

A FAANYAGMOZGATÁS HATÁSA AZ ERDÉSZETI ÚTHÁLÓZATOK SZÁLLÍTÁSI ÉS FENNTARTÁSI KÖLTSÉGEIRE

Primusz Péter¹, Péterfalvi József², Kisfaludi Balázs¹ és Biczó Balázs²

¹Nyugat-magyarországi Egyetem, ERFARET Nonprofit Kft.

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A faanyag árának közel felét az elszállításhoz szorosan kapcsolódó költségek (útépítés, útfenntartás, szállítás) teszik ki. Ezeknek a költségeknek a csökkentése nagymértékben befolyásolja az erdőgazdaságok jövedelmezőségét. Ezért összefüggést kerestünk a forgalomterhelés és az útfenntartás költségei között. Egy konkrét példán megmutatjuk a raksúly, a járműtípus és az útfenntartás költségeinek alakulását. Eredményeink alapján általánosan megfogalmazható javaslatot teszünk arra, hogy az erdőgazdaságok logisztikai rendszerébe milyen járműveket célszerű beállítani, amelyek alkalmazása esetén minimális lesz a teljes szállítási költség.

Kulcsszavak: faanyagszállítás, hasznos teherbírás, tengelyelrendezés, útfenntartás, pályaszerkezet-gazdálkodás

THE EFFECT OF TIMBER TRANSPORT ON THE MAINTENANCE AND CARRIAGE COST OF FOREST ROAD NETWORKS

Abstract

Nearly half of the price of timber is the costs of the transportation (road construction, road maintenance, transportation). Thus the profitability of forestry companies is highly influenced by these costs. That is why we attempted to identify correlation between traffic load and costs of the road maintenance. A specific example is presented of this correlation. A proposal is made for the appropriate payload and axle configuration regarding the average Hungarian forestry transportation problem and forest road condition.

Keywords: timber transportation, payload, axle configuration, road maintenance, pavement management system

BEVEZETÉS

Az erdő egyes részeinek megközelíthetőségét biztosító erdészeti utak megépítésük után fenntartásra szorulanak. Az erdészeti úthálózatok legnagyobb forgalmat lebonyolító és a legnagyobb költséggel létrehozott elemei az erdőterületet a közutakkal összekötő feltáró utak. Ezek kiépítési színvonala igazodva a forgalom nagyságához és eloszlásához eltér a közutaktól a burkolatszélességben és a pályaszerkezet vastagságában,

Levelező szerző/Correspondence:

Primusz Péter, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4., e-mail: primuszp@emk.nyme.hu



teherbírásában is. A jellemzően egy forgalmi sávós, a hajlékony útpályaszerkezetek csoportjába sorolható, de a közutakénál vékonyabb pályaszerkezetű erdészeti utak állapotát a földmű sokszor lecsökkent teherbírása és a faanyagszállításból származó lökésszerűen jelentkező nehéz forgalom jelentősen rontja. A folyamatosan jelentkező szállítási feladatok biztosítása megkívánja, hogy a fakitermelések várható nagysága és az utak állapota függvényében a szükséges útfenntartási beavatkozásokat végrehajtsuk. Ezek jobb megalapozását segítheti az alábbiakban ismertetett elemzés, amely az eddig ismert kutatási eredmények felhasználásával megkísérli megbecsülni azt, hogy az egyre nagyobb hasznos terhet szállító járművek, illetve járműszerevények kialakítása (főként tengelyelrendezése) milyen hatást gyakorol a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes költségére. A költségek ismeretében pedig megadható az a szállítójármű, amely az adott szállítási feladatot minimális költséggel oldja meg a vizsgált útszakasz tönkremeneteli folyamatának bármely időpillanatában.

A témában eddig született publikációk az útpályaszerkezetek leromlásának folyamatával, az élettartam alatt szükséges útfenntartási beavatkozásokkal, valamint a szállítási, útépítési és útfenntartási költségek egymásra gyakorolt hatásával foglalkoznak. Közutakra az optimális tengelyterhelés számításával adható meg az ideálisnak tekinthető jármű, amely az útfenntartási stratégiának megfelelő leromlást okozza. Egyes számítások szerint a tengelyterhelés 10%-os változtatása a szállítással kapcsolatos összes költséget csupán 1%-kal változtatja meg (Rolt 1981). A várható költségek figyelembevétele mellett kalkulálja az optimális szállítási útvonalat egy brazil fejlesztésű döntéstámogató rendszer. A rendszer használhatóságát 2003-ban ellenőrizték (Lopes és mtsai 2003), és a fenntartási költségek mértékét a feltáróút kiépítési szintjével hozták kapcsolatba. Egy másik kutatás az adott szállítási feladatra leginkább megfelelő szállítójármű kiválasztásával foglalkozik (Aidin és Seyed 2009). A választás három szempont (választéknak megfelelő méret, a használt útnak megfelelő tulajdonságok és a szállítási költségek) alapján AHP (Analytical Hierarchy Process) módszerrel történik, amely szakértői pontozás alapján határozza meg az egyes szempontok fontossági sorrendjét. A szállítás összes költsége (beleértve az útépítés és útfenntartás költségét) és a szállítást végző járművek közötti összefüggéseket vizsgálva kimutatták, hogy van olyan optimális teherbírásúnak tekinthető szállítóeszköz, amellyel a legkisebb költséggel lehet megoldani az adott szállítási feladatot (Herpay 1973, Rumpf 1974a, Kosztka 1985, Aidin és Seyed 2009). Az erdészeti utak költségeinek minimalizálására már a tervezéskor törekedni kell, ezért Akay (2006) már a tengelytervezéskor figyelembe veszi a várható fenntartási költségeket és a szállítási feladatot. A közutak és az erdészeti utak pályaszerkezetének leromlásával és a szükséges útfenntartási beavatkozások tervezésével foglalkozó tanulmányok a hosszabb élettartamra történő méretezést hangsúlyozzák (Kosztka 1986, Gáspár 2004). Erdészeti utak esetében fontos, hogy rendelkezünk tudatos pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiával, mert csak így lehetséges, hogy egy adott úthálózat állapota és a várható szállítási feladat ismeretében optimálisan használjuk fel az útfenntartásra rendelkezésre álló pénzügyi keretet (Kosztka 1988, Kosztka és Péterfalvi 1993, Primusz 2006).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A tengelyterhelés rongáló hatásának meghatározása

Az útpályaszerkezetek tönkremenetelében a földmű teherbírásának és a rajtuk áthaladó nehéz forgalomnak van kiemelkedően fontos szerepe. Ezt először az 1950-es évek végén az USA-ban elvégzett nagyminta kísérletek igazolták. Ezek közül az ún. AASHO útkísérletek (American Association of State Highway Officials) eredményei váltak széles körben elismertté. A kísérletsorozathoz 470 féle pályaszerkezetet – homokos kavics, zúzottkő és aszfalrétegekből – építettek meg alacsony teherbírású (CBR ~2,5%) altalajon. A pályaszerkezeteket két éven keresztül műforgalommal terheltek. A szerkezetek állapotát szubjektív és objektív módszerekkel rendszeresen értékelték (Nemesdy 1985, Kosztka 2009). Egy adott vastagságú és összetételű pályaszerkezet

tönkremenetelét a tengelysúly és az áthaladási szám együttesen határozta meg. A kísérlet eredményei lehetőséget adtak arra, hogy az eltérő mértékű tengelyterheléseket egy egységnek tekintett (100 kN) tengely hatására számoljuk át. Az egységre történő átszámítás tényezőjével így kifejezhető egy adott tengely relatív rongáló hatása. A nagyminta kísérlet eredményeinek statisztikai feldolgozása alapján az átszámítási tényezőre az alábbi tapasztalati képletet állították fel:

$$\log(b) = a \cdot (T_i - T_s) \quad (1),$$

ahol b : átszámítási tényező (vagy rongáló hatás),
 a : szóló tengely esetén ($a = 0,0268$), tandem tengely esetén ($a = 0,01493$),
 T_s : szóló elrendezésnél 100 kN, tandem elrendezésnél 175 kN,
 T_i : a vizsgált tengely terhelése (kN).

Az (1) összefüggés jól közelíthető egy negyedfokú (vagy akár hatodfokú) parabolával:

$$b \approx \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \approx \left(\frac{T_i}{100} \right)^6 \quad (2),$$

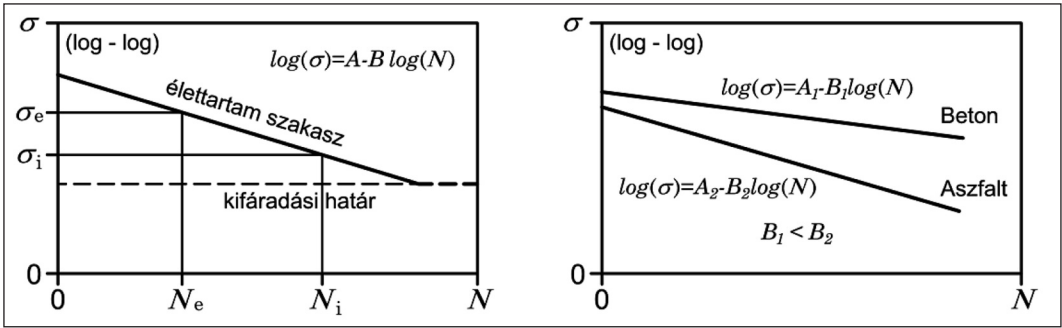
Ebből az összefüggésből az is látható, hogy a tengelysúly duplázása 16-szoros (2^4) vagy akár 64-szeres (2^6) rongáló hatást eredményez (Kosztka 2009). Az összefüggés csak hajlékony szerkezetekre érvényes. Merev és félmerev pályaszerkezeteknél a kitevő értéke magasabb (8–12). Az OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) nevű nemzetközi szervezet kiegészítő kísérleteket indított az útpályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára. A kísérleteket Franciaországban végezték. A vizsgálatok alatt három pályaszerkezetet (két hajlékonyat és egy félmerevet) vizsgáltak 100, ill. 115 kN-os tengelyterhelések mellett, összesen 4,5 millió tengelyáthaladásig. Megállapították, hogy az AASHO kísérletek negyedik hatványos összefüggése csak nagyon általános esetben igaz (Horn 1995).

Kimutatták továbbá, hogy a rongáló hatás a tengelysúlyon kívül függ még a tengely és a gumibroncs típusától, valamint a tengely felfüggesztésétől is. Ezen tényezőket figyelembe véve a következő összefüggést állították fel (Koren 1986, Tóth 1988):

$$b = \left(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{T_i}{100} \right)^\alpha \quad (3),$$

ahol T_i : a vizsgált tengely terhelése (kN),
 α : kitevő (értéke aszfaltra 4–6),
 k_1 : a tengelytípustól függő tényező (értéke 0,45–1,00 között),
 k_2 : a gumibroncstól függő tényező (értéke 1,00–1,30 között),
 k_3 : a felfüggesztéstől függő tényező (értéke 0,95–1,00 között).

A pályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára az empirikus módszerek mellett rendelkezésre állnak mechanikai alapú eljárások is. Ezek az eljárások a tényleges pályaszerkezet helyett annak elméleti modelljét vizsgálják. Ebben az esetben bemeneti adatként az adott anyag fáradási tulajdonságait kell ismernünk. Ezeket elsőként A. Wöhler vizsgálta laboratóriumi körülmények között. Azt tapasztalta, hogy periodikusan váltakozó terhelés hatására egy adott anyag tönkremeneteléhez szükséges ismétlésszám és az alkalmazott legnagyobb terhelés (feszültség) között logaritmikusszerű összefüggés áll fenn (1. ábra). Vagyis az anyag töréséhez annál kisebb terhelés kell, minél nagyobb a teher-ismétlésszám:



1. ábra: A Wöhler-görbe értelmezése (a), ill. az aszfalt és a beton eltérő kifáradási görbéje (b)
Figure 1: Wöhler-curve (a), fatigue curve of asphalt and concrete material (b)

$$\log(\sigma) = A - B \cdot \log(N) \quad (4),$$

- ahol σ : feszültség (N/mm²),
 A : az anyag által elviselhető legnagyobb feszültség (N/mm²),
 B : az anyag teherviselő képességének romlása az ismétlésszám függvényében,
 N : a teherismétlések darabszáma (db).

A különböző nagyságú (vagy különböző feltételek mellett ható) igénybevételek összesített károsító hatásának számítására a *Palmgren-Miner*-elv használható (Palmgren 1924). Eszerint egy adott terhelés az anyag fáradási ellenállását csak egy meghatározott mértékben használja ki. Vagyis egy adott tengelyáthaladás rongáló hatása meghatározható úgy, hogy egy adott anyag teherbírását mennyivel csökkenti. Célszerűbb azonban annak a megállapítása, hogy egy egységnek tekintett tengelyhez képest mekkora ennek a hatása. Ez a tényező a Wöhler-féle anyagtulajdonságok, valamint a *Palmgren-Miner*-elv ismeretében levezethető:

$$b = \left(\frac{T_f}{100} \right)^\alpha \quad (5),$$

- ahol T_f : a vizsgált tengely terhelése (kN),
 α : a kitevő értéke aszfaltnál (4–5), hidraulikusan kötött anyag esetén (12–20).

Látható, hogy az elméleti modellből a tapasztalati képlethez hasonló összefüggés vezethető le. Emiatt a számításainkban az AASHO útkísérletek eredményeképp meghatározott átszámítási tényező használata elfogadható.

A szállítandó fatérfogat átszámítása forgalomra

A faanyagszállítás különböző szállítójárművekkel történik, amelyeknek a pályaszerkezetet rongáló hatása is különböző, ennek eredményeként eltérő módon romlik a pályaszerkezet is. Azért, hogy a különböző járművek pályaszerkezetre gyakorolt hatását össze lehessen hasonlítani, a keresztmetszeten áthaladó tengelyeket egységesen egy 100 kN terhelésű tengely áthaladásának hatásában fejezzük ki, és a következő összefüggéssel számítjuk (Kosztka 2001):

$$F_{100} = \frac{Q}{q} \cdot B \quad (6),$$

- ahol F_{100} : a vizsgált időszak forgalma 100 kN egységtengely-áthaladásban kifejezve (db),
 Q : a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat (kN),
 q : a reprezentatív jármű vagy szerelvény hasznos teherbírása (kN).

A tehergépkocsi tengelyeinek együttes rongáló hatása:

$$B = \sum_{i=1}^n b_{ii} + \sum_{i=1}^n b_{ri} \quad (7),$$

- ahol B : egy forduló hatása 100 kN egységtengely-áthaladásban,
 b_{ii} : az üres reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték,
 b_{ri} : a rakott reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték,
 n : a reprezentatív jármű tengelyeinek száma.

Az üres és a rakott tengelyek átszámítási tényezőjét az (1) összfüggéssel lehet számolni attól függően, hogy az adott tengely szóló vagy tandem elrendezésű. A szállított anyag fajlagos tömege (halomsűrűsége) és alakja, az anyagmozgató berendezés hasznos terhelhetősége (raksúlya), valamint rakfelületének nagysága és hasznos magassága együttesen meghatározzák az egy menetben elszállítható anyag mennyiségét (Kosztka 2001). A szállításban alkalmazott tehergépkocsinál ez meghatározza a tengelyterheléseket, amelyet az erdészeti utak pályaszerkezetének méretezésekor kell elsősorban figyelembe venni.

Mivel a szállítási feladatot m^3 -ben szokás megadni, ezért azt át kell számolni kN-ra. Ehhez elsősorban a szállított faanyag sűrűségét és becsült nedvességtartalmát lehet felhasználni. A sűrűség egy fafajon belül is lényegesen eltérhet a szakirodalomban közölt átlagértéktől (Kovács 1979), ezért az 1. táblázatban lévő adatok csak tájékoztató jellegűek. A frissen vágott fa nedvességtartalma kb. 50% (a szárazanyagra vonatkoztatva), ezért $1 m^3$ faanyag közelítőleg 9,6 kN-nak felel meg a táblázat szerint ($1 \text{ tonna} \sim 10 \text{ kN}$). Ezt az értéket még módosítják a szállítójárművek raktere által adott lehetőségek, amelyek kihasználása fenyőfélék esetében jó, lombos fafajoknál pedig – alakjukból fakadóan – rosszabb lehet. Továbbá befolyásolja még az a tény is, hogy Magyarországon a faállománnyal borított területek aránya fafajcsoportok szerint az akác (23%), a tölgy (21%), a cser (11%), a fenyő (12%) és a nyár (10%) dominanciáját mutatja (Kottek és mtsai 2008), így e fafajok sűrűségét nagyobb súllyal kell figyelembe venni az átszámítási tényező kialakításánál. Ezeket a szempontokat is figyelembe véve $1 m^3$ faanyag $\sim 10 \text{ kN}$ terhelésnek felel meg - fafajtól függetlenül - a további számítások során.

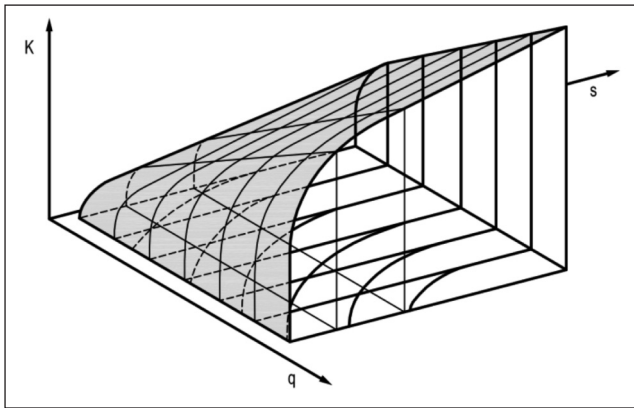
1. táblázat: A faanyag sűrűsége fafajtól és nedvességtartalomtól függően
 Table 1: The wood density depending on moisture content and species of tree

Fafaj	Sűrűség (to./m ³), eltérő nedvességtartalom mellett					
	0%*	10%	20%	30%	40%	50%
Akác	0,736	0,810	0,883	0,957	1,030	1,104
Tölgy	0,682	0,750	0,818	0,887	0,955	1,023
Cser	0,812	0,893	0,974	1,056	1,137	1,218
Bükk	0,695	0,765	0,834	0,904	0,973	1,043
Gyertyán	0,790	0,869	0,948	1,027	1,106	1,185
EKL	0,651	0,716	0,781	0,847	0,912	0,977
Nyár	0,435	0,479	0,522	0,566	0,609	0,653
ELL	0,495	0,545	0,594	0,644	0,693	0,743
Fenyő	0,460	0,506	0,552	0,598	0,644	0,691
Átlag	0,640	0,704	0,767	0,832	0,895	0,960

*forrás: <http://www.soskn.sk/anyagismeret/7.3.htm>

A szállítási költség alakulása

Az erdőgazdálkodók jövedelmét a megtermelt faanyaggal való megfontolt gazdálkodás alapozza meg. A faanyag értékesítésekor a szállítási költség alakulása nagymértékben befolyásolja a megtermelt faanyag értékének erdészetnél maradó hányadát. Éppen ezért fontos, hogy a szállítási költségek alakulásának megértéséhez néhány nélkülözhetetlen fogalmat megismerjünk. Ezeket Kádas (1972) *Közlekedés-gazdaságtan* című könyve foglalja össze részletesen. A szállítás jellemzésére igen fontos fogalom a szállítási teljesítmény (T). Ez alatt az elszállított faanyagmennyiségnek (q) és a megtett útnak (s) a szorzatát értjük, mértékegysége [tkm]. A szállítási teljesítmény vagy volumen előállításához szükséges ráfordítások pénzértékben kifejezett nagysága a globális szállítási költség (K_{sz}). A szállítás költségeit költségnevek szerint alapvetően két nagy csoportra bonthatjuk. Az első csoportba a tevékenységgel arányos (proporcionális) változó költségeket, míg a másikba az úgynevezett fix költségeket soroljuk, melyek azonos nagyságrendben merülnek fel függetlenül a tevékenység terjedelmétől. Ennek megfelelően a teljes szállítási költség (K_{sz}) az állandó költségből (k_a) és a változó költségből (k_v) tevődik össze (Pankotai és Herpay 1965). A változó költségek közé tartoznak: az üzem- és kenőanyag-, a gumi-, a megtett kilométertől függő karbantartási és javítási munkák költségei valamint az úthasználati díjak is. Vagyis a változó költség főként a közvetlen anyag-, munka-, energiaráfordítások költségeiből tevődik össze. Az állandó költségek közé sorolhatjuk: a gépkocsi amortizációját, a biztosítási költségeket, a járművel kapcsolatos adókat, a hiteltörlesztést, a munkabért és közterheit, a távolléti (kiküldetési) díjakat, az étkezési hozzájárulást, a szállítási költséget, az általános költségeket stb. A k_a lényegében előkészítési költség, megfelelő kiegészítésekkel. Az állandó költség adott termelési kapacitás és adott üzemelési viszonyok között alig függ a szállítási volumentől. A változó költség viszont a szállítási volumennel arányosan változik.

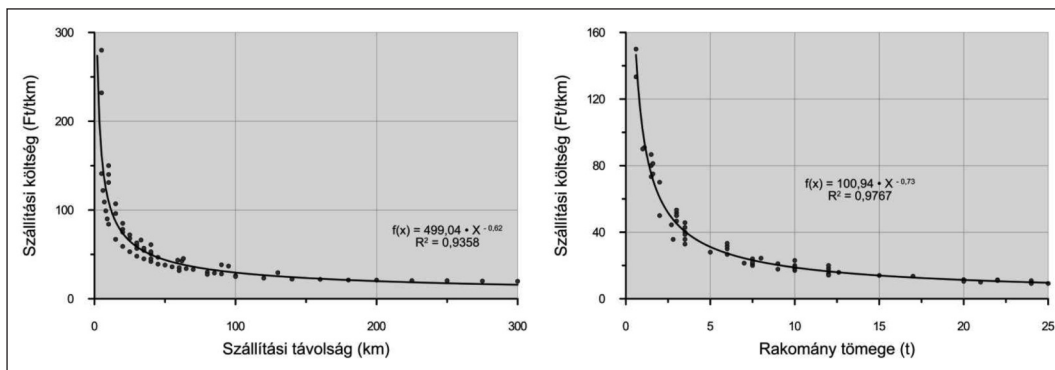


2. ábra: Költségfelület, adott áru szállítási költsége a távolság (s) és az áru tömege (q) függvényében
Figure 2: Surface of transport cost as a function of the distance and the weight of the product

Az átlagos szállítási költség adott szállítási távolságon (s) az elszállított faanyag mennyiségének (q) ismeretében a következő összefüggéssel becsülhető meg (Kádas 1972):

$$K_{sz} = c \cdot q^a \cdot s^b \quad (8),$$

- ahol K_{sz} : a szállítás teljes költsége (Ft),
 c : költségtényező (Ft/tkm),
 a, b : a szállítási költségnek a teherbírás, ill. a távolság szerinti elaszticitása,
 q : a szállítójármű rakománya (t),
 s : a szállítási távolság (km).



3. ábra: A fajlagos költség változása a szállítási távolság (a) és a rakomány tömege (b) függvényében
 Figure 3: Change of the specific transport cost as a function of the distance of transport (a) and weight of product (b)

A K_{sz} globális költség alakulásának q -tól és s -től való egyidejű függését a 2. ábra mutatja be.

A továbbiakban fajlagos költség alatt az átlagos szállítási költség és a szállítási teljesítmény hányadosát értjük, és K'_{sz} -vel jelöljük (Rumpf 1973), mértékegysége a [Ft/tkm]. Tehát a fajlagos költség az egységnyi szállítási teljesítmény költsége. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy ha a szállítási teljesítmény és a szállított faanyag tömege nem változik, akkor a szállítási távolság növekedésével a fajlagos költség általában csökken. A fajlagos szállítási költségek költségfüggvényét az erdőgazdaságok által szolgáltatott – a 2011-es évre vonatkozó – tarifatablázatok segítségével paramétereztük fel (3. a ábra). Jelenleg az erdőgazdaságok azonban csak a szállítási távolságot veszik figyelembe az árképzéskor. Ennek oka, hogy a faanyagszállításra gazdaságosan alkalmazható tehergépkocsik hasznos teherbírása közel azonos (kb. 12 tonna). Így a fajlagos költségeknek a rakomány méretétől függő változását a közúti szállításra jellemző fuvarozócégek – interneten elérhető – ártáblázatai alapján becsültük (3. b ábra). Ezek felhasználásával az összevont költségfüggvény a következő alakú:

$$K'_{sz} = 3250 \cdot q^{-0,75} \cdot s^{-0,6} \quad (9),$$

ahol K'_{sz} : a fajlagos szállítási költség (Ft/tkm).

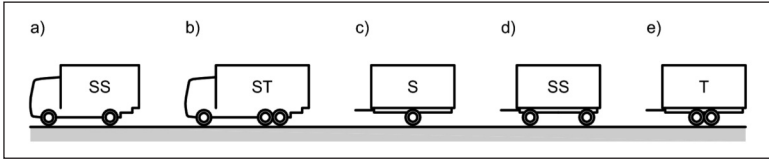
Az összefüggésből látható, hogy adott szállítási távolság mellett a gépkocsi teherbírásának növelésével a fajlagos szállítási költség mindig csökken, így a tengelyterhelés növelése látszik gazdaságosnak. Ezt az eredményt csak azért kaphattuk, mert elhanyagoltuk a rakodási idő szerepét (Rumpf 1976), valamint a növekvő útfenntartási költségeket (Kosztika 1985), amelyek igen nagy hatással vannak a tehergépkocsi-teherbírás optimális értékére. Jelenleg a faanyagszállításra alkalmas tehergépkocsik hasznos teherbírása közel azonos, így a szállítási távolság szerepe megnőtt, ezt a magas elaszticitási tényező is jelzi (-0,6).

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A járművek pályaszerkezet-rongáló hatásának meghatározása

A szállítási és az útfenntartási költségek összegzéséhez az szükséges, hogy a szállításban résztvevő tehergépkocsik hasznos teherbírását (q) összefüggésbe hozzuk azok tengelyeinek összegzett rongáló hatásával (B). A hasznos teherbírás növelése ugyanis a szállítási költségek esetén megtakarítást jelent, de ezzel szem-

ben megjelenik a megnövekedett útfenntartási költség (Primusz 2006). Ennek a hatásnak a vizsgálatához az erdészeti szállításban előforduló 120 db jármű (70 db tehergépkocsi és 50 db pótkocsi) üres és rakott állapotú tengelyterhelés-értékeit, valamint hasznos terhelését gyűjtöttük össze.

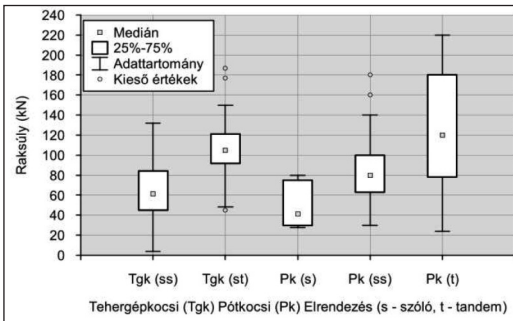


4. ábra: A számításban szereplő tehergépkocsik és pótkocsik tengelyrendezései

Figure 4: The axle arrangements of trucks and trailers in our calculations

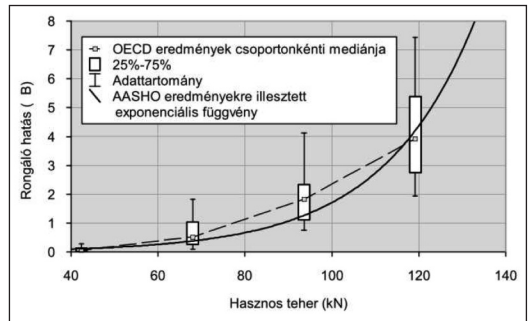
Az előforduló tehergépkocsi (tgk) és pótkocsi (pk) tengelyrendezéseit és azok kódolását a 4. ábra foglalja össze. Az összegyűjtött raksúly-adatsor jellemző mennyiségi ismérv eloszlásának tömör jellemzését adja az 5. box-plot ábra. A „doboz” közepén lévő pont a medián, a doboz lapjai pedig a kvartilisek. A dobozon belül található az adatok 50%-a. A dobozon túlnyúló vonalak (kerítés) az adatok terjedelmét mutatják. A kerítésen kívül lévő pontok pedig az úgynevezett kieső értékek, amelyek kívül esnek a vizsgálati tartományon. Jól látható, hogy tehergépkocsik esetében a jellemző raksúly 40–80 kN és 90–120 kN között van a tengelyrendezéstől függően.

Egy konkrét tehergépkocsi vagy pótkocsi egy fordulójának összegzett rongáló hatását a már bemutatott (7) összefüggéssel számítottuk. A számításnál az egyes tengelyek rongáló hatását az AASHO módszer (1) szerint vettük figyelembe. Ennek oka az volt, hogy ebben az esetben bemeneti adatként csak az adott tengely terhelését kell ismerni, így a rendelkezésre álló adatok alapján egyértelműen elvégezhetjük a számításokat. Ellenőrzésként az OECD által javasolt számítás (3) szerint is számoltuk a rongáló hatás mértékét. Itt problémaként jelentkezett, hogy a módszer több olyan paraméter ismeretét is igényelte, amelyek nem álltak rendelkezésünkre.



5. ábra: A raksúlyadatsor box-plot ábrázolása

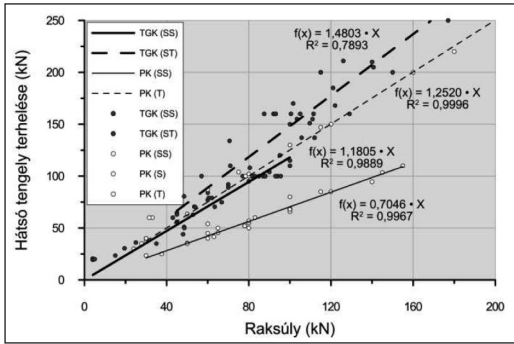
Figure 5: Box-plot representation of the payload data set



6. ábra: Az eltérő rongáló hatást becsülő képletek összehasonlítása

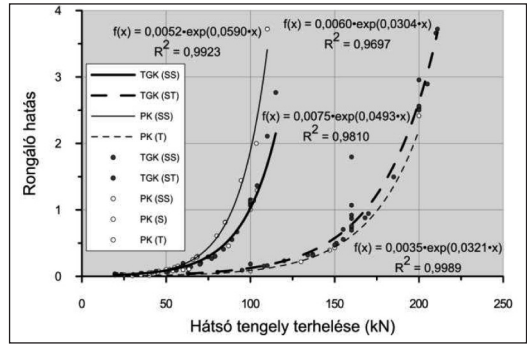
Figure 6: Comparison of the estimation formulas of the different fatigue effects

Emiatt minden lehetséges paraméter-variációban számítottuk a rongáló hatást járműtípusonként. Ezt a feladatot sajátfejlesztésű számítógép-program segítségével oldottuk meg. A számítás eredményeképp olyan adatpárokat kaptunk, amelyekben egy hasznos teher értékhez több rongáló hatás érték tartozott. A kapott értékek az AASHO módszer eredményei körül szóródtak. A 6. ábrán a szoló-szólo tengelyrendezésű tehergépkocsikra 4-es hatványkitevővel számított értékek láthatók. A hatványos összefüggés miatt a magasabb hasznos teher értékek felé az OECD módszerrel számított értékek szórása is egyre nagyobb. Mivel az AASHO módszerrel számított eredmények könnyen meghatározhatóak, és regressziós görbéjük az OECD-módszerrel számított eredmények tartományán belül marad, a további számításokhoz ezt a módszert használtuk fel.



7. ábra: A raksúly és a hátsó tengelyterhelés kapcsolata

Figure 7: Relationship between the rear axle load and the payload



8. ábra: A hátsó tengelyterhelés és a rongáló hatás kapcsolata

Figure 8: Relationship between the rear axle load and the fatigue effect factor

Ezek után összefüggést kerestünk a hasznos terhelés és a tengelyenként összegzett rongáló hatás között. Korábbi kutatásokból már ismert, hogy a hátsó tengelyterhelés és a raksúly között lineáris összefüggés áll fenn (Rumpf 1974a, Rumpf 1974b). Ezt az általunk összegyűjtött adatsoron végzett regresszió-analízis is megerősítette. Járműtípusonként és tengelyelrendezésenként a vizsgálat eredményeit a 7. ábra mutatja be. A hátsó tengelyterhelés és az összegzett rongáló hatás között pedig erős exponenciális kapcsolatot találtunk (8. ábra). A regressziós modellek összevonásából felállítható a hasznos terhelés és a rongáló hatás között keresett függvénykapcsolat:

$$B = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot q)} \quad (10),$$

- ahol B : egy forduló rongáló hatása 100 kN egység tengely-áthaladásban,
 q : hasznos terhelés (kN),
 α, β : paraméterek.

A (10) összefüggés pontosságát és paramétereit szállító jármű és tengelyelrendezés szerint a 2. táblázat foglalja össze. Az összefüggés szerint a hasznos terhelés növekedése a rongáló hatás exponenciális emelkedését okozza és így a várható útfenntartási költségeket is.

2. táblázat: Modellparaméterek szállító jármű és tengelyelrendezés szerint
 Table 2: Model-parameters according to transport vehicle and axle arrangement

Paraméter	Tgk (ss)	Tgk (st)	Pk (ss)	Pk (s)	Pk (t)
Alfa (α)	0,0075	0,0060	0,0052	0,0049	0,0035
Béta (β)	0,0582	0,0450	0,0416	0,0701	0,0402
R ²	0,8800	0,8900	0,9700	0,9100	0,9900

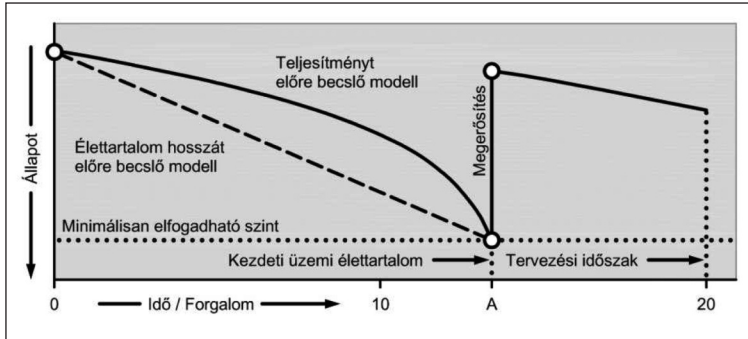
A regresszió-analízis segítségével felállított modell felhasználásával már a fajlagos szállítási költségek mellett a fajlagos útfenntartási költségek is megbecsülhetők a hasznos terhelés függvényében.

Az útpályaszerkezet leromlásának előrebecslése

Az útpályaszerkezet állapota az idő függvényében változik. Annak érdekében, hogy később az útfenntartási költségeket is meg lehessen határozni, szükség van a burkolat állapotát jellemző paraméterek időbeni változásának előrebecslésére. Számos statisztikai és analitikai eszköz áll rendelkezésünkre az előrejelzési

modellek kifejlesztéséhez. Ezek legtöbbje korrelációvizsgálatokat, regresszió-analízist vagy idősor-modelleket stb. tartalmaz. A gyakorlatban leginkább a mechanisztikus, empirikus és a regressziós leromlási modellek terjedtek el. Fontos, hogy a modell kialakításához „történeti” adatokat használjunk fel, valamint az, hogy pontosan fogalmazzuk meg elvárásainkat a modellel szemben (Gáspár 2003).

Az útpályaszerkezetek teljesítményét (performance) az egész élettartamra, vagyis a tervezési időszakra szokták előre becsülni az útgazdálkodási rendszerek. Ennek a teljesítőképességnek a jellemzésére több eltérő teljesítmény-mérőszámot (performance indicator) is kidolgoztak. Az útpályaszerkezetek teljesítményét tehát többféle állapotparaméter szerint lehet megadni. Ezek közül a legtöbb pályaszerkezet-gazdálkodási rendszer a következő négy burkolatállapot jellemzőt veszi figyelembe: használhatóság (járhatóság), teherbírás (szerkezeti megfelelés), felületi hibák és biztonsági paraméterek (keréknyomvályú, sűrűládaí együttható stb.). A használhatósági teljesítmény rendszerint a burkolat általános funkciójával hozható kapcsolatba (a járófelület állapota), és ezért főleg az úthasználók számára érdekes. Ugyanakkor az útpályaszerkezetek mechanisztikus értékelése (teherbírás) az útgazdálkodással foglalkozó mérnökök számára nélkülözhetetlen. Fontos a kétfajta jellemzés-típus közötti különbség megértése. A használhatóság a jelenlegi állapotot, a mechanisztikus vagy szerkezeti megfelelés pedig a burkolatnak a terheléssel (forgalommal) szembeni jövőbeli reakcióját jellemzi. A 9. ábra egy általános teljesítményt előre becsülő modell felépítését mutatja be.



9. ábra: Az élettartamot és a teljesítményt előre becsülő modell felépítése
Figure 9: Structure of the estimation model of the lifetime and of the performance

Az útpályaszerkezetek szerkezeti megfelelését általában behajlásméréssel határozzák meg. Ennek oka, hogy az 1960-as években az AASHO útkísérletek bebizonyították, hogy a burkolat behajlása, illetve a pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága szoros kapcsolatban áll az úton lefutott forgalom nagyságával, illetve az altalaj teherbírásával (CBR%). A teherbírás behajlásméréssel való vizsgálatára sajnos nincsen mindig mód, ezért indokolt a több rétegből felépülő útpályaszerkezetet egy egyen teherbírású réteggént felfogni. A továbbiakban ezért az eredeti útpályaszerkezetet egy olyan egyrétegű elméleti réteggént fogjuk fel, amelynek vastagsága eltér a geometria vastagságtól, de teherbírás szempontjából azzal mégis egyenértékű, anyaga pedig szabványos zúzottkő réteg (Herpay 1967, Rumpf 1971). Az AASHO kísérletek eredményei alapján az *Asphalt Institute* 1963. évi egyenérték-vastagságképlete, amellyel az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezteinek méretezése is történik:

$$H_{e_{sz}} = (-14,5 + 14 \cdot \log(F_{100})) \left[\frac{2,5}{CBR\%} \right]^{0,4} \quad (11),$$

ahol $H_{e_{sz}}$: szükséges egyenérték-vastagság (cm),

F_{100} : a tönkremenetelhez szükséges egység tengely-áthaladás (db),

CBR : az altalaj teherbírása (%).

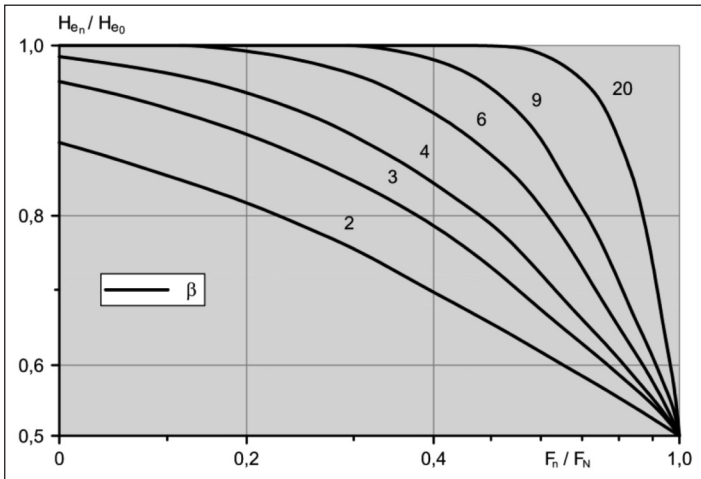
Az eredetileg beépített aszfaltrétegek, illetve az utántömörödésen már átesett burkolatok geometriai vastagsága lényegében a forgalom hatására már alig változik. A pályaszerkezet teljesítménycsökkenése, később pedig maga a tönkremenetel nem a mérhető szerkezeti elvékonyodásból, hanem a burkolat belső szerkezetében végbemenő mechanikai változásokból fakad. A forgalom hatására az egyenérték-vastagság változását tehát nem abszolút értelemben a vastagsági méret csökkenésével, hanem az ún. hatékony egyenérték-vastagság változásával állapíthatjuk meg (Tóth és Zsiga-Kiss 1986). Ez alatt az egyes rétegek egyenérték-tényezőinek csökkenését kell érteni. Az erre vonatkozó külföldi kutatásokból ismeretes a holland Molenaar (1983) képlete:

$$H_{e_n} = \frac{H_{e_0}}{1 + e^{\beta \cdot \log\left(\frac{F_n}{F_N}\right)}} \quad (12),$$

- ahol H_{e_n} : egyenérték-vastagság n db egységtengely-áthaladás után (ecm),
- H_{e_0} : egyenérték-vastagság 0 db egységtengely-áthaladás után (ecm),
- β : a pályaszerkezet merevségétől függő tényező (-),
- F_n : a már lefutott forgalom egységtengely-áthaladása (db),
- F_N : a tönkremenetelhez szükséges egységtengely-áthaladás (db).

Az összefüggés szerint az egyenérték-csökkenés mértéke a forgalmi hányados $\left(\frac{F_n}{F_N}\right)$ logaritmusától függ.

A β tényező nagysága pedig a teljes útpályaszerkezet merevségének függvénye (10. ábra), jellemzően 3–9 között változik. Megemlítendő még, hogy a képlet β értéktől függetlenül $H_{e_n} = 0,5 \cdot H_{e_0}$ eredményt ad, ha az $F_n = F_N$ azaz, ha a burkolat teljesen kimerül. Vagyis az útpályaszerkezet tönkrementnek tekinthető, ha az egyenérték-vastagság virtuálisan a felére csökken. A fenti összefüggés igazolására kísérletsorozatot indítottak Hollandiában. A vizsgálat eredménye kimutatta, hogy az előrebecslő modell jól képes visszaadni a mérési eredményeket hajlékony útpályaszerkezetek esetében (Molenaar 1983).



10. ábra: Az útpályaszerkezetek merevségétől függő leromlási görbék alakja
 Figure 10: Failure curves of the pavements depending on the stiffness

A hatékony egyenérték-vastagság csökkenésének számszerűsítésére hazai mérések, kutatások közvetlenül nincsenek, de a HUMU (Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása, 1971) – a régi és az új bur-

kolat egyenérték-vastagsági szorzóinak megkülönböztetésével – lényegében erre számszerű előírást is tartalmazott. Később, a 80-as évek közepén Magyarországon is megindult az útburkolatok leromlási folyamatával és élettartalmával foglalkozó hosszabbtávú kutatási program. A számos eredmény közül a következő korrelációs összefüggés adódott ($R = 0.973$) az f fajlagos forgalombírás és az egyes megfigyelt útszakaszjellemzők között (Gáspár 2004):

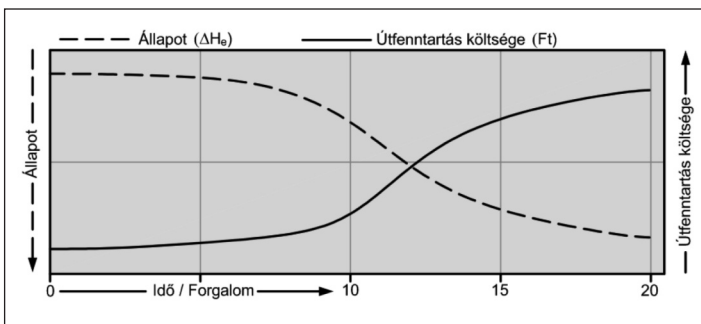
$$f = 139,9 \cdot N - 144,7 \cdot H_e - 62,6 \cdot CBR\% + 54777 \quad (13),$$

- ahol f : fajlagos forgalombírás (et./ecm),
 N : napi áthaladt 100 kN-os terhelésű egység tengelyek száma (et./nap),
 H_e : egyenérték-vastagság (ecm),
 CBR : az altalaj teherbírása (%).

A fajlagos forgalombírás a pályaszerkezet egy egységcentiméterére jutó egység tengelyek számát adja meg az út teljes élettartama alatt. A fenti összefüggés is a hatékony egyenérték-vastagság változás gondolatát tartalmazza, még ha nem is közvetlenül. A továbbiakban így a hajlékony útpályaszerkezetek hatékony egyenérték változását a (12) összefüggéssel írjuk le.

Az útfenntartás költségeinek előrebecslése

Az útgazdálkodás költségnevei között tartjuk nyilván az építés és a fenntartás költségeit. Az utépítési költségeket korábban megépült utak nyilvántartásaiból, becsléseiből és vizsgálataiból lehet származtatni. A fenntartási költségeket pedig abban az esetben, ha a gazdálkodást folytató szervezet rendelkezik útfenntartási rendszerrel (Maintenance Management System – MMS), akkor a nyilvántartott adatok elemzésével határozhatók meg. Sajnos jelenleg az erdőgazdaságok ilyen egységes rendszerrel nem rendelkeznek, így a fenntartási költségeket a burkolatállapot és a fenntartási munkákat végző brigádok teljesítménye alapján lehet előre becsülni. Az útfenntartási költségek körébe sorolhatók a javítás, a karbantartás és a felújítás költségei. Ezek egyrészt az út forgalomba helyezése óta eltelt időtől (anyagöregedés, kopás), másrészt az úton áthaladt nehézforgalom nagyságától függenek (Timár 2002). Egy adott pályaszerkezettel megépült út állapotának időbeni változását az 3.2-es pontban bemutatott leromlási görbe fejezi ki, amelynek segítségével meghatározhatók a szükséges beavatkozások időpontjai. A 11. ábráról az is jól leolvasható, hogy a fajlagos fenntartási költségek jövőbeni alakulása nagymértékben függ az út forgalmi terhelésétől és annak állapotromlásától. A leromlási modellek így egyben költségfüggvényként is szolgálnak.



11. ábra: Az útállapot romlása és a fenntartási költségek kapcsolata

Figure 11: Relationship between the deterioration of the road and the maintenance costs

A fenti megállapítások tükrében az útfenntartás átlagos költségét a hasznos egyenérték csökkenés mértékével fejezzük ki. Ehhez a teherbírás-változás leromlási modelljét (12) használhatjuk fel:

$$\Delta H_e = H_{e_0} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\beta \cdot \log\left(\frac{n}{N}\right)}} \right) \quad (14),$$

ahol ΔH_e : a hasznos egyenérték csökkenés a forgalom függvényében (ecm).

Az összefüggés szerint a szállítási feladat által okozott hasznos egyenérték csökkenést kell visszapótolni, hogy az út kezdeti szolgáltatási színvonalát (állapotát) helyreállítsuk. Ennek megfelelően az erdőgazdasági utak átlagos fenntartási költségeit az Erdőfeltárási Tanszéken készült felújítási tervek költségbecslései alapján a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$K_f = a \cdot \Delta H_e + b \quad (15),$$

ahol K_f : egy m^2 út átlagos útfenntartási költsége (Ft/ m^2),
 a : egy ecm pályaszerkezeti réteg építési költsége egységnyi felületen (Ft/ecm \cdot m^2),
 b : forgalomtól független állandó fenntartási költség (Ft/ m^2).

Az a tényező értéke a felújítási tervek alapján 250–350 Ft/ecm \cdot m^2 között van. A b tényező egy, a forgalomtól függetlenül megjelenő állandó fenntartási költséget feltételez (Ft/ m^2). Ez a költség az, amelyet a még ki-váló állapotú utakon is megjelenő apróbb lokális hibák rendbetételére kell fordítani. Ezeknek a hibáknak a kijavítása azért fontos, mert az úthibák elfajulását akadályozzák meg, így az út leromlási folyamata lassítható, és a szállítás miatti fenntartási költségek alacsonyan tarthatóak. Mivel ezek a munkák tapasztalataink szerint sajnos sok esetben elmaradnak, így a további számítások alatt $b = 0$ feltételezéssel élünk. Ahhoz, hogy a szállítási és az útfenntartási költségeket összegezni tudjuk, a faanyagszállításból származó fenntartási költségeket is Ft/tkm-ben kell kifejezni:

$$K'_f = 1000 \cdot \frac{B_{sz}}{Q} \cdot K_f \quad (16),$$

ahol K'_f : egy tonna rakományra jutó átlagos útfenntartási költség (Ft/tkm) egy km hosszon
 Q : a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat tömege (t),
 B_{sz} : a burkolatszélesség (m).

A szállítási (K'_{sz}) és a fenntartási költségek (K'_f) így már összegezhetőek. A végső költségek kialakításánál figyelembe kell még venni azt a tény is, hogy a szállítójárművek útjuk nagy részét közúton teszik meg, melynek fenntartási költségei nem terhelik az erdőgazdaságokat. Így a járművek növekvő teherbírásából eredő kiadások ezen a szakaszokon elmaradnak:

$$K' = K'_f \left(\frac{R_f}{R_f + R_p} \right) + K'_{sz} \quad (17),$$

ahol K' : a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes fajlagos költsége (Ft/tkm),
 R_f : a szállítással érintett erdészeti út hossza (km),
 R_p : a szállítással érintett közút hossza (km).



Az így felírt költségfüggvény már számíthatóvá teszi, hogy egy szállítási feladat milyen költségeket okoz adott úttálapot mellett, illetve azt, hogy adott teherbírású útszakaszokon milyen forgalmi terhelés bonyolítható le gazdaságosan. Fontos még megjegyeznünk, hogy a szállítási költségeket leíró (9) összefüggés csak jól vagy közepesen járható útfelület esetén érvényes. Azon túl a fajlagos szállítási költségek már nem csökkennek, hanem folyamatosan növekednek a megtett út függvényében. Ezért csak a minimálisan elfogadható szint eléréséig használható a (K'_{sz}) összefüggés.

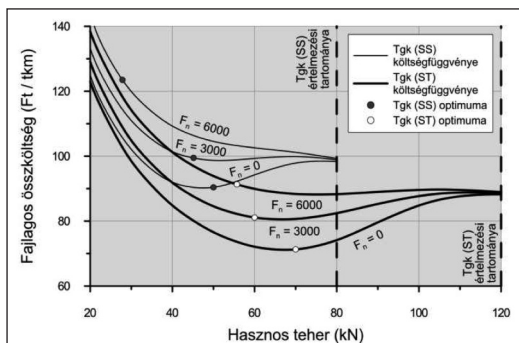
A modell bemutatása egy jellemző erdészeti út példáján

A felállított modell működését egy konkrét szállítási feladatra kidolgozott számpélda mutatja be. A számítással egy adott teherbírással rendelkező meglévő erdészeti út esetén keressük azt a hasznos teherbírással rendelkező tehergépkocsit, amellyel a szállítás folyamata gazdaságosan elvégezhető. A levezetett összefüggéseket az egyenérték-vastagságnak megfelelő tartományon belül vizsgáljuk. Kiindulási adatok:

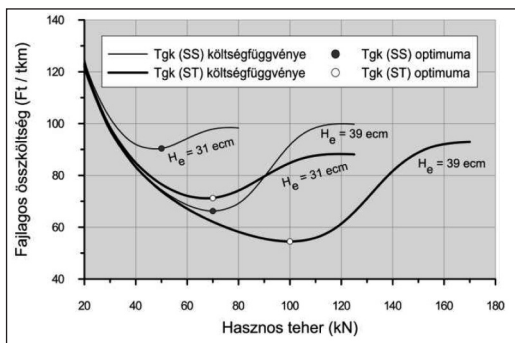
A szállítási feladat:	Q	=	300 000 m ³
A meglévő út egyenérték-vastagsága:	H_e	=	31,00 ecm
A földmű teherbírása:	CBR	=	5%
Az út terhelhetősége egységtengely-áthaladásban:	F_N	=	10 000 db
Az úton már lefutott forgalomterhelés:	F_n	=	0 db
A hajlékony pályaszerkezet merevségi tényezője:	β	=	3,0
Az útburkolat szélessége:	B_{sz}	=	3,5 m
Szállítási távolság:	s	=	50 km
A szállítási távolság erdészeti útra eső része:	R_f	=	20 km
A szállítási távolság közútra eső része:	R_p	=	30 km
Rakodás költsége:	K_r	=	400 Ft / m ³

A (9) képlettel kiszámítjuk a szállítási költségeket. Ezek az értékek szóló és tandem tengely esetén megegyeznek. A (14) képlettel számítjuk a hasznos egyenérték csökkenéseket. Egy tonna rakomány átlagos útfenntartási költségeit egy km hosszon a (16) képlettel becsültük meg. A faanyagszállítás és útfenntartás együttes költségét pedig a (17) összefüggéssel összegeztük. A számítások alapján kapott költségfüggvényeket ábrázolva az alábbi következtetéseket vonhatjuk le. A fenntartási költségek az állapot leromlásával arányosan növekednek. Az állapotleromlás vége az út tönkremenetele, mely alatt az egyenérték-vastagság a felére csökken, ezért a függvények eredményeit is csak eddig a tartományig értékeltük. Ebből következik, hogy a fenntartási költség függvénye felülről korlátos. A szállítási költség a hasznos terhek növelésével egyre csökkenő tendenciát mutat. A 12-es grafikonról leolvasható, hogy tandem tengely esetén a 70 kN-os hasznos terhelésnél van a költségfüggvény minimuma. Szóló tengely esetén pedig ez az érték 50 kN hasznos terhelésnél található.

Az egyesített költségek mellett még megemlítjük az építési költséget, mely az általunk alapul vett út esetében 205 Ft/tkm. Megnövelve az eddig áthaladt forgalomterhelést nulláról $F_n = 3000$, majd $F_n = 6000$ -re, azt tapasztaljuk, hogy a költséggörbék minimuma egyre feljebb tolódik, miközben a hasznos teherbírás lecsökken (12. ábra). Ezért fontos nagyon, hogy az út teherbírása a szállítási feladattal arányos legyen. Ellenkező esetben a nagyobb terhelésű tehergépkocsik drasztikusan megnövelik a fenntartási költségeket. Meg kell jegyezni, hogy az ábrán csak az $F_n = 0$ függvényhez tartozó értelmezési tartomány határa van feltüntetve. A többi esetben, ha az optimum nem a minimumnak látszó helyen van jelölve, akkor a függvény azon a ponton túl nem értelmezhető. A számítás második felében a kiindulási utunk pályaszerkezetét megerősítettük 4 cm aszfaltréteggel (8 ecm). A beépített 4 cm aszfaltréteg fajlagos költsége körülbelül 23 Ft/tkm 2011-es árszinten. A szállítás és fenntartás együttes költségének változását a 3. táblázat foglalja össze. A 13. ábrán láthatjuk, hogy az egyesített



12. ábra: Költségfüggvény eltérő útállapot esetén
 Figure 12: Cost function in case of different road conditions



13. ábra: Költségfüggvény az erősítő réteg után
 Figure 13: Cost function after the strengthening course

költségértékek csökkentek, valamint a költségminimum eltolódott a magasabb hasznos terhelésű járművek irányába.

Egyértelműen megállapítható, hogy a tandem tengellyel rendelkező tehergépjárművek összköltsége lényegesen alacsonyabb, mint a szóló tengelyű járművéké, ezért ezek használata indokolt az erdészeti szállításban. A modell használatával lehetőség nyílik a szállítási és fenntartási költségek, az útállapot és a hasznos terhelésű gépjárművek egymásra hatásának együttes szemléltetésére. Ez elősegíti annak a komplex szemléltetnek a kialakítását, mely megalapozza a fenntartási stratégia szállítási stratégiába való integrálását.

3. táblázat: A szállítójárművek jellemzői a hasznos terheléstől és a tengelyrendezéstől függően
 Table 3: Features of the transport vehicles depending on the axle arrangement and the payload

Szállító-jármű	q (kN)	B (-)	Forduló száma (db)	Egység-tengely áthaladás (db)	K'_{sz} (Ft/tkm)	ΔH_e (ecm)	K'_f (Ft/tkm)	K' (Ft/tkm)
Tgk (ss)	50	0,13768	60000	8261	73,8	11,867	16,61	90,41
Tgk (st)	70	0,14002	42857	6001	61,8	6,762	9,47	71,27
4 cm aszfalterősítés után								
Tgk (ss)	70	0,44100	42857	18897	61,80	3,148	4,41	66,21
Tgk (st)	100	0,54000	30000	16203	51,40	2,200	3,08	54,48

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk során összefüggést kerestünk az erdészeti szállítójárművek hasznos terhelése és a szállítással kapcsolatos meghatározó költségek alakulása között. Az összefüggés meghatározására költség-előrejelző modellt állítottunk fel, amely a raksúly függvényében adja meg a költségeket. A raksúly alkalmazása azért célszerű, mivel a gyakorlatban ennek meghatározása és ellenőrzése a legegyszerűbb. Feltételeztük, hogy a szállítás összköltségét a tényleges szállítási költség és a fenntartás költsége együttesen határozza meg. A fajlagos szállítási árakat erdőgazdasági, valamint általános fuvarozói tarifatablázatok függvényesítése alapján állapítottuk meg. Az árképzésben nem játszott szerepet a szállítási feladat nagysága, viszont a költségekhez hozzászámoltuk a rakodás költségeit. A szállítás m^3 -re vetített fajlagos költsége a távolság, valamint a raksúly növelésével csökkent. A fenntartási költséget a hatékony egyenérték-vastagság pótlás költségeként határoztuk meg elkészült tervek alapján. Értéke $250\text{--}350 \text{ Ft/ecm} \cdot m^2$ -re adódott. A hatékony egyenérték-vastagság csök-



kenését a lefutott forgalom függvényében a (14) képlettel számítottuk. A forgalom meghatározásánál adott szállítási feladat elvégzéséből indultunk ki. A szállítási feladat által generált forgalmat különböző raksúlyú járművek esetében vizsgáltuk a felállított regressziós modellek segítségével. A forgalmat egység tengely-áthaladásban kellett kifejezni a raksúly függvényében. Egy jármű egy fordulójának forgalomterhelését tengelyei hatásának összegeként számítottuk. A (10) képlettel összefüggésbe hoztuk a raksúlyt és a forgalomterhelést. A tengelyek egység tengelyre történő átszámítását az (1) AASHO formulával végeztük. A modellünk értékelésével kimutattuk, hogy adott útállapot és szállítási feladat esetén az alkalmazott feltételek mellett a költségfüggvénynek létezik optimuma. Ezzel kiválaszthatóvá vált a körülményeknek leginkább megfelelő – hasznos teherbírással rendelkező – tehergépkocsi. Így a modell az útfenntartási rendszerek értékes eleme lehet a későbbiekben. A szám példa alapján elmondható, hogy a jelenleg meglévő átlagos aszfaltburkolatú erdészeti utak esetén optimálisnak tekinthető az 50 kN hasznos terhelésű szóló, illetve a 70 kN hasznos terhelésű tandem hátsó tengelyelrendezésű tehergépkocsi. A modell felépítése alatt kétféle módon is igazoltuk, hogy robosztus becslések esetén a tengelyek rongáló hatásának meghatározására az AASHO formula alkalmazható. Emellett igazoltuk azt a korábbi megállapítást is, hogy a hátsó tengely terhelése és a raksúly között lineáris kapcsolat áll fenn. A későbbiekben figyelembe kívánjuk venni a szállítási árak útállapottól – és így raksúlytól – való függését, valamint az állandó, útállapottól független fenntartási költségek alakulását is. Végezetül fontos megjegyezni, hogy a fuvarozó cégek mindig abban lesznek érdekeltek, hogy egy forduló alatt a lehető legtöbb faanyagot szállítsák le, mert így tudják alacsonyan tartani fajlagos költségeiket. Ennek pedig az a hatása, hogy megnövekedett terhelés éri az útpályát, ami a feltáróutak rohamos tönkremeneteléhez vezet. Jelenleg az erdőgazdaságok a szállítási és a látenszen felhalmozódó fenntartási költségek együttes terhét kénytelenek elviselni, amiből csak tudatos útfenntartás esetén sikerülhet kitörni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban bemutatott eredmények a NyME-ERFARET Nonprofit Kft. és Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet együttműködése nélkül nem jöhettek volna létre. Külön köszönet illeti meg a Bakonyerdő Erdészeti és Faipari Zrt., valamint az Egererdő Erdészeti Zrt. munkatársait a költségelemzéshez szükséges adatok szolgáltatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Akay, A. E. 2006: Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model, S dhan XXXI (5): 621–633.
- Burkhard, H. 1995: International Co-Operation on Infrastructure and Heavy Freight Vehicles Within OECD, 4th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions – USA
- Gáspár L. 2003: Útgazdálkodás, Akadémiai Kiadó, Budapest p. 360
- Gáspár L. 2004: Útburkolatok élettartama, Közúti és Mélyépítési Szemle, 54 (8): 2–6.
- Herpay I. 1967: Erdei utak pályaszerkezetének méretezése az új hazai utasítás szerint. Az Erdő XVI (8): 337–345.
- Herpay I. 1973: Kitermelő-anyagmozgató géprendszerek komplex értékelése. Az Erdő XXII (2): 60–67
- Kádas K. 1976: Közlekedésgazdaságtan, Tankönyvkiadó, Budapest
- Koren Cs. 1986: A nehéz gépjárművek tengelysúly-összetétele és egység tengelyre való átszámítása hazánkban. Mélyépítéstudományi Szemle XXXVI (10): 421–426.
- Kosztka M. 1985: Szállítójárművek típusváltozása és az erdészeti utak. Az Erdő XXXIV (2): 50–55
- Kosztka M. 1986: Az erdészeti utak új szemléletű pályaszerkezet tervezése. Az Erdő XXXV (5): 219–221.
- Kosztka M. 1988: Az erdészeti útdatbank. Az Erdő XXXVII (1): 23–26.
- Kosztka M. 2001: Erdészeti utak fenntartási rendszere. Kézirat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron

- Kosztka M. 2009: Erdészeti útépités. Egyetemi tankönyv, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest (p. 320)
- Kosztka M. és Péterfalvi J. 1993: Fenntartási feladatok a hazai erdészeti úthálózaton, Erdészeti Lapok CXXVIII (5): 130–132.
- Kottek P. 2008: Magyarország erdőállományai – 2006. MGSZH EI, Budapest, http://www.mgszh.gov.hu/erdeszeti_cd/index.htm
- Kovács I. 1979: Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 382
- Lopes, E. S.; Machado, C. C.; Souza, A. P. and Ribeiro, C. A. A. 2003: Harvesting and wood transport planning with SNAP III. program (Scheduling and Network Analysis Program) in a pine plantation in southeast Brazil, Revista Árvore XXVII (6): 831–836.
- Molenaar, A. A. A. 1983: Structural performance and design of flexible road constructions and asphalt concrete overlays, doctoral thesis, Technische Hogeschool, Delft (Netherlands)
- Nemesdy E. 1985: Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai. Kutatási részjelentés I., BME Útépitési Tanszék, Budapest
- Palmgren, A. G. 1924: Die Lebensdauer von Kugellagern (Life Length of Roller Bearings. In German), Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 68 (14): 339–341.
- Pankotai G. és Herpay I. 1965: Erdészeti szállítástan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 651
- Parsakhoo, A. and Hosseini, S. A. 2009: Formulation of the Truck Selection Process for Secondary Transportation in Hyrcanian Forests. World Applied Sciences Journal 6(2): 283–288.
- Primusz, P. 2006: Effects of the allowed axle load increase to the track structure of forest road network, Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology, Proceedings of the International Science Conference, Sopron, Hungary 21th–22th September, pp. 139–148
- Rolt, J. 1981: Optimum axle loads of commercial vehicles in developing countries. Transport and Road Research Laboratory Report 1002 (pp. 38), Rowthorne, Berkshire.
- Rumpf J. 1971: Erdőgazdasági útpályaszerkezetek méretezése, a szállítási feladat és a szállítást lebonyolító járművek alapján. Az Erdő XX (6): 249–259.
- Rumpf J. 1973: Az erdészeti szállítás összes költségének csökkentése optimális teherbírású gépkocsik alkalmazásával. Az Erdő XXII (9): 385–392.
- Rumpf J. 1974a: A szállítójárművek tengelyelrendezésének hatása a szállítás összes költségére. Az Erdő XXIII (2): 54–59.
- Rumpf J. 1974b: Az erdészeti szállítás összes költségének csökkentése optimális teherbírású és tengelyelrendezésű gépkocsik alkalmazásával. Doktori értekezés, Erdészeti- és Faipari Egyetem, Sopron
- Timár A. 2002: Közlekedési létesítmények gazdaságtana. Egyetemi jegyzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest (p. 156)
- Tóth E. 1988: Szemelvények a holland útfenntartási kutatási és fejlesztési munkából. Közlekedés- és Mélyépitéstudományi Szemle XXXVIII (9): 395–399.
- Tóth E. és Zsiga-Kiss E. 1986: Az útpályaszerkezetek teherbírás számításának néhány kérdése. Mélyépitéstudományi Szemle XXVI (10): 392–403.

Érkezett: 2011. május 16.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Gyapjaslepke gyilkosfűrész (*Glyptapantheles liparidis*)

A faj a gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) egyik jelentős természetes ellensége. Rizszemre emlékeztető bábjaival tölgyek, cserek kérgén gyakran találkozhatunk. Egy hernyóban akár 50 egyede is kifejlődhet (felső kép). Lárvai azonban csak olyan gazdában tudnak áttelelni, ami maga is hernyó alakban telet. Ennek a feltételnek a gyapjaslepke nem felel meg, hiszen peteként telet. A gyilkosfűrésznek így „teletőgazdára” van szüksége. A nagyon kevés ismert teletőgazda egyike a sárgafarú lepke (*Porthesia similis* – alsó kép). A faj hernyói polifágok, de legszívesebben erdei vadgyümölcsök leveleit fogyasztják. Ez a példa már önmagában is jól érzékelteti az elegység, illetve az elegyfajok erdővédelmi jelentőségét.

Fotó: Csóka György