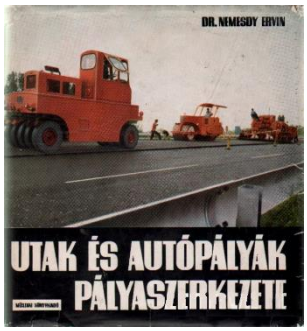
DR. NEMESDY ERVIN: **UTAK ÉS AUTÓPÁLYÁK PÁLYASZERKEZETE - Technológia – Építés**
MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ – BUDAPEST, 1971; o590



A szerzői jog tulajdonosainak engedélyével.

A műből történő bármilyen rész átvétele esetén meg kell jelölni az eredeti forrást!

RÉSZLETES TARTALOMJEGYZÉK

2 AZ ÚTPÁLYASZERKEZET FELÉPÍTÉSE ÉS TEHERBÍRÓKÉPESSÉGE 37
2.1 A pályaszerkezet felépítése és anyagai 37
2.1.1 Alapkövetelmények a pályaszerkezetekkel szemben 37
2.1.2 A pályaszerkezet felépítése és rétegeinek megnevezése 37
2.1.3 A pályaszerkezetek fő anyagai 39
2.2 A teherbíró-képesség mérése a földművön és a pályaszerkezeti rétegeken 40
2.2.1 Teherbíró-képességi mérések célja és fajtái 40
2.2.2 A CBR vizsgálat és jellemző adatai 40
2.2.3 A tárcsás vizsgálat és jellemző adatai 42
2.2.4 Behajlásmérés útburkolaton 44
2.2.5 Tárcsás behajlásmérés földművön és az ágyazaton 47
2.2.6 A teherbíró-képességi jellemzők közelítő összefüggése 48
2.3 A forgalom, a tengelysúlyok nagyságának hatása az útpályaszerkezetekre 48
2.3.1 A burkolat élettartamának és a forgalomnak az összefüggése 48
2.3.2 Az AASHO útkísérletek és fő eredményeik 49
2.3.3 A nehéz tengelysúlyok hatása és átszámítása egységtengelysúlyra 53
2.3.4 A forgalomnagyságok és forgalmi kategóriák értelmezése a pályaszerkezet szempontjából 55
2.4 A hajlékony pályaszerkezet és rétegeinek egyenérték-vastagságai 56
2.2.1 A vastagsági méretmegállapítások lehetséges alapelvei 56
2.4.2 A pályaszerkezeti rétegek egyenérték-tényezői 57
Irodalom 58

2. Az útpályaszerkezet felépítése és teherbírása

2.1. A PÁLYASZERKEZET FELÉPÍTÉSE ÉS ANYAGAI

2.1.1. Alapkövetelmények a pályaszerkezetekkel szemben

Kétségtelen, hogy az utat használó gépjárművezetőket csak az *útburkolat* minősége és jó használhatósága érdekli (érdesség, egyenletesség, láthatóság), tehát a felületi tulajdonságok. Az útépítő vagy útfenntartó szakember azonban már az *útpályaszerkezet* egészével foglalkozik, amelyből csak a legfelső réteg az útburkolat. A pályaszerkezet több rétegű szerkezet, és az alsó rétegek feladata éppen az, hogy az útburkolatról adódó terhelést elosszák és közvetítsék, tehát lecsökkentve átadják a földműnek, a talajnak. A jól megépített, tömör földmű, és azon rajta a pályaszerkezet alsó rétegei — összefoglalóan a *burkolatalap* rétegei — éppen azért szükségesek, hogy a viszonylag vékonyabb, és általában nemesebb, költségesebb anyagból készült útburkolatot megfelelően alátámasszák, kellő *teherbíró-képességet* adjanak a forgalomban ismétlődő könnyű és nehéz gépjárművek terheléseivel szemben. Csak a megfelelő teherbíró-képességű, általában többrétegű pályaszerkezet tudja megvalósítani, hogy az úthasználókat érdeklő, felülről látható útburkolat hosszú ideig valóban egyenletes felületű, jó minőségű maradhasson.

A régebbi időben a földműre csak egyfajta anyag, a behengerelt zúzottkőréteg került. Később már ez is legalább szemnagyságban két rétegre oszlott: a rakott vagy szórt zúzottkőalap (makadámalap), és rajta a viszonylag kisebb szemnagyságú hengerelt, felületén zúzalékkal bekötött zúzottkőréteg (makadámburkolat). Ennek anyaga és vastagsági méretei országszerte elég egyformák voltak, és a különbségek nem annyira a forgalom nagysága vagy a talajminőség eltérő voltát vették figyelembe tudatosan, hanem a rendelkezésre álló kőbányatermékek és a költségelőirányzatok eltérései miatt alakultak ki. Ebben az időben — a makadámburkolatok korszakában — a burkolat és pályaszerkezet különös megkülönböztetésének még nem volt értelme.

Átugorva több fejlődési fokot, a *korszerű pályaszerkezet* réteges felépítése azért előnyös, mert reális, előre megbecsült *kívánatos burkolat-élettartamot* alapul véve, lehetővé válik, hogy:

a) a pályaszerkezet egyes rétegeinek megválasztása, vastagsági méretei és technológiai tulajdonságai révén létrehozható legyen a burkolat megfelelő érdessége, egyenletessége. Így *kellő biztonsággal felveszi* a járműforgalomból huzamosan rá ható *függőleges és vízszintes járműerőket;*

b) a pályaszerkezet rétegeit és összvastagságát a *jövőbeni forgalom* nagyságának, a *talajminőségnek* és a *klimatikus viszonyoknak* megfelelően válasszák meg;

c) a burkolati rétegben megtartva a nemes anyagokat, a pályaszerkezet *alsóbb rétegeit* gazdaságosabb és egyszerűbben beszerezhető *helyi anyagokkal* építsék meg a minőség romlása nélkül;

d) a pályaszerkezet felépítését, a rétegek megválasztását *számos, műszakilag egyenértékű, azonos minőséget, használati értéket adó változatban*, a forgalom, talajminőség, klíma tudatos figyelembevételével tervezzék meg, és a megépítendő változatot az optimális gazdasági és kivitelezési szempontok alapján dönthessék el.

Az előbb felsorolt korszerű fő követelmények alapján az útpályaszerkezetet *méretezés és technológiai mérlegelés* alapján tervezik meg. Ezt nem ebben a kötetben tárgyaljuk; viszont össze kell foglalnunk ezen témakörből mindazon szempontokat, amelyek a *kivitelezést és a technológiát* érintik, és amelyek ismerete nélkül az útpályaszerkezetek kivitelezése nem lehetne tudatos, körültekintő és korszerű.

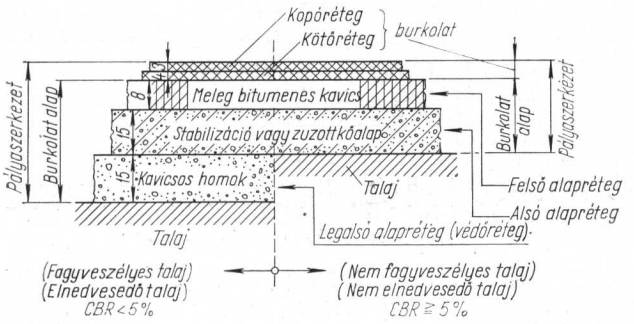
2.1.2. A pályaszerkezet felépítése és rétegeinek megnevezése

Általában hajlékony és merev pályaszerkezeteket különböztetünk meg. A *hajlékony pályaszerkezetek* aszfaltburkolattal, viszonylag nagyobb (1,0...1,5 mm-t is kitevő) teher alatti süly-

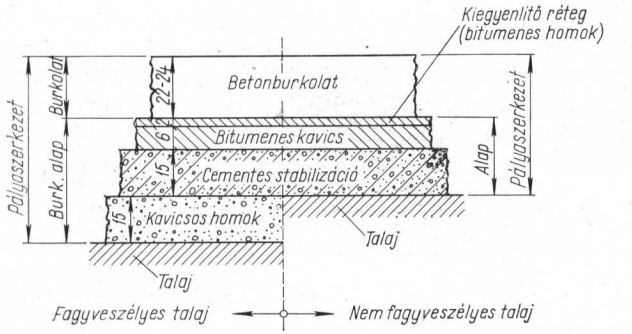
lyedést elviselő alapokkal készülnek, amíg a *merev pályaszerkezetek* főtípusa a betonburkolat.

Az útpályaszerkezetek általában több rétegből tevődnek össze. Igen fontos, hogy ezen rétegek elnevezését helyesen használjuk, mivel a tapasztalat szerint sokszor csak az egyes rétegek hibás elnevezéséből, helytelen szóhasználatból is komoly gyakorlati hibák keletkezhetnek. A hazai elnevezéseket a 2-1. és 2-2. ábrán szemléltetjük, ezeket az illetékes minisztériumi, kutatóintézeti és egyetemi szervek és az útépítő gyakorlat — eltérően a régebbi időszak teljesen áttekinthetetlen szóhasználatából — mind egységesebben használja. Az egyes rétegek megnevezése és fő szerepük a *hajlékony* és a *merev pályaszerkezet* felépítésében egyaránt a következő:

Burkolat. A pályaszerkezet legfelsőbb, nagystabilitású, legértékesebb része, amely a forgalmat, a terhelést közvetlenül viseli, és amelynek felülete az érdesség, egyenletesség



2-1. *ábra.* Hajlékony útpályaszerkezet felépítése és megnevezései



2-2. *ábra.* Merev útpályaszerkezet felépítése és megnevezései

és láthatóság révén az úthasználókat elsősorban befolyásolja. Sokszor két rétegből áll: felül a *kopóréteg*, alatta a *kötőréteg*, amely a kopóréteg alaphoz rögzítését, a vízszintes járműerők felvételét biztosítja. A betonburkolat pedig egyetlen merev réteg, melyet a hossz- és keresztházagok osztanak táblákká.

Alap vagy *Burkolatalap.* Feladata, hogy a burkolat számára kellő alátámasztást, megfelelő teherbíró-képességet adjon, és a terhelést jelentősen elosztva, lecsökkentve adja át a földmű felső síkjára, amellyel közvetlenül érintkezik. A burkolatalap igen sokszor maga is több (2...3) rétegből áll.

Alap felső és alsó rétegei. Az alap felső rétege többnyire viszonylag nagyobb stabilitású, szilárdabb réteg, amely még hajlítási húzásokat is felvesz, és víz ellen is szigetel. (Pl. melegen kevert bitumenes kavics.) Az alap alsó rétege már viszonylag kisebb stabilitású, kisebb szilárdságú, hajlítási húzószilárdsága már nincs vagy csekély, zúzottkő réteg vagy talajstabilizáció, esetleg sovány beton lehet.

Védőréteg. Az alap legalsó rétege. A kötött anyagú földmű tetején elhelyezkedő 10...30 cm közötti vastagságú szemcsés réteg (homokos kavics). Fagyvédőrétegként, elnedvesedés elleni szűrőrétegként alkalmazzák, és mivel feladata a vízelvezetés, a vizet feltétlenül megbízhatóan ki kell vezetni belőle. A védőréteg a korszerű felfogás szerint beleszámít a pályaszerkezet vastagságába.

Pályaszerkezet. Magába foglalja a burkolatot, a burkolatalapot, ezen belül természetesen a védőréteget is, ha van. Nem foglalja magába a földműn esetleg alkalmazott javított talajréteget.

Földmű. A töltések és bevágások tömörített talajanyaga, amely alátámasztja a pályaszerkezetet. Beleszámít a földműn esetleg alkalmazott javított talajréteg, ami az építés közben csökkent teherbírást ellensúlyozza.

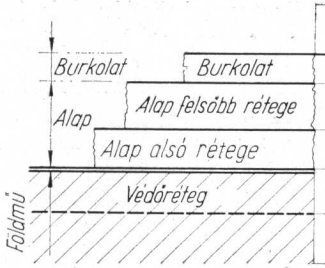
Javított talajréteg. A földmű legfelső rétege, amely az építés közben elnedvesedett kötött földmű felső részén kellő teherbíró-képességet ad (visszaállítja a megkívánt értéket); készíthető a nedves kötött talaj meszes stabilizálásával vagy talajcsere útján homokos kavicsrétegből, amelyet ekkor külön víztelenníteni kell. A pályaszerkezet vastagságába a javított talajréteg nem számít bele.

A 2-3. ábrán a szakirodalomban legtöbbet előforduló idegen kifejezéseket vetjük össze a magyarokkal. Megjegyezzük, hogy legtöbb elnevezési zavar az „*ágyazat*" elnevezéssel volt; jobb is helyette egyértelműen az „alap legalsó rétege" kifejezést alkalmazni. Sokszor összecserélték hibásan a védőréteggel, máskor az alap alsó rétegét ágyazatnak nevezték.

Merev pályaszerkezet esetén a helyzet sokkal egyértelműbb és egyszerűbb, a 2-3. ábrának megfelelően.

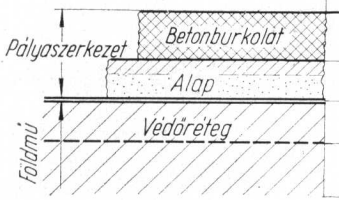
2-3. *ábra.* Hajlékony pályaszerkezetek *(a)* és merev pályaszerkezetek *(b)* rétegeinek magyar és nemzetközi megnevezései

(Újabban a védőréteg, mint az alap legalsó rétege a pályaszerkezet része, ezen ábrával ellentétben.)



Anglia, USA	Franciaország	Német nyelvterület	Szovjetunió
Surfacing	Revêtement	Fahrbahndecke	Pokrityije
Base	Couche de base	Obere Tragschicht	Osznovanyije
Subbase	Fondation		
Subgrade	Sous-couche de fond.	Untere Tragschicht	Zemlyanoje polotna
Earthwork	Terrain naturel	Unterbau	

a)



Anglia, USA	Franciaország	Német nyelvterület	Szovjetunió
Concrete slab	Dalle de béton	Betondecke	Betonnoje pokrityije
Base	Fondation	Obere Tragschicht	Osznovanyije
Subgrade	Sous-couche de fond.	Untere Tragschicht	Zemlyanoje polotna
Earthwork	Terrain naturel	Unterbau	

b)

2.1.3. A pályaszerkezetek fő anyagai

Régebben a teljes pályaszerkezetet, annak valamennyi rétegét kőbányából kitermelt, zúzott és onnan a helyszínre szállított kőanyagból készítették. A zúzottkő és a kőbányából szállított zúzalék ugyan alapvetően fontos alapanyag most is az útépítésben, azonban ma elsősorban olyan körülmények között, olyan rétegekben igyekszünk alkalmazni, ahol a nagyobb szilárdságú, nagyobb szállítási költséggel is terhelt nemesebb kőbányai építőanyag kedvezőbb tulajdonságait ki is tudjuk használni. Így elsősorban a *burkolati rétegekben* használunk kőbányából beszerzett, jó minőségű *zúzalékot, zúzottkövet.* Az alaprétegekben a *zúzottkőalap* régebbi túlnyomó alkalmazása helyett ma mindinkább teret hódítanak a *helyi anyagokból készített* burkolatalapok. Ilyenkor vagy a földmű alkalmasnak talált talaját használjuk fel kötőanyaggal keverve és tömörítve, vagy a közelben felkutatott anyagnyerőhelyről szállítanak be a földműre helyi kőanyagot vagy olyan talajfajtát, amelyből kötőanyaggal (cementtel, bitumennel, mészszel) *stabilizált alapréteget* lehet készíteni helyszíni keveréssel. Ezt általában az alap alsó rétegeként használják fel. A *kisforgalmú utak*, pl. mezőgazdasági utak esetén a stabilizált talajréteg a teljes burkolatalapot is képezheti, amelyre már csak egy vékony aszfaltréteg, -burkolat kerül. Közepes vagy nehéz forgalmú utak esetén azonban a stabilizált talajrétegre — vagy akár zúzottkő alapra — az alap felső rétegeként sokszor alkalmaznak ún. *meleg bitumenes útalapot* (bitumenes kavicsot), amelyet jó minőségű, kedvező szemeloszlású homokos kavicsból aszfaltkeverő-telepen, keverőgépben, útépítőbitumennel keverve állítanak elő és a helyszínre szállítva építenek be. Sok esetben, főleg városi utakon vagy útkorszerűsítés, pályaszélesítés esetén a homokos kavicsból keverőtelepen betonkeverőben kevert *betonalapot*, mégpedig többnyire szándékosan korlátozott szilárdságú *sovány betonalapot* alkalmaznak.

A hajlékony pályaszerkezetek legfelső rétege mindig *aszfaltburkolat.* Adalékanyaguk kőbányából beszerzett jó minőségű zúzottkő, zúzalék, illetve jó minőségű homok, mészkőliszt. Ezeket az adalékanyagokat bitumennel, mint kötőanyaggal keverik vagy átitatják és tömörítik, így keletkezik az aszfalt. A sokféle aszfaltburkolat egymástól főleg az alkalmazott adalékanyagok minőségében, szemeloszlásában, a kötőanyag, a bitumenfajta és a készítési technológia különbségeiben tér el. A legnagyobb terhelést, legnehezebb forgalmat viszonylag a legkedvezőbb felületi tulajdonságokkal, hosszú ideig viselik el az *aszfaltbeton burkolatok*, valamint az *öntött aszfalt burkolatok.* Ezeket elsősorban a nagyforgalmú főútvonalakon, autópályákon, városi főutakon alkalmazzák. (Az aszfaltbeton burkolat azonban közepes—könnyű forgalom mellett is gazdaságos.)

Egyszerűbb építési technológiával, zúzottkő felhasználásával készülnek a közepes—könnyű forgalomra alkalmas

különféle *aszfaltmakadám burkolatok*. Ilyenek a *kevert* aszfaltmakadám, a *kötőzúzalékos* aszfaltmakadám, az *itatott* aszfaltmakadám. Főleg régi aszfaltburkolatok megelőző karbantartására alkalmas eljárás a *bitumenes felületi bevonás*, amely vékony aszfaltzáróréteget, kopóréteget képez a régi burkolaton vagy régi makadámon.

Ma már alig építenek új *kőburkolatokat*, mert felületi tulajdonságuk (érdességük, egyenletességük) már nem számít kedvezőnek. Korszerűsítés esetén rendszerint kiszélesítve, mint jó burkolatalapot használjuk fel őket.

A *betonburkolat* jó anyagok és helyes építési technológia mellett igen nagy forgalmat is jól elviselő, nagy élettartamú burkolat, amely általában csak városon kívül, főútvonalakon, autópályákon, és néha ipari vagy mezőgazdasági üzemi úthálózaton kerül alkalmazásra, általában viszonylag korlátozottabb mértékben.

Az *autópályák*, gyorsforgalmi utak burkolata egyaránt *cementbeton*, *aszfaltbeton*, sőt *öntött aszfalt* is lehet. Azt, hogy autópályák építéséhez egy ország milyen arányban alkalmaz aszfalt- vagy betonburkolatot, nem az aszfalt- vagy betonburkolatok műszakilag alkalmasabb vagy kevésbé alkalmasabb volta befolyásolja — ezek egyenértékűek lehetnek —, hanem mindenhol gazdasági, gépesítettségi, anyagbiztosítási szempontok döntik el.

2.2. A TEHERBÍRÓ-KÉPESSÉG MÉRÉSE A FÖLDMŰVÖN ÉS A PÁLYASZERKEZETI RÉTEGEKEN

2.2.1. Teherbíró-képességi mérések célja és fajtái

A teherbíró-képességi mérések célja az, hogy a földmunka és az útpályaszerkezet egyes rétegeinek, valamint a kész burkolatnak a terheléssel szembeni ellenállását, alakváltozásának nagyságát és változását meghatározza. A mérések által kapott jellemzők, számértékek részben a *pályaszerkezetek méretezésekor* szükségesek, részben az egyes rétegek *beépítésekor mint minőségi jellemzők* ellenőrzését segíthetik elő, részben *pedig a kész burkolaton annak időbeli állapotát*, olvadási károkra való hajlamosságát is jellemzik, és felhívják a figyelmet a víztelenítési hibákra is.

Négyféle teherbíró-képességi mérést használunk:

1. *A CBR vizsgálat* laboratóriumban vagy helyszínen (talaj, földmű jellemzésére).
2. *Tárcsás terhelési vizsgálat* (földmű, alap és burkolat jellemzésére egyaránt).
3. *Egyszerű behajlásmérés* (csak burkolat vagy kötött alapréteg esetén).
4. *Tárcsás behajlásmérés* (földmű vagy alapréteg esetén).

A teherbíró-képességi vizsgálatok végrehajtási részleteit az *MSZ 2509—67* szabvány tartalmazza.

Megjegyezzük még, hogy szándékosan nem tárgyalunk itt több olyan módszert, amelyek *dinamikai alapon* állapítják meg a teherbíró-képesség nagyságát (ejtősúlyos módszerek, rezgéskeltő berendezésekkel való mérések). Ezek a módszerek általában még kísérleti stádiumban vannak, és a gyakorlati minőség ellenőrzésre még nem alkalmasak.

2.2.2. A CBR vizsgálat és jellemző adatai

A CBR vizsgálat lényege, hogy a vizsgált talajt egy 5 cm átmérőjű hengerrel terhelve erő-süllyedési görbét veszünk fel, penetrációs kísérletet végzünk. A talajt jellemző behatolási, penetrációs görbét, ill. két pontját (a 2,5 mm, ill. 5,0 mm süllyedéshez tartozó erőhatásokat) összehasonlítjuk a 100%-os teherbírásúnak elfogadott tömör zúzottkőréteg penetrálási, behatolási görbéjével (ill. két pontjával), amelyet a szabvány tartalmaz.

Az arányszámot %-ban kifejezve kapjuk a talaj *CBR* értékét, számát. Ez tehát azt fejezi ki, hogy az illető talaj teherbírása hány százaléka az összehasonlítási alapul választott tömör szabvány-zúzottkőrétegnek.

Az eljárást Californiában fejlesztették ki (*C*alifornian *B*earing *R*atio — *CBR*), és alkalmazása az egész világon elterjedt.

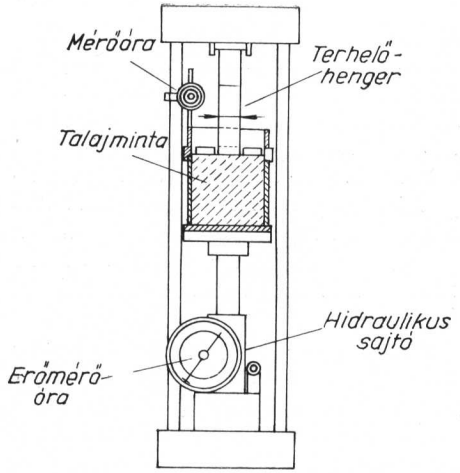
A terhelő berendezést laboratóriumi mérés esetén a 2-4. ábrán, a helyszíni mérés esetén a 2-5. ábrán láthatjuk, utóbbi esetben egy tehergépkocsit alkalmaztak ellensúlyként a hidraulikus vagy mechanikus emelővel előidézett nyomóerő felvételére.

A 2-6. ábrán egy behatolási görbéket tartalmazó diagramot láthatunk, ahol a standard zúzottkő-görbe is szerepel, mint az összehasonlítási alap. Ha a talajon mért behatolási nyomásértékek 2,5 mm-nél $p_{2,5}$, valamint 5 mm-nél p_5 (kp/cm²), akkor számítani kell az alábbi százalékértékeket:

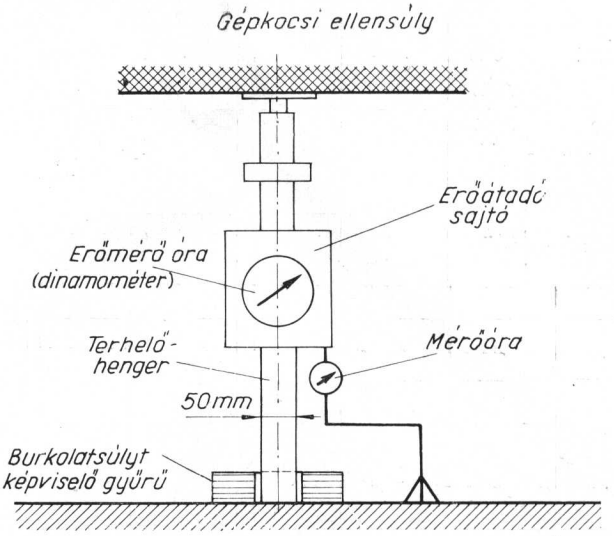
$$CBR_{2,5} = 100\,\frac{p_{2,5}}{70}, \quad \text{és}$$

$$CBR_5 = 100\,\frac{p_5}{105}.$$

A két érték közül a nagyobbik a talaj *CBR*% értéke. Megjegyzendő, hogy a *CBR* vizsgálatot *29 mm-nél kisebb* szemcséjű anyagokon lehet csak végezni. (Nagyobbszemű kavicstalajon tárcsás mérést kell alkalmazni.)



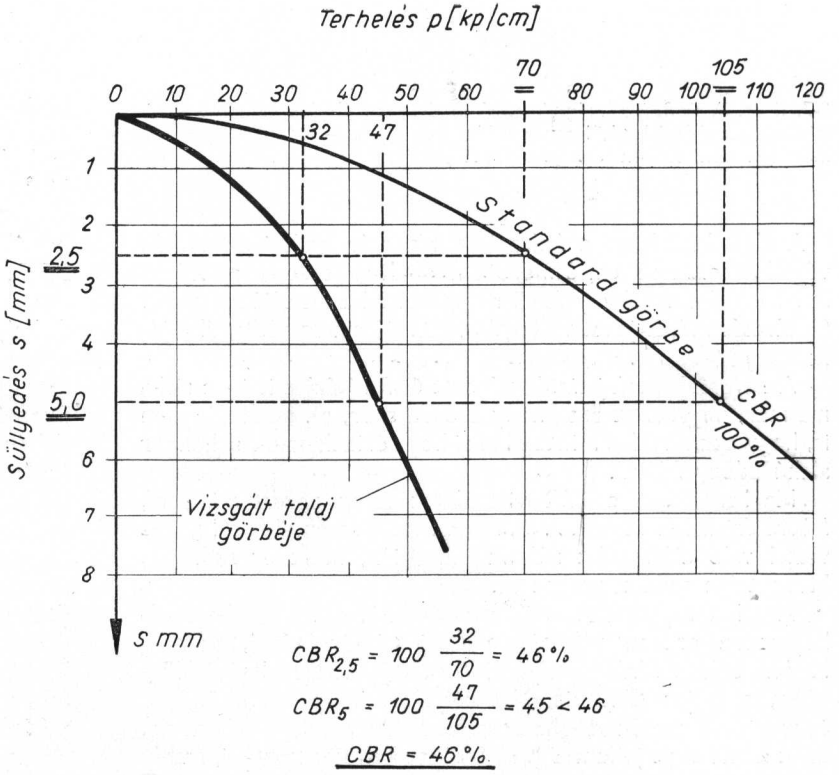
2-4. *ábra.* CBR-vizsgálat berendezése laboratóriumban



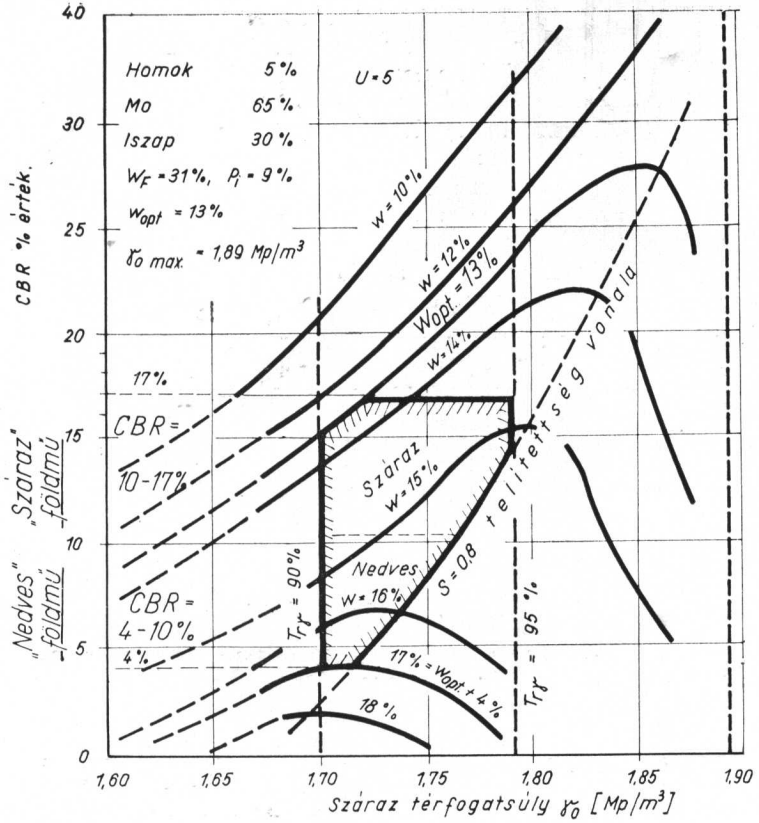
2-5. *ábra.* CBR-vizsgálat elrendezése helyszínen

A talaj értékelése a CBR szám szerint közelítőleg a következő:

CBR érték:
- 2... 4%: gyenge, rossz altalaj
- 5... 7%: közepesen gyenge altalaj
- 7... 15%: megfelelő altalaj
- 15... 30%: jó altalaj, közepes alsó alapréteg
- 40... 70%: kitűnő alsó alapréteg
- 70...100%: jó alapréteganyag



2-6. *ábra.* CBR-vizsgálat behatolási görbéje és az összehasonlítás alapját adó tömör zúzottkőrétegre jellemző standard behatolási görbe



2-7. *ábra.* A *CBR*-tömörség-víztartalom diagram alapján az illető talajfajtában megállapítható, hogy a földműnek száraz—nedves állapotában mekkora teherbíró-képessége várható

A *CBR* kísérletet a *helyszínen* ma már csak igen ritkán végzik, mert az 5 cm átmérőjű nyomóhenger csak a földmű kb. 10...15 cm vékony felső rétegéről ad csak tájékoztatást. (A tárcsás mérés jóval vastagabb, 60...80 cm-es rétegről tájékoztat.)

A *zavartalan talajmintán* végzett *CBR* kísérlet is igen ritka ma már, ugyanis az eredmény erősen szór, pl. attól függően is, hogy a zavartalan minta oldalai hogy érintkeznek a henger alakú edény falával.

Ma hazánkban a *CBR* vizsgálatot főleg *zavart mintával, laboratóriumban* végzik. A külföldön szokásosan előírt 4 napos vízzel való elárasztást nálunk elhagyják, mert ez szóródó, bizonytalan eredményeket ad.

Mivel a tapasztalat szerint a földmű, a talaj teherbíróképessége erősen változik a talaj tömörségétől, azaz γ_0 Mp/m³ száraz térfogatsúlyától és a w% víztartalmától függően, a teljes *CBR* vizsgálat célja az, hogy különböző γ_0 és w adatok esetén meghatározzák a *CBR* értékek változását. Ezek közül azt a jellemző *CBR* értéket kell kiválasztani, amely a talaj, a földmű valóságos, építés utáni helyzetének valóban megfelel.

A vizsgálandó talajból ezért legalább háromféle tömörséggel, és legalább háromféle víztartalommal kell három csoportban mérni a különböző talajmintákon a *CBR* értékeket.

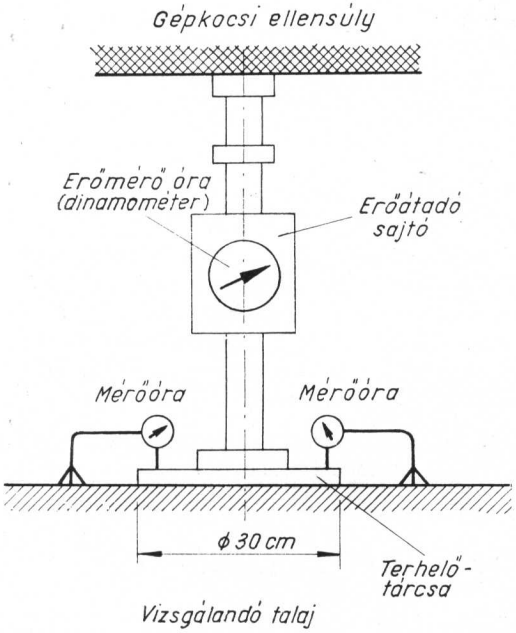
A laboratóriumi *CBR* vizsgálatban a talajmintákat a 15,2 cm átmérőjű, 11,4 cm magas *CBR*-hengeredénybe 5 rétegben, rétegenként szabványos döngölővel, azonos tömörítőmunkával döngöljük be. Egy mintacsoportot rétegenként 10...15 ütéssel tömörítünk (munkahelyi legkisebb tömörség), másik csoportot 20...25 ütéssel, a harmadik csoportot 30...35 ütéssel tömörítjük rétegenként (utánozva a munkahelyi közepes és a legkedvezőbb tömörséget). A csoportokon belül a víztartalmat is változtatjuk. A talaj optimális tömörítési víztartalmát előzőleg Proctor-vizsgálattal megállapítottuk (l. 65. oldalt), és a víztartalmat W_{opt} értékre, majd ennél 2...3%, valamint 4...6%-kal magasabb értékre állítjuk be. Így legalább 9 mintát készítünk, ezeken megmérjük a *CBR* értéket, és mintát véve a hengerekből, meghatározzuk utólag a minták γ_0 száraz térfogatsúlyát és w% víztartalmát. Az adatokat egy $CBR - \gamma_0 - w$ diagramban rakjuk fel. A talajt reálisan és megbízhatóan ez a diagram jellemzi teherbíróképességi szempontból. Az ilyen diagramon (2-7. ábra) már megbízhatóbban körül lehet határolni azt a területet, amely megfelel majd az épülő földmű tömörségi viszonyainak, várható víztartalmának, és így az ábráról meg lehet állapítani a földmű teherbíró-képességét valóban jól jellemző *CBR* értéket vagy inkább értékintervallumot.

Ha a talajt közelítően akarjuk vizsgálni, akkor csak az azonosítási vizsgálatokat végezzük el, és a különböző tömörségi fok és víztartalom mellett várható *CBR*% értékeket a szabvány talajfajtánként megadott grafikonjáról leolvashatjuk, a hosszadalmas *CBR* vizsgálat nélkül.

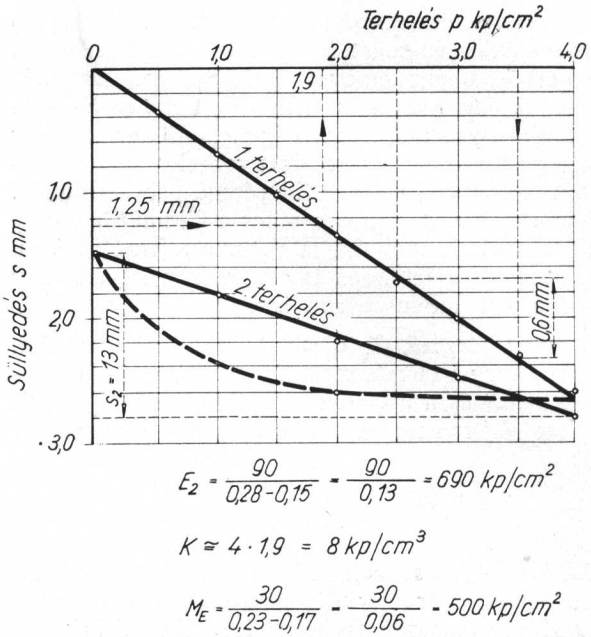
2.2.3. A tárcsás vizsgálat és jellemző adatai

A helyszíni tárcsás vizsgálat kb. 30 min alatt végrehajtható, teherautó-ellensúllyal, 30 cm átmérőjű nyomótárcsával végzett *próbaterhelés*. A 2-8. ábra szerint sajtóval terheljük a nyomótárcsát, mérőórával mérjük a süllyedést, minden 0,5 (kp/cm²) lépcsőnél kivárva a konszolidációt. Először 4,0 (kp/cm²) nyomásig fokozzuk a terhelést, utána tehermentesítünk, majd másodszor is 4,0 kp/cm² nyomásig terhelünk. A kapott két terheléssüllyedés-görbe közül az E_2 rugalmassági modulusnál a 2. terhelést, a laposabb 2. görbét vesszük figyelembe, mert ennél már kisebb a maradó alakváltozás (2-9. ábra).

Az ideális tárcsaátmérő 76 cm lenne (különösen köves, kavicsos talaj esetén), mert ennél nagyobb átmérő használatakor a tárcsaátmérő már nem befolyásolja a süllyedés mértékét. Hátrány, hogy ilyen nagy felületű tárcsához igen nagy ellensúly kellene, ezért a még megbízható *30 cm átmérőjű*



2-8. *ábra.* Tárcsás vizsgálat elrendezése a helyszínen



2-9. *ábra.* Tárcsás vizsgálat mért süllyedési görbéi és a kiértékelés, az E_2, C, M_E számítása (az ábrán C helyett K van)

tárcsát alkalmazzuk a terheléshez. (Ennek süllyedését át lehet számítani a 76 cm átmérőre.)

A tárcsás vizsgálattal a földmű vagy az egyes pályaszerkezeti rétegek, vagy akár a burkolat teherbíró-képességi jellemzőit megbízható módon lehet mérni. Ezek: az E_2 *rugalmassági modulus* (hajlékony burkolat esetén) és a K *ágyazási tényező* (betonburkolat esetén). Néha még alkalmazzák az ún. *VSS összenyomódási modulust* is.

1. Az E_2 *teherbíró-képességi (rugalmassági) modulus* a tárcsás vizsgálatból nyert 2. terhelési görbéből állapítható meg. Szokásos gyakorlati számítási képlete:

$$E_2 = 1{,}5\frac{pr}{s} = 1{,}5\frac{4{,}0 \cdot 15}{s} = \frac{90}{s}\ (\mathrm{kp/cm^2}),$$

ahol $r = 15$ cm a tárcsa sugara, $p = 4$ kp/cm² a legnagyobb nyomás és s cm az ehhez tartozó süllyedéskülönbség, a 2. terhelés görbéjének az eleje és vége között.

Megjegyezzük, hogy a fent használt összefüggés valójában csak a homogén izotróp féltérre, tehát gyakorlatilag csak az egynemű altalajra volna érvényes, mivel a p nyomással terhelt körtárcsa alatt bekövetkező süllyedés képletéből ered a fenti E_2 rugalmassági modulus.

Ha nem altalajon, földművön (közelítően homogén féltéren) végezzük a tárcsás vizsgálatot, hanem az egyik alaprétegen vagy a burkolaton, azaz a kész pályaszerkezeten, akkor tulajdonképpen *többrétegű rendszert* (nem pedig homogén izotróp félteret) terhelünk. Ilyenkor a kapott E_2 modulus értelmezésére ügyelni kell: semmiképpen nem a vizsgált alapréteg (pl. stabilizált alap) vagy az aszfaltburkolat anyagának rugalmassági modulusáról van szó szokásos szilárdságtani ($\sigma = E\varepsilon$) értelemben, ezért helyesebb is ilyenkor a félre nem érthető E_2 *teherbíró-képességi modulus* elnevezés.



2.1 kép. Tárcsás vizsgálat 30 cm átmérőjű terhelő tárcsával

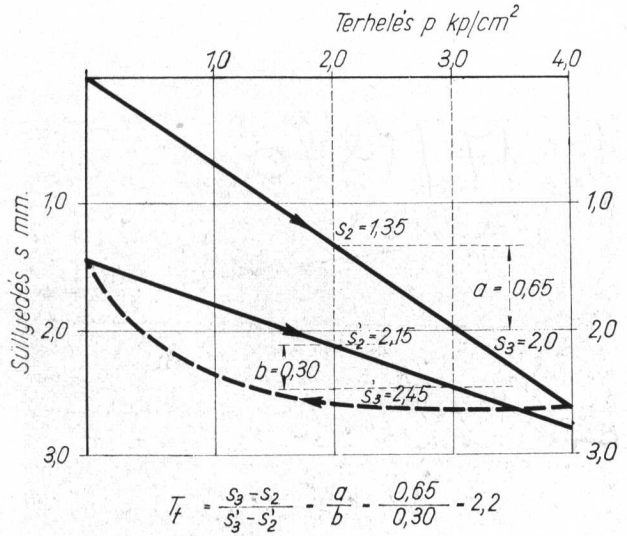
Egy több rétegű rendszerben (földmű-alapburkolat esetén) az egyik réteg felületén mért E_2 modulus olyan jellemző, helyettesítő érték, amely nemcsak a felső rétegre, hanem az *alatta levő valamennyi rétegre és altalajra együttesen jellemző érték*, tehát egy olyan helyettesítő homogén izotróp féltér rugalmassági modulusa, amely az adott terhelés alatt ugyanakkora süllyedést mutat, mint a több rétegű pályaszerkezet. Ha pl. a földmű tömörítetlensége miatt a földműn mért E_2 modulus túlságosan alacsony érték, akkor a ráfektetett igen jó minőségű alapréteg felületén is csak viszonylag alacsony teherbíró-képességi modulus adódhat.

2. A *tömörségi tényező*, T_t olyan jellemző viszonyszám, amely azt jelzi, hogy a tárcsás terhelés első terheléséből számítható E_1 kp/cm² és a második terhelésből számítható E_2 kp/cm² teherbíró-képességi modulusok hogy viszonylanak egymáshoz:

$$T_t = \frac{E_2}{E_1} \approxeq \frac{s_3 - s_2}{s_3' - s_2'},$$

ahol s_2 a 2,0 kp/cm², az s_3 pedig a 3,0 kp/cm² terhelés hatására az első terhelés görbéjéről leolvasható süllyedés; amíg az s_2' és az s_3' az ugyanezen terhelési lépcsőkön a második terhelés görbéjéből leolvasható süllyedés (2-10. ábra).

Ha a talaj vagy a pályaszerkezeti réteg tömörsége igen jó, és már tovább nem tömörödik, akkor a tárcsás vizsgálat két terhelési görbéjének hajlása majdnem egyforma, és akkor $E_2 \approx E_1$ lévén $T_t \approx 1$. A talaj vagy szerkezeti réteg tömörítettsége mindenképpen kifogásolható, ha T_t értéke 2,0...2,2 felett van. A T_t tömörségi tényezőre különben előírás nincs, és nem tévesztendő össze a később tárgyalandó, sokkal



2-10. ábra. A tömörödési tényező megállapítása a két terhelési görbe alapján

fontosabb T_{ry}% *tömörségi fok* (Proctor-tömörség) fogalmával (65. oldal).

3. A K (kp/cm³) *ágyazási tényező* a $p = Ks$ lineáris terhelés—süllyedés összefüggést kifejező alapegyenlőségből adódóan

$$K = \frac{p'}{s'} 0,5 = \frac{p'}{0,125} 0,5 = \underline{4p' \text{ (kp/cm}^3\text{)}}.$$

A 0,5 szorzó az átszámítási tényező a 30-ról a 76 cm átmérőjű nagy tárcsára. A p' (kp/cm²) nyomás az 1. süllyedési görbéből az $s' = 0,125$ cm $= 1,25$ mm süllyedéshez tartozó nyomás értéke. Az 1,25 mm a betonburkolathoz mértékadó, Westergaard-féle méretezéshez felvett lehajlásérték, az 1. görbe kezdőpontjától számítandó (2-9. ábra).

4. Megemlítjük még a *VSS svájci összenyomódási modulust* (M_E), amelyet az első terhelési görbéből számít a svájci szabvány (2-9. ábra):

$$M_E = \frac{\Delta p}{\Delta s} D \text{ (kp/cm}^2\text{)} = \frac{30}{\Delta s} \text{ (kp/cm}^2\text{)},$$

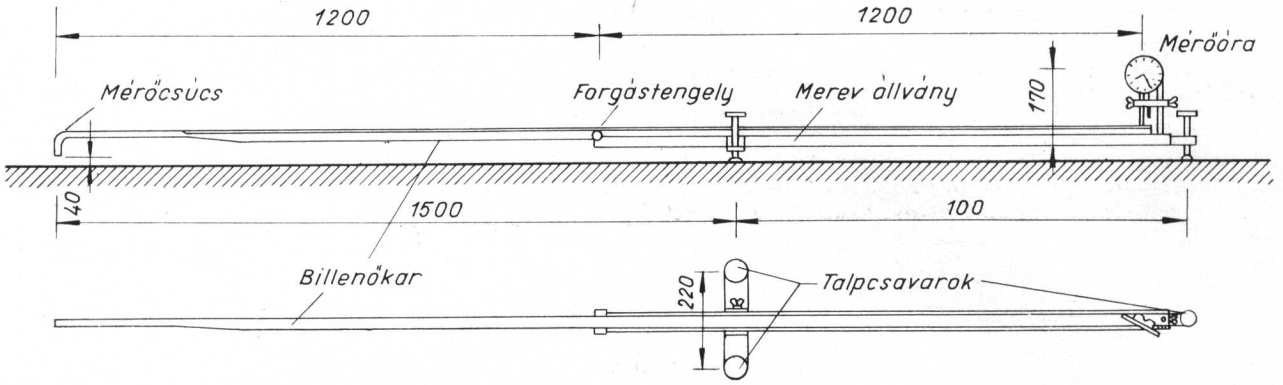
ahol $\Delta p = 1,0$ (kp/cm²) terheléskülönbség, $p = 2,5$ és 3,5 kp/cm² között; Δs az erre előálló süllyedéskülönbség, $D = 30$ cm a tárcsaátmérő. Minőségellenőrzési állandónak használták nálunk is. Használata erősen visszaszorult az E_2 teherbíróképességi modulus elterjedése miatt.

2.2.4. Behajlásmérés útburkolaton

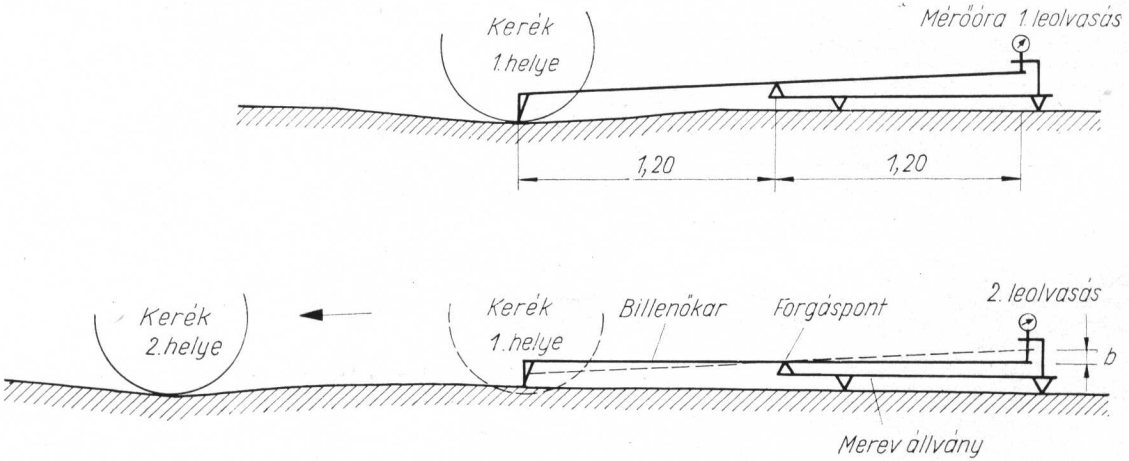
A behajlásmérés a burkolat felszínén vagy stabil pályaszerkezeti rétegeken kb. 2...3 min alatt végrehajtható gyors, jellemző *próbaterhelés*, amelyet terhelt tehergépkocsi hátsó kettős abroncsának a terhelése alatt végzünk. Az 5 Mp kerékterhelésre átszámított, mérőórával mért lehajlás értéke mm-ben fordítva arányos a teherbíró-képességgel.

A behajlásmérést az eredetileg az amerikai WAASHO útkísérletek alkalmával alkalmazott *Benkelman*-féle tartó tapasztalatai alapján terjedt el Európa legtöbb országában. A nálunk szabványosított és széleskörűen elterjedt lehajlásmérő műszert és alkalmazásának elvét a 2-11a. és 2-11b. ábra szemlélteti. A készülék egyik része a burkolatra három ponton feltámaszkodó *merev állvány*, amelyre a végén egy 1/100 mm-es *mérőóra* van rögzítve. A merev állvány végén levő forgástengelyen egy 2,40 m hosszú merev *billenőkar* van. A billenőkar egyik végének függőleges elmozdulását a másik végén a mérőóra pontosan méri és mutatja.

A mérés végrehajtása során a tehergépkocsi hátsó ikerabroncsával a vizsgálandó burkolatrészre áll rá. Ezután a *billenőkaros behajlásmérő műszert* úgy állítjuk a burkolatra, hogy a mérőcsúcs az ikerabroncsok között támaszkodjon a burkolatra és ebben az állásban a mérőórát leolvassuk vagy



2-11a. *ábra.* Billenőkaros behajlásmérő készülék (régi típus)

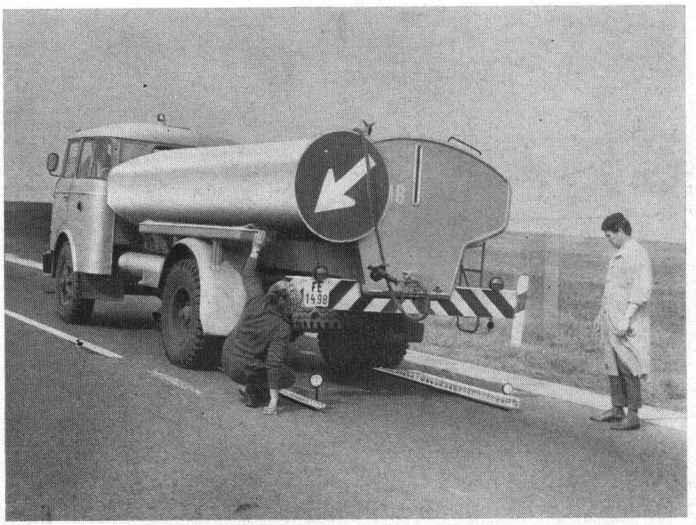


2-11b. *ábra.* Behajlásmérés végrehajtása a tehergépkocsi hátsó ikerabroncsa alatt

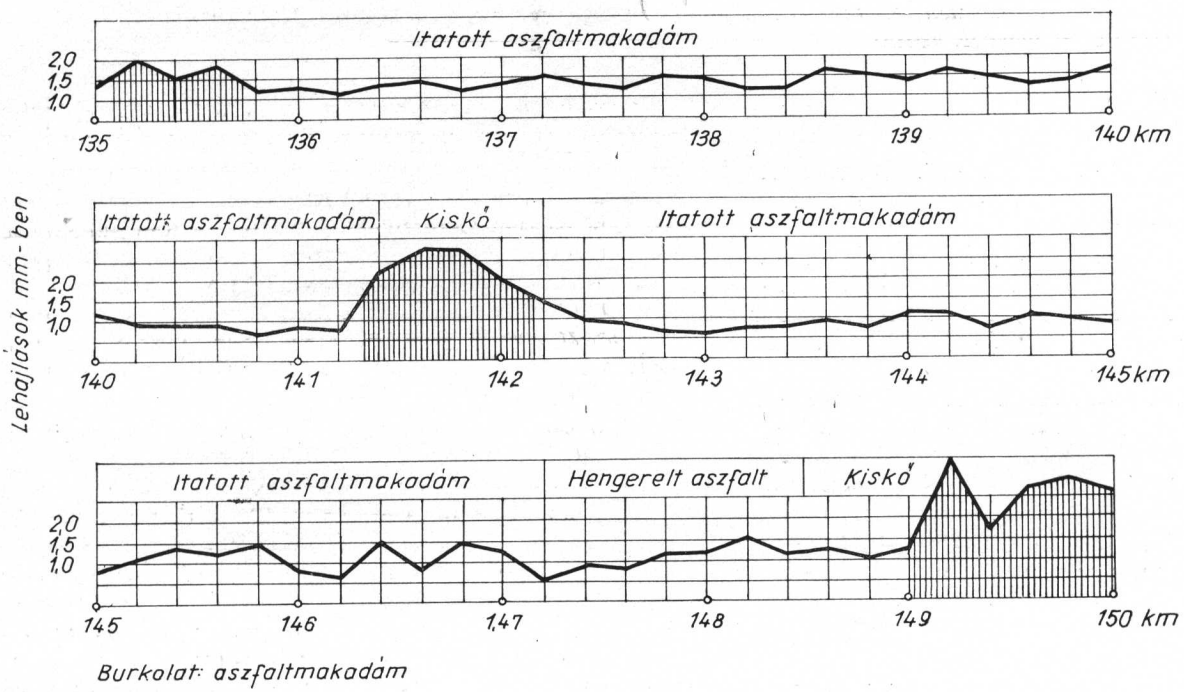
0-ra állítjuk. Ekkor a tehergépkocsi legalább 3 m távolságra továbbhalad, és így a burkolat a mérőcsúcs helyén tehermentesül, a rugalmas alakváltozás megszűnik. A rugalmas felemelkedés után a mérőórát újra leolvassuk, a két leolvasás különbsége a *b* mm behajlás értéke.

Előnyös, ha a mérést két behajlásmérő készülékkel mérjük egyszerre a két iker kerékabroncs alatt. A mérést 3 m-rel távolabb meg kell ismételni és a két közeleső érték átlaga adja a behajlás *b'* mm mért értéket. (Nagyobb eltérés esetén újra mérünk, és a hibás mérési eredményt kiejtjük.) Tulajdonképpen tehát csak a *rugalmas* alakváltozást mérjük, a maradó alakváltozás nagysága itt még elhanyagolhatóan kicsi.

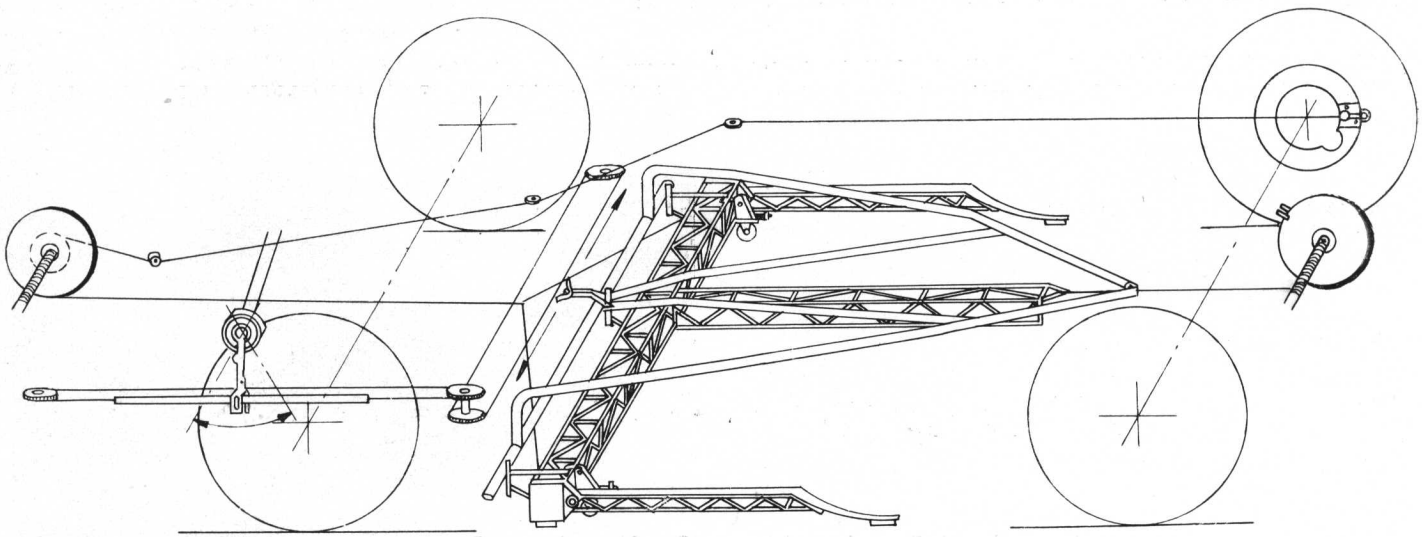
A mért behajlásértéket az összehasonlíthatóság érdekében átszámítjuk. Először is a tehergépkocsi megmért S Mp kerék-



2.2 kép. Burkolat-behajlásmérés hazai újabb típusú Benkelmann-féle billenő karos behajlásmérővel



2-12. *ábra.* Korszerűsítendő úton végzett behajlásmérések hossz-szelvényszerű ábrázolása. A hibás elnedvesedett, kis teherbírású szakaszokat a kb. 1,5 mm-en felüli nagy behajlások jól mutatják



2-13a. ábra. A *Lacroix*-féle lehajlásmérő gépkocsi szerkezeti elve

súlyát 5,0 Mp keréksúlyra kell átszámítani, feltételezve a lineáris összefüggést a terhelés és behajlás között:

$$b = b' \frac{5{,}0}{S} \text{ mm.}$$

A tavaszi időszakban az altalaj a legnedvesebb és a legkevésbé teherbíró, így a mért behajlások tavasszal a legnagyobbak és ezek a mértékadóak.

A behajlásmérés nagy előnye, hogy gyorsan végrehajtható, és ezért nagytömegű vizsgálatra alkalmas. Így pl. korszerűsítés előtt vagy olvadási időben az elnedvesedett szakaszok kimutatására, vagy építéskor a kellő teherbírás kimutatására hossz-szelvényszerűen végig kell mérni az utat kb. 50...100... ...200 m távolságonként szükség szerint. Egy munkanap alatt 200 m-enként mérve *20 km* hosszú utat lehet mérni. Az eredményeket milliméterpapíron hossz-szelvényszerűen ábrázoljuk a 2-12. ábra szerint. A hibás, elnedvesedett szakaszokat a behajlások növekedése szinte lázgörbeszerűen, plasztikusan mutatja. A kisforgalmú hajlékony burkolatokon az *1,5 mm-nél nagyobb behajlás már hibás helyet szokott jelezni*, akár hiányos tömörítés, akár pedig elnedvesedés, víztelenítési hiba miatt. Betonburkolaton már 0,5 mm-nél nagyobb behajlások nem engedhetők meg.

Megjegyezzük, hogy Franciaországban a behajlásmérést sikerrel gépesítették az ún. *Lacroix-féle behajlásmérő gépkocsival*. Ezen a tehergépkocsin egy szerkezet két behajlásmérő tartót mozgat a lassan haladó kocsi alatt úgy, hogy 3,4 m-enként kissé felemeli és előreteszi a burkolatra. A 3,4 m-enként haladás közben mért rugalmas behajlási értékeket írószerkezet a vezetőfülkében papírszalagra felrajzolja. A *Lacroix*-behajlásmérő gépkocsi előnye nem annyira a személyzet megtakarításban vagy a felvétel gyorsaságában van (ez 50...100 m-enként mérve a közönséges tehergépkocsis felvételnél is kielégítően gyors), a fő előny az igen sűrű, 3,4 m-enkénti mérésben van, ami az út összes hibáit kiesés nélkül folyamatosan felfedi.

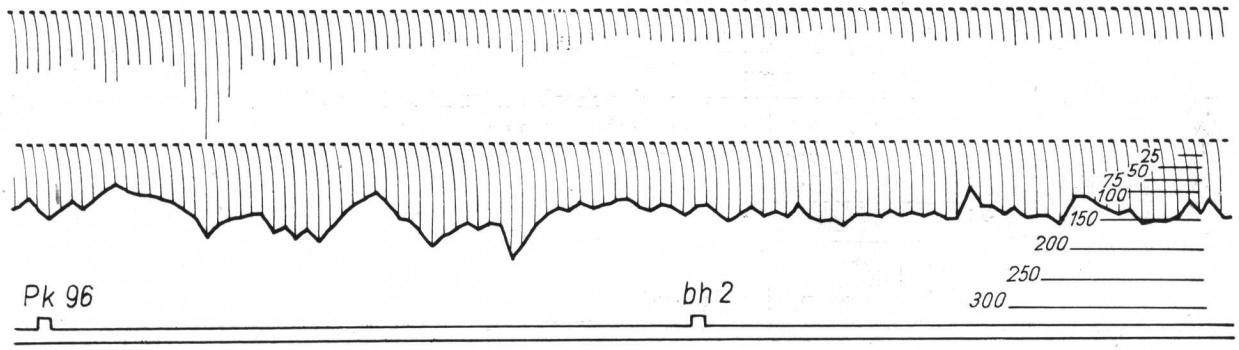
2.2.5. Tárcsás behajlásmérés földművön és az ágyazaton

A behajlásmérés önmagában nem alkalmazható a földmű tükrén és az ágyazat felületén, mert itt a talaj felnyomódik a kerekek között.

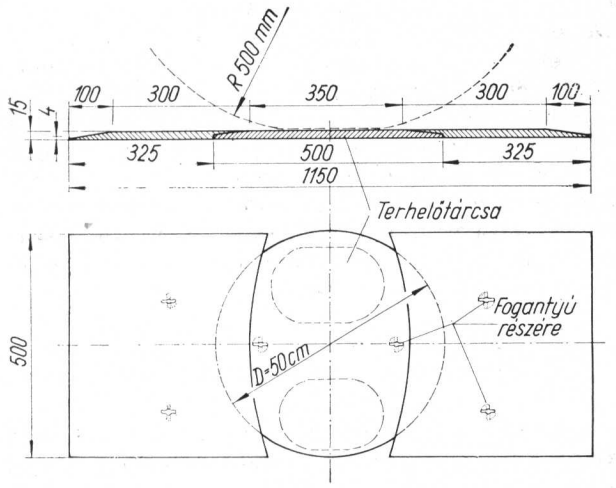
A *tárcsás behajlásmérés* lehetővé teszi azt, hogy a billenőkaros behajlásmérő-készülékkel gyorsan és könnyen lehessen teherbíró-képességi mérést végezni a földmű és az ágyazat felületén is. A terhelő tehergépkocsi ikerabroncsa alá ugyanis, *dr. Gáspár László* által bevezetett 50 cm átmérőjű merev acéllemezt helyezünk el, és ennek az acéltárcsának a lehajlását mérjük a billenőkaros behajlásmérő műszerrel, a már előbb leírt módon.

A tárcsát és a gépkocsival való fel- és behajlásra való lemezt a 2-14. ábrán láthatjuk. A lemezt a mérési helyen egyenletes síkban elhelyezve, először kétszer rájárva az ikerabronccsal, előterheljük a tárcsát, majd a harmadik ráállás után a behajlásmérő csúcsát a terhelőlemezre illesztjük az ikerabroncsok közé és a mérőórát leolvassuk. Utána a tehergépkocsi továbbmegy, és a tehermentesülés után az órát másodszor leolvasva, a b_t mm *tárcsás behajlás* nagyságát megállapítjuk. Ezt a behajlást *3 Mp* súlyú keréknyomásra számítjuk át; a munkahelyi terhelt tehergépkocsik keréksúlya ezt úgyis megközelíti. Ennél is legalább két jó mérés átlagát fogadjuk el.

A tárcsás behajlásmérés kb. 7 min-ot vesz igénybe, és így igen gyors ellenőrző méréseket tesz lehetővé az építési munkahelyeken, a földmű vagy az ágyazat teherbírásának a megállapítására. A tárcsás behajlásmérés eredményét közelítően át lehet számítani a nehézkes tárcsás mérésből adódó eredményekre. Elsősorban az a jelentősége, hogy számos gyors munkahelyi méréssel tájékozódni lehet arról, hogy az elkészült földmű vagy alap teherbíró-képessége, minősége egyes szakaszokon jóval kedvezőbb, vagy számottevően



2-13b. ábra. A Lacroix-féle lehajlásmérő gépkocsi eredmény-diagramja



2-14. *ábra.* A tárcsás behajlás méréséhez szükséges 50 cm átmérőjű acéltárcsa a fel- és lehajtólemezekkel

rosszabb, mint az előírás. Így a hosszadalmas tárcsás vizsgálatot a hidraulikus sajtókkal csak a leszűkített néhány kétséges helyen kell alkalmazni, ahol pontosabb vizsgálat szükséges. A tárcsás vizsgálat ugyanis azért pontosabb, mert egy terhelés—süllyedés *görbét* vesz fel, amíg a gyors tárcsás behajlásmérés csak egyetlen *pontot*, süllyedési adatként. Ennek ellenére a gyors és nagykiterjedésű ellenőrző mérésekre ez az eljárás igen alkalmas.

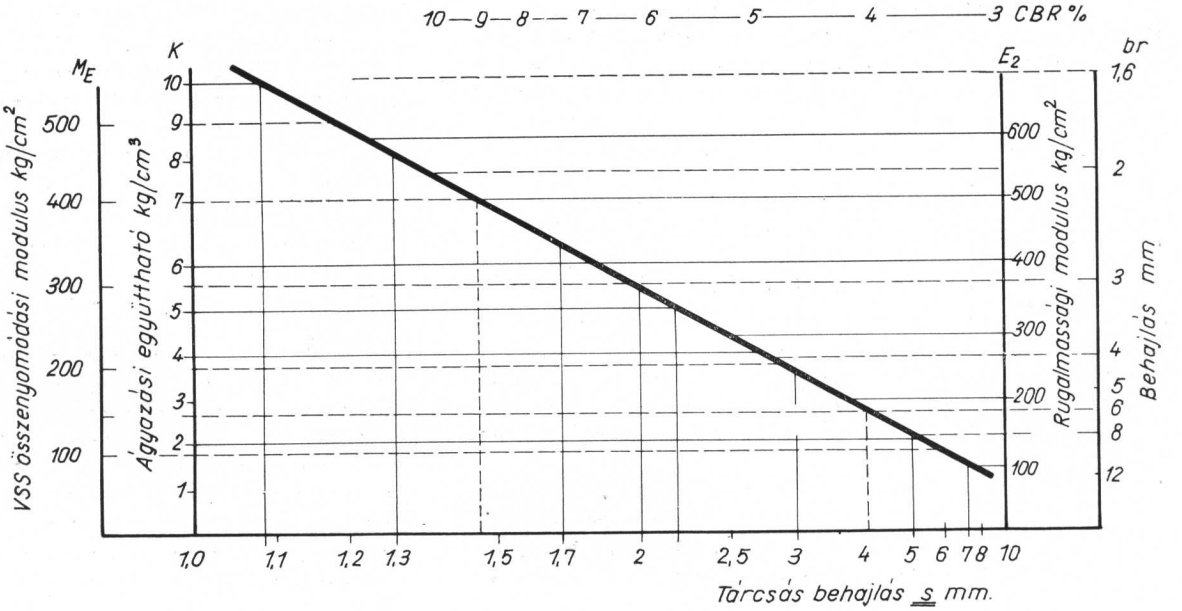
2.2.6. A teherbíró-képességi jellemzők közelítő összefüggése

A teherbíró képességi jellemzők között nyilvánvalóan összefüggések vannak. Kisebb teherbírású burkolaton vagy pályaszerkezeti rétegen nyilván kisebb lesz a *CBR* érték, az E_2 rugalmassági modulus, *K* ágyazási tényező, M_E összenyomódási modulus *(VSS)*, viszont nagyobb lesz az egyszerű billenőkaros lehajlás és a tárcsás lehajlás értéke. Mindezen teherbíró-képességi jellemzők között tapasztalati összefüggést már lehetett találni, azonos talajon, burkolaton mért, különböző fajta teherbíró-képességi jellemzők mérési eredményeinek összehasonlítása alapján. Így pl. a 2-15. ábra a tárcsás behajlás és az E_2, *C*, *CBR*, M_E teherbíró-képességi jellemzők tájékoztató közelítő összefüggését tartalmazza, az MSZ 2509—67 szabványnak megfelelően.

2.3. A FORGALOM, A TENGELYSÚLYOK NAGYSÁGÁNAK HATÁSA AZ ÚTPÁLYASZERKEZETRE

2.3.1. A burkolat élettartamának és a forgalomnak az összefüggése

Hogy adott anyagú és vastagságú, adott talajon fekvő pályaszerkezet várható élettartama mekkora, tehát várhatóan mikor megy tönkre a burkolat, mikor kell a felső rétegeket



2-15. *ábra.* A különböző teherbíró-képességi jellemzők tájékoztató jellegű tapasztalati összefüggése (MSZ 2509—67)

kicserélni vagy megerősíteni, ez igen nagy mértékben a rajta lebonyolódó forgalom nagyságától, fejlődésétől és összetételétől függ. Igen lényeges, hogy a forgalom jellemzőit világosan és helyesen értelmezzük a pályaszerkezet élettartamának alakulásában.

Több évtizeddel ezelőtt úgy gondolták, hogy a burkolat élettartamára elsősorban a *maximális keréksúly vagy tengelysúly* nagysága van befolyással. Különösen betonburkolaton, de aszfaltburkolaton is szokásos volt ez a módszer, ahol 3 t, majd később 5 vagy 6 t „maximális keréksúlyra" tervezték a burkolatot és a terhelési ismétlődési számmal nem törődtek. Később már bevezették a könnyű—közepes—nehéz forgalmi kategóriákat, és a forgalom nagyságát *a napi áthaladt összes járműsúly t/nap értékével* vették figyelembe. Ez már bizonyos előrelátást jelentett, mert ismerték a jelenlegi forgalom t/nap értékét, feltételezték a forgalom közel egyenletes, lineáris fejlődését. Így 20 éves élettartam esetén az építés után 10 évi forgalmat kellett mértékadónak tekinteni, 15 évi élettartam esetén pedig a 7,5≈7 évi forgalmat.

Azonban csakhamar tapasztalni kezdték, hogy adott, pl. 5000 t/nap „forgalmi terhelés" esetén sokkal hamarabb megy tönkre az út, ha ezen belül sok nagy terhelésű nehéz tehergépkocsi közlekedik, tehát az 5000 t-n belül kevesebb, de nehezebb tengelynyomású gépkocsik szállítják el a terhet.

Szükségessé vált, hogy a különösen nehéz gépjárművek számarányát a teljes forgalom nagyságán belül külön figyelembe vegyék, mind az élettartam megbecslésekor, mind a pályaszerkezet tervezésekor és építésekor.

Jelentős fejlődés mutatkozott az élettartam, forgalom és a tengelysúlyok összefüggésének megítélésében azóta, hogy az 1960 év körül végzett nagyszabású észak-amerikai *AASHO Road Test*, a több évig tartó 1 : 1 méretarányú útpályaszerkezet-fárasztási kísérlet kiértékelt fő eredményei ismertebbekké váltak. Kiderült, hogy az utak igénybevétele, tönkremenetelének elősegítése nem a tengelysúlyokkal egyszerűen arányosan megy végbe (mint a t/nap típusú felfogás vélte), hanem *a tengelysúlyok negyedik hatványával nő a burkolatrongáló hatás.* Így tehát egy kétszer akkora tengelysúly 16-szor jobban veszi igénybe a burkolatot, 16-szor jobban csökkenti a burkolat élettartamát, mint az eredeti egyszeres tengelysúly. Ezzel az *empirikus, kísérleti úton kapott felismeréssel* az 1960-as évek folyamán rendkívül jelentős átalakulás ment végbe világszerte nemcsak a pályaszerkezetek méretezése, tervezése és építése területén, hanem a nehéz tehergépkocsik hatásának értékelésében is, ami a tengelysúlyok korlátozásának helyességét, és a nehéz tehergépkocsik, pótkocsis kamionok jelentősen fokozott adóztatásának szükségességét egyértelműen bizonyítja.

A ma korszerűnek számító új módszernél igen sok államban, köztük hazánkban is a *forgalomban részvevő gépjárművek súlyát és számát átszámítjuk a pl. 10 Mp súlyú egységtengelysúlyú tengelyek áthaladási számára.* Az empirikus úton megállapított, a tengelysúly negyedik hatványával arányos átszámítási szorzókkal képezett egységtengely-áthaladási számok már egyértelműen és valósághűen képviselik a forgalom hatását a burkolat élettartamára vonatkozóan.

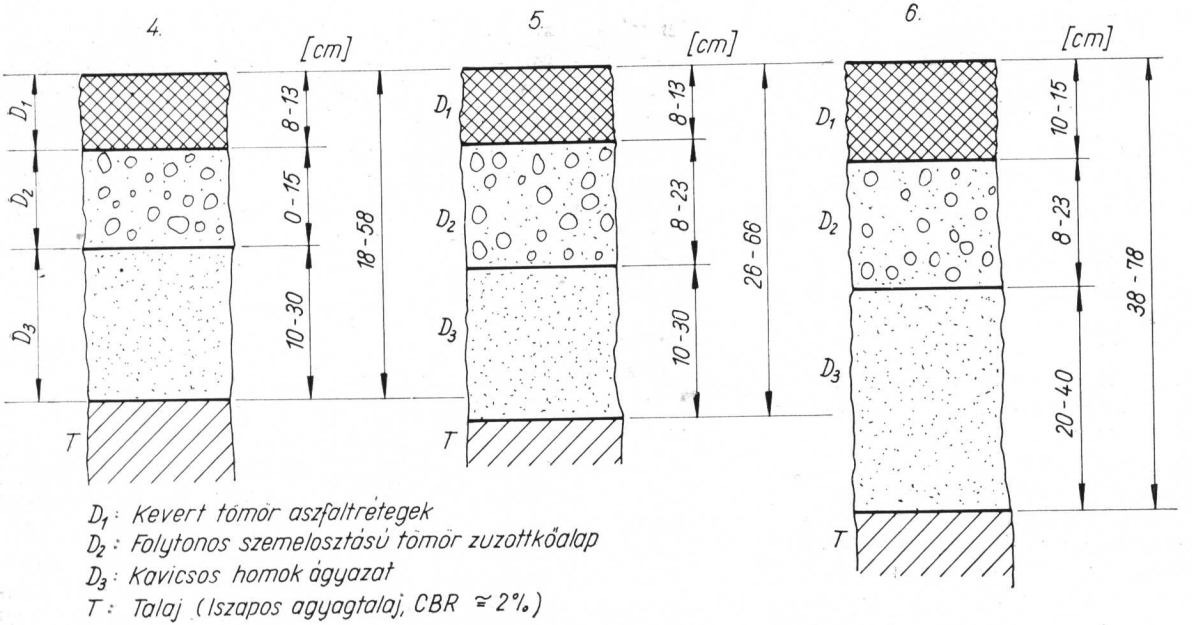
Mivel ez a kérdés nemcsak a tervezés, hanem az építés szempontjából is elsőrendű fontosságú, és rávezet a pályaszerkezeti rétegek *egyenérték-vastagságainak*, a *különböző anyagú rétegek egymással való cserélhetőségének* nagy gyakorlati fontosságú fogalmaira és alkalmazására, ezért kiindulásul az AASHO Road Test nevezetes útkísérleteinek módszerét és eredményeit előbb meg kell ismernünk.

2.3.2. Az AASHO útkísérletek és fő eredményeik

Hosszas, sok évig tartó előkészítő munka után az American Association of State Highway Officials (Amerikai Állami Útépítő Hivatalok Szövetsége) *(AASHO)* hat hurok alakú útpályacsoportból álló, több mint 20 km összhosszúságú kísérleti pályakomplexumot építtetett, amelyekben számos változatban építettek pályaszerkezet-variánsokat, egy részüket tudatosan alulméretezve. Az így előkészített kísérleti szakaszokon 1958...1960 között kb. napi 750 járatban különféle tengelynyomású tehergépkocsikat közlekedtettek, és gondosan kiválasztott bizottságok mérték és figyelték a burkolat minőségének és állapotának fokozatos romlását a forgalom alatt. Így a kísérlet rendkívül fontos gyakorlati eredményeket adott. Kb. 560 000 járműjárat, azaz kb. 1 100 0000 db nehéz tengelyáthaladás után a forgalmat leállították, nagytömegű kiértékelő munkát elvégezve, és a kb. 800 millió Ft nagyságrendű költséggel járó kísérlet eredményeit 1962-ben publikálták. Az útkísérlet alapvető jelentőségű (néhány hiányossága ellenére is), ezért fő elrendezését és eredményeit ismernünk kell.

A kísérletet Ottawa közelében, Illinois államban végezték, az éghajlat közelesik hazai csapadékosabb hegy-dombvidékeink éghajlatához: télen = −3°, nyáron = +24 °C a középhőmérséklet, mértékadó fagymélység kb. 70 cm, évi átlagos csapadék kb. 860 mm. Az altalaj, ill. földmű egységesen mindenhol fagyveszélyes iszapos agyag volt kellően tömörítve (a *CBR* szám 2...4% között), a víztelenítést nyílt oldalárkokkal oldották meg. A betonburkolatokkal kapcsolatos kísérleti eredményeket (368 változatra) később, a betonburkolatoknál ismertetjük.

Hajlékony pályaszerkezettel, aszfaltburkolattal összesen 468 változatban épültek egymáshoz csatlakozóan a kísérleti szakaszok. A pályaszerkezeteket pl. a nehéz tehergépkocsik által járt 4., 5. és 6. pályacsoportban a 2-16. ábrán látjuk. A földműre három réteget építettek: legalul *kavicsos homok ágyazat* volt, 10...40 cm közötti változó vastagsággal. Ezen az *alapréteg* dolomitos mészkőből közel folytonos szemeloszlású *zúzottkő—zúzalék—homok* volt 0...23 cm közötti változó vastagsággal. Ezen feküdt az aszfaltburkolat: *durva aszfalt-*



2-16. ábra. Az AASHO-Rood-Test jellegzetes hajlékony pályaszerkezetei a nehéz tehergépkocsikkal járt 4., 5., 6. számú kísérleti pályaszakaszokon

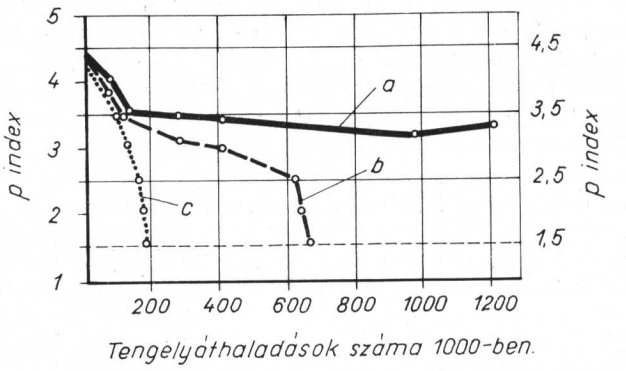
beton kopóréteg és kötőréteg dolomit—mészkő adalék-anyaggal, 7...14 cm összvastagsággal.

A *forgalom hatását* külön vizsgálták hatféle egyes tengelyterhelés esetén (0,9...13,6 Mp között) és négyféle kettős tengely esetén (10,9...21,8 Mp között). A forgalom alatt 14 naponként tapasztalt szakemberekből álló bizottság valamennyi szakaszt szemrevételezve, gépkocsival bejárta, hullámosságmérő műszerrel és behajlásmérésekkel bemérte, és az egyes szakaszok minőségét a 34. oldalon már megismert *„használhatósági indexszámmal"* (present serviceability index, *p*) jellemezte, 0...5 között.

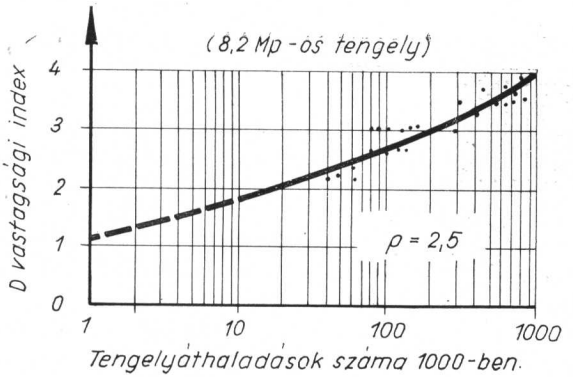
p = 0...1 között: tönkrement burkolat;
1...2 között: igen gyenge, balesetveszélyes burkolat;
2...3 között: még elfogadható minőségű burkolat;
3...4 között: jó állapotú burkolat;
4...5 között: kiváló állapotú burkolat.

A tengelyáthaladási számok függvényében felrakva a tapasztalati úton megállapított *p* használhatósági indexszámokat, jól látható a minőség romlása a tengelyáthaladások növekedésével (2-17. ábra). Pl. az *a* és *b* görbe 58 cm összvastagságú, a *c* görbe csak 31 cm összvastagságú burkolaton ábrázolja a használhatósági index alakulását. Az *a* görbén a tengelysúlyok 8,2 Mp-osak voltak, ez megfelelt a pályaszerkezet teherbírásának, mert kezdeti minőségcsökkenés — nyilván a kezdeti forgalmi tömörödés bekövetkezte — után

Jel:	Vastagság cm	Terhelés
a	13 + 15 + 30 = 58	8,2 Mp
b	13 + 15 + 30 = 58	13,5 Mp
c	13 + 8 + 10 = 31	8,2 Mp



2-17. ábra. A burkolat állapotának romlása, a *p* használhatósági indexszámok csökkenése a tengelyáthaladások számának növekedése alatt az AASHO útkísérlet 3 különféle vastagságú pályaszerkezetén



2-18. ábra. A pályaszerkezet *D* vastagsági indexszáma (egyenértékvastagsága) a tengelyáthaladások függvényében, egy állandó tengelysúly és állandó *p* használhatósági index mellett

az útminőség, a használhatósági index kevéssé csökkent. A *b* görbén ugyanezen pályaszerkezeten nem 8,2 Mp, hanem 13,5 Mp súlyú tengelyeket járattak; a nehéz tengelyek hatására a burkolatminőség fokozatosan romlott, 600 000 áthaladásnál érte el a $p = 2{,}5$ *„még elfogadható"* indexszámot, ezután azonban már rohamosan süllyedt a minőség a $p = 1{,}5$ indexszámú, *„közel balesetveszélyes"* állapot felé. A pályaszerkezet élettartama tehát a 13,5 Mp tengelynyomásra 600 000 tengelyáthaladás volt. A *c* görbe esetén a gyenge 31 cm összvastagságú pályaszerkezeten 8,2 Mp-os tengelyek jártak. Látható, hogy a burkolat már 200 000 áthaladás előtt tönkrement azért, mert a közel 13 cm vastag aszfaltbeton burkolatot csak vékony alap- és ágyazatréteg támasztotta alá (8 cm és 10 cm).

A két évi forgalom, több mint egy millió tengelyáthaladás után az egyes tengelyterheléseknél kiértékelték először grafikusan, hogy meghatározott burkolatminőség, pl. $p = 2{,}5$ használhatósági indexszám mellett milyen vastag pályaszerkezetek milyen tengelyáthaladási számot viseltek el. A 2-18. ábra szerint a kapott pontok alapján egy kiegyenlítő-regressziós görbét számítottak. Az ordináta nem maga a pályaszerkezet-vastagság, hanem egy azt képviselő, jellemző szám, a *D vastagsági index*, amelyben az egyes pályaszerkezeti rétegek a teherbíró-képességüknek megfelelően átszámított értékekkel szerepelnek:

$$D\ (\text{cm}) = 0{,}44 D_1 + 0{,}14 D_2 + 0{,}11 D_3,$$

ahol D_1 (cm) az aszfaltburkolat (kopó- és kötőréteg) vastagsága, D_2 (cm) az alap (folytonos szemeloszlási zúzottkő alap) vastagsága, D_3 (cm) a homokos kavics ágyazati réteg vastagsága. A *D* vastagsági index tehát felfogható úgy, mint *fiktív pályaszerkezet vastagsága.*

Az AASHO-útkísérletek hajlékony burkolatokra vonatkozó jelentésének két igen fontos *kiértékelő diagramját* látjuk a 2-19...2-20. ábrákon, ahol terhelésismétlődések, azaz tengelyáthaladások számának függvényében a *D* vastagsági indexszámokat látjuk ábrázolva. A vastag görbék az egyes tengelyekre, a vékonyabb görbék a kettős tengelyekre vonatkoznak. A tengelysúlyok mint a görbék paraméterei szerepelnek. A 2-19. ábra a $p = 2{,}5$ használhatósági indexszámra, azaz *„még éppen kielégítő minőségű"* burkolatállapotra vonatkozik, a 2-20. ábra pedig a $p = 1{,}5$ használhatósági indexű, *„igen gyenge, balesetveszélyes"* burkolatállapotra utal. Feltűnő, hogy a két grafikon ordinátái igen hasonlóak, tehát itt is kiviláglik, hogy ha a burkolatállapot $p = 2{,}5$, még éppen kielégítő minőségű állapotba kerül, akkor már viszonylag hamar bekövetkezik a $p = 1{,}5$ igen gyenge állapot, amelynek bekövetkezése *előtt* a burkolatot már át kell építeni. (Ezért célszerű pl. méretezéshez a $p = 2{,}5$ indexet inkább alapul venni.)

Most már, ha egy pályaszerkezet élettartama alatt megengedhető terhelésismétlési szám szükséges, akkor először a *D* vastagsági indexet kell számítani, a pályaszerkezet D_1, D_2, D_3 adatainak ismeretében:

$$D = 0{,}44 D_1 + 0{,}14 D_2 + 0{,}11 D_3,$$

a *D* vízszintesében a kívánt tengelysúly görbéjénél levetítve a vonal kimetszi a megengedhető terhelésismétlés számát a burkolat élettartama alatt.

Az AASHO-diagramok azonnal felvetették a *pályaszerkezet méretezésének egy lehetőségét;* egy, a kívánt burkolat élettartamból számított terhelésismétlődési számot az abszcisszán felkeresve, felvetítjük a kívánt mértékadó tengelysúly görbéjére, majd arról balra vetítve, a vonal kimetszi a szükséges *D* cm vastagsági indexet. Ezután próbálgatásokkal olyan — szerkezeti szempontból is helyes — D_1, D_2 és D_3 pályaszerkezeti rétegvastagságot kell megállapítani, amelynek az előbbi képlet által számított összvastagsága a szükséges *D* cm vastagsági indexszel egyezik meg. Bár az ilyen gondolatmenettel végzett pályaszerkezet-méretezés — mint azt az AASHO-jelentés maga hangsúlyozza — csakis az AASHO-kísérletek altalajminőségei, építési anyagminőségei és éghajlati viszonyai mellett lehet érvényes, ez az alapgondolat igen termékenynek és eredményesnek bizonyult, és az *egyenértékvastagságon alapuló méretezési eljárások* kifejlődését segítette elő. Ezek bizonyos fokig mind az AASHO-kísérletek eredményeinek széles körű alkalmazását teszik lehetővé (Asphalt Institut, a Francia Központi Útlaboratórium, valamint a magyar burkolatméretezési Utasítás módszerei, stb).

Az AASHO-útkísérletek további igen fontos eredményei a hajlékony útpályaszerkezetekre vonatkozóan a következők:

1. A hajlékony útpályaszerkezetek, ha elég vastagok, a legnehezebb forgalmat is elviselik.

2. A viszonylag vékonyabb aszfaltburkolatok a nehezebb tengelysúlyok ismétlődésének hatására aránytalanul hama-

rabb mennek tönkre, ezért az aszfaltburkolatok alá mindig megfelelő vastag és teherbíró alaprétegeket kell építeni.

3. A tengelynyomások növekedése a burkolatok élettartamának rohamos csökkenésére vezet, ha nem erősítünk.

4. A burkolatok élettartamára lényegében csak a nehéz tehergépkocsik és autóbuszok ismétlődési száma van hatással, amíg a személygépkocsik és könnyű tehergépkocsik hatása elhanyagolhatóan kicsi.

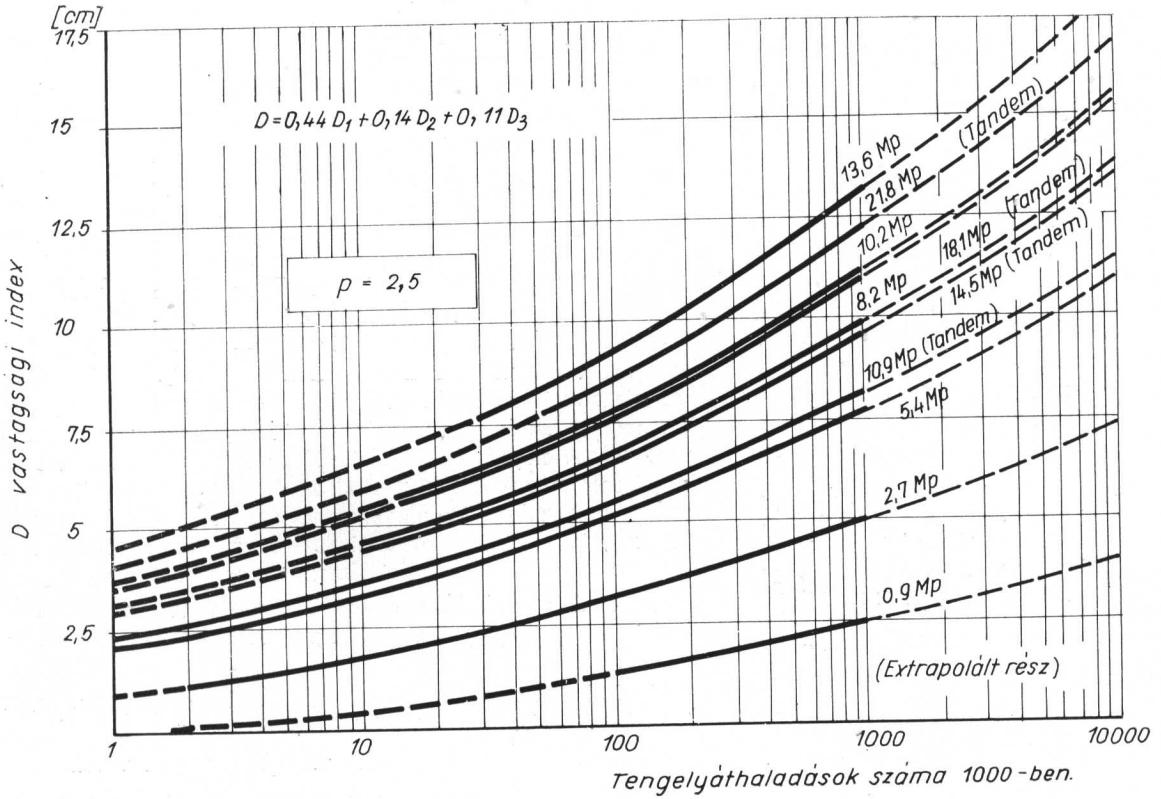
Az AASHO-kísérletnek minden előnye és nagyszabású volta mellett problematikus oldalai is vannak az európai felhasználás szempontjából. Korlátozza az alkalmazhatóságot, hogy az altalaj teherbíróságát nem változtatták. Ugyancsak igen előnyös lett volna, ha a pályaszerkezetekhez talajstabilizált alaprétegeket is bevontak volna a kísérletekbe. *Figyelembe kell venni azt is, hogy a kísérlet alatt csak két tél és tavasz volt, amíg a 15...20 évi burkolatélettartam alatt a klíma hatása nagyobb jelentőségű lehet.* Ezt a hatást a két tavasz alatt végzett terhelési szám korrekciószerű növelése nem tudja megbízhatóan figyelembe venni. Mindezen hiányosságok ellenére is a kísérletek eredményei igen értékesek és a pályaszerkezet további fejlődése szempontjából nagyon fontosak.

2.3.3. A nehéz tengelysúlyok hatása és átszámítása egységtengelysúlyra

A burkolatot a 15...20 évre tehető élettartama alatt a forgalom nagyságától függően több millió tengelyáthaladás terheli. Mivel a tengelyek súlya igen különböző, kérdéses, milyen módon lehet egy egységes mérőszámot találni a burkolat élettartama alatti, sokféle tengelynyomású kocsi által való terhelésére, figyelembe véve a forgalom állandó fejlődését és az előrebecslések adatait is.

Régebben a burkolatméretezéshez az út várható átlagos (t/nap) forgalomnagyság értékét alkalmazták. Mivel itt a személygépkocsik a valóságos súlyuknak megfelelően csak 1 Mp súllyal, amíg a tehergépkocsik átlag 6 Mp, az autóbuszok átlag 9 Mp súllyal szerepeltek, a t/nap érték a nehéz járművek túlnyomó fontosságát bizonyítja. Ma már azonban ezt a (t/nap) forgalomnagyság figyelembevételét túlhaladottnak tekinthetjük, mert a könnyű tengelyek hatása az AASHO-kísérlet tanúsága szerint jóval kisebb, a nehéz tengelyeké pedig lényegesen nagyobb.

A 2-21. ábrán az AASHO-alapdiagram $D-Z$ görbéit látjuk



2-19. *ábra.* Az *AASHO-Rood-Test* első fő eredménydiagramja a $p=2,5$ „még kielégítő burkolatminőség" használhatósági index mellett. A D vastagsági index (egyenérték-vastagság) a különböző nagyságú tengelynyomások áthaladási, ismétlési számának függvényében

csak egyes tengely esetére. Egy D (pl. $D=8$ cm) vastagsági indexet felvéve, ezzel többféle, de mind azonos teherbírású pályaszerkezetet veszünk alapul. A D magasságú vízszintes vonal metszéspontjait a görbékkel levetítve az abszcisszára adódnak az egyes tengelysúlyok ismétlődési számai, amelyek $P=2{,}5$ használhatósági indexet, azaz még éppen kielégítő minőségű burkolatot eredményeznek. Pl. $D=8$ cm esetén:

13,6 Mp	tengelysúly esetén kb.	30 000 ismétlődés
10,2 Mp	tengelysúly esetén kb.	100 000 ismétlődés
8,2 Mp	tengelysúly esetén kb.	250 000 ismétlődés
5,4 Mp	tengelysúly esetén kb.	1 000 000 ismétlődés
2,7 Mp	tengelysúly esetén kb.	10 000 000 ismétlődés
0,9 Mp	tengelysúly esetén kb.	1 000 000 000 ismétlődés

Ennyi ismétlődés felel meg a burkolat élettartamának a kísérlet szerint, ha csak azonos súlyú tengelyek közlekednének az úton. Látható, hogy a tengelysúly nagyságának hatása rendkívül nagy! Jobb még az összehasonlítás lehetősége, ha a különféle jármű-tengelysúlyokat átszámítjuk egyetlen tengelysúly ismétlési számaira. Az AASHO-kiértékelés szerint az egységnek választott tengely pl. a 10,2 Mp-ot jellemző ismétlési számot (Z_{10}) osztva a t Mp tengelyt jellemző Z_t ismétlési számmal, adódik a *tengelysúly-egyenértékszám:*

$$f_t = \frac{Z_{10}}{Z_t}.$$

Az előbbiek szerint tehát a következő f értékeket kapjuk:

$T = 13{,}6$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/30\,000 = 3{,}3$

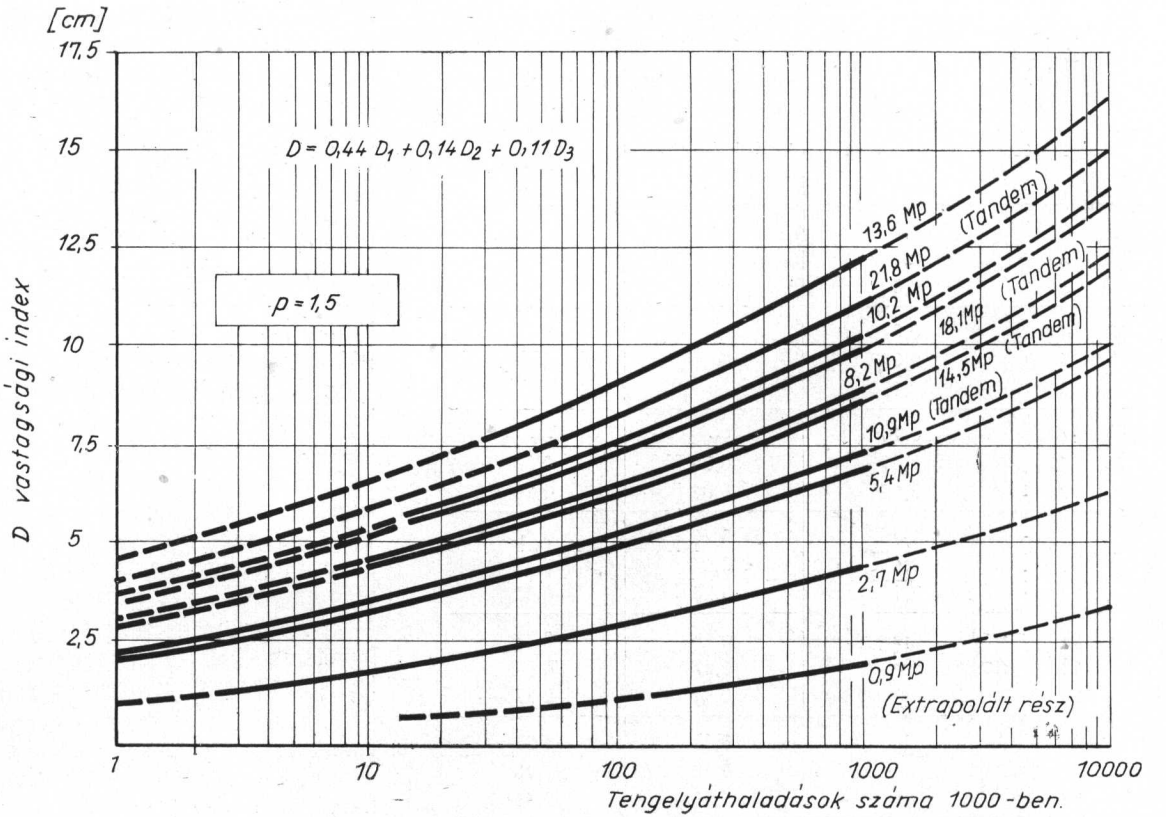
$T = 10{,}2$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/100\,000 = 1{,}0$

$T = 8{,}2$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/250\,000 = 0{,}4$

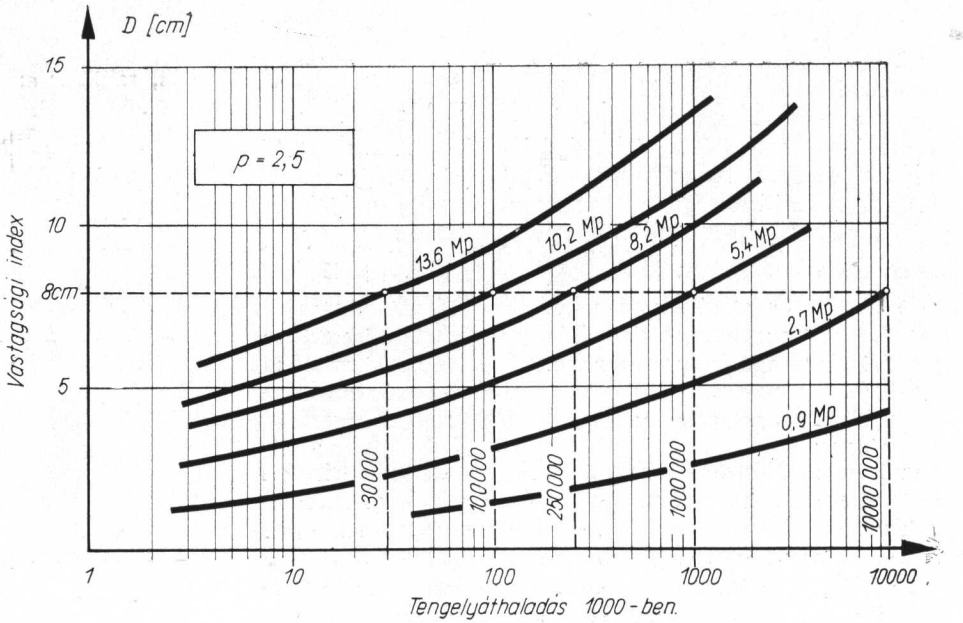
$T = 5{,}4$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/1\,000\,000 = 0{,}1$

$T = 2{,}7$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/10\,000\,000 = 0{,}01$

$T = 0{,}9$ Mp tengelynyomás esetén
$f = 100\,000/1\,000\,000\,000 = 0{,}0001$



2-20. ábra. Az *AASHO-Rood-Test* második fő eredménydiagramja a $p=1{,}5$ „igen gyenge, közel balesetveszélyes burkolatminőség" használhatósági index mellett. A D vastagsági index (egyenérték-vastagság) a különböző nagyságú tengelynyomások áthaladási, ismétlési számának függvényében



2-21. *ábra.* Egy pl. $D=8$ cm vastagsági indexű pályaszerkezet élettartamának megfelelő teherismétlődési számok rohamosan csökkennek a tengelysúly növekedése esetén

2-1. táblázat. Tengelysúly-egyenértékszámok
(10 Mp egységtengely-súly esetén)

Tengelysúly nagysága, T (Mp)	Tengelysúly-egyenértékszám, f		
	Egyes tengely	Kettős (tandem) tengely	
	aszfalt és beton-burkolat esetén	aszfaltburkolat esetén	betonburkolat esetén
	$f=\left(\frac{T}{10}\right)^4$	$f=\left(\frac{T}{18}\right)^4$	$f=\left(\frac{T}{16}\right)^4$
1	0,0001		
2	0,002		
3	0,008		
4	0,025		
5	0,062		
6	0,130		
7	0,24	—	—
8	0,41	0,04	0,06
9	0,65	0,06	0,10
10	1,0	0,10	0,16
11	1,4	0,14	0,22
12	2,1	0,20	0,32
13	2,9	0,27	0,43
14		0,37	0,59
15		0,48	0,77
16		0,63	1,00
17		0,80	1,28
18		1,00	1,60

Más D vastagsági indexekre elvégezve a számítást, a kapott értékek a fentiekkel kb. 10...14% eltéréssel jól egyeznek. Grafikusan felrakva az $f=f\ (T)$ összefüggés pontjait, igen érdekes és meglepő, hogy a pontok közé pontosan egy negyedfokú parabola fekszik be, és így a 10 Mp egységtengelysúlyra, mint összehasonlításul alapul vett értékre vonatkozó f tengelysúly-egyenértéktényezők egyszerű tapasztalati képletekkel írhatók le (2-22. ábra).

A táblázat adatai és a fenti képletek alapján az alábbi igen fontos következtetéseket vonhatjuk le:

1. A járművek tengelysúlyainak burkolatrongáló, élettartam-csökkentő hatása a tengelysúlyok negyedik hatványával arányos, azaz kétszer akkora tengelysúly tizenhatszoros rongáló hatást okoz. Más szóval a nehéz tengelysúlyok aránytalanul jobban veszik igénybe a burkolatot, mint a kis—közepes súlyú tengelynyomások.

2. A személygépkocsik és a könnyű tehergépkocsik hatása szinte teljesen elhanyagolható a nehéz tehergépjárművek hatásához képest.

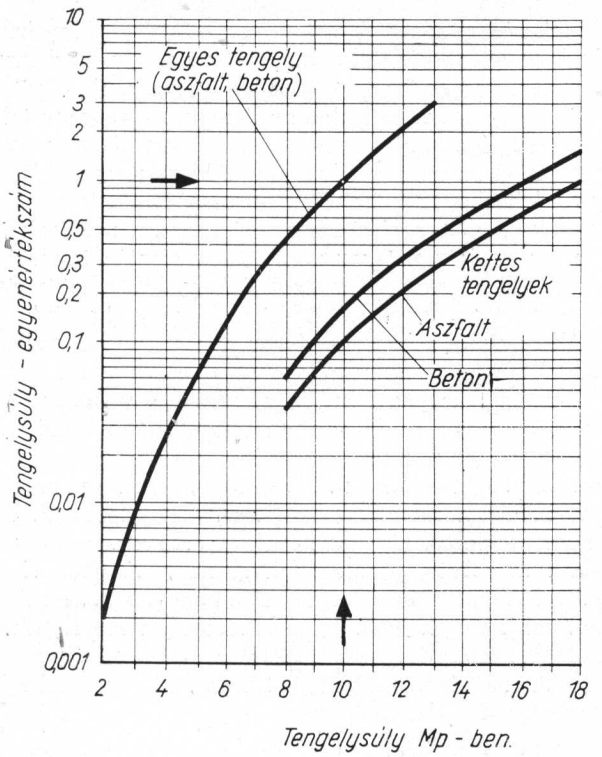
3. A nagy raksúlyú, akár 25...30 Mp összsúlyú tehergépkocsik burkolatrongáló hatását rendkívül előnyösen csökkenti, ha *kettős tengelyeket* (tandem tengelyeket) alkalmaznak. Ez a csökkentő hatás a hajlékonyabb aszfaltburkolatokon még nagyobb, mint a merevebb betonburkolatok esetén.

4. A maximális tengelysúly nagyságának mérlegelésekor figyelembe kell venni, hogy egy 13 Mp súlyú egyes tengely kb. 3 db 10 Mp súlyú egyes tengely áthaladásával egyenértékű.

5. Mivel az ábrákon a tengelyáthaladás logaritmikus, a vastagság pedig lineáris léptékben szerepel, a pályaszerkezet-vastagításnak igen nagy forgalombírás- és élettartamnövelő hatása van.

Ezeknek a következtetéseknek ismeretében nyilvánvaló, hogy igen nagy jelentőségűek azok az állami előírások, amelyek maximálják az utakon megengedhető, közlekedtethető tengelysúlyok nagyságát. Hazánkban pl. 1953-ig 6 Mp, 1963 óta pedig 8 Mp az egyes tengelyhez megengedett legnagyobb tengelysúly, de külön engedéllyel 10 Mp tengelysúlyú járművek is közlekednek (pl. Skoda 706 RT tehergépkocsi, Csepel D-705 N 154 nyerges jármű, Ikarus 66, 556 autóbusz, Ikarus 180 csuklós autóbusz). Számos esetben hallani az állítást: a korszerűség, a fejlődés mindenképpen magával kell, hogy hozza a megengedett tengelysúlyok nagymértékű emelkedését, mivel a közúti szállítás gazdaságossága a raksúly növelésével erősen javul.

Tárgyilagosan nézve, ez a vélemény egyoldalú, nem állja meg a helyét, mivel nemcsak a közúti fuvarozó vállalatok saját érdekeit kell nézni, hanem az ország úthálózatának helyzetét, a burkolat-élettartamok kedvezőtlen alakulását, amely a szállító vállalatoknál adódó évi nyereségeknél nagyságrendileg nagyobb károkat okozhat az ország úthálózatán. Az előzőek szerint ugyanis egy 10 Mp-os tengely $f_{10}/f_8 = 1{,}0/0{,}41 \approx 2{,}4$-szer annyi 8 Mp-os maximális tengelysúly, és egy 13 Mp-os tengely $f_{13}/f_8 = 2{,}9/0{,}41 \approx 7$-szer annyi 8 Mp-os, tehát jelenleg jogilag maximálisnak számító tengelysúly áthaladásával, élettartam-csökkentő hatásával egyenértékű. Megfelelő erősítéshez sok milliárdra és sok évre van szükség.



2-22. *ábra.* A tengelysúly—egyenérték-számok (a 10 Mp egységtengelysúly nyomásra való átszámítás f szorzói) a tengelysúly negyedik hatványával arányosak

Jelenleg a világon csak Franciaország és a Benelux államok engedik meg a 13 t egyes tengelysúly közlekedését. Ez a tény úthálózatukra érezhetően hátrányos és a forgalmas útvonalak aránytalanul gyors elhasználódásával jár együtt. A legtöbb, összesen 13 európai ország *10 Mp*, 1 állam 9 Mp és 6 állam 8 Mp maximális tengelynyomást enged meg. A közúti szállítást és az úthálózatot tekintve egyaránt vezető világhelyzetet elfoglaló USA-ban 1968-ban:

egyes tengelyre kb. 11 Mp van megengedve 1 államban
kb. 10 Mp van megengedve 12 államban
kb. 9 Mp van megengedve 6 államban
kb. 8 Mp van megengedve 32 államban.

Az USA államainak több mint 60%-ában ma is elégnek tartják a 8 Mp legnagyobb tengelysúlyt felfogásuk szerint, mert *nem a nagy egyes tengelysúlyú tehergépkocsi*, hanem a nagy hasznos összsúlyt lehetővé tevő, amellett az úthálózatot kímélő, *kettős tandem tengelyekkel ellátott tehergépkocsik és pótkocsik számítanak korszerűnek*. Mindezen okok teszik azt is feltétlen szükségessé, hogy a nagy tengelysúlyú nehéz tehergépkocsikra *igen jelentős útadó és szállítási adótöbbletteher* háruljon, hasonlóan a külföldi fejlett közúti szállítású államok gyakorlatához.

2.3.4. A forgalomnagyságok és forgalmi kategóriák értelmezése a pályaszerkezet szempontjából

Az előzőek alapján már egyértelműen lehet értékelni a pályaszerkezetet terhelő forgalom nagyságát. Elsősorban arra kell emlékeztetni, hogy a pályaszerkezet, burkolat élettartama szempontjából *nem érvényes* a forgalomtechnikai vizsgálatoknál fontos *személygépkocsi egység/nap* adat szerinti értékelés, ugyancsak nem korszerű a *t/nap* adat szerinti értékelés sem.

A pályaszerkezet szempontjából mértékadó forgalmi terhelés megállapítása kizárólag a *nehéz gépkocsik forgalmának számbavétele* alapján mehet végbe. Hazánkban általában 3,5 Mp hasznos terhelésnél nagyobb tehergépkocsik számát vették a közelmúltban számításba, és a *nehéz tehergépkocsi/nap forgalmi jellemző* adatot használták. Még helyesebb azonban, ha a nehéz gépjárművek tengelyáthaladásait átszámítjuk a 10 Mp egységtengelynyomásra, és az *egységtengelynyomás/nap* forgalmi jellemzőt vesszük mértékadónak. Mivel a burkolat-élettartam ideje alatt a forgalom egyenletesen, közel lineárisan nő feltételezésünk szerint, ezért a szükséges élettartam közepét jelképező év átlagforgalmát kell előrebecsléssel megállapítani. Hazánkban általában $t = 15$ év élettartamot kell számításba venni, és ezért többnyire a $15/2 = 7{,}5 \approx 7$ év, tehát a forgalombaadástól számított 7 év forgalmát kell meg-

2-2. táblázat. A forgalom nagyságának osztályozása a burkolat élettartama szempontjából egy tervezési sávra

Jel	A forgalom jele	10 Mp súlyú egységtengelysúly áthaladási száma a burkolatélettartam alatt		Tájékozásul a nehéz gépjárművek átlagos napi száma (3,5 Mp raksúly felett 1963-ban)
		15 év alatt napi átlagban (a 7 évre jellemző)	F_{10} összesen t év alatt	
A	Nagyon könnyű	5 alatt	30 000 alatt	20 alatt
B	Könnyű	5...20	30 000... ...100 000	20...70
C	Közepes	20...100	100 000... ...500 000	70...400
D	Nehéz	100...350	500 000... ...2 500 000	400...1200
E	Nagyon nehéz	350 felett	2 500 000 felett	1200 felett

állapítani a nehéz gépjárművek napi számára vonatkozóan. A nehézgépkocsik számát fajtákként be kell szorozni a tengelysúlyuknak megfelelő f_t tengelysúly átszámítási szorzókkal, és a részszorzatokat összegezni kell. Így kapjuk meg a jellemző *egységtengelysúly/nap* forgalmi értéket.

Lényegében nemzetközi megegyezés alapján, elég önkényesen állapították meg azokat a forgalmi határokat, amelyek a *könnyű—közepes—nehéz és nagyon nehéz forgalmi* kategóriákat meghatározzák. A hazai határokat a 2-2. táblázatban láthatjuk, ahol megadtuk nemcsak a $t = 15$ évre az *egységtengely-áthaladás/nap* érték jellemző határait, hanem a t év $= t \cdot 365$ nap szükséges élettartam alatti összes F_{10} egységtengely-áthaladási számot is. Emellett a táblázatban tájékoztatásul feltüntettük azt, hogy az 1963. évi forgalomszámlálásnak megfelelő átlagos hazai járműösszetételre jellemzően mekkora 3,5 Mp raksúlyon felüli N_n *nehézgépkocsi/nap* átlagos forgalomnagyság felelt meg az N_e *egységtengely/nap* határoknak. Mivel a forgalom-összetétel az utóbbi években általában, egyes főutakon pedig jelentősen változott, a forgalom jellemzését leghelyesebb 10 Mp egységtengelysúly F_{10} áthaladási számai alapján elvégezni, az erősen megszaporodott nehéz nyergesvontatók és nagy tengelysúlyú távolsági pótkocsis tehergépkocsik (ún. kamionok) hatását is figyelembe véve.

A forgalmi kategóriákat (könnyű, közepes, nehéz stb.) nemcsak a tervezéskor kell helyesen értelmezni, hanem a *kivitelezés során* is, mivel több olyan *technológiai előírás* van, amelyik a forgalom nagyságától, azaz a forgalmi kategória megnevezésétől függően rendelkezik szigorúbb vagy lazább követelmények szerint.

2.4. A HAJLÉKONY PÁLYASZERKEZETNEK ÉS RÉTEGEINEK EGYENÉRTÉK-VASTAGSÁGAI

2.4.1. A vastagsági méretmegállapítások lehetséges alapelvei

Annak ellenére, hogy szándékosan nem ezen munka keretében kívánunk a pályaszerkezet-tervezéssel, méretezéssel foglalkozni, mégis szükséges bizonyos alapelveket és alapmódszereket a kivitelezés és technológia számára is lerögzíteni. Az említett elveknek és módszereknek ugyanis ezen a területen is gyakorlati jelentőségük van.

A pályaszerkezeti rétegek minőségét, fajtáit és azok vastagsági méreteit úgy tervezik meg az adott *forgalom* és az adott *talaj teherbíró-képesség*, mint fő adottságok figyelembevétele mellett (sok más egyéb szempontra is ügyelve), hogy egy megadott, pl. 15 éves élettartam lejárta után legyen csak szükség a burkolatot megújítani, illetve a pálya szerkezetét az időközben megnövekedett forgalomra megerősíteni. Itt tehát alapvető fontosságú, hogy a burkolat a pályaszerkezet kifáradásának, tönkremenetelének feltételeit ismerjük.

Egyik lehetőség adott forgalom, adott talaj teherbíróképesség és megkövetelt élettartam mellett a pályaszerkezet megtervezésére, a *feszültségi*, jobban mondva *nyúlási kritérium* alapján való méretezés. Ekkor az egyes rétegeket jellemző rugalmassági modulusokat és terhelést alapul véve, a többrétegű rendszerek grafikus vagy táblázatos megoldásai alapján meg lehet határozni a pályaszerkezet felső rétegeinek igénybevételeit, a terhelés alatt keletkezett nyúlásokat. Ha külön laboratóriumi fárasztókísérletek alapján ismerjük azt, hogy a pályaszerkezeti anyagok (pl. aszfalt, stabilizáció stb.) milyen nagy terhelésismétlődési számot bír el a tönkremenetel előtt, akkor a megengedett nyúlások (megengedett feszültségek) alapján a méretezés elvileg elvégezhető. Ezen módszer jelenlegi nagy nehézsége az, hogy a megengedett legnagyobb nyúlások (megengedett feszültségek) értékeit, a fáradás körülményeit sok pályaszerkezeti anyag esetén, sőt az aszfaltnál sem ismerjük még kellően, különösen azért, mert a viszkoelasztikus anyagoknál igen sok változótól, de főleg a hőmérséklettől függenek ezek az értékek.

A másik lehetőség jelenleg sokkal nagyobb gyakorlati eredménnyel biztat, ha elméletileg talán nem is olyan egzaktnak tűnő, mint az előzőek. Ez a lehetőség a *megengedett behajlás alapján* való méretezés. A pályaszerkezet annál hamarabb fárad ki, annál hamarabb megy tönkre, minél nagyobbak a teher alatti behajlások, és minél nagyobb gyakorisággal fordulnak elő. Ezen alapgondolat szerint minél nagyobb a forgalom, annál kisebb behajlást kell megengedni, annál vastagabb pályaszerkezetet kell alkalmazni. Mivel az AASHO-kísérletek során a Benkelman-tartókkal mért teher alatti

behajlások tapasztalati összefüggése a forgalommal és élettartammal ismeretessé vált, és a behajlásméréssel számos más országnak, így hazánknak is jelentős tapasztalati anyaga van, ezért a megengedett behajlás, az ennek révén megállapított *szükséges egyenérték-vastagság* alapján való méretezés számos országban gyakorlati módszerré lett.

2.4.2. A pályaszerkezeti rétegek egyenértéktényezői

A szemiempirikus pályaszerkezet-méretezési grafikonok többnyire az AASHO-kísérlet fő eredménydiagramjából indulnak ki, de azt egy, pl. 10 Mp tengelynyomásra átszámítva használják és kibővítik a gyakorlatban előforduló összes talajfajtákra, illetve talajteherbíró-képességi értékekre (*CBR*, E_2). Általában azonban nem az eléggé elvont *D* vastagsági index fogalmát használják, hanem a sokkal képiesebb H_e *egyenérték-vastagságot* adják meg. Ez a szükséges vastagságot jelenti akkor, ha az egész pályaszerkezet pl. zúzottkőből épülne. Ekkor a zúzottkő *egyenérték-tényezője* lesz az egység. A *D* vastagsági index képletét ekkor a zúzottkő 0,14 tényezőjével kell végig osztani (h_1 az aszfaltréteg, h_2 a folytonos szemeloszlású zúzottkő, h_3 pedig a homokos kavicsréteg vastagsága):

$$D = 0{,}44h_1 + 0{,}14h_2 + 0{,}11h_3;$$

$$\frac{D}{0{,}14} = \frac{0{,}44}{0{,}14}h_1 + \frac{0{,}14}{0{,}14}h_2 + \frac{0{,}11}{0{,}14}h_3;$$

$$H_e = \frac{D}{0{,}14} = 3h_1 + 1{,}0h_2 + 0{,}8h_3.$$

Ezen összefüggés szerint tehát az AASHO Road Test szerint a következő tapasztalat adódott:

1 cm aszfaltbetonréteg megfelel:
3 cm zúzottkőrétegnek ($e_1 = 3$).

1 cm zúzottkőréteg megfelel:
1 cm zúzottkőrétegnek ($e_2 = 1{,}0$).

1 cm homokos kavics megfelel:
0,8 cm zúzottkőrétegnek ($e_3 = 0{,}8$).

Az AASHO-kísérlet ösztönzése alapján az *egyenértéktényezők* alkalmazása — nem annyira a jó elméleti megalapozottsága, hanem a jó gyakorlati alkalmazhatósága miatt — számos országban széles körben elterjedt, és számos behajlásmérés eredményeinek feldolgozásával kiterjesztették hazánkban is az összes használatban levő pályaszerkezeti rétegre.

Hazánkban a hazai tapasztalatok kiértékelését a hazai méretezési Utasítás [2.] táblázata tartalmazza (2-3. táblázat). Hazánkban a hígított bitumennel *itatott zúzottkő-*

2-3. táblázat. A pályaszerkezetek anyagainak egyenértéktényezői az 1971 évi „Hajlékony pályaszerkezetek méretezési utasítása" szerint

A pályaszerkezet anyagainak megnevezése	Egyenértéktényezők, e_i
Aszfaltbeton, (AB-5, AB-10 és AB-25) Öntött aszfalt Kötőréteg (K-25)	2,2
Meleg bitumenes alapok, legalább 40% zúzott adalékanyaggal (javított U-35)	2,0
Meleg bitumenes alap (U-35, U-12) Kevert aszfaltmakadám	1,8
Sóványbeton alap (max. B-100)	1,5
Cementtel stabilizált homokos kavics Idomkő burkolat hézagkiöntéssel	1,2
Kötőzúzalékos aszfaltmakadám Itatott aszfaltmakadám Folytonos szemeloszlású zúzottkőalap Cementtel stabilizált talaj gépben keverve Idomkő burkolat hézagkiöntés nélkül	1,0
Cementtel stabilizált talaj talajmaróval keverve Bitumennel stabilizált homok Zúzottkő alapok Mechanikai stabilizáció 0/50	0,7
Mechanikai stabilizáció 0/20	0,5

Amennyiben a méretezett pályaszerkezetben CBR < 5% eseten védőréteg épül, annak egyenértéktényezőit a következők szerint kell megállapítani:

Kavicsos homok, homokos kavics	0,5
Homok	0,3
Mésszel kevert talaj	0,3

makadám-réteget vették egységnek, ennek egyenértéktényezője 1,0. A hazai tapasztalatok szerint az azonos egyenérték-tényezővel szerepeltetett pálya szerkezeti rétegek valóban egyenértékűek is a *teherbíró-képesség létrehozása* szempontjából, ebben a tekintetben fel is lehetne cserélni őket szükség esetén. Figyelembe kell azonban venni a következőket:

1. Az egyes rétegek alkalmazható vastagságait nem változtathatjuk mindig szabadon, hanem némelyikre *technológiai, építési okokból elég kötött vastagsági méretek* adottak, amelyeket, csak többszöröznilehet esetleg, de változtatni nem (pl. itatott makadám).

2. Függetlenül attól, hogy két réteg teherbíró-képességi szempontból az egyenérték-tényezők alapján helyettesíthetné egymást, a *valóságos helyettesítést szükség esetén is csak akkor szabad végrehajtani, ha az technológiai szempontból is megengedhető.* Így pl. nagy forgalom esetén a 3 cm kötőréteget nem szabad 4,5 cm bitumenes kaviccsal helyettesíteni. Bár az egyenérték-vastagsága mindkettőnek közel azonos: $3 \cdot 2{,}0 = 6$ cm és $4{,}5 \cdot 1{,}4 = 6{,}3$ cm, ennek ellenére a nagy forgalom vízszintes erőhatásainak felvételére a kopóréteg alatt K-25 durva kötőréteg és nem bitumenes kavics szükséges. Az ilyen jellegű utalásokat, az egyes pályaszerkezeti rétegek részletes tárgyalásakor látjuk majd.

IRODALOM

[1] Útpályaszerkezetek teherbíró-képességének vizsgálata MSZ 2509—67.

[2] *Utasítás* útpályaszerkezetek méretezésére. Közlekedés és Postaügyi Minisztérium, Budapest, 1965...70.

[3] *Boromisza Tibor—Ferenczy Géza;* Korszerű útpályaszerkezetek. Útügyi Kutató Intézet 33. kiadványa, Budapest, 1964.

[4] *Ács—Boromisza—Gáspár;* Útépítési geotechnikai vizsgálatok. Útügyi Kutató Intézet 36. sz. kiadványa. Budapest, 1965.

[5] *Gáspár László;* Útpályaszerkezetek tervezése. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1967.

[6] *Nemesdy Ervin;* Útépítéstan III. rész. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.

[7] *Nemesdy Ervin;* A forgalmi tehelés nagyságának szerepe a pályaszerkezetek méretezésénél. Mélyépítéstudományi Szemle. 1966. 9. 393.

[8] *Ivanov—Bardzo;* Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése és teherbíró-képessége. Moszkva, 1967.

[9] *Babkov—Gerburt—Gejbovics;* Osznovi gruntovegyenij i mechanik gruntov. Izdatyelsztvo „Viszoka Skola", Moszkva, 1964.

[10] *Jeoffroy;* Conception et Construction des Chaussées. Tome 1. Eyrolles Editeur. Paris, 1967.

[11] *AASHO Road Test.* Bericht des AASHO Road Test Ausschusses. Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg, 1968.

[12] *Highway Research Board;* „The AASHO Road Test" Special Report 61 A-G. Washington, D. C., 1961...62.

[13] *Siedek—Voss;* Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. Werner-Verlag, Düsseldorff, 1966.

[14] *Kézdi Árpád:* Talajmechanikai praktikum. Tankönyvkiadó V. 1962.