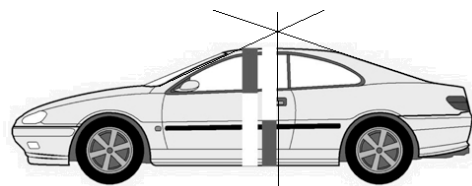


5. ábra: FIAT(al)os stílus

### 2.4 Optikai fogások a kocsiszekrény tervezésben

Az előzőekben tárgyalt zavart szimmetriák vezetnek át a művészek által előszeretettel használt optikai fogások területére [2]. Az emberi érzékelés tudatosan megtéveszthető. Egy nem elegendően hosszú tárgyat hosszanti csíkozással látszólag megnyújthatunk, egyúttal látszólagos magasságát csökkenthetjük. Nagyméretű tárgy sötét színezéssel kisebbnek, világos színezéssel nagyobbak hat. Nagy összefüggő fényezett felületet egy polírozott fém díszléccel, vagy matt műanyag, esetleg fekete gumi díszléccel különálló részekre bonthatunk. Fényezett- és üvegfelületek határvonalát fekete műanyag vagy krómozott fém kontúrral kiemelhetjük.

Személyszállító járművek ablakoszlopainak függőleges keresztirányú síkban a kocsiközéphez való döntése oldalról nézve a közeledő járművön hátradöntött hatást, a távolodó járművön előre döntött hatást keltenek, ezek felidézik a suhanó nyíl, vagy az elrugaszkodó futó képzetét. Személygépkocsinál a szélvédő oszlop és hátsó oszlop oldalnézeti képzeleti meghosszabbításának találkozási pontján átmenő középső oszlop a nézőben a stabilitás érzetét kelti (6. ábra).



6. ábra: Az érzékelhető stabilitás

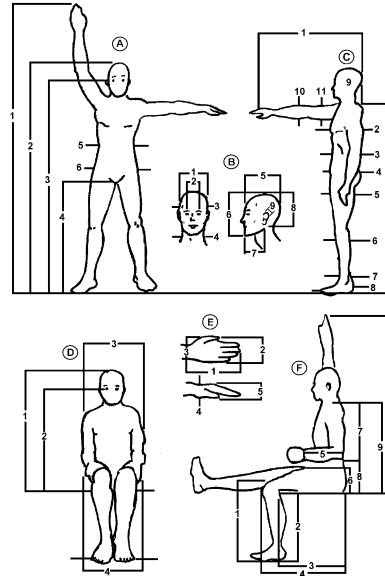
Természetesen a kényelmes beszállás fontosabb az esztétikánál, ezért ez a szempont néha nehezen, vagy nem teljesíthető, de a hátsó oszlop íves vonalának és változó szélességének kialakítása (a görbület folyamatos változtatása) lehetővé teszi a tervező „szabad” játékát.

A színezés nagyító, ill. kicsinyítő hatásán kívül fontos figyelemfelkeltő hatást is megvalósíthat. Pl.: tömegközlekedési járműveken célszerű a felszálló és leszálló ajtókat elüti színezéssel is megkülönböztetni. Ezt az IKARUS gyár kezdeményezte az 1960-as években. Kezdetben a felhasználók, sőt a gyáron belüli szakemberek egy részének ellenállása ellenére sikerült csak bevezetni. Jelenleg teljesen elfogadott. A kocsiszekerények élénk színezése, a lökhárítók esetleges feltűnő csikozása javítja a láthatóságot, és ezzel elősegíti a balesetek elkerülését.

Sokszor látszólag egészen apró fogással lehet javítani egy-egy jármű esztétikai megjelenését. Az 1950-es években egyedi megrendelésre készült az IKARUS -ban egy távolsági autóbusz (ún. Genfi busz). A busz orrmotoros elrendezésű volt, a motorhűtő a homlokfalon volt elhelyezve. A kellő hűtés érdekében ritka, függőleges díszrácsot lehetett csak alkalmazni. A rács mögött a hűtő sötét tömbje látszott, hasonlított egy barlang bejáratra. A kellemetlen benyomáson a főtervező merész ötlettel változtatott. Minden díszrácsa közben egy-egy keskeny, élénkpiros csíkot festetett a hűtőtömbre. Távolról ezek a csíkok egyáltalán nem látszóttak, de a barlang-torok hatás megszűnt.

### 2.5 A formát befolyásoló „kemény” feltételek

A kiállítási tanulmánytervekben a formatervező fantáziája szabadon szárnyalhat, szokatlan ötleteivel megdöbbenheti a tervezőket és vásárlókat is, a sorozatgyártás realitása és a felhasználás körülmények azonban kemény korlátok közé szorítja a fantáziát. A korlátok részben természeti törvényeken (pl.: emberi méreteken, lásd 7. ábrát), részben műszaki feltételeken, esetleg jogi, rendészeti előírásokon alapulnak. Természetesen a formát a vásárló közönség ízlése is befolyásolja, a tanulmánytervek bemutatása ezért mindenkor a jövőbeli eladhatóság próbájának is tekinthető.





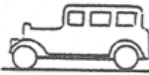




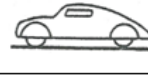
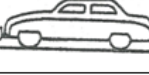

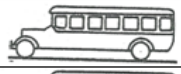

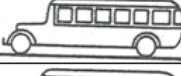

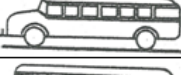


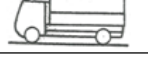
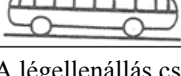
7. ábra: Az emberi test jellegzetes méretei

### 2.6 Műszaki korlátok a formatervezésben

Az előzőekben tárgyalt a forgalmat befolyásoló természeti adottságokkal szemben inkább a tervező mérnök döntésén múló műszaki korlátozó szempontokat vesszük sorba:

**Funkcionális szempontok:** A járművek kialakítása a felhasználás módja, az üzemeltetés körülményei is befolyásolják. Más-más forma tartozik egy városi-, vagy egy távolsági-, esetleg kifejezetten luxus autóbushoz. A formatervezést fontosságban megelőzi az elsődleges szállítási feladat funkciójának teljesítése pl.: a jármű által elfoglalt útfelület minél teljesebb kihasználása, hasznos teherelhelyezés. A funkció a jármű belső kialakítását is befolyásolja. A rövid ideig tartó városi utazás egyszerű belsőt is megenged, a nagy távolságra közlekedő turista buszban viszont napokat kell ülnünk, ezért igényes belső teret kell kialakítanunk hozzá. Városi autóbushoz igen fontos a könnyű be- és kiszállás miatt az alacsony padlószint, távolsági autóbushoz ezzel szemben bőséges, padló alatti csomagteret van szükségünk. Rendkívül fontos a járművet használók tájékoztatása, így pl.: az útvonalat feltüntető reláció-táblák a homlokzaton és oldalfalakon (esetleg hátfalon) történő elhelyezése. Ezek megvalósításakor a fuvarozó vállalat korábban kialakult szokásaihoz is alkalmazkodni kell.



Év	Tömeg-termelés	$c_x$	Év	Kísérleti jármű	$c_x$
1907		0,95	1913		0,25
1927		0,82	1936		0,20
1935		0,56	1934	Járay 	0,26
1947		0,40	1936		0,22
1953		0,45	1940	Kamm 	0,23
	Busz	$c_x$	Tehergépjármű	$c_x$	
1910		0,80		0,60	
1930		0,75		0,65	
1950		0,56		0,55	
1960		0,45		0,50	
1970		0,30			

8. ábra: A légellenállás csökkentésének eredményei

*Áramlástanai szempontok:* A légellenállás különösen nagyobb sebességeknél (60 km/óra és fölötté) jelentős mértékben növeli az üzemanyag fogyasztást. Ez már a gépi meghajtású járműgyártás korai szakaszában elindította az áramvonalazást és ezzel a légellenállási tényező csökkentését. A légellenállás csökkentésében kiemelkedő szerepe volt az 1940-es években a magyar származású Járaynak és a vele versengő Kammnak. A légellenállás csökkentésének eredményeit a 20. század első felében a 8. ábra foglalja össze [10]. A XXI. század gépkocsijai is nagyjából az elért  $c_x = 0,25$ ;  $0,3$  szintet tartják.

Kevésbé tartják számon a légáramlásból keletkező felhajtó erőt, ill. az oldalszél hatását, pedig a jármű menetstabilitása szempontjából fontos szerepe lehet, hiszen nagy értéknél hatástalanná válhat a kormányzás, ill. a fékezés. Ugyancsak fontos a karosszéria körül kialakuló áramlásban a légnyomás eloszlása, hiszen friss levegőt a túlnyomásos helyeken célszerű bevezetni az elhasznált levegőt pedig a szívás csúcsoknál kell kiengedni. Ezek a szempontok a formatervezést fokozatosan eltolják a művészet területéről a kísérletező és számításokat végző mérnök területére.

Szelesebb vidékeken az oldalszél a járművek stabilitásvesztését, szerencsétlen esetekben felfordulását is okozhatja. A jármű magasságának csökkentése, a súlypont alacsonyabbra vitele és keresztirányban kedvező

aerodinamikai forma együtt jelentős javulást hozhat a keresztirányú stabilitásban.

Végezetül foglalkoznunk kell a menetszél által felkavart por-ill. sárlerakódás meggátlásával. A kocsiszekrény két oldalán keletkező örvénycsik a hátsó tengely mögötti karosszéria felületre, elsősorban a hátfalra viszi fel a port és sárat. A hátfal lépcsőzése kissé csökkenti az üveg piszkolódását, de kombi kivitelben hátsó ablaktörlő lapát nélkül a kilátás erősen gátolt.

*Gépészeti egységek elhelyezése:* A formatervező és a járműtervező mérnök között a legtöbb vitát a hajtáslánc (motor, sebességváltó, kardántengelyek, futóművek) és a segédberendezések (hűtő, akkumulátor, üzemanyagtartály, kompresszor, légtartályok, stb.) elhelyezése váltja ki. Ezek a berendezések nemcsak helyigényükkel, hanem zajukkal és hőtermelésükkel is zavarhatják a harmonikus belső tér kialakítását. Mivel ezek döntő többsége kereskedelmi forgalomból, vagy a járműgyártó cég más gyáregységéből származik, a formatervező legtöbbször kénytelen alkalmazkodni az adottságokhoz és elfogadja változtathatatlanul [8].

*Erőtani szempontok és korlátok:* A építész- és építőmérnöki gyakorlatban a szerkezet főbb vonalait-szépségét az erőtani szempontok határozzák meg. Egy-egy erőtanilag helyesen kialakított lánc- vagy kábelhíd, esetleg ívhíd még a laikus szemlélőben is helyes erőtani képzetet kelt. A hidak esztétikai megformálása a statikai megfontolások alapján természetesen „egyszerű”, hiszen a hidaknak „egyetlen” fő terhelésük van, az önsúlyuk és a rajtuk áthaladó súlyos járművek függőleges irányú erőinek elviselése.

Természetesen ez a teher is különféle elrendezésben valósulhat meg, kábelhidaknál számottevő oldalirányú szélterhelés is előfordulhat, de ezek változatossága össze sem hasonlítható az egyenlőtlen úton különféle sebességekkel haladó, esetenként kanyarodó, fékező, gyorsító jármű teher eseteinek sokféleségével. A baleseti viselkedés analízisének (ütközés, borulás) hidaknál szóba sem kerülhet.

Az önhordó járművek (az alvázak nem tartoznak a formatervezők illetékességébe) erőtanilag hangsúlyozott formatervénel két fő igénybevétel szoktunk számításba venni:

- hajlítást, melynél az egész jármű függőlegesen terhelt kéttámaszú, konzolos tartó;
- csavarást, melynél a jármű négy kerekének talppontja nem ugyanabban a síkban helyezkedik el.



9. ábra: Finta László tervezte az 1959-es Ikarus 303-as karosszériáját

A hajlító igénybevételt az önhordó karosszéria oldalfalai viselik el, a tető és padló szerkezet a felső és alsó öv keresztmetszeteit egészíti ki. Az ablakok teherviselő szerepe beépítési módjuktól függ (beragasztott kivitelben képesek nyírőerőket felvenni, eltolható kivitelben nincs teherviselő szerepük). Az ilyen hosszú konzolos tartóknál a karosszéria terhelt alakja többnyire felülről domború, ezért a végeken elhelyezett egy-egy erős ablakoszlop közötti tető, mint vonórúd csökkenti a kocsiszekrény meggömbülését. Az IKARUS buszok jellegzetes oldalnézeti képe ezt a vonórudas konstrukciót hangsúlyozta [3].

A csavaró igénybevétel felvételére szolgáló legkedvezőbb alak a zárt cső keresztmetszet, ezt a formát a tartálykocsik ideálisan, a dobozszerkezetek pedig minden tekintetben kielégítően megvalósítják, külön formai elemek alkalmazása szükségtelen.

A szerkezeti részletekben szükség lehet a nagy koncentrált erők (rugóbekötések, motorágyazás, stb.) bevezetésének, vagy pl.: a lökhárítók erőtanai hangsúlyozására, bár ezek az erőbevezetési pontok a lökhárítók kivételével többnyire a kocsiszekrények nem látható, elburkolt szakaszain találhatók. Ugyancsak erőtanai megfontolásokból – a kihajlási veszély elkerülése érdekében – bordáztuk meg az IK303-as héjszerkezetű autóbusz mellöv alatti részének nyomott oldalát [6, 7]. Ez a bordázott sáv a formaterv hangsúlyos részévé vált, egyúttal egységbe foglalta a mellő és hátsó lámpatesteket, optikailag meghosszabbította a viszonylag rövid járművet, megteremtette a homlok- és hátfal harmonikus illeszkedését (9. ábra).

*Technológiai szempontok:* A formatervező munkáját talán leginkább a karosszéria építésben felhasznált szerkezeti anyagok befolyásolják. A járműgyártás kezdeti szakaszában használt fa vázszerkezet és furnélemez borítás (a sarkok lekerekítése a formára gyalult vázelemekkel nem tekinthető a mai sajtolt fémelem építés térben görbült felületével egyenértékűnek. Ilyen sík, vagy egyszerűen görbült felületekből összeállított kocsiszekrény jelenleg főleg a haszonjármű iparban szokásos. A vasúti kocsik, zárt felépítményű tehergépkocsik, a tartálykocsik zöme még fémből is síkba kiteríthető felületekkel készülnek.

A felhasználható szerkezeti anyagon kívül a kocsiszekrényt gyártó vállalat technológiai felszereltsége, munkásainak

képzettsége is korlátozhatja a formatervező művész fantáziáját. A hatás azonban nem egyoldalú, a formatervező igényeivel elérheti a vállalat technológiájának fejlesztését, új anyagok, vagy új berendezések beszerzését, a szakember gárda kiegészítését. A formatervező és vállalatvezetés vitáját ilyenkor az elérhető gazdasági siker, vagy sikertelenség mértéke dönti el.

### 3. JÁRMŰKONSTRUKCIÓN

A karosszéria tervezésénél alapvető szempontok az arányok, a szimmetriák megtartása, vagyis a jármű esztétikai megjelenése. A *tükrös szimmetria* közismert, nagy esztétikai jelentőségű, járműveknél egyszeres szimmetria sík jelenik meg. Ez két félszerkezetre bontja a konstrukciót, így két részre bontja a számításokat is, felezve a méreteket és negyed munkát igényel a tervezés során. Emellett egyszerűsíti a szerszámkészítést és azonos elemek használatát teszi lehetővé, így téve egyszerűbbé és költségtakarékosabbá a gyártást. Antimetrikus esetben szintén félszerkezetről beszélünk előjelcsere alkalmazásával.

Az *eltolási szimmetria* ritmikus megjelenést kölcsönöz, ahol azonos keresztmetszetei, bordák vesznek részt a konstrukcióban (gondoljunk csak a létraalvázas járművekre!). Ekkor ismétlődésről beszélünk, tehát számos esetben elég egy szektor egyenletének analízisére a számításokhoz.

A *síkból álló lapszerkezetek* vizsgálata nem közismert, ezért most ezzel foglalkozunk. A járművek karosszériája jó közelítéssel síklapokból épül fel. Nyilvánvaló, hogy a síklap a saját síkjában sokkal merevebb, mint arra merőleges irányban. Pont ezt a tulajdonságot kell ilyen szerkezeteknél kihasználni. Dobozszerkezet a teljes terhelést fel tudja venni, ha a terhelések csak élben működnek. Azt is mondhatnánk, hogy a síkbeli hálózatos szerkezetek két ortogonális csoportra bonthatók szét. Az egyik csoportba a síkra merőleges terhelések tartoznak, míg a másikba a síkban ébredő terhelések tartoznak. Mi a továbbiakban csak a második ortogonális csoporttal fogunk foglalkozni mivel az első csoportot jó közelítéssel zérusnak tekintjük. A terhelő erők csak a saját síkban hatnak, ezért a szerkezet szétbontható síklapokra, amely külön lapok vizsgálatát teszi lehetővé. Korábban a járműveket kizárólag súlyerőkre méretezték, a kereszt- és hosszirányú erőhatásokkal nem foglalkoztak. Az ezekből keletkező igénybevételek azonban a súlyerőkkel azonos nagyságrendűek, jelentős feszültséget okozhatnak a szerkezetben, így azokat nem hanyagolhatjuk el. Lásd a Tacoma-híd katasztrófáját, ahol tervezéskor a keresztirányú szélből adódó terheléssel nem foglalkoztak. (10. ábra)

*Schwyz*er (1927) rácsos síklapokkal határolt szerkezetekkel foglalkozott, kidolgozta az élmenti erők módszerét, vizsgálta a rácsos hidak vízszintes és keresztirányú terhelését. *Schwyz*er az Euler-féle poliéder-tételből kimutatta, hogyha csak élben tudnak erőt átadni a síklapok, akkor annyi egyensúlyi egyenlet írható fel, amennyi a síklapokkal határolt test élének

és térbeli statikailag határozott megtámasztásának megfelelő [11].



10. ábra: A Tacoma-híd katasztrófája

Az 1970-es években *Pawlowski* egy egyszerűsített felület szerkezet tervezési módszert (*Schwyzertől* függetlenül), a síklapos tervezési módszert (SSS - Simple Structural Surface) próbálta bevezetni [9]. Az SSS módszer elvi igazolását azonban nem dolgozta ki.

#### 4. JÁRMŰSZERKEZETEK ELEMZÉSE

Amikor az első autók feltűntek az utakon, karosszériájuk az évszázadok alatt megismert eljárásokkal készültek. Később a figyelem teljesen új kihívások – úgymint a kevésbé ismert mechanikai komponensek, pl.: motorok, sebességváltók, fékek stb. – felé terelődött.

A gyártás növekedése a 30-as években változást hozott az acélvázak irányába, amely egy sor problémát okozott. Az első nehéz kérdés az volt, hogy lehet hajlított felületeket és a peremüket kihúzni. A válasz a szobrászathoz hasonlóan a kézzel készített mestermodelleknél keresendő, de nagyon nagy pontossággal a présmunka kritériumainak megfelelően. Ezzel párhuzamosan számos grafikai és időrabló módszer került kidolgozásra a vonalvezetés és az illeszkedés miatt. A következő nehézség az ötvenes években jelent meg. Nem tudták, hogyan számítsák a járműkarosszériában ébredő feszültségeket, alakváltozásokat két, egy időben felmerülő, egymással ellenkező igény esetén (minimális tömeg, nagy teherbírás) fenntartva az egész jármű biztonsági és tartóssági követelményeit. A szükséges adatok számítása nem volt lehetséges a több ezerszeres redundancia és az ezzel együtt megjelenő nagyszámú egyenlet miatt, amelyek számítása logarléccel és számológéppel lehetetlen. Megoldást jelentett a tesztelés, a mérés a különböző statikus, pl.: hajlítás, csavarás és dinamikus igénybevételekre. A 70-es években felmerült az ütközési energia elnyelésének kérdése, amelyet szintén tesztek (fenék-, tető-, homlok-, hátfal) segítségével vizsgáltak, pl.: lengőpad.

Az összes fent említett módszer nagyon költséges és időigényes volt, amely számos prototípus meglétét kívánta meg. Érthető, hogy azok a módszerek, amelyek kész szerkezetet, prototípust igényelnek nem használhatók tervezési módszerként. Egy tervezési módszer egyszerűbb

eljárást igényel. Ez egyértelműen rámutatott arra, hogy a járműgyártás során a karosszéria tervezése és fejlesztése kritikus szerepet tölt be.

A 60-as, 70-es években a számítógépek megjelenése, illetve a véges elemes számításon és a mátrix jelölésen alapuló szerkezetelemzés fejlődése lehetővé tette a 80-as években minden szükséges paraméter könnyű számítását. A grafikus számítógépes felületek segítségével rögtön láthatóvá vált az eredmény és a CAD/CAM technika megteremtette a gyártás előkészítésének lehetőségét. Összességében lehetségessé vált a merevség, a globális és a részleges rugalmasság minden statikus és dinamikus problémájának kezelése, ha a szerkezet már létezett, de ez ellenőrzés és nem tervezés.

#### 4.1 Egyszerűsített felület szerkezet (Simple Structural Surface – SSS)

A kezdeti tervrajz alapján egy felületi modell létrehozható számos vékony falú elemmel, amely már alapjaiban meghatározza a járműkarosszéria szükséges szerkezeti és funkcionális felületeit, továbbá sokkal közelebb áll a véges elemes modellhez és a gyártáshoz. A felület szerkezet modell nagyon egyszerű és minden külső, helyi terhelés szemléltethető egy struktúrában - mellőzve minden szükségtelen elemet -, amely egy kiinduló szerkezeti terv megjelenítését teszi lehetővé. Ez minden szempontból kétségtelenül nagy előny főleg a várható energiatakarékos járművek generációja miatt.

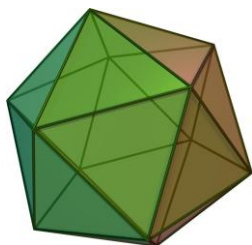
Az SSS módszer minőségében különbözik a többi egyszerűsített módszertől, amelyeket a járműszerkezetek előzetes tervezése során, illetve már létező kocsiszkevény elemzésekor használtak. Az SSS gyors számítással rövid időn belül bemutatja a teherhordó szerkezetek viselkedését az egyszerű felületek között. Az SSS bizonyos egyszerűsítéseken felületek definícióján és kölcsönhatáson alapszik. Egy szerkezeti elem akkor SSS, ha kellően merev és nem labilis a saját síkjában (pl.: csuklós négyszög, merevítés nélküli kivágás). A módszer elhanyagolja a saját merevítőt és csak a fő merevítésekkel számol. A saját merevítés a síkra merőleges erőterhek átvitelének tartója. Az egyes lapok között csak nyíróerő adható át, nyomatékátvitelhez járulékos felület kell. Ilyen járulékos felület kell a síkra merőleges és a síkon kívül működő párhuzamos erő bevezetésére. A síkkal párhuzamos külpontos erő nem szerepel, ha van, akkor átvezető elemre van szükség [9].

#### 5. SÍKLAPOKKAL HATÁROLT, ZÁRT DOBOZSZERKEZETEK

A továbbiakban egyesítjük *Schwyzert* eljárását és az SSS módszert. A kocsiszkevények többsége zárt dobozszerkezetnek tekinthető, a belső tér az áru, vagy utas fogadására szolgál, a teherviselést az esetleges alváz mellett a doboz falaira (és tető-, valamint padló-szerkezetére) bízzák. A továbbiakban a dobozt határoló összes felületet lapoknak



nevezzük. Áramlástani és esztétikai okokból a határoló lapok többnyire enyhén íveltek, de ettől a kismértékű íveltségtől az előzetes erőtani vizsgálatokban eltekinthetünk, és jó közelítéssel síklapokkal határolt poliédereknek modellezhetjük a karosszériákat (11. ábra).



11. ábra: A konvex ikozaéder eleget tesz az Euler-poliédertételnek

A véges elemes számítások elterjedése előtt számos esetben megelégedtek a jármű két oldalfalának erőtani vizsgálatával, a többi lap (tető, padló, homlok- és hátfal) szerepét nem vizsgálták, ami ma szigorúan függőleges súlyteher esetében még közelítésként elfogadható, de az általánosított külső terhek esetében (inercia erők, kinematikai terhek, kanyarodás, csavarodás stb.) már nem.

Az általánosított külső terhek viselésében a teljes dobozszerkezet részt vesz, tehát az összes lapját vizsgálunk kell. A síklapokkal határolt zárt doboz szerkezetek erőjátékát Schwyzer oldotta meg még az elmúlt század első felében arra az esetre, ha a doboz lapjai külön-külön ideális síkbeli, statikailag határozott rácsos tartóknak tekinthetők. Az általa kifejlesztett „élmenti -erők módszere” kiterjeszhető olyan dobozokra is, melyeknek lapjai statikailag határozott merevített membrán héjaknak (a karosszériás szaknyelven lemezelt tartóknak) modellezhetők. Némi elhanyagolással az eljárás használható akkor is, ha az egyes lapok síkbeli keretszerkezetek (héj, rács és keretszerkezet kombinációja). Ez utóbbiaknál a közelítő modell geometriai méreteinek meghatározása okoz gondot.

## 6. A LAPOK SZERKEZETÉRŐL

### 6.1 Síkbeli rácsos tartók

Az ideális síkbeli rácsos tartók egymáshoz csomópontban ideális, súrlódásmentes csuklókkal csatlakozó – csak húzást, vagy nyomást felvevő – rudakból állnak. Külső terhelést csak a saját síkjukban és csomópontjaikon kaphatnak. Csomóponton kívül támadó, egyébként a szerkezet síkjában ható erők csak átviteles tartókkal közvetíthetők többnyire a szomszédos csomópontokra. A rudak keresztmetszeti méretei hosszukhoz képest elhanyagolható (még inkább elhanyagolható a lap befoglaló méreteihez képest). Ezért a rácsos szerkezet hálózatának befoglaló geometriai méretei elfogadhatóan megközelítik a tényleges doboz szerkezet megfelelő befoglaló méreteit. A síkbeli rácsos szerkezet a

hozzá csatlakozó lapokról csak a csatlakozó (közös) élben kaphat terhet. Az élben elhelyezkedő rudak mindkét szomszédos síkbeli rácsos szerkezetnek részei. Az ilyen közös rudakban keletkező végleges rúderő a két szomszédos lapon kiszámított rúderők előjeles összege.

### 6.2 Síkbeli merevített membrán héjak (lemezelt tartók)

Az ideális síkbeli merevített membránhéj merevítőiben – az ideális rácsos tartókhoz hasonlóan – csak normálerők (húzás vagy nyomás) ébredhet a külső terhelésből, míg a membrán héjban tiszta nyírást tételezünk fel. Ha a merevítők derékszögben keresztezik egymást (azaz a lemezmezők derékszögű négyszög alakúak) és a külső teher kizárólag a merevítőkre merevítő irányban működhet, akkor a tiszta nyírást egy-egy membránmezőn belül állandó és a határoló merevítőben a normálerő két szomszédos csomópont között lineárisan változik.

Trapéz alakú membrán mező párhuzamos oldalai mentén a nyírást közelítőleg állandó, a nem párhuzamos oldalak mentén azonban változik, ezért a nem párhuzamos oldalakhoz csatlakozó merevítőben a normálerő nemlineárisan változik. (Közelítő számításokban megelégszünk az átlagos nyírófeszültségből számítható lineárisan változó normálerővel.)

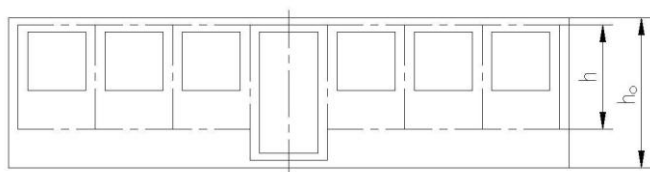
A merevített membránhéj teljes analógiát mutat az ideális rácsos tartókkal. A merevítők alkotják a szerkezet övrudjait és oszlopait, a membránhéjak pedig „megoszló” rácsrudaknak (átlóknak) tekinthetők. A külső terhek kizárólag csomópontokban működhetnek. Az övrudak (merevítők) itt is mindig két szomszédos lapnak az elemei. Bennük a végleges normálerő a két lapon külön-külön számított erők előjeles összege.

A doboz befoglaló méretei és az egyes lapokat alkotó membrán héjak befoglaló méretei – a merevítők kis keresztmetszeti méretei miatt – elfogadható mértékben megegyeznek.

### 6.3 Síkbeli keretszerkezetek

Síkbeli keretszerkezeteknél a keretszerkezetet alkotó rudak keresztmetszeteinek súlypontjait összekötő vonalhálózat és a keresztmetszetet egyik főtengelye közös síkban helyezkedik el, esetünkben a dobozt határoló lap síkjában. Ha dobozszerkezet két szomszédos lapja egyaránt keretszerkezet és a lapok hajlásszöge nem derékszög, akkor csak speciális övrudakból lehetséges síkbeli keretszerkezeteket alkotni, melyeknél a keresztmetszet két fő másodrendű nyomatéka egymással megegyezik, egyúttal bármely súlyponti tengely főtengely.





12. ábra: Vierendeel-tartó

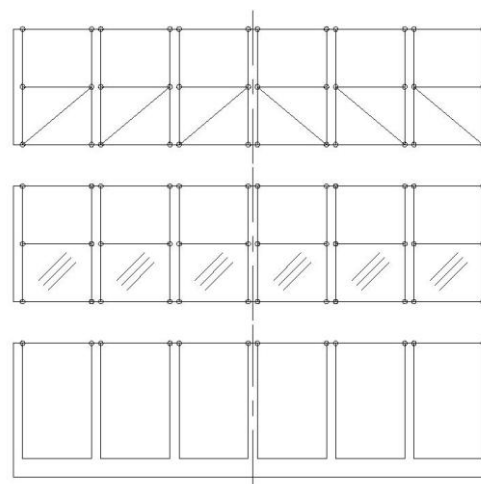
Vasúti személykocsi erőtani vizsgálatában a kocsiszekrény oldalfalait Vierendeel-tartóként szokták modellezni (sík keretsor). A Vierendeel-tartó mezőnként statikailag háromszorosan határozatlan szerkezet. Általános esetben a kompatibilitási egyenlet széles sávú, 9 ismeretlent tartalmaz egyenletenként, de *Sutter* törzstartójával ez 5-re redukálható [12]. Önmagában a Vierendeel-tartós modell nem kifogásolható a kocsiszekrény súlyteherből keletkező hajlításának vizsgálatára, de átlós feltámaszkodásból keletkező csavarásra, vagy kanyarmenetnél keletkező keresztirányú terhekre már a doboz többi lapját is vizsgálnunk kell.

Ilyenkor a doboz befoglaló méretei és az oldalfalakat modellező Vierendeel-tartó fő méretei már jelentősen eltérnek egymástól (12. ábra). Az ábrán  $h_0$  jelzi a doboz aktuális befoglaló méretét (a padló és a tető távolságát) míg  $h$ -val jelöltük az oldalfalat modellező Vierendeel-tartó magasságát. Előzetes közelítő számításokban a  $h_0$  mérettel számolhatunk, ha  $(h_0-h)/h_0$  relatív eltérés kisebbre adódik 10%-nál. Ilyen keretek fordulnak elő zárt felépítmények ajtóval ellátott hátsó falain. A két méret közötti különbség az oldalfalakon azonban elérheti a Vierendeel modell magasságának akár az 50%-át. Ekkora geometriai eltérést még durva közelítő számításban nem engedhetünk meg.

#### 6.4 Vegyes szerkezetű lapok

A dobozszerkezetek lapjai az előzőekben felsorolt (rácsos-, membránhéj-, keret-szerkezet) egységes felépítés helyett esetenként vegyes szerkezetekből is állhatnak. Az ilyen vegyes szerkezetek esetenként előnyösebbek az egyes lapok funkciójának a megvalósításában. Különösen sok fajta vegyes szerkezetű modellt használtak a könnyű vasúti kocsik (városi villamos) tervezésekor.

A városi villamosok oldalfalainak keresztmetszete jellegzetesen hajlításra igen lágy felső övből és egy nagyságrenddel/ekkel merevebb alsó övből épül fel. Kézenfekvő a felső öv hajlító merevségétől eltekinteni, és csak húzást, ill. nyomást felvevő rúdnak tekinteni. A modell oszlopai hajlító merevek, az alsó öv lehet hajlító merev gerenda, de akár membrán héjből, akár rács rudakból is felépíthető (13. ábra).



13. ábra: Városi villamos oldalfalak

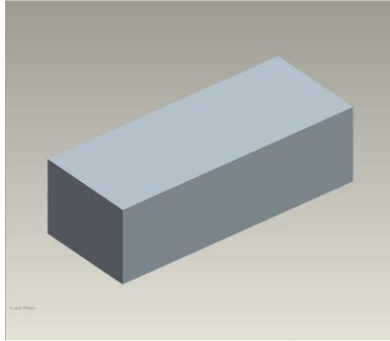
Az oldalfal felső öve csak húzást, ill. nyomást felvevő rúd, az oszlopok hajlító merevek, az alsó öv többféle módon modellezhető. Az ablakok nem vesznek részt a teherviselésben. (régében többnyire leereszthető ablakokat építettek a villamosokba). Az oldalfal erőtani vizsgálatát elsőként *Bieck* végezte el, (az eljárás a vasúti kocsik irodalmában *Bieck*-módszer néven terjedt el) az erőmódszeres feladat megoldása során ablakmezőnként egy ismeretlent tartalmazó könnyen kezelhető kontinuáns mátrix-együtthatóval rendelkező egyenletrendszerre jutunk [1].

*Bieck* módszerét *Fabry* fejlesztette tovább [4], modelljével az alsó övhöz képest közepes hajlító merevségű (a felső öv legfeljebb egy nagyságrenddel lágyabb az alsó övnél) oldalfalak erőjátékát lényegesen jobb közelítéssel határozhatjuk meg. Az igénybevételek eloszlása különösen az oszlopok felső végeinek környezetében közelít a tényleges erőjátékhoz.

A vegyes szerkezetű lapok tárgyalásakor foglalkoznunk kell az ablakok szerkezeti kiviteleivel és azok mechanikai modelljeivel is. A járműépítésben használt „klasszikus” modellek (*Sutter*, *Fabry*, *Bieck*) az ablakmezőket szerkezet nélkülinek tekintik (csak az oszlopok és az ablakot határoló övek vesznek részt a teherviselésben). Nyitható, eltolható ablakok esetén ez a modellezés elfogadható. Az utóbbi időben elterjedő mozdíthatatlan (beragasztott) ablaküveg azonban már részt vesz a teherviselésben. Legegyszerűbb az ilyen beragasztott üvegezésű sávokat membrán héjnak tekinteni, természetesen a mechanikai anyagjellemzőket az üveg (vagy az ablakként felhasznált műanyag) tulajdonságai alapján kell megválasztani. Külön kérdés a fém oszlop és öv, valamint az üveg közötti ragasztó réteg viselkedése. Széles és igen vékony ragasztócsík (esetleg külső fedőlemez) esetén a fémszerkezet és üveg együttműködése – különösen a tervezés során végzett előzetes szilárdsági számításokban – feltételezhető, ellenkező esetben az ablakoszlop és az üveg egymástól függetlenül deformálódhat a külső teher hatására [5].

A vegyes szerkezetek további lehetőségei fordulhatnak elő nem erőzáró ajtónyílásoknál. Ennek jellegzetes példája a zárt

vasúti teherkocsik közép ajtója. A dobozt határoló síklapokat kiegészítő szerkezetekre nem csak az ajtó kivágás miatt lehet szükség, hanem nagyobb koncentrált erők (pl.: reakcióerők) lokális bevezetésében is nélkülözhetetlenek.



14. ábra: A legegyszerűbb dobozszerkezet

## 7. DOBOZ SZERKEZETEK ERŐJÁTÉKA

Vizsgálatainkban néhány előzetes feltételt alkalmazunk az alapvető összefüggések bemutatására. E feltételek egy része a valódi szerkezeteknél nem, vagy csak közelítőleg teljesül. Ilyen esetekben az erőjáték bonyolultabb, de a későbbiekben tárgyalandó kiegészítéssel többnyire még elemi úton kiszámítható.

Feltevéseink a legegyszerűbb dobozszerkezetre (14. ábra):

- A zárt tér síklapokkal határolt.
- Az egyes lapok a saját síkjukban kellő merevségűek, síkjukra merőlegesen viszont teljesen lágyak.
- A dobozszerkezet megtámasztása statikailag határozott (térben elhelyezkedő hat lineárisan független támaszerő).
- A doboz sarokpontjaiban legfeljebb három él találkozhat, s az élek összefüggő gráfot alkotnak.
- Az egyes lapok szerkezete statikailag határozott.
- A külső terhelő erők (beleértve a megtámasztásokban keletkező reakcióerőket is) csak az egyes lapok síkjában működhetnek. Az éleket metsző külső erőket a lapokra ható komponenseikkel helyettesítjük.
- Az él hatásvonalaiba eső erőt, az élben található két lap bármelyikéhez hozzárendelhetjük. A hozzárendelést a számítás során következetesen megtartjuk.

Ismeretes az egyszeresen összefüggő, síklapokkal határolt testek „c” csúcsai „e” élei és „l” lapjai közötti Euler-összefüggés:

$$c + l = e + 2$$

Ha egy csúcsban megszorító feltételeink szerint csak három él található, akkor

$$2e = 3c$$

Mivel minden csúcsból 3 él indul és minden él két csúcsot köt össze. Az Euler-összefüggésben fejezzük ki a csúcsok számát az élek számával:

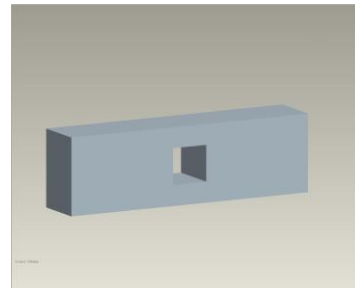
$$2/3 e + l = e + 2$$

Rendezve:

$$e + 6 = 3l$$

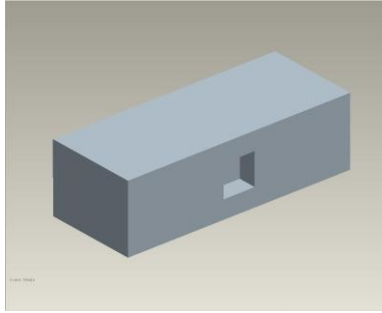
Az erőjáték tisztázásához minden síklapra 3 független egyensúlyi egyenlet írható fel, így az egész szerkezet egyensúlyára  $3l$  egyenletet nyerünk, melyből a statikailag határozott 6 támasz erő és az életben működő lapok közötti kapcsolati erő, az ún. élmenti erő kiszámítható. Az élmenti erők ismeretében az egyes lapok igénybevétele már egyszerű sík feladatként meghatározható. Az élmenti erők hatásvonalai ismertek (az egyes élekben helyezkednek el), támadáspontjukat tetszőlegesen választhatjuk meg, de ha a két csatlakozó lap egyikén rögzítettük a támadáspontot, akkor a másik lapon ugyanazt a pontot kell választanunk. Az élekben elhelyezkedő közös rudakban keletkező rúderők a két csatlakozó síklapon számított rúderők előjeles összege, ezért tetszőleges az élerő támadáspontjának kijelölése.

Bonyolultabb, síklapokkal határolt tartóknál néha nem elegendő az élek és a lapok számai alapján eldönteni az élmenti erők használhatóságát, hanem meg kell vizsgálni az egyes lapok várható alakváltozását, illetve az élek elhelyezkedését is.

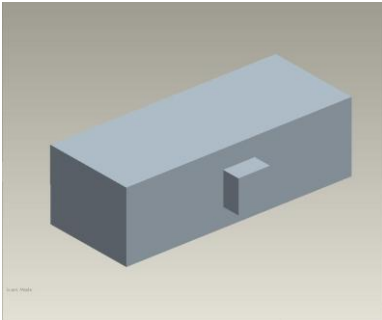


15/a ábra: Nyílással áttört hasáb

Tekintsük például a 15/a ábrán látható, nyílással áttört hasábot. Az élek, lapok és csúcsok számai látszólag eleget tesznek az Euler-összefüggésnek, de a test kétszeresen összefüggő, az élekből képezhető gráf két, nem összefüggő részre bontható, ezért nem érvényes a szerkezetre a 6 szabad külső megtámasztást feltételező egyensúlyi egyenletrendszer. A hasábot áttörő négyszög cső két vége két átellenes párhuzamos oldalfal középső részéhez csatlakozik, és e két lap nem képes saját síkjára merőleges irányú erők felvételére. A szerkezet tehát labilis, statikailag határozottá három alkalmasan elhelyezett további 3 külső támasz, vagy alkalmasan megválasztott 3 belső térátló segítségével tehető. Részletesebb vizsgálatok alapján a 6 külső támaszú, térátló nélküli, labilis szerkezet az élmenti erők szempontjából egyidejűleg statikailag határozatlan.



15/b ábra: Dobozszerkezet belső konzollal



15/c ábra: Dobozszerkezet külső konzollal

A 15/b és c ábrán a hasábot az egyik lap közepén egy síklapokkal határolt bemélyedő belső „konzol” (15/b) illetve egy külső konzol (15/c) egészíti ki. A lapok, csúcok és élek száma nem elégíti ki az Euler-összefüggést, mivel az élek alkotta gráf nem összefüggő. A lapokra felírható egyensúlyi egyenletek is az élerőkön és a statikailag határozott 6 támaszerőn kívül további 3 szabad ismeretlent tartalmaznak, melynek meghatározásához további 3 külső megtámasztást, vagy belső térátlót kell a szerkezetbe építenünk. Az a lap, melyre a konzolt építettük, saját síkjára merőleges erők felvételére nem alkalmas, a sík belső pontjai saját síkjukra merőlegesen ellenállás nélkül elmozdulhatnak, a szerkezet 3-szorosan labilis.

A legtöbb kocsiszekrény jó közelítéssel egyszerű hasáb, ezért – különösebb vizsgálat nélkül – eleget tesz az előzőekben felsorolt feltételeknek. Az Euler-összefüggés alapján az egyes lapokra felírható lineáris egyensúlyi egyenletekben 3/ ismeretlen szerepel. Egy négyoldalú hasábot tekintve ez összesen 18 ismeretlen. Előzetes számításokban némi nehézséget okoz egy 18 ismeretlenes egyenletrendszer felállítása és megoldása is, ezért célszerű a számítási eljárást egyszerűsíteni.

A statikailag határozott 6 reakcióerőt pl.: az élmenti erőktől függetlenül a teljes dobozszerkezetre felírható 6 egyensúlyi egyenletből külön is kiszámolhatjuk. Célszerű ehhez a vetületi egyenletek helyett is alkalmasan választott tengelyekre felírható nyomatóki egyensúlyi egyenleteket választani, így elérhetjük, hogy a 6 ismeretlenes egyenletrendszer helyett, 6 db egy ismeretlenes egyenlet kell csak megoldanunk. A reakcióerők ismeretében az élmenti

erők egy különválasztott egyenletrendszer (négyoldalú hasábnál 12 ismeretlen) megoldásaként számíthatók.

Az utóbbi egyenletrendszer is nagymértékben egyszerűsíthető, ha a hasábon található olyan lap, melyre sem aktív, sem reakcióerő nem hat. E külső erővel nem terhelt lapra csak az azt határoló lapokból származó négy élmenti erő hat, mely a teljes szerkezet egyensúlya miatt csak egyensúlyi erőrendszer lehet. Az így kiválasztott lapra felírt egyensúlyi egyenletek négy ismeretlenjét egyetlen ismeretlennel kifejezhetjük és ezzel redukáltuk a független ismeretlenek számát.

### 7.1. Eltérés a feltételektől

#### 7.1.1 Egyes csúcokban több mint 3 él találkozik

Amíg csúcsonként 3 él találkozik, addig az adott csúcokban összefutó överők zérus nagyságúak, ill. az adott csúcson ható külső terhelő erővel tartanak egyensúlyt. Háromnál több él egy csúcban találkozásakor – külső terhelőerő nélkül is – különbözhetnek az adott csúcba összefutó överők zérustól. Ilyenkor a 3-nál több fölös överők szabad ismeretlenként vehetők fel és a maradék 3 överő ezek függvényében a csúcra felírható 3 vetületi egyensúlyi egyenletből számolható. A felvett szabad ismeretlenek természetesen növelik az összes ismeretlen számát. Az élmenti erők és a fölös överők élesen megkülönböztetendők. Az élerők támadáspontját az adott él bármely rögzített pontjában felvehetjük, hatásuk a két csatlakozó lapra az akció-reakció alapján ellentétes. A fölös överők reakcióerői a csúcban összefutó maradék 3 övben keletkeznek.

#### 7.1.2 A szerkezet statikailag határozatlan

Külső határozatlanság: A statikailag határozott, lineárisan független 6 támasz mellett a járműveknél gyakori további támaszok használata. Ilyen például a négy kerék függőleges irányú reakcióereje, vagy fékezéskor mind a 4 keréken keletkező menetirányú fékerő stb. Ezek az erők közvetlenül a futóművekre hatnak, és a futómű felfüggesztési szerkezetén keresztül adódnak át az alvázszerkezetre, vagy közvetlenül a dobozszerkezetre.

Elvileg a feladatot a határozatlan szerkezet szokásos számításával (pl.: erőmódszerrel, vagy mozgásmódszerrel) kell megoldani, ez azonban még kis határozatlansági foknál is igen munkaigényes.

Közelítő számításban azonban nagymértékben egyszerűsíthetjük a feladatot.

A járművekre épített rugókhöz és gumiabroncsokhoz képest az alváz ill. a dobozszerkezet és a futómű váza jó közelítéssel merevnek tekinthető, így a felépítmény és a futómű - első közelítésben - sem a külsőterhek, sem a statikailag határozatlan erők (egységterhek) hatására nem deformálódik. Sík pályán álló, vagy mozgó jármű esetében a statikailag határozatlan reakcióerők – a teher és szerkezet szimmetriáját kihasználva – többnyire elemi úton is meghatározhatók. Egyenlőtlen pályán a négy kerék talppontja már nem esik egy közös síkba, ilyenkor az elemi erőeloszláshoz egy további egyensúlyi csavaró terhelés járul, melynek nagysága az ütegyenlőtlenesség mértékétől függ. Meg kell jegyeznünk, hogy



a fékerők megoszlása a négy keréken a kerekek alatti pálya minőségétől is erősen függ (helyi jegesedés, vizes pálya), így önkényes felvételük még elfogadhatóbb az előzetes számításokban.

**Belső határozatlanság:** A dobozszerkezet belső határozatlansága előállhat a dobozon belül beépített tératlók, vagy a dobozszerkezet egyes lapjain található statikailag határozatlan tartóelemek következtében. Bármelyik esetet vizsgáljuk a fölös kapcsolatok gondolati átmetszéseiben működő egységterhelések egyensúlyi erőrendszert alkotnak és belőlük így a feltételezett külső határozott megtámasztásokban reakcióerők nem keletkeznek. A statikailag határozatlan mennyiségek meghatározásához elegendő a dobozszerkezettel foglalkozni. Fölös tératlóban működő egységterhelésből éle menti erők is keletkeznek, így a kompatibilitási egyenlet felállítása meglehetősen munkai igényes.

Egyszerűbb a feladat, ha a statikai határozatlanság a dobozszerkezet lapjain fordul elő. Egyetlen lapon az egységterhelések a lap síkjában működő egyensúlyi erőrendszereket alkotnak és így belőlük éleerők sem keletkeznek. A terhelési tényezők számításánál az élben elhelyezkedő rudak rúd erejét a teljes térbeli szerkezetre kiszámolt végleges értékkel kell figyelembe venni.

Ha szomszédos lapokon egyaránt határozatlan szerkezetet építünk be, akkor a két lap kompatibilitási egyenlete csak akkor marad független, ha a határozatlan kapcsolat elegendően távol van egymástól (a határozatlan mezőknek nincs közös rúdjuk).

### 7.1.3 A külső erők nem közvetlenül a doboz lapjainak a síkjában hatnak

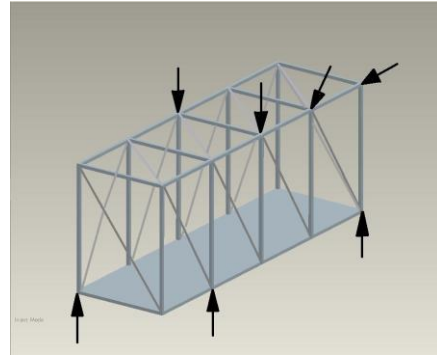
A doboz határoló lapjainak síkján kívüli és a vizsgált lapokkal párhuzamos erők, valamint az egyes lapok síkjára merőlegesen ható erők már nem egyszerű számítási, hanem valóságos szerkezeti (konstrukciós) feladatot jelentenek. Ilyen erők bőségesen előfordulnak a jármű szerkezeteknél, ráadásul többnyire a legnagyobb abszolút értékű jellegzetesen koncentrált terhek az előidézői. Közéjük tartoznak a kerékelfüggesztéseken keresztül a kerekekre ható reakcióerők hossz-, kereszt- és függőleges irányú komponensei, a kocsiszekrény padlóján elhelyezett áru, vagy utas súlyereje, a nagyobb gépészeti főegységek súly- és tömegereje stb. Ezeknek a relatíve nagy erőknek az áthelyezése, szétosztása a dobozszerkezet alkalmas csomópontjaira, már nem valósítható meg „képzelt”, virtuális átviteles tartókkal. Ezeket az erőket ténylegesen be kell vezetni a dobozszerkezet lapjaiba és ehhez az erőbevezetéshez többnyire kiegészítő tartókat kell a dobozszerkezetre, vagy a dobozszerkezet belsejébe építeni.

Erőbevezetés dobozszerkezetekbe

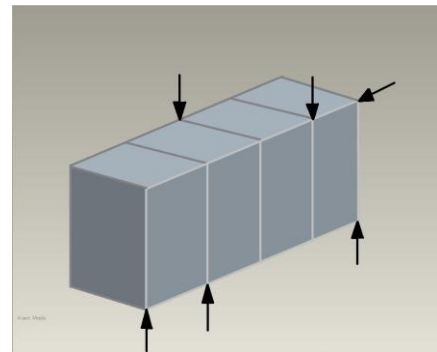
#### a) Erőbevezetés a lapok síkjában működő külső terheknél

Az erőbevezetési feladat természetesen függ a lapok szerkezeti megvalósításától. Rácsos tartók csak csomópontjaikon, merevített membrán héjak csak a

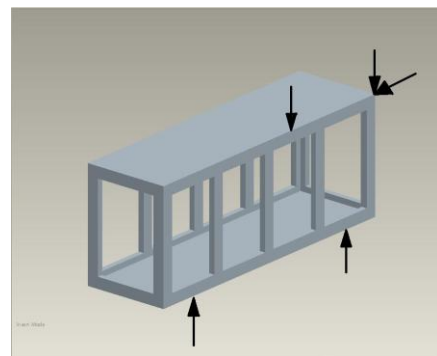
merevítőkön és szigorúan merevítő irányú erők felvitelére alkalmasak. Síkbeli keretszerkezetek saját síkjukban elvileg tetszőleges erőket képesek felvenni. A 16. ábrán összefoglaltuk a dobozszerkezet egy kiválasztott lapjára működő külső terhek lehetséges szétosztását rácsos, merevített membrán héj, ill. síkbeli keretszerkezet esetére.



16/a ábra: Erőbevezetés rácsos szerkezetnél



16/b ábra: Erőbevezetés merevített membrán héjánál

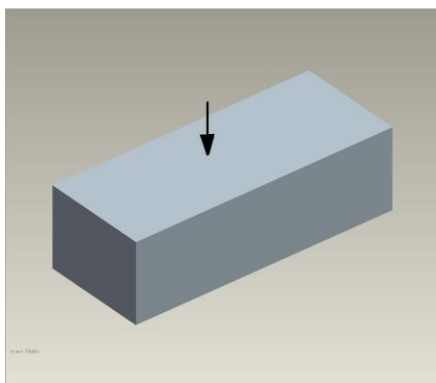


16/c ábra: Erőbevezetés síkbeli keretszerkezetnél

A csak az egyes lapok síkjában működő külső aktív és reakcióerők bevezetése a szerkezetekbe az ábrán feltüntetettek szerint nem okoz különösebb gondot, mert ilyen jellegű feladattal a hagyományos gépszerkezetekben is találkozunk.

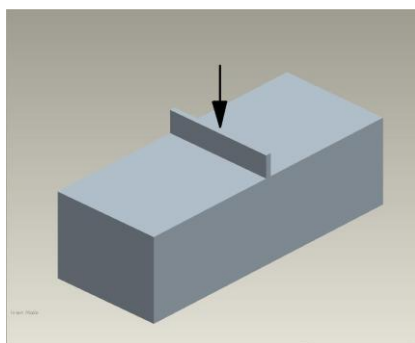
*b) Az egyes lapok síkjára merőleges erők bevezetése*

Vizsgáljuk a 17. ábrán feltüntetett egyszerű hasáb alakú dobozt, melynek tetején elhelyezkedő, lap közepén működik az F terhelő erő (pl.: tetőn elhelyezett klimatizáló berendezés). A reakcióerők az egyszerűség kedvéért az oldalfalak síkjában helyezkednek el. A tető önmagában képtelen az F erőt felvenni, ezért járulékos tartószerkezettel az F erőt el kell vezetni a vele párhuzamos oldalfalakhoz, vagy a homlok- és hátfalhoz, általában két, a koncentrált erővel párhuzamos laphoz.

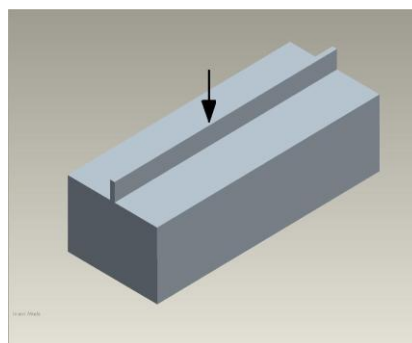


17. ábra: Lap síkjára merőleges erőbevezetés

A feladat megoldására két kézenfekvő lehetőséget tüntet fel a 18/a és 18/b ábra. (Természetesen a beépített erőbevezető tartó nemcsak kereszt-, vagy hosszirányú lehet, hanem bármilyen tartó szóba jöhet, de a járművek szokásos szimmetriája miatt csak a szimmetrikus szerkezeteket vázoltuk fel.)

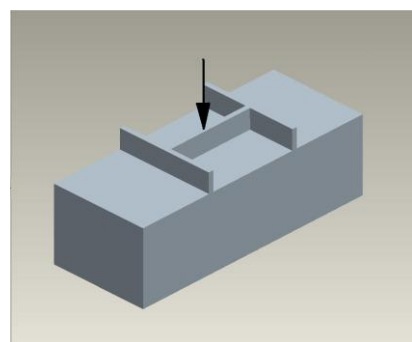


18/a ábra: Erőbevezetés keresztirányú tartóval



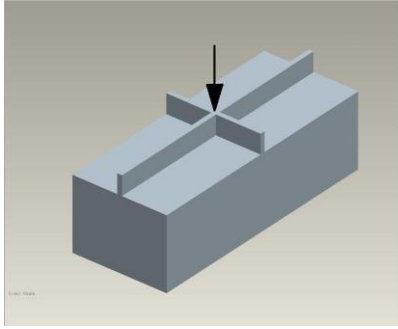
18/b ábra: Erőbevezetés hosszirányú tartóval

A dobozszerkezet lapjai geometriai méretei miatt saját síkjukban általában jóval merevebbek, mint a viszonylag kis magasságú erőbevezető tartó. A 18/b ábrán feltüntetett hosszirányú erőbevezető tartó különösen hajlékonyan mutatkozik, hiszen a keresztirányú erőbevezető tartóval egyező keresztmetszet és magasság esetén behajlása minden számolás nélkül is legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint az /a változaté. A 18/c ábrán szereplő erőbevezetés az oldalfalak csúcsigénybevételét csökkenti, a 18/d változat pedig statikailag határozatlan erőbevezetés, a hossz- és keresztirányú erőbevezető tartók közelítőleg merevségük arányában közvetítik az F erőt az oldalfalakra, valamint a homlok- és hátfalra. (A pontos erőjátékot a falak merevsége is befolyásolja).

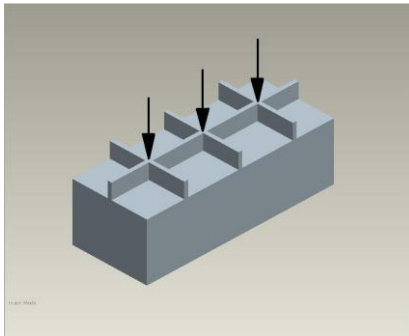


18/c ábra: Az oldalfalak csúcsigénybevételét csökkentő erőbevezetés

A gyakorlatban a tetőszerkezetenél az 18/a (és kivételesen a 18/c megoldás terjedt el, mivel a tetőszerkezeteket ritkán terhelik nagy koncentrált erővel. (Hűtőgépkocsinál akasztott félmarha- és féldisznószállítás vezethet nagy terhelésre.) A kocsiszekrény hossza mentén természetesen nem egyetlen F erő hat, hanem egyenletesen megosztva több, ezért több erőbevezető tartót kell beépítenünk a szerkezetbe (19. ábra).



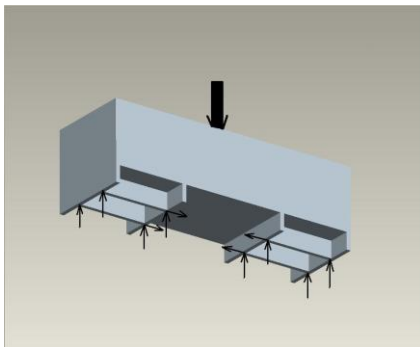
18/d ábra: Statikailag határozatlan erőbevezetés



19. ábra: Egyenletesen megoszló erőbevezetés

Az ábrán az áttekinthetőség érdekében az erőbevezető tartókat a dobozszerkezet külsejére helyeztük, a valóságban ezek áramlási okokból többnyire a doboz belsejében helyezkednek el, az elvi következtetéseket azonban ez nem befolyásolja.

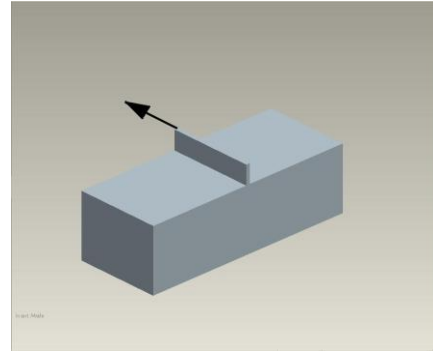
Bonyolultabb a padló szerkezet erőbevezetése. A padlón elhelyezkedő áru, vagy utas erőbevezetésén kívül be kell vezetnünk a futóművektől adódó nagy koncentrált reakcióerőket is. A valóságban a futóművek függőleges bekötése is bonyolult, mivel maga a rugó is átviteli tartóként működik (pl.: laprugók) és négy pont helyett nyolc ponton adódik át a keréktalpponti erő a kocsiszekrényre (20. ábra).



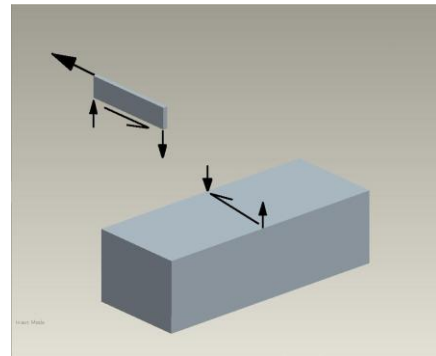
20. ábra: Padló szerkezet erőbevezetése

*c) Az egyes lapokkal párhuzamos, de a lap síkján kívül ható külső terhelő erők bevezetése*

A lapok síkjával párhuzamos erők bevezetéséhez is általában szükséges kiegészítő kereszt-, vagy hossztartók beépítése a doboz szerkezetbe. Míg a lapra merőleges erő bevezetéséhez két-két, a koncentrált erővel párhuzamos lapra kellett az erőt átvezetni, addig a lappal párhuzamos külpontos erőt három szomszédos lapra kell átvinni. (21/a és 21/b ábra)



21/a ábra: Lap síkján kívül ható erő bevezetése



12/b ábra: Lap síkján kívül ható erő bevezetése

#### *d) Futóművek erőbevezetése*

A jármű fenékszerkezetében az erőjáték hasonló módon tisztázható, de a futóművek bekötése különösen gondos elemzést tesz szükségessé. A legegyszerűbb, laprugós futómű beépítése is több kiegészítő hossz- és kereszttartó beépítését igényli. A doboz szerkezetre a laprugók csatlakozási pontjain ható erők reakcióereje működik. A laprugó csuklós csatlakozásánál egyidejűleg kell kereszt-, hosszirányú és függőleges erőt bevezetni a dobozba annak padlójától jelentős távolságban (a rugózás miatt).

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzőekben ismertetett eltérő tervezési és konstrukciós megoldások, azok statikai jellemzői egyértelműen rávilágítanak az előkészítési és a tervezési fázisban alkalmazandó vizsgálati szempontok és adekvát elemzési módszerek kiválasztásának fontosságára – elsősorban a gyakorlatban várható terhelések figyelembe vételével. Egy modell nagyvonalúsága súlyosan, olykor életveszélyesen befolyásolhatja az adott szerkezet műszaki rendelkezésre



állását, ezért amellet, hogy mindinkább elérhetőek megfelelő technikák, ezeket a termék (tervezési) életciklusának megfelelően szabad csak használnunk.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bieck: *Berechnung des Rahmenträgersystems in den Seitenwänden der neuen eisernen Wagen der Berliner Hochbahn*, Glasers Annalen, 1927. XII. 1. 15.
- [2] ERNYEY Gyula: *Design alapelvek – Válogatás az ipari forma irodalmából*. Design Center, Budapest, 1981
- [3] ERNYEY Gyula: *Made in Hungary – The Best of 150 Years in Industrial Design*. Rubik Innovation Foundation, Budapest, 1993
- [4] Fabry, Ch. W.: *Leichtbau Probleme und ihre statische Erfassung im Wagonbau*, Glasers Annalen, 1952. IX.
- [5] Fekete A., Fekete T., Gedeon J., Keresztes A., Michelberger P., Nándori E., Sályi B.: *Statische Untersuchung von Omnibusseitenwänden unter Berücksichtigung an das Gerippe geklebten Fensterscheiben*, Periodica Polytechnica (Transp. Eng.) 5. (1977), No. 2. pp. 83-101.
- [6] FINTA László, MICHELBERGER Pál: *Esztétikai fejlődés a magyar autóbuzsgyártásban*. In: *Járművek és mezőgazdasági gépek XIII.* (1966) No. 1., 2-7. o.
- [7] FINTA László, MICHELBERGER Pál: *Художественное конструирование автобусов в Венгрии*. In: *Техническая Эстетика* (1965) No. 1., 24-27. o.
- [8] KOCZOGH Ákos: *Finta László*. Corvina Múterem, Corvina Kiadó, 1978
- [9] J. Pawlowski: *Automotive Product Engineering*, Cranfield, 1985.
- [10] PAWŁOWSKI, Janusz: *Vehicle Body Engineering*. Szerkesztő: Guy Tidbury. Business Books, London, 1969
- [11] H. Schwyzer: *Statische Untersuchung der aus ebenen Tragflächen zusammengesetzten räumlichen Tragwerke, Promotionsarbeit*, Zürich, 1920.
- [12] Sutter K.: *Zur Berechnung selbsttragender Eisenbahnkasten*, Wirtschaft und Technik im Transport (1964), No. 70.