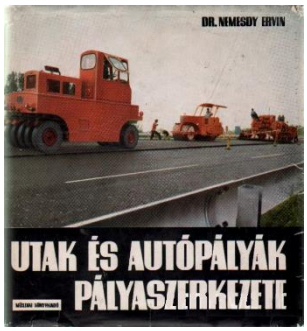
DR. NEMESDY ERVIN: **UTAK ÉS AUTÓPÁLYÁK PÁLYASZERKEZETE - Technológia – Építés**
MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ – BUDAPEST, 1971; o590



A szerzői jog tulajdonosainak engedélyével.

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

RÉSZLETES TARTALOMJEGYZÉK

1 GÉPJÁRMŰVEK IGÉNYEI AZ ÚTBURKOLATOKKAL SZEMBEN 9
1.1 A közlekedésbiztonság és a forgalom követelményei a burkolatfelületek minőségével szemben 9
1.2 Útburkolatok felületi érdessége 10
1.2.1 A súrlódási tényező alakulása a burkolaton 10
1.2.2 A burkolatfelület geometriai érdességének szerepe és mérése 13
1.2.3 Vontatott mérőkerékkel végzett érdességmérések útburkolatokon 16
1.2.4 Csúszás-ellenállás mérése ingás készülékkel 20
1.2.5 A csúszó súrlódási tényezők időbeli változása és irány értékek a burkolatok megítélésére 23
1.3 Útburkolatok felületi egyenletessége 24
1.3.1 A felületi egyenletesség hatása a gépjármű üzemére 24
1.3.2 A felületi egyenletesség geometriai mérési eszközei 27
1.3.3 A felületi egyenletesség dinamikai mérési lehetőségei 31
1.3.4 Követelmények és előírások az útburkolatok egyenletességére 31
1.4 Útburkolatok felületének fényvisszaverő-képessége 32
1.5 Útburkolatok felületének használhatósági indexe 34
Irodalom 36
+
10.1 Csúszásellenállás-mérés ferde síkú mérőkerékkel 569

1. Gépjárművek igényei az útburkolatokkal szemben

1.1. A KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁG ÉS A FORGALOM KÖVETELMÉNYEI A BURKOLATFELÜLETEK MINŐSÉGÉVEL SZEMBEN

Az út a forgalom számára épül. Ezt az igen fontos alapelvet szem előtt kell tartani az utak vonalvezetésében, keresztmetszeti kiképzésében, csomóponti elrendezéseiben és az általános forgalomtechnikai kialakításban akár a tervezés, akár pedig az építés vagy fenntartás során. Ugyanúgy a *forgalom igényeit* kell szem előtt tartani akkor is, ha az útpályaszerkezet és az útburkolatok technológiai, építési és anyagvizsgálati részletkérdéseivel kell foglalkoznunk.

Az *úthasználók* — elsősorban a személy- és tehergépkocsi-vezetők, motorkerékpárosok — *igényeit*, valamint a *gépjárművek mechanikai és dinamikai tulajdonságait* kell figyelembe vennünk elsősorban annak érdekében, hogy a pályaburkolat alkalmas és előnyös legyen mind a *közlekedésbiztonság*, mind pedig az *utazáskényelem* szempontjából. Az út használatát lényegében csak az *útburkolat* (azaz az útpályaszerkezet legfelsőbb rétege) befolyásolja közvetlenül, ugyanis a *gépjármű és a pálya kölcsönhatása* szempontjából a pálya oldaláról a *burkolat felületi tulajdonságai* a leginkább fontosak. Ezek a később részletesebben tárgyalt felületi tulajdonságok a következők:

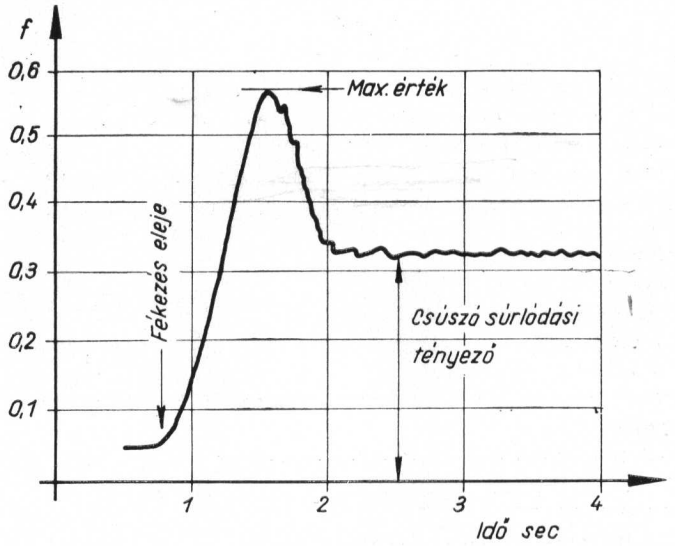
A felületi érdesség az útburkolat és a gumiabroncs közötti megbízható erőátadást teszi lehetővé, ami mind az eredményes fékezés, mind pedig az ívekben való biztonságos haladás szempontjából elsőrendűen fontos, de voltaképpen ez az erőátadódás teszi lehetővé a gépjármű gyorsítását, sőt iránytartását és kormányozhatóságát is. Alapvetően fontos ezért a *tapadó* és a *csúszó súrlódás* nagysága a kerék és a burkolat között, a súrlódás összefüggése a sebességgel, a különböző típusú burkolatoknál adódó különböző fajta felületi érdességek esetén. Igen fontos itt megállapítani az érdességi követelményeket és az érdesség ellenőrző mérési módszereit. Később már a technológia feladata lesz a kellő érdesség, a kellő csúszó súrlódás létrehozása nedves felületen is.

A felületi egyenletesség elnevezéssel foglaljuk össze a jó burkolat azon tulajdonságát, hogy az egyenes vagy íves szakaszon alkalmazott két- vagy egyoldalú esésnek megfelelő közel sík pályát nyújt a gépjárműveknek. Így viszonylag nagy sebesség vagy nagy forgalom mellett is megvalósulhat egyrészt a kellő utazáskényelem, rázkódásmentesség, másrészt ennek megfelelően kedvezőbben alakulnak a jármű-üzemi költségek (üzemanyag-fogyasztás, járműelhasználódás). A felületi egyenletességet természetesen a burkolatépítés és fenntartás csak bizonyos közelítéssel tudja megteremteni, még új burkolat esetén is. Különböző hullámhosszú és húrmagasságú hullámok, egyenletességi hibák adódnak. Fontos feladat, hogy megállapítsuk ezek objektív mérési módszereit, és a hibák, hullámok megengedhető, eltűrhető nagyságát. Később már a technológia feladata lesz a kellő felületi egyenletesség (hullámmentesség) megvalósítása a burkolat felületén.

A közlekedésbiztonság fontos tényezője *a felület fényvisszaverő-képessége* útburkolatok esetében, főleg az éjszakai, illetve közvilágítással vagy fényszóróval megvilágított pályafelületnél. A jó fényvisszaverő-képességű burkolatok alkalmazásakor a vezető kisebb fáradsággal, nagyobb biztonsággal vezet. A megfelelő mérési módszer mellett a kedvező fényvisszaverő-képesség jellemző mérőszámait kell ismerni. Később itt is a technológia feladata, hogy a kedvező fényvisszaverő-képességet megfelelő adalékanyagok alkalmazásával hozza létre.

Az útburkolat *felület használhatósági értéke* az úthasználó gépjárművezető szubjektív összbenyomásaként adódó *p* minőségi jellemző értékszáma. Nagyságát a burkolatfelület állapota, az érdességen és egyenletességen kívül főleg azoknak a felületi hibáknak, repedéseknek, deformációknak, gödrösödéseknek száma és minősége határozza meg, amelyek a forgalom nagysága és huzamos, éveken keresztüli igénybevétele következtében a burkolat termé-

szetes elhasználódása és fenntartása során keletkeznek. A p használhatósági értékszám így a burkolat teljes élettartama alatt folytonosan csökkenő jellemző számértékével jelzi, hogy a burkolat minősége hogy alakul és mikor kell a felújítás szükségességével számolni. Fontos feladat a használhatósági értékszám megállapítási módszerét alkalmazni, részben a burkolatfelület objektív mérési adataira támaszkodva, részben ezzel elég szoros korrelációban, számos úthasználó gépkocsivezető szubjektív értékskála beosztásának összesítése alapján. Itt is a technológia feladata, és főleg a pályaszerkezet méreteinek és anyagának megválasztása határozza meg, hogy egy még kielégítően használható értékű számmal jellemzett burkolatállapotot lehessen létrehozni a várható forgalom mellett is a kívánt, pl. 15 éves burkolatélettartam végéig.



1-1. ábra. A kihasznált súrlódás változása erős fékezés esetén

1.2. ÚTBURKOLATOK FELÜLETI ÉRDESSÉGE

1.2.1. A súrlódási tényező alakulása a burkolaton

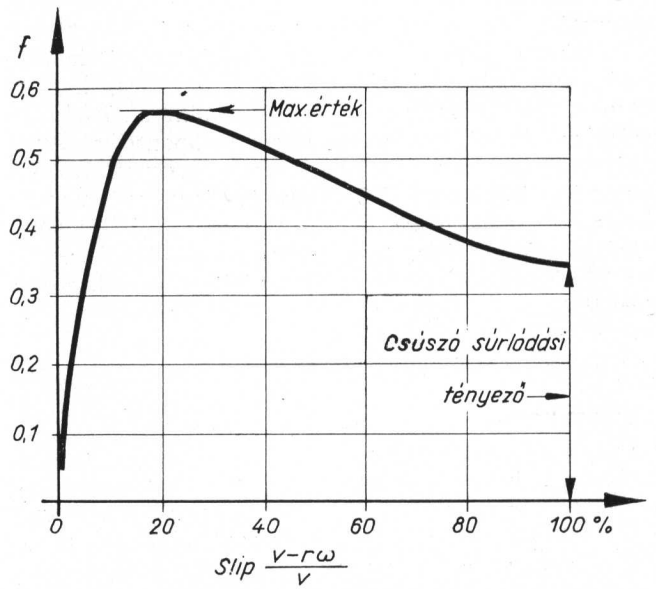
A kielégítően érdes burkolatfelület létrehozza a megfelelő súrlódást a gépkocsi gumikereke és a burkolat között minden olyan esetben, amikor a kerék és a pálya között bármilyen kismértékű vagy nagyobb csúszás bekövetkezik. A forgalombiztonság szempontjából az egyik legfontosabb eset a *fékezés*, amikor a befékezett kerekek és a burkolat közötti súrlódás következtében egy $P = Qf$ *fékezőerő* lép fel (Q a gépkocsi súlyából a burkolatra ható normálerő, vízszintes pályán maga a súlyerő, f pedig a *súrlódási tényező* a gumiabroncs és a burkolat között). A kocsira ható *fékezési lassulás* (a m/s²) és a kihasznált súrlódási tényező (f) között szoros összefüggés van, mert felírható az alábbi összefüggés a fékezőerő kétféle kifejezése között:

$$Ma = \frac{Q}{g}a = Qf; \qquad \text{innen:}$$

$$a\ (\text{m/s}^2) = gf \cong 10f, \tag{1a}$$

$$f = \frac{a}{g} \cong 0{,}1a, \tag{1b}$$

mivel $g = 9{,}81 \approx 10$. Így tehát a kihasznált súrlódási tényező tízszerese adja a fékezési lassulást. A közlekedésbiztonság megköveteli tehát, hogy az útburkolat és a gumiabroncs között mindig megfelelő nagyságú súrlódás keletkezzen, ami a kellő fékezési lassulást megteremti. (Előljáróban a nagyságrend bemutatására megjegyezzük, hogy ennek megfelelő nagysága általában 3...4 m/s² lassulás, azaz 0,3...0,4 csúszó súrlódási tényező közepes 60...80 km/h sebesség esetén.) A kihasznált súrlódás egy viszonylag hirtelen fékezés esetén nem állandó, és így a fékezési lassulás sem. Az 1-1. ábra szerint a fékezési lassulás és a kihasznált súrlódás az elején maximumig növekszik, majd lecsökken egy továbbiakban közel állandó kisebb értékre, amikor a befékezett kerék már nem forog, hanem csak csúszik a burkolaton. Ez az állandó érték a *csúszó súrlódási tényező*, gyakorlatilag ezt kell mértékadónak vennünk a burkolat csúszósságának, érdességének megítélésekor.



1-2. ábra. A maximális súrlódóerő akkor adódik, ha a fékezett kerék gördülés közben 10...20% szlip-csúszást végez. Biztonságból csak a leblokkolt kerék csúszósúrlódását vehetjük mértékadónak

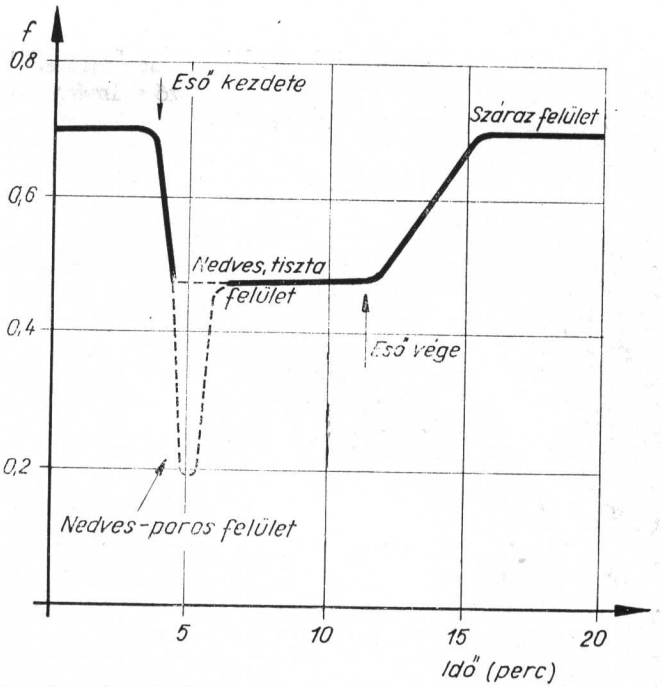
(A súrlódási tényező és ezzel a fékhatás ennél nagyobb, ha az 1-2. ábra szerint a fékezéskor a kerék a gördülés és csúszás határai között van.) *Maximális súrlódás* akkor van, ha gördülés közben a fékezett kerék még gördülés közben kb. 10...20%-os szlip-csúszást végez. Ezt azonban a gépkocsivezető sokszor nem tudja tartósan megteremteni, mert veszély esetén ösztönösen túlfékez. Ezért általában csak a csúszó súrlódási tényezőt vizsgáljuk.

A súrlódási tényező nagyságát igen sok hatás befolyásolja; egy adott burkolat esetén pl. az 1-3. ábrán az idő függvényében való jellegzetes változást látjuk az időjárástól függően. *Száraz* időben viszonylag nagy a súrlódási tényező, az *esőtől lemosott* vízfilmmel borított burkolaton egy kisebb súrlódásra lehet csak számítani. (Legveszélyesebb a helyzet az eső elején a még poros, szennyes burkolaton, a még enyhén nedves szennyezettség kenőhatása miatt.) A felszáradt burkolaton a súrlódás ismét megnövekszik.

Igen fontos a *gépjármű sebességének* hatása. *Száraz burkolaton* a sebességtől viszonylag független, állandó a súrlódási tényező, és abszolút értéke mindegyik használatos burkolatfajtánál teljesen kielégítő a biztonságos fékezés szempontjából, akár bordázott, akár pedig sima felületű gumiabroncs esetén. Ezzel szemben *nedves burkolatfelületen* (tehát esős időszakban) a súrlódási tényező már annál erősebben csökken, minél nagyobb a gépjármű sebessége, és ugyanakkor már erősen befolyásolja a burkolatfelület milyensége, minősége, felületi érdessége, textúrája ugyanúgy, mint a gépjármű gumiabroncsának jól bordázott új vagy lekopott, sima felülete (1-4. ábra). Szokásos jó gumiabroncsok esetén is előfordulhat, hogy pl. zárt, de dörzspapírszerűen érdes burkolatfelületen kis sebességek mellett igen magas a súrlódási tényező, azonban a nagyobb sebességek esetén már rohamosan csökken az értéke. Ugyanakkor egy jóval durvább zúzalékos, barázdáltabb, nyitottabb felületű burkolaton kisebb a súrlódási tényező, azonban ennek értéke sokkal kevésbé csökken a sebesség növekedésével, és így a nagyobb sebességek esetén mégis nagyobb, előnyösebb lehet a súrlódás, mint az előbbi dörzspapírszerű burkolatfelület esetében. A súrlódási tényező különösen akkor csökken le minimális értékre, ha nemcsak a burkolat zárt felületű és erősen nedves, hanem a gumiabroncs is sima, barázdáltság nélküli.

A súrlódás előbb leírt természetét és főleg a burkolatfelület feladatát jól megérthetjük, ha a burkolatfelület és a gumiabroncs közötti vízfilm hatását megvizsgáljuk.

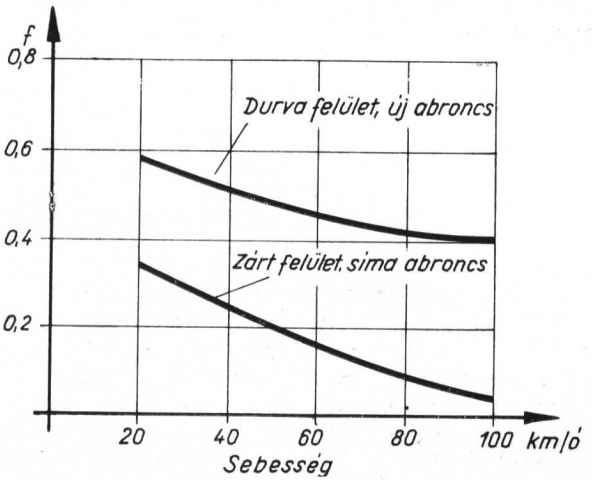
Szélső esetet szemléltet az 1-5. ábra, amikor a dörzspapírszerűen érdes, zárt felületű burkolaton viszonylag vastag, pl. 1,5 mm-es vastag vízfilm van (erős eső alatt), és ezen egy sima abroncsú gépkocsi nagy sebességgel (90...100 km/h) fut. Egy p kp/cm² belső nyomású sima felületű abroncsra hidrodinamikai számítás eredményeképpen számítható az a v_0 határsebesség, amely mellett a vízfilm hidraulikai nyomása már egyensúlyt tart a gumiabroncsok terhelésével. Amikor a kocsi első kerekei a vízfilm felületén csúszva már nem forognak, gyakorlatilag megszűnik a súrlódás és a kocsi igen veszélyesen kormányozhatatlanná válik [32, 34, 35]:



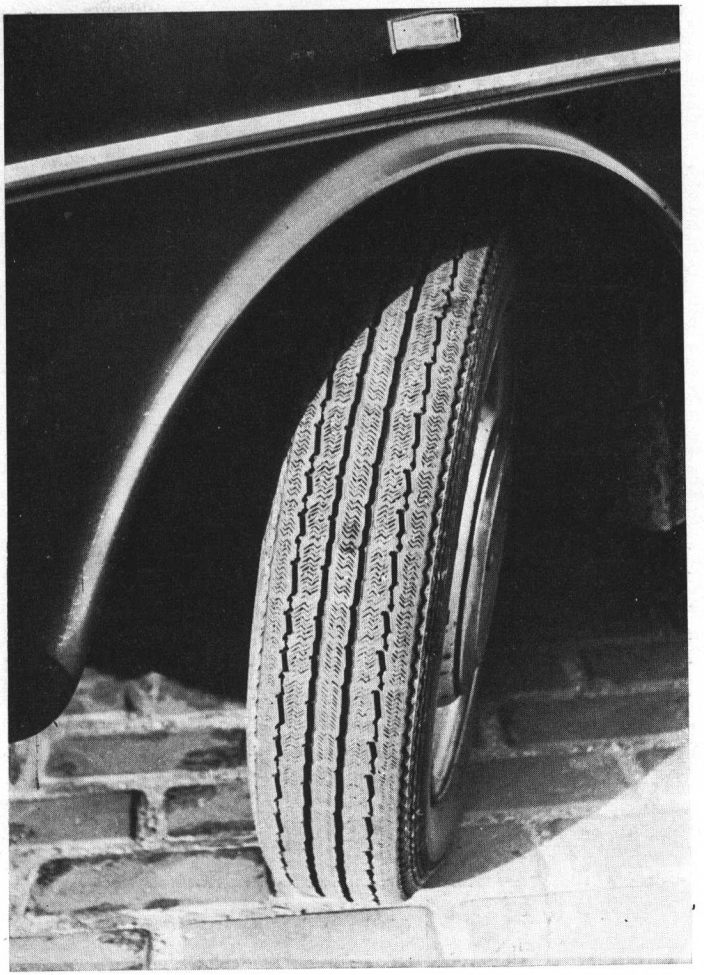
1-3. ábra. A surlódási tényező változása az esőtől függően

$$v_0 \text{ (km/h)} \cong 68\sqrt{p}.$$

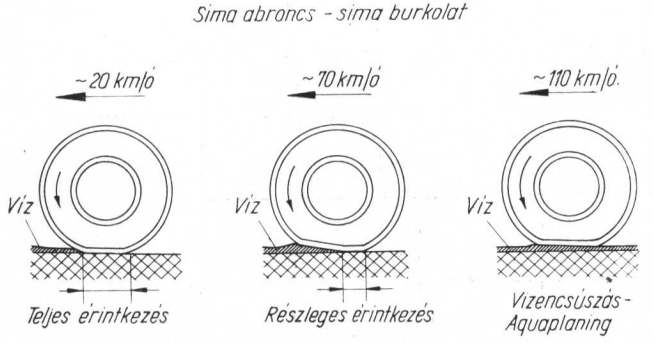
Így tehát egy személygépkocsi esetén $p=1{,}8$ atm nyomású tömlőkkel kb. $v_0 = 90$ km/h sebesség mellett bekövetkezhet a veszélyes „vízencsúszás", az *Aquaplaning* vagy *Hidroplaning*



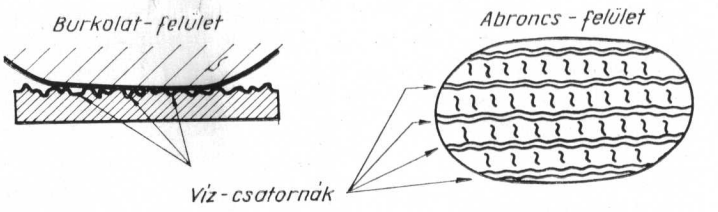
1-4. ábra. A súrlódási tényező értéke nedves burkolaton a sebesség növekedésével csökken, a csökkenés sima felületű kopott guminál erősebb



1.1 kép. Gépkocsi gumiabroncsának korszerű bordázata jól elősegíti a felületi víztelenítést és a burkolattal való jó érintkezést esős időben is



1-5. ábra. Vastagabb vízfilmen, nagyobb sebességen a hidrodinamikus emelőhatás miatt bekövetkező vízencsúszás (aquaplaning) miatt nincs súrlódás, a kocsi kormányozhatatlanná válik



1-6. ábra. A kellő súrlódóerőt a burkolatfelület durvább felülete és a gumiabroncs profilozottsága hozza létre, amelyek a „mikrovíztelenítést", a víz kiszorulását eredményezik a kerék és burkolat között

néven ismert jelenség, amely repülőtereken csak a fékutat hosszabbítja meg károsan, közúton azonban súlyos baleseteket okoz.

A gyakorlatban mégis erős esőben is megfigyelhetők nagy sebességeket kifejtő gépkocsik, amelyek még kormányozhatók, sőt igen óvatos fékezés is lehetséges. Ez azért van, mert a jól bordázott gumiabroncs-felületeken és különösen a durvább felületű burkolatfelületeken (1-6. ábra) nagy sebességek esetén is megmaradhat az érintkezés és ezáltal a súrlódás egy része, mivel a vastag vízfilm a gumiabroncs mintázatán, bordázatán valamint a durva felületű burkolat barázdáin megszakad. A víz egy része kinyomódhat a gumi és a burkolat közül, mert léteznek közöttük víztelenítő kis csatornák és létrejön a *vegyes súrlódás*, mint egy *normális állapot* a száraz súrlódás és a vízencsúszás (Aquaplaning) két szélső határesete között. Nagy sebességgel járt burkolatok esetén tehát az a fontos, hogy a durva, nyitott, zúzalékos felületű burkolat kiemelkedő szemcséi áttörjék a vízfilmet, érintkezzenek a gumival, és a víz a kiemelkedő szemcsék és a gumibordázat között rövid úton, hirtelen elfolyhasson.

A vegyes súrlódás kialakulása a két határeset között jól látható az 1-7. ábrán. A nedves útfelületen a gumiabroncs eredeti felfekvési felületének egy részét elveszti v sebességű haladás esetén a kerék alá torlódó vízfilm hidrodinamikai emelő hatása miatt, egy csökkent nagyságú felületen azonban létrejön a száraz érintkezés és közel száraz súrlódás a gumi és a burkolat között. A hidrodinamikai emelőerő Q_v nagysága [32, 35] lineárisan arányos a v km/h sebességgel: $Q_v = cv$. Ha a száraz burkolaton a súrlódási tényező f_{sz}, akkor a P súrlódási, fékezőerő felírásakor figyelembe kell venni a nedves burkolaton a vízfilm okozta emelőerő miatt csökkent felületen történő száraz súrlódást. Így megkapható a *vegyes súrlódás* teljes fékezett súlyra és a v sebességre vonatkozó f súrlódási tényezője:

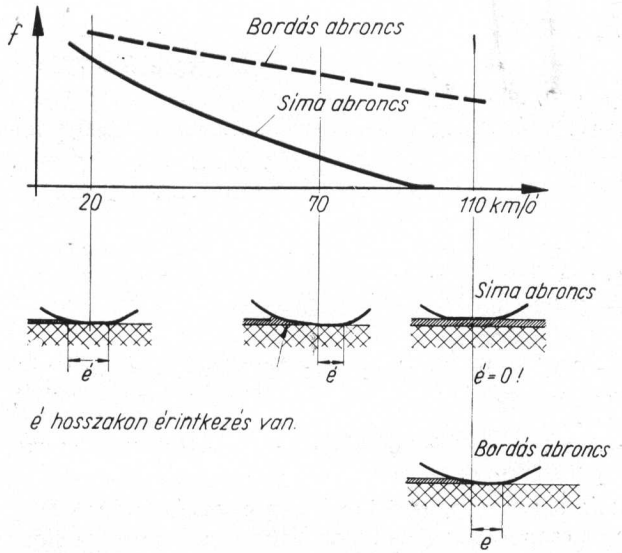
$$P = Qf = (Q - Q_v)f_{sz} = (Q - cv)f_{sz}.$$

Innen:

$$f = \left(1 - \frac{c}{Q}v\right)f_{sz} = f_{sz} - \frac{cf_{sz}}{Q}v,$$

azaz

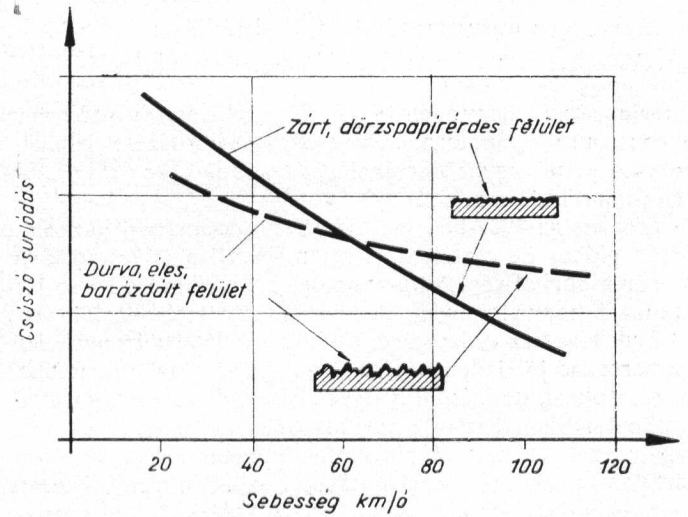
$$f = f_{sz} - kv. \qquad (2)$$



1-7. ábra. A vegyes súrlódásnál, mint normális esetnél a száraz érintkezés is megvan, de hat a hidrodinamikai emelőerő is, ezért a sebességgel közel arányosan csökken a súrlódás

Ezen elvi képlet alapján tehát *szükségszerű, hogy a nedves útburkolaton lineárisan csökkenjen a súrlódási tényező.* Ennek értéke egy adott sebesség mellett annál nagyobb, annál kedvezőbb,

a) minél nagyobb a száraz burkolatfelületen a súrlódás, azaz minél élesebbek a gumiabronccsal súrlódó szemcsék;



1-8. ábra. A „zárt", sima, dörzspapírérdességű burkolat és a durva, „nyitott" éles zúzalékos burkolatfelület csúszásellenállásának alakulása más, a kisebb és a nagyobb sebességek mellett a „mikrovíztelenítés" miatt

b) minél kisebb a vízfilm hidrodinamikai emelőereje, azaz a burkolatfelület durva szemcséi minél jobban áttörik a vízfilmet, és a durva felület barázdái miatt a „mikrovíztelenítés" a gumi és burkolat között minél rövidebb úton, minél hatásosabb.

Ezen megállapítások már kvalitatív útmutatásokat adnak a súrlódási tényező alakulása szempontjából kedvező kialakítási burkolatfelületre (1-8. ábra):

városi, tehát *közepes—kis sebességű* forgalomra előnyös burkolatfelület lehet a zárt, dörzspapír érdességű, valamint a durvább, éles szemcséjű felület egyaránt;

nyílt útszakaszon, *nagyobb sebességű* forgalomra elsősorban a durva, barázdált, éles, zúzalékos, jó „mikrovíztelenítést" nyújtó felület az előnyös.

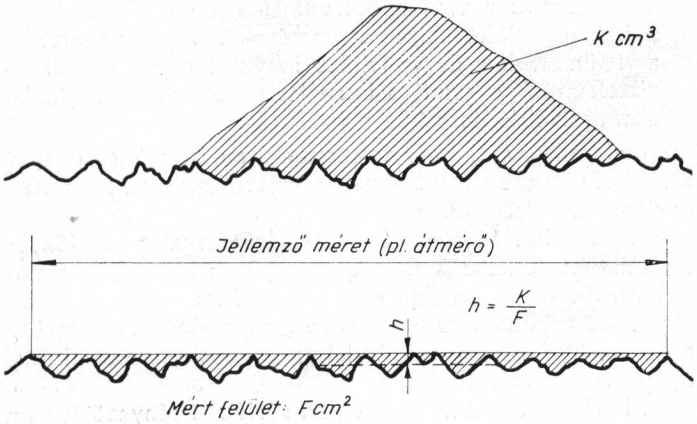
A burkolatfelületek érdességét, súrlódási tényezőjét nem lehet elméleti úton számítani, hanem mérési eljárásokkal kell minden esetben külön meghatározni a vizsgált burkolatfelületen. Mivel a sebességtől jelentősen függ, tehát érthető, hogy elsősorban a számos sebesség melletti mérést lehetővé tevő, vontatott *befékezett mérőkerékkel* dolgozó eljárások adják a legreálisabb eredményt, viszont ez az eljárás a legnagyobb befektetést igénylő, legkörülményesebb. Egyszerű hordozható *ingás súrlódásmérő eszközökkel* is lehet súrlódási tényezőket meghatározva burkolatérdességet mérni, ezek az értékek azonban elsősorban csak kis sebességekre (pl. városi forgalomra) mértékadóak, amíg nagyobb sebesség esetén kétféle burkolat érdességi értékelésének sorrendje akár meg is változhat. Ezért a fenti mérési eljárások előtt még a burkolatfelület érdességi struktúrájának, „geometriai érdességének" értékelésével foglalkozunk.

1.2.2. A burkolatfelületek „geometriai érdességének" szerepe és mérése

A burkolatfelületek geometriai érdessége fogalmát éppen annak érdekében vezetjük be, hogy a felületstruktúra helyi vízelvezető-képességét, sima gumiabroncs és a burkolat közötti vízfilm megtörésének lehetőségét számszerűen értékelni tudjuk egy adott burkolat esetén.

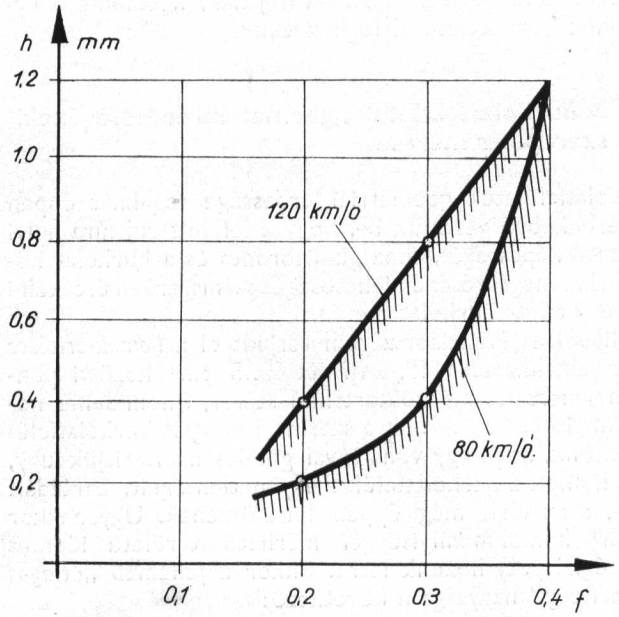
Angliából és Franciaországból terjedt el a *homokterítéses módszer* alkalmazása [19, 24]. Itt 2...5 cm^3 közötti pontosan megmért K cm^3 köbtartalmú száraz, finomszemű homokmennyiséget az 1-9. ábra szerint a vizsgált burkolatfelületre öntünk, majd egy vonalzóval gondosan elterítjük úgy, hogy a homok a burkolatfelület egyenetlenségeit, barázdáit kitöltse, s az élek még éppen kiütközzenek. Ugyanakkor a K cm^3 homokmennyiséggel mérhető területű idomot (kört, téglalapot) hozunk létre. Ekkor a jellemző *„átlagos homokmélység"* nagysága a következő:

$$h\ (cm) = \frac{K\ (cm^3)}{F\ (cm^2)}.$$



1-9. ábra. A burkolatfelület geometriai érdességének mérése a homokszórásos módszerrel

Franciaországban az 1967. évben kiterjedt széles kampányszerű burkolatérdesség-mérések tömegét végezték el, és összefüggést teremtettek a geometriai érdesség homokmélységének mérőszáma és a 80 és 120 km/h sebességekre mértékadó f súrlódási értékek között (1-10. ábra), a veszélyes sima abroncsgumi esetére. Egyértelmű korreláció a h és f adatok között ugyan nincs, azonban bizonyos feltételek mégis jól megszabhatók [21]:



1-10. ábra. Összefüggés az átlagos geometriai érdesség-mélység és a minimálisan elért csúszósúrlódás között az 1967. évi francia országos adatfelvételek szerint [21]

80 km/h sebesség esetén:

$f_{80} = 0{,}40$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 1{,}2$ mm mélység,

$f_{80} = 0{,}30$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 0{,}4$ mm mélység,

$f_{80} = 0{,}20$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 0{,}2$ mm mélység.

120 km/h sebesség esetén:

$f_{120} = 0{,}40$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 1{,}2$ mm mélység,

$f_{120} = 0{,}30$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 0{,}8$ mm mélység,

$f_{120} = 0{,}20$ érdesség eléréséhez szükséges a $h > 0{,}4$ mm mélység.

A burkolatokat a geometriai érdesség h mm homokmélysége alapján öt csoportba rendelik, az alábbi értékelések mellett:

A jelű, igen finom textúrájú burkolatfelület:
$h < 0{,}2$ mm esetén: megszüntetendő síkos burkolat.

B jelű, finom textúrájú burkolatfelület:
$0{,}2 < h < 0{,}4$ mm esetén: 80 km/h-nál kisebb sebességre, városi utakra alkalmas.

C jelű, közepes textúrájú burkolatfelület:
$0{,}4 < h < 0{,}8$ mm esetén: 80...120 km/h közötti sebességre alkalmas burkolatok.

D jelű, durva textúrájú burkolatfelület:
$0{,}8 < h < 1{,}2$ mm esetén: 120 km/h sebesség felett is.

E jelű, igen durva textúrájú burkolatfelület:
$1{,}2$ mm $< h$ esetén: különleges esetek.

(Megjegyezzük, hogy a fenti f_{80} és f_{120} súrlódási tényezők sima abroncsokra vonatkoznak, a szokásos bordázott gumiabroncsok jóval nagyobb értékeket adnak, de akkor még feltételes-korreláció sem adódik.)

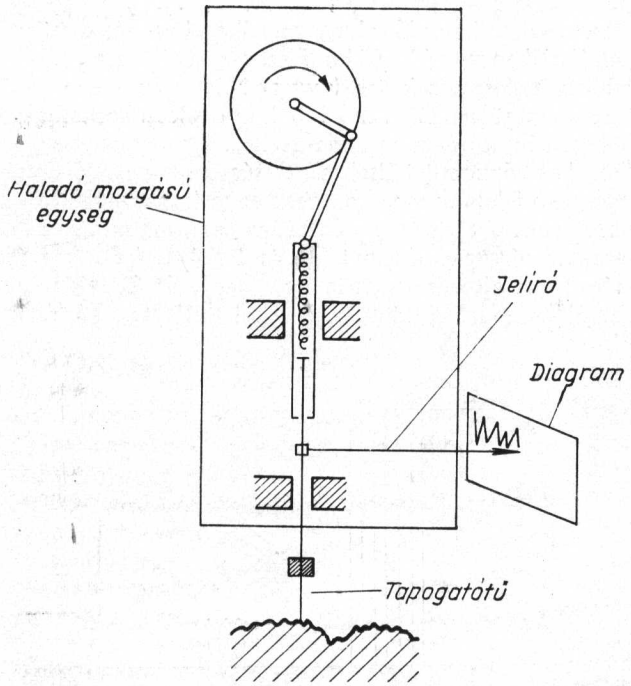
Érdekes az 1967-ben megvizsgált franciaországi burkolatfajták előbbi öt osztály szerinti megoszlása (1-1. táblázat).

Bár a burkolatépítési technológiák ismertetése során látjuk majd, hogy viszonylag kis kiviteli változtatásoknak is erős hatásuk lehet az érdességre, a táblázat adatai a fő burkolatcsoportokat jól jellemzik. Az igen érdes zúzalékos felületi bevonatoknál, de máshol is figyelembe kell venni, hogy a nagyobb forgalom hatása a súrlódási tényező nagyságát csökkenti; ezek és más tényezők (pl. kőzetminőség, bitumentartalom) hatásának megállapításához azonban már a fékezett kerekekkel végzett érdességmérés szükséges.

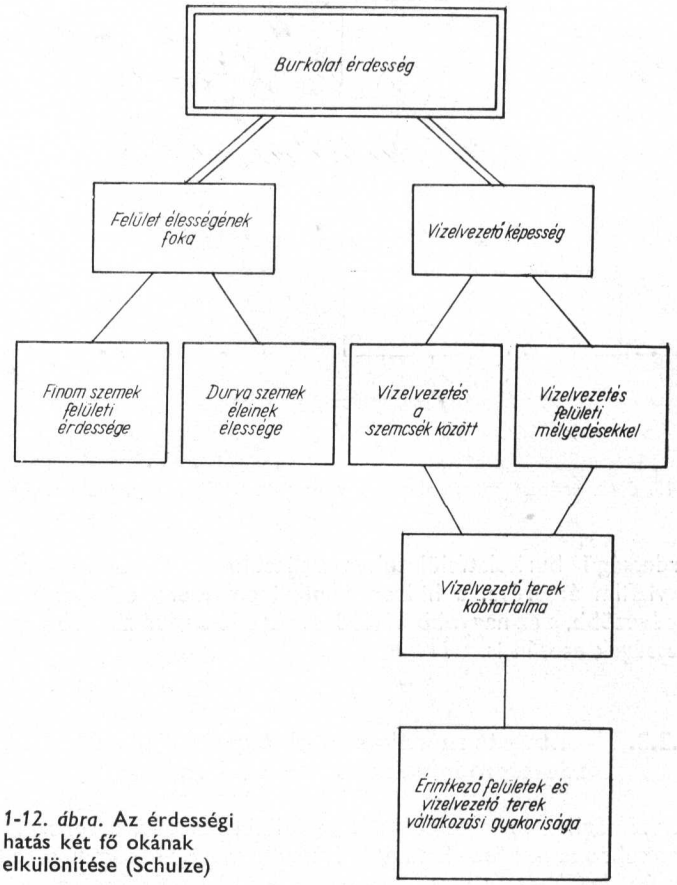
Megemlítjük, hogy a burkolatok geometriai érdességének mérésére kísérleteztek úgy is, hogy hegyes tű segítségével 10...20 cm hosszú vonalon a burkolatfelület mikroprofilját

1-1. táblázat. Francia burkolatfajták megoszlása a különböző geometriai érdességi osztályok szerint (1967 [21])

Osztály jele homok-mélység, mm	A $h < 0{,}2$	B $0{,}2 < h < 0{,}4$	C $0{,}4 < h < 0{,}8$	D $0{,}8 < h < 1{,}2$	E $1{,}2 < h$
Homok asz-falt, mikro-aszfalt beton	16%	44%	38%	2%	0
Cementbeton burkolat	0	27%	73%	0	0
Kevert aszfalt burkolat	2%	19%	62%	8%	9%
Felületi bevonásos burkolat	0	6%	12%	19%	63%



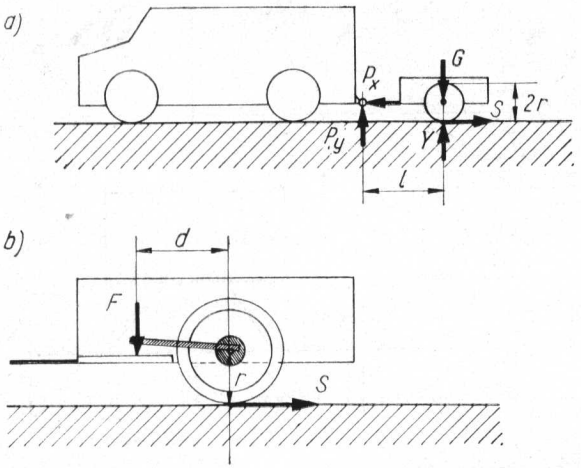
1-11. ábra. A francia LCPC geometriai érdességmérő berendezése egy tűvel tapogatja le a burkolat felületét



1-12. ábra. Az érdességi hatás két fő okának elkülönítése (Schulze)

(kiemelkedéseit, bemélyedéseit) letapogatják, és alkalmas módon, mechanikus vagy elektromos úton ábrázolják vagy jellemző számmal rögzítik. (Ilyen mechanikus tűletapogató műszer, a francia LCPC készülék elve az 1-11. ábrán látható; a magyar ATUKI elektromos úton regisztrálja a tűvel letapogatott felület geometriai érdességét.) Kétségtelen azonban, hogy ezen módszerek csak egy-egy rövid *vonalat* mérnek, és ennél a súrlódás szempontjából nagyobb és értékesebb információt ad a homok-módszer, mert egy jóval nagyobb kiterjedésű *területen* méri meg a geometriai érdességet jellemző adatot.

A geometriai érdesség jelentőségét különösen jól szemlélteti az 1-12. ábrában *Schulze* [37] nyomán ismertetett elvi felosztás, amely jól rámutat a burkolatérdesség két fő összetevőjére és az azokat befolyásoló főbb tényezőkre. Így tehát nagy súrlódást létrehozó burkolat esetén nemcsak a felületi szemcsék *érdességét*, *élességét* kell létrehozni, hanem ezzel egyidejűleg a burkolatfelület *vízelvezető-képességét* (a már említett „mikro-víztelenítést") is lehetővé kell tenni. Ezen követelmények pedig elsősorban a nagyobb geometriai



1-13. ábra. Érdességmérés alapelve vontatott befékezett mérőkerékkel

érdességű burkolatfelületeken teljesülnek. Ekkor ugyanis a vízfilm áttörése, a hidrodinamikai emelőerő csökkentése kedvezőbb, s ez nagyobb súrlódást tesz lehetővé nagyobb sebességek esetén is.

1.2.3. Vontatott mérőkerékkel végzett érdességmérések útburkolatokon

A valósághoz legközelebb álló, a felületminőség, a sebesség és az abroncsminőség hatását is értékelő mérési eredményeket az ún. *befékezve vontatott mérőkerekek* adják. Ezeket számos országban alkalmazzák rendszerint egy vagy több központi útügyi kutatóintézet vagy központi útügyi szerv keretében. Közös elvi felépítésüket az 1-13. ábra szemlélteti: egy vonójármű (tehergépkocsi vagy nagy sebességek esetén egy nagy teljesítményű személygépkocsi) mögé csuklós felfüggesztéssel csatlakozik egy megfelelő fékszerkezettel ellátott keretbe foglalt ötödik *mérőkerék*.

A kb. 300...400 kp erővel leterhelt r sugarú mérőkerékberendezés súlya G, talajreakciója, Y, a vontató rudazat csuklójánál hat a P_x vonóerő és a P_y támasztóerő. A csuklóra felírt nyomatéki egyenlet: $M = G.l - S.r - Y.l = 0$, ahol S a súrlódóerő. Innen számítható az Y reakcióerő, valamint a $P_x = S$ egyenlőség miatt a keresett f súrlódási tényező is. Mivel a súrlódási erő a kerék kerületén: $S = fY$, így:

$$Y = G - S\frac{r}{l} = G - P_x\frac{r}{l},$$

$$f = \frac{S}{Y} = \frac{P_x}{Y} = \frac{P_x}{G - P_x\frac{r}{l}}. \qquad (a)$$

A *súrlódási tényező* így a csuklós felfüggesztésnél elektromos tenzometrikus úton mért P_x *vonóerő nagyságából számítható.* Ugyanakkor azonban kontrollképpen az egyidejűleg mért F *fékezőerőből is számítható a súrlódási tényező.* A mérőkerék féktartó lemezére d hosszúságú erőmérő kart erősítettek, amelynek vége fékezés esetén tenzométerrel mért F erővel nyomja a mérőkereket vontató keretet. Befékezett állapotban a kerék tengelyére ható nyomatékok egyenlőek, így az S súrlódó erő, abból pedig az f súrlódási tényező számítható (13-1. ábra):

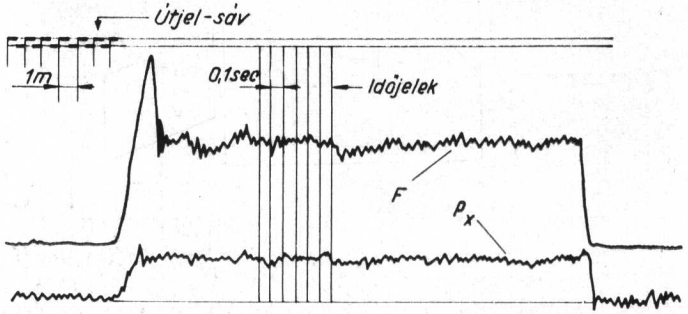
$$Fd = Sr; \quad S = F\frac{d}{r},$$

$$f = \frac{S}{Y} = \frac{S}{G - S\frac{r}{l}} = \frac{F}{G - F\frac{d}{l}}. \qquad (b)$$

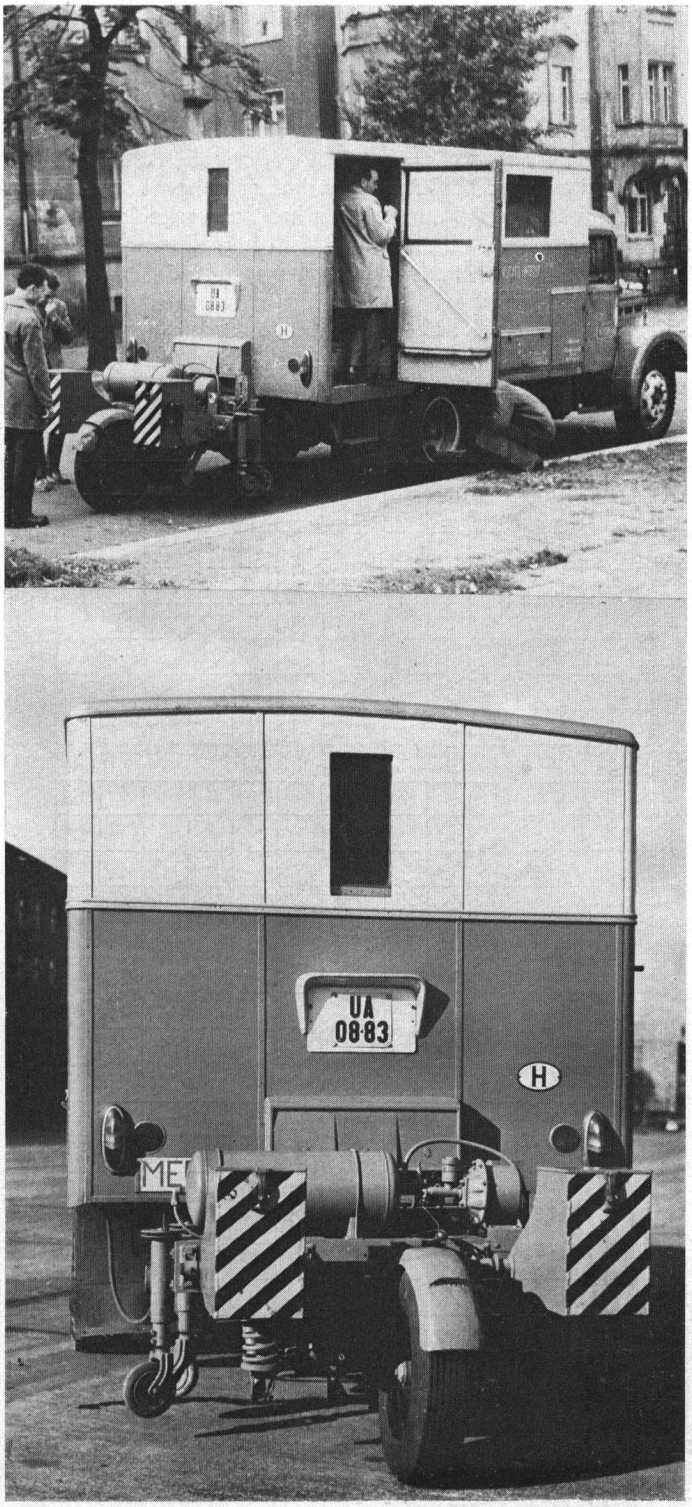
A vonógépjárműben egy mérőszalagon mind a P_x vonóerők, mind az F fékezőerők nagyságát regisztráló oszcillográf rögzíti (1-14. ábra), ezekről a fenti *(a)* vagy *(b)* képletekkel számítható a keresett csúszó súrlódási tényező.

A mérést általában tisztára mosott pályaburkolaton végzik, egy állandó sebesség mellett befékezve a kereket, miközben a járműről automatikusan bő vízsugárral nedvesítik a mérőkerék előtt a burkolatfelületet.

Hazánkban az ATUKI fejlesztett ki mérőkerekes burkolat-érdesség-mérő gépkocsit 1962-ben (1-2. kép), és azóta ezzel számos érdességmérést végeztek [4, 5, 7]. Sok országban alkalmaznak hasonló elven mérőkerekes gépkocsikat, amelyek általában max 60...80 km/h sebességig képesek mérni. Legújabban fejlesztettek ki Nyugat-Németországban [39] és Franciaországban [21] 120...140 km/h feletti sebességekhez is használható mérőberendezéseket. Az egyes országok mérőkerekes gépkocsijai által mért csúszó súrlódási értékek általában nem felelnek meg pontosan egymásnak, még azonos gumiabroncs és G terhelősúly esetében sem, mert még a kipermetezett vízsugár mennyisége is befolyásolja a mérési eredményt. Az eltérés azonban nem nagy, és főleg az egy mérőkerékkel mért különböző burkolatfelületek súrlódási



1-14. ábra. A P_x vonóerők és az F fékezőerők nagyságát rögzítő regisztráló oszcillográf mérőszalagjának egy darabja az ATUKI érdességmérő kerekén



1.2 kép. Az *ATUKI* (Autóközlekedési Tudományos Kutató Intézet) burkolatérdesség-mérő gépkocsija befékezve vontatott ötödik (mérő) kerékkel dolgozik

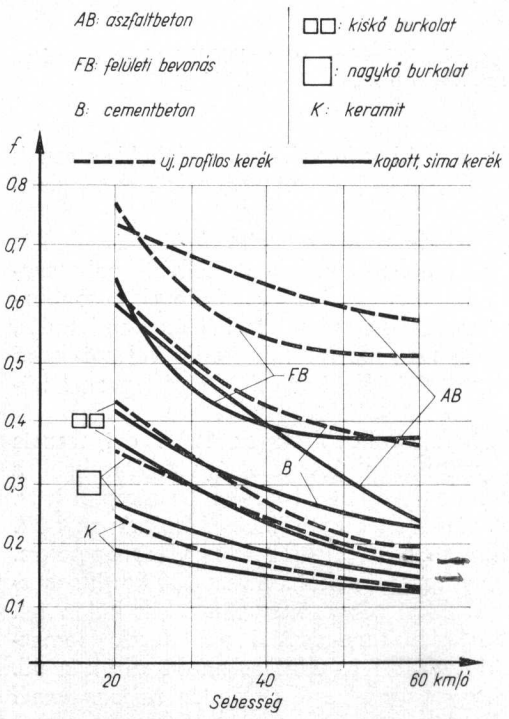
tényezőinek alakulása igen jó összehasonlító értékelést tesz lehetővé.

A hazai fékezett mérőkerekes érdességmérő gépkocsival különböző burkolatokon mért csúszó súrlódási értékeket az 1-15. ábrán hasonlítjuk össze nedves burkolaton, külön sima felületű és külön profilozott, új gumiabronccsal [9]. A *hazai mérésekből* az alábbi következtetések vonhatók le:

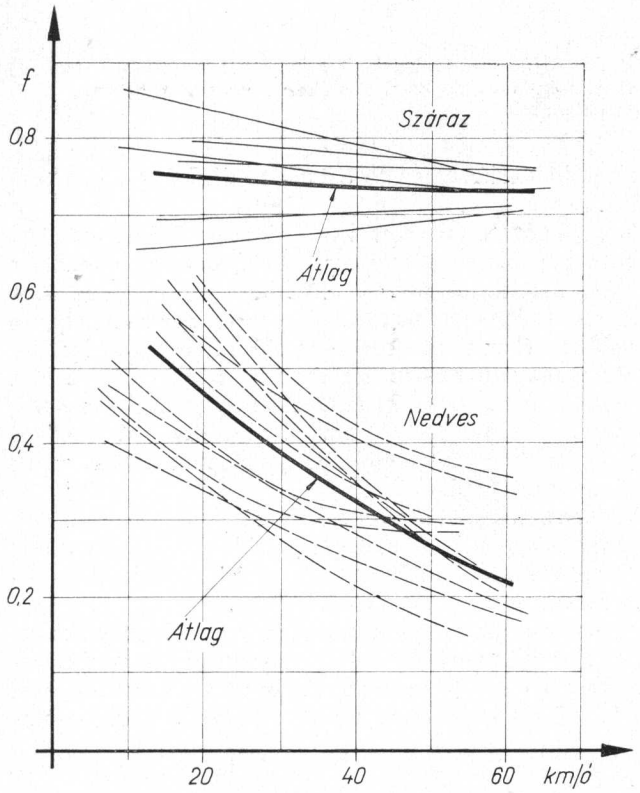
a) A legkedvezőtlenebb legsíkosabb burkolatok, a legalacsonyabb csúszó súrlódási tényezővel sorrendben a keramit, a nagykockakő és a kiskő burkolatok. Ezek ezért nedves állapotban forgalomveszélyesek, és így alkalmazásukat egyre jobban korlátozni kell.

b) Közepes, már kielégítő súrlódási tényezőjű a betonburkolat, amíg a legkedvezőbb, legmagasabb értékeket a zúzalékkal érdesített felületi bevonásos aszfaltburkolatok, valamint az aszfaltbeton burkolatok nyújtják.

c) A mérések jól szemléltették, hogy a nedves burkolatfelületen a vegyes súrlódás miatt a sebesség növekedésével minden esetben elég jelentősen csökken a súrlódási tényező. Sima felületű abroncs használatakor a jellemző görbék min-



1-15. ábra. Különböző útburkolatfajták csúszósúrlódási tényezőinek összesített diagramjai a sebesség függvényében az ATUKI mérőkerékberendezésének mérései szerint (1966 [9])



1-16. ábra. Cementbeton-burkolatokon mért súrlódási tényezők száraz és nedves felületen az ATUKI mérőkocsijával (1966 [9])

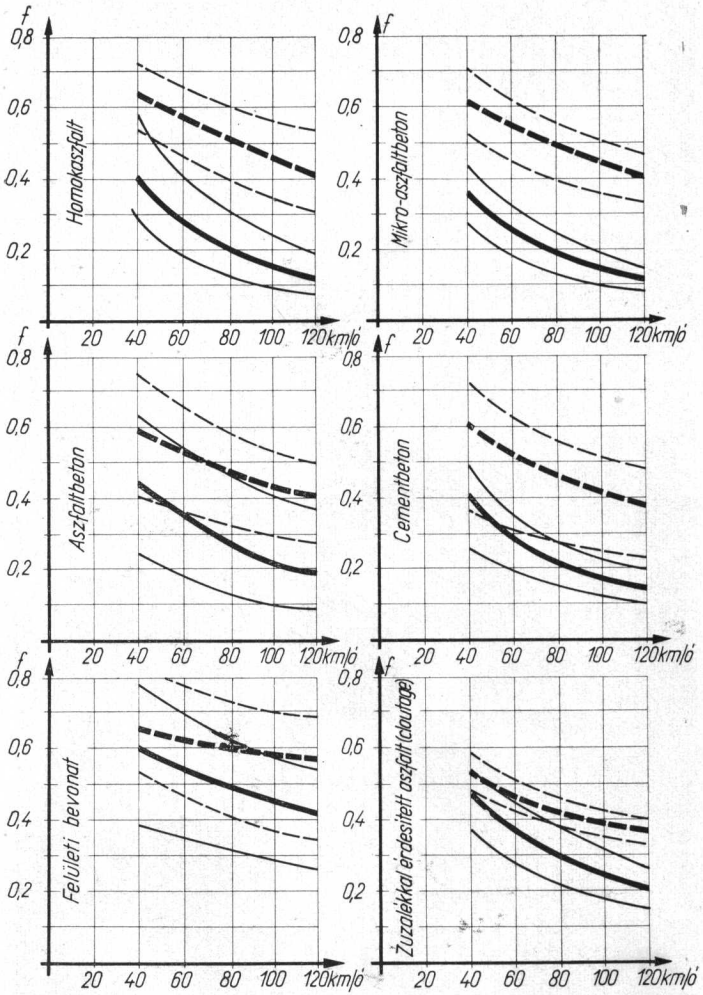
den burkolatnál alacsonyabban futnak és meredekebben esnek a növekvő sebességnél, mint a bordázott, profilozott gumiabroncsok görbéi.

d) Egy azonos burkolaton végzett mérések ismétlései is elég jelentős szórást mutatnak, a kapott mérési görbeseregeken azonban az 1-16. ábra szerint jól látható pl. betonburkolat esetén is, hogy száraz felületen közel állandó a súrlódás, amíg a nedves felületen a sebesség növekedésével csökkenő súrlódási tényezők vonalai jól kivehető, eső átlagvonal körül sűrűsödnek.

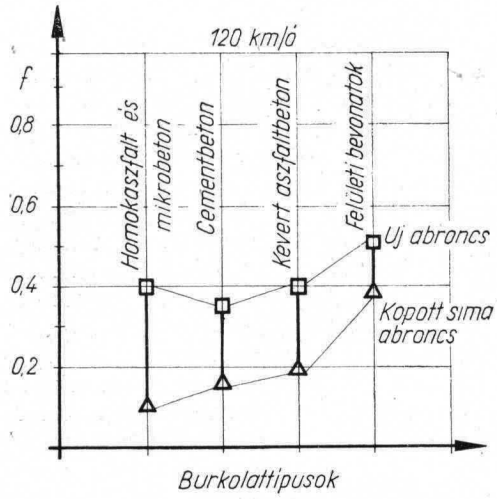
Jellemző eredményeket közöltek az 1967. évi francia mérőkocsikkal végzett nagy útérdességi vizsgálatokról a *Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées* beszámolói [21]. A hatféle burkolat súrlódási tényezőinek alakulását az 1-17. ábrában látjuk külön sima és profilozott kerékabroncsokra. Az 1-18. ábrában ugyanezen burkolatokra a 120 km/h sebesség esetén mért súrlódási tényezőket tüntettük külön fel. Mivel ugyanezen burkolatok megoszlását a felületek geometriai érdességét tekintve az 1-1. táblázatban közöltük a 15. oldalon, látható, hogy *nagy sebességek esetén valóban annál kedvezőbb a súrlódási tényező alakulása, minél nagyobb a geometriai érdesség átlagos mélységértéke (h).*

A *Szovjetunióban* igen érdekes, *külön tehergépkocsikra* is vonatkozó eredményeket közöltek 1968-ban [16] cementbeton és aszfaltbeton burkolatokon végzett érdességmérésekről. A speciális vontatott mérőkereket külön-külön személygépkocsinak, könnyű teher- és nehéz-tehergépkocsinak megfelelően terhelték. Az 1-19. ábrában látható eredménygörbék szerint minél *nagyobb* a jármű súlya, annál inkább *csökken* a súrlódási tényező nagysága. Az adatok a tehergépkocsik teljes terhelésére vonatkoznak; ha a hasznos terhelésük felére-negyedére *csökken*, akkor a súrlódási tényező száraz burkolat esetén kb. 30%-kal, nedves burkolat esetén kb. 20%-kal *nő*.

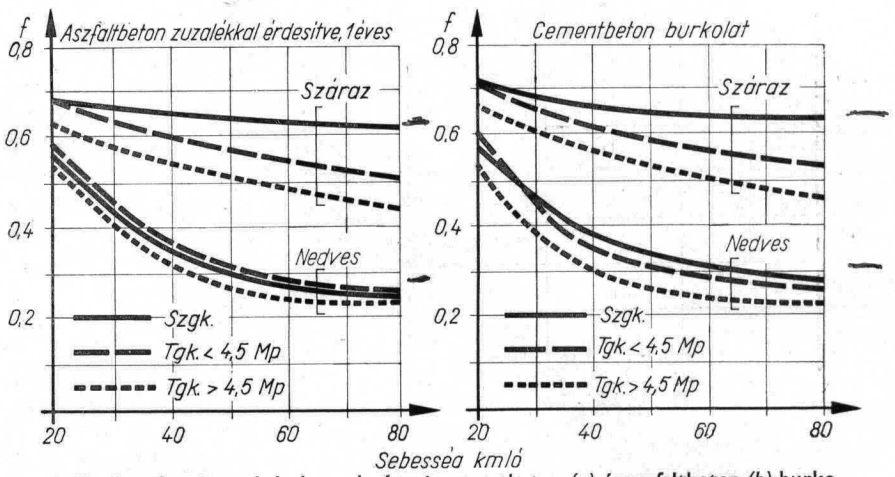
A *Német Szövetségi Köztársaságban* alkalmazott nagyon előnyös mérésfeldolgozási módszert és eredményeket ismerteti az 1-20. ábra (*Wehner*, 1965...68 [33, 36]), ahol a *stuttgarti* műszaki egyetemen tervezett vontatott, befékezett,



1-17. ábra. 1967. évi francia érdességmérési eredmények különböző burkolattípusok esetén (bordázott abroncsoknál szaggatott, sima abroncsoknál teljes vonallal kihúzva) [21]



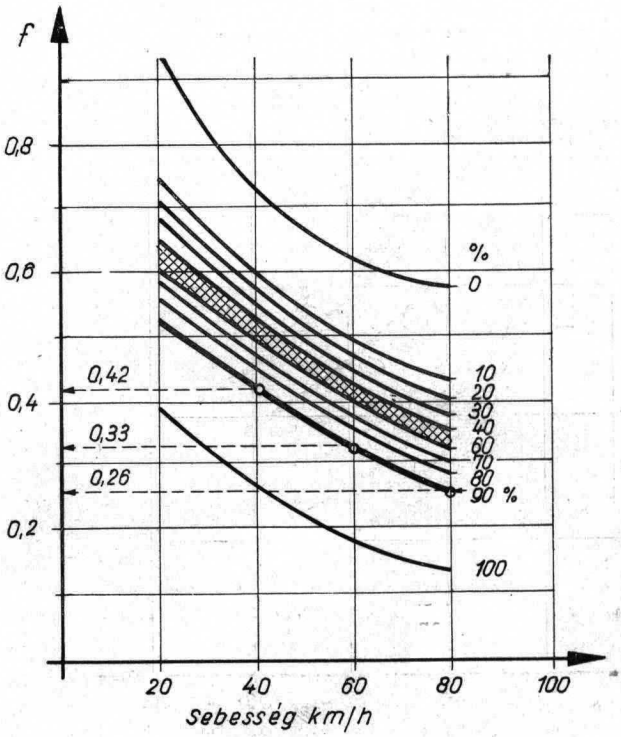
1-18. *ábra.* A 120 km/h sebesség esetén mértékadó súrlódási tényezők értékei az 1967. évi francia mérések szerint [21]



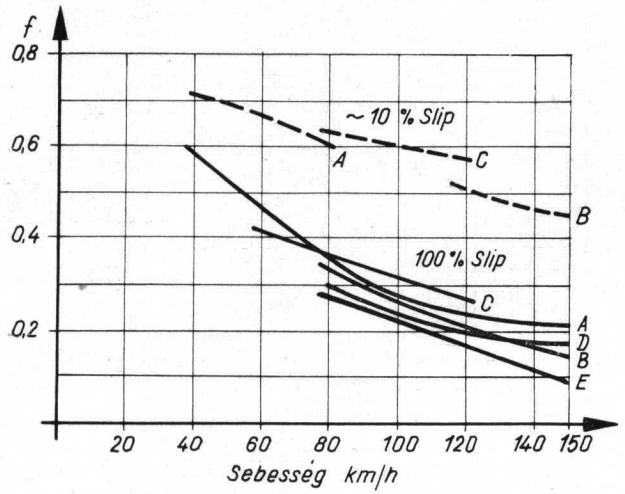
1-19. *ábra.* Szovjet mérések eredményei cementbeton (*a*) és aszfaltbeton (*b*) burkolatok súrlódási tényezőire, tehergépkocsik és személygépkocsik esetére is

350 kp súlyú mérőkerékkel dolgozó érdességmérő gépkocsi által vontatott mérőkerékkel kb. 700 korszerű nedves útburkolaton mért súrlódási tényezők szerepelnek (korszerű aszfalt- és betonburkolatok vegyesen). A diagramon az egyes súrlódási tényezők *előfordulásának gyakoriságát* láthatjuk, egyben jellemző összképet ad a német főúthálózaton számításba vehető súrlódási tényezők értékeiről. Látjuk majd, hogy a 90%-os gyakoriságú vonalnak megfelelő súrlódási tényezőket tekintik mint teljesítendő irányértékeket a burkolatok megítélésekor (24. oldal).

Az autópályákon rendszeresen előforduló nagy sebességekre 150 km/h-ig végeztek méréseket 1969-től a nyugatberlini Műszaki Egyetemen [39]. A tökéletesített új mérőkereket két vezetőkerék között egy keretben vontatják, és a vízfilmet mindig kb. 0,5 mm vastagon tartva, a kerék elé kipermetezett vízmennyiséget a sebességtől függően szabályozzák (pl. 2,2 l/s mennyiséget 80 km/h és 4,4 l/s mennyiséget 160 km/h esetén). Az 1-21. ábrában közlünk egy jellegzetes eredménydiagramot a nagy sebességek köréből. A kapott görbék jól szemléltetik, hogy igen nagy sebességek esetén mennyire lecsökken a súrlódás; a betonburkolat kevéssé kedvezőbb, mint az öntött aszfalt régebbi tüskés, hengeres érdesítés mellett; végül a forgalom során a burkolatok érdessége, és a súrlódási tényező is fokozatosan csökken. Az is jól látható, hogy ha fékezéskor gördülő-csúszást, és a kerék leblokkolásának elkerülését lehetővé tudnánk tenni a gyakorlatban is, akkor igen nagy súrlódási tényezőket lehetne igénybe venni igen magas sebességek esetén is. Ilyen speciális blokkolást gátló fékeket azonban jelenleg csak a vasútnál használnak elterjedten.

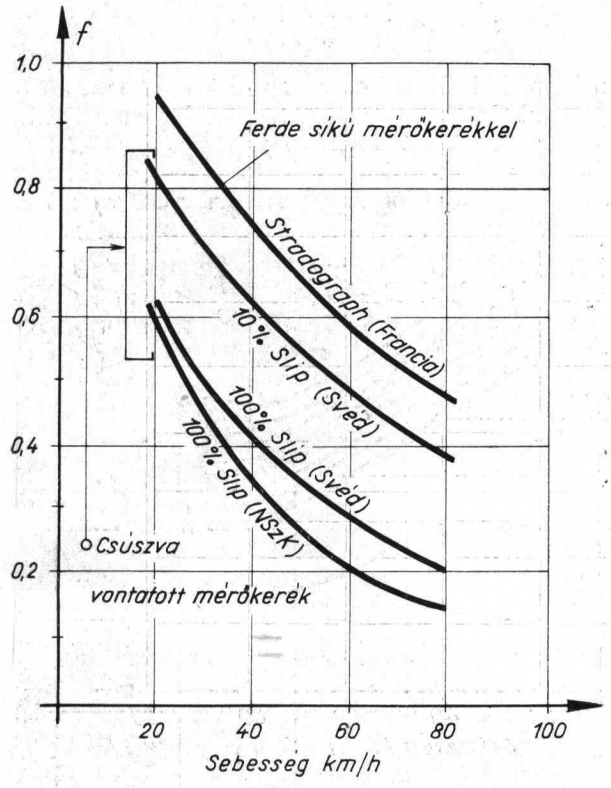


1-20. *ábra.* A csúszósúrlódási tényezők értékeinek gyakorisági megoszlása kb. 700 jellemző korszerű nyugatnémet útszakaszon. Az ábra egy úthálózat egészének súrlódási viszonyait foglalja össze (Wehner [33])



A: Cementbeton (új korában)
B: Cementbeton (3 éves korú)
C: Öntött aszfalt (2 éves korú)
D: Öntött aszfalt (5 éves korú)
E: Öntött aszfalt (8 éves korú)

1-21. *ábra.* Nagy sebességeken mért csúszósúrlódási tényezők nyugatnémet autópályák beton és öntött aszfalt burkolatain (1969 [39])



1-22. *ábra.* A vontatott, fékezett mérőkerekekkel és a ferdesíkú gördülő—csúszó mérőkerékkel dolgozó mérőkocsik által adott csúszósúrlódási tényezők összehasonlítása. Utóbbiak sokkal magasabb értékeket adnak a fékútra jellemzőbb fékezett mérőkerekekkel szemben

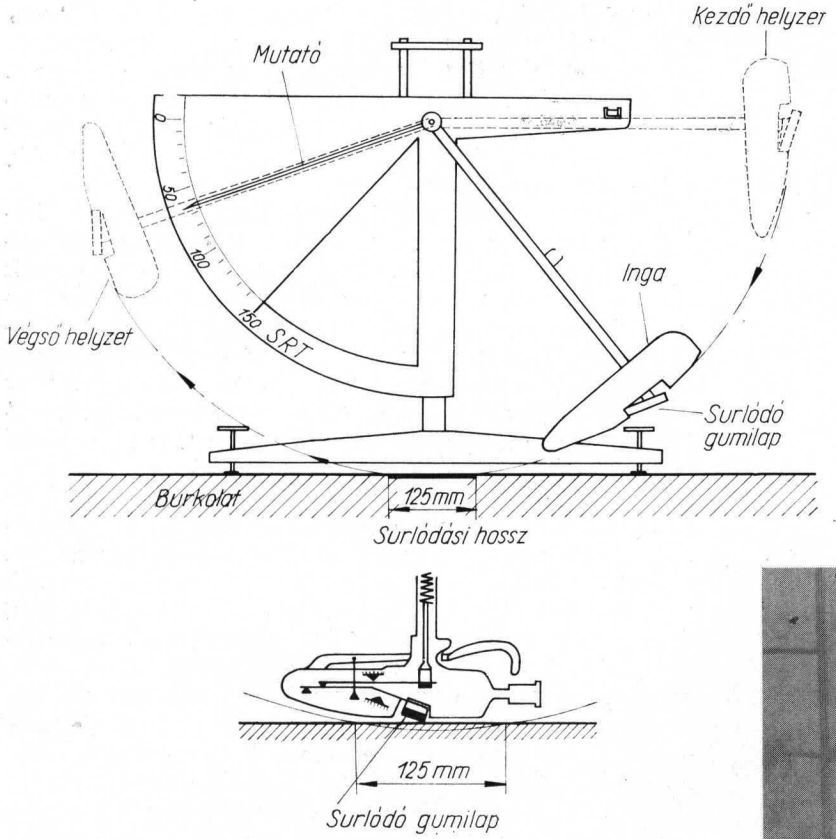
Az ilyen nagy sebességek mellett, autópályákon esőben fennáll az aquaplaning veszélye. A veszélyeztetett, rossz vízlefolyású autópályaszakaszokon (pl. vízszintesbe eső inflexiós vonalvezetéskor) legújabban a vízfilm megtörését és a „mikrovíztelenítést" külön az aszfalt vagy betonburkolatra keresztirányban befűrészelt 4...6 mm mély, 4...5 cm távolságonként párhuzamos keresztirányú barázdákkal érik el. Ezeken a szakaszokon a vízencsúszásból eredő balesetek megszüntek. A barázdabevéséssel elért nagy sebességre alkalmas érdesítés és mikrovíztelenítés különösen jól használható az USA tapasztalatok szerint repülőterek betonpályáin.

Megemlítjük még, hogy az egyértelműen legjobban elterjedt *fékezetten vontatott* mérőkerekes mérőkocsik mellett főleg régebben, de ma is használnak némely országban *ferde mérőkeréksíkkal, gördülő—csúszó mérőkerékkel* dolgozó mérőkocsit. Ennél a mérőkerékre ható oldalerőből lehet f' súrlódási tényezőt számítani. Az f' értéke a menetirány és a mérőkerék síkja által bezárt α szögtől függ, és $\alpha = 10...20°$ között a legnagyobb, már közel állandó értékű. (Ilyen mérőkocsit alkalmaznak Angliában [23], míg Franciaországban a „Stradograph"-kocsi két ferde mérőkereket használ fel.) Az összehasonlító érdességmérések szerint (*Wehner* [31]) az 1-22. ábrán is jól látható módon *a ferdesíkú mérőkerékkel mért súrlódási értékek minden sebesség mellett sokkal magasabbak*, mint a valósághűbb, fékezett kerékkel nyert f értékek, még a slip-csúszással gördülő mérőkerék maximális súrlódási tényezőit is felülmúlják. (Lásd még a 10.1. fejezetben a ferdesíkú mérőkerekes mérőkocsik ismertetését.)

1.2.4. Burkolatérdesség mérése ingás készülékkel

Mivel a vontatott mérőkerékkel végzett érdességmérés minden előnye mellett nagy felkészültséget, költséget, és főleg a mérőkocsi és személyzete jelenlétét igényli, létjogosultságot nyertek a gyakorlatban az egyszerűen alkalmazható, hordozható *ingás érdességmérő készülékek*. Ezek között megemlítjük a régebbi francia *Leroux*-féle ingát [20] (amelyet mind kevésbé alkalmaznak már), a *Szovjetunióban* legújabban kialakított új ingás érdességmérőt [17, 18] amellyel azonban még hazai tapasztalatok nincsenek, és végül az angol *Road Research Laboratory* által 1960 körül kifejlesztett ingás érdességmérő készüléket [22, 24]. Mivel az angol készülékre vonatkozóan egy évtizede szélesebb körű összehasonlító mérésanyag áll rendelkezésre, hazánkban több angol készüléket használnak ma már elterjedten, és a hazai érdességmérési szabványtervezet [12] is erre a készülékre vonatkozik, ezzel kissé bővebben foglalkozunk.

Az ún. *Skid Resistance Tester* ingás érdességmérő készülék vázlata az 1-23 ábrán, képe a 21. oldalon látható. A készüléket vízszintesen felállítva egy járműkeréknyom burkolatrésze fölé, előírt előkészítés után az ingás kart vízszintes helyzetben rögzítjük. Kioldva a reteszt, az inga át-



1-23. ábra. A Skid Resistance Tester több országban elterjedt angol ingás érdességmérő készülék működési elve, az *SRT* szám értelmezése

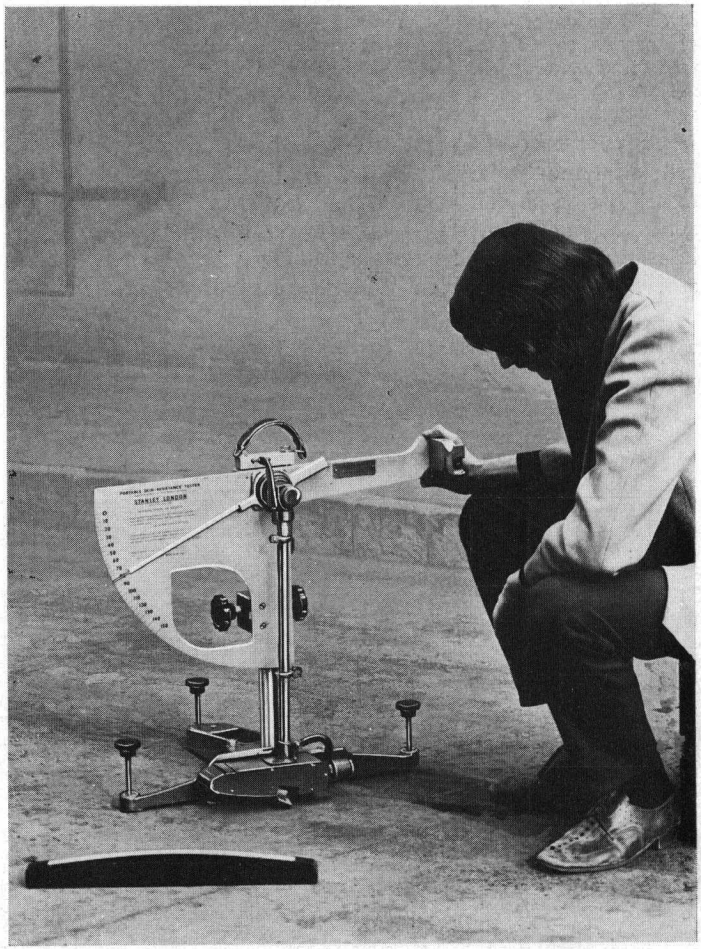
lendül. A vízzel gondosan benedvesített burkolatfelületet az inga alján rugósan elhelyezett szabványos gumilap pontosan 125 mm hosszban súrolja. Az inga így kissé lefékeződik. Továbblendülve az inga egy mutatót tol maga előtt, és érdesebb burkolat esetén alacsonyabbra, kevésbé érdes burkolat esetén magasabbra jut a másik oldalon. Az átlendült inga végső helyzetét a mutató egy félkörös beosztás előtt állva maradva mutatja.

Bár a gumilapocska és a burkolat közötti csúszó súrlódási tényező értéket egyszerű mechanikai meggondolással, az inga magasságveszteségéből a potenciális energiaváltozás és a súrlódási munka alapján számítani lehetne, a sok zavaró hatás miatt az ilyen számított értéket nem alkalmazzuk. Ehelyett az érdességmérés tapasztalati eredménye az ún. *SRT* szám, amelyet az átlendült inga által maga előtt tolt mutató a készülék félkörös skálabeosztásán mutat. Egy útszakasz burkolatának reprezentatív jellemzésére egymástól 5...10 m-enként választott öt pontban öt-öt, összesen 25 ingás mérést végeznek, az így kapott 25 db *SRT* érték számtani közepe jellemzi az illető burkolatszakasz érdességét. Az *SRT* értékek a gyakorlatban 20 és 80 közé eső egészszámra kerekített számértékek, amelyeket önmagukban mint jellemző *SRT* értéket használunk.

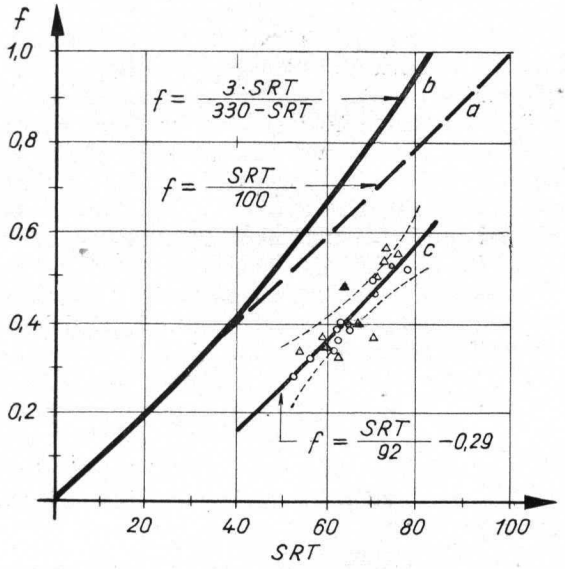
Az *SRT* értékeket csúszó súrlódási tényezőre átszámítani csak korlátozott pontossággal lehet. Az Angliából származó régebbi

$$f = \frac{SRT}{100} \quad \text{és az újabb:} \quad f = \frac{3\ SRT}{330 - SRT}$$

átszámítási képletek túl magas, közúti burkolati értékelés szempontjából irreális, nem használható értékek.



1.3 kép. A hazánkban is használatos angol eredetű *Skid Resistance Tester* ingás érdességmérő készülék a burkolatérdességet az *SRT*-számmal jellemzi



1-24. ábra. Az *SRT* értékek és az *f* csúszósúrlódási tényező összefüggése: *a)* és *b)* az angol elvi képletek nem jellemzik a befékezett kereket, *c)* a német vontatott fékezett mérőkerekes kocsival 60 km/h sebességen való összehasonlítás alapján [24, 29, 31]

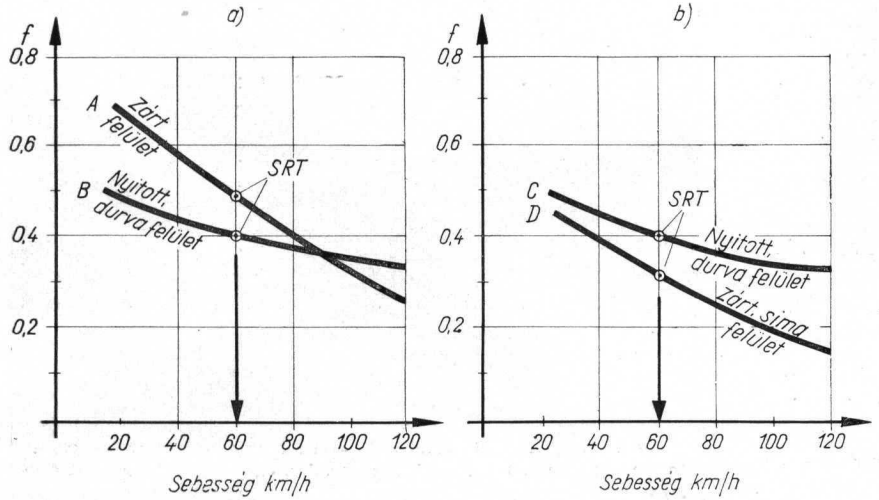
A vontatott—fékezett mérőkerékkel dolgozó mérőkocsik által meghatározott *reális f csúszó súrlódási tényező és az SRT értékek között a korrelációs összefüggést* 60 km/h sebesség mellett a stuttgarti mérőkocsihoz hasonló mérőkocsik (tehát a svéd, magyar, új francia, szovjet, német stb. mérőkocsik) esetén *Wehner* adta meg 1965-ben [33]

$$f = \frac{SRT}{92} - 0{,}29.$$

A hazai ATUKI mérőkocsi eredményeiben is leginkább ez a képlet adja meg tehát az SRT és az *f* értékek összefüggését. A három képlet görbéit az 1-24. ábrán hasonlítjuk össze. A pontos átszámítás természetesen kissé bizonytalan azért is, mert a különböző fékezett mérőkerékkel dolgozó mérőkocsik eredményei is eltérnek kissé egymástól (más súly, más vízfilmvastagság stb.).

Az ingás érdességmérési eredmények reális értékeléséhez azonban nem szabad elfelejteni, hogy a súrlódási tényező nagyságát számos hatás befolyásolja, ezek között is főleg a *sebesség*, valamint a burkolatfelület *textúrája*, geometriai érdessége. Az 1-25. ábrán az előző fejezetek alapján érthető, hogy a súrlódási tényező sebességtől függő csökkenő görbéjének *csak egyetlen pontját jelzi az SRT érték a kb. 60 km/h sebesség mellett.* A burkolatok összehasonlításakor és értékelésekor ezen pontszerű adaton kívül nem szabad feledni a felület textúrájának jellegét. Az 1-25*a* ábra szerint lehetséges, hogy egy nagyobb és egy kisebb SRT értéket mutató burkolat érdessége már kb. 80 km/h sebesség esetén egyforma, és 100...120 km/h sebesség mellett az mutatkozik érdesnek, amelynek az SRT értéke alacsonyabb volt. Ez a helyzet akkor, ha az *A* jelű burkolat felülete zárt, érdes dörzspapír-textúrájú, kis *h* geometriai érdesség-mélységű, míg a *B* jelű burkolat felülete nyílt textúrájú, zúzalékos, durva, nagy *h* mélységű felület. Az 1-25*b* ábra szerint azonban az is lehetséges, hogy a kisebb SRT értékű burkolat nagyobb sebesség esetén is kisebb súrlódási tényezőt mutat, mint a nagyobb SRT értékű burkolat. Ez a helyzet viszont akkor áll elő, ha a *C* jelű burkolat nyílt, durva textúrájú, különösen éles zúzalékszemekkel, míg a *D* jelű burkolat zárt, és egész kis geometriai érdességű kisimult felületű.

Az SRT érdességi értékek, illetve az átszámított ingás méréssel kapott *f* csúszó súrlódási értékek általában közvetlenül csak városi utak forgalmának megfelelő 50...60 km/h sebességre vehetők mértékadóknak. Nyílt szakaszon, nagyobb sebességgel járt utak esetén az SRT értékekből adódó súrlódási tényezőket csak bizonyos fenntartással lehet értékelni a burkolatfelület textúrájától, geometriai érdességétől függően, az 1-25. ábrán már vázolt és tárgyalt gondolatmenet szerint. Az eredeti angol használati utasítás ezért az ingás mérésekkel párhuzamosan a mért burkolatfelület fényképezésére és homokszórásos mérésére is ad útmutatást.



1-25. ábra. Az *SRT* értékek a sebességtől függő súrlódási tényező vonalainak csak egy-egy pontját adják meg, kb. 60 km/h-nál. Más sebesség esetén a burkolatfelület textúrájától függő értékű eltérések lehetségesek

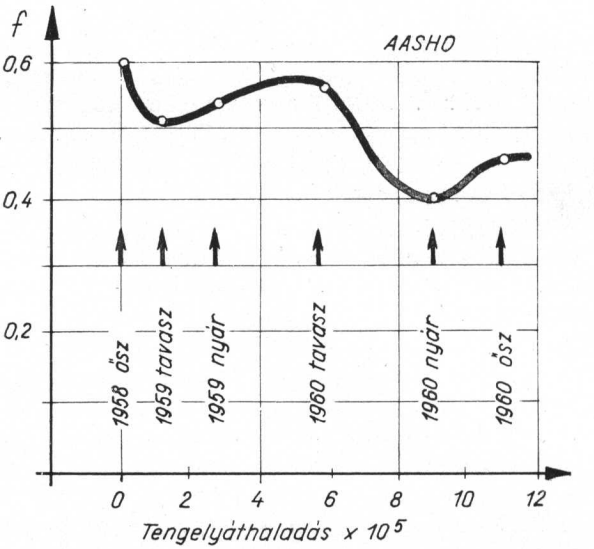
Az ingás készülékkel végzett súrlódásmérések azonban mégis igen hasznosak, mert sokszor, könnyen végrehajthatók, és már elég nagy tapasztalati adathalmaz alapján meg lehet adni a burkolatok érdességi értékelési szempontjait számszerűen is. Igen előnyös alkalmazásra kerülhet az ingás érdességmérés a *kőanyagok polírozódásának*, az idő és forgalom alatti csiszolódásának megállapításakor. (Lásd részletesen a 10.3. fejezetet.)

1.2.5. A csúszó súrlódási tényezők időbeli változása és irányértékek a burkolatok megítélésére

Egy burkolat átlagos jellemző csúszó súrlódási tényezője az időben változik, általában csökkenő tendenciát mutat. Ennek oka lehet, pl. burkolatfelület és a kőszemcsék felületi polírozódása, csiszolódása a forgalom alatt; lehet pl. higított bitumenes felületi bevonás esetén az, hogy a túl sok kötőanyag puhuló habarcsként a forgalom hatása alatt a felszínre nyomódik, vagy túl nagy bitumentartalmú öntött aszfalt esetén az, hogy az aszfalt érdesítőzúzaléka a forgalom alatt lesüllyed. Az 1-26. ábrán az 1958...60. évi nagy AASHO-útkísérletek (49. oldal) alatt mérőkerékkel kb. 50 km/h esetén mért súrlódási tényezők csökkenését látjuk a tengelyáthaladások számának függvényében [20]. Az általános csökkenési tendencia mellett jelentős közbenső ingadozás mutatkozik az évszaktól, általános hőmérséklettől függően is. A kezdeti bejáródás után a hűvösebb évszakokban nagyobb, a melegebb évszakokban kisebb a súrlódási tényező. Az egy napon belüli hőmérsékletingadozást jól követő súrlódási tényezőingadozást ábrázol francia kísérletek alapján az 1-27. ábra [20]. A hőmérséklet befolyásának legfőbb oka a kutatások szerint nem annyira a kőanyagok, az útfelület, hanem elsősorban a gumiabroncsok, ill. a mérőinga gumilemezének különböző reológiai viselkedése eltérő hőfokok esetén. A tapasztalat szerint ez a hőmérsékleti befolyás az ingás készülékek esetén a legnagyobb, ezért ezekkel október és április közötti hideg, hűvös időben lehetőleg nem kell mérni. 10 °C alatti hőmérsékletű víz esetén pedig tilos a mérés, mert az ilyenkor mért SRT értékek az év túlnyomó részében mértékadó értékeknél jóval nagyobbra adódnak.

Ezek után jól látható, hogy elég kényes probléma megadni azokat a *súrlódási tényező irányértékeket*, amelyet alatt úgy ítélhetjük, hogy a burkolat érdessége nem kielégítő. Túl magas értékeket megszabni irreális, mert az úthálózat túl nagy részére gyakorlatilag nem lehet sem érdesítést, sem figyelmezetető jelzéseket létesíteni. Túl alacsony értékek mellett viszont a csúszásból származó balesetek megelőzése nem hatékony. Ezt a kérdést több ország különbözőképpen közelítette meg.

A *Szovjetunióban* (1968 [16]) újabban három fokozatot különböztetnek meg, és a burkolatérdességet az új szovjet

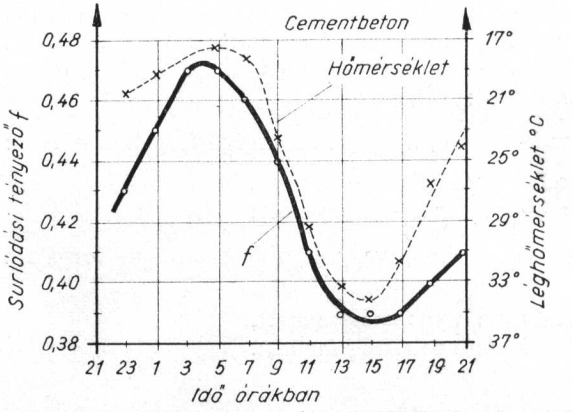


1-26. *ábra.* A súrlódási tényező csökkenése az AASHO-útkísérletben a forgalomnagyságtól (tengelyáthaladási számtól) és az évszakoktól függően [20]

ingás mérőkészülékkel mérik, nedves felületen. Ennek alapján:

$f=0{,}40$ csúszósúrlódási tényezőt általában szükségesnek tartják mindenütt. Ez alatti szakaszokon biztonsági intézkedéseket javasolnak. Nehezebb szakaszokon azonban ezen érték sem elégséges;

$f=0{,}45$ súrlódási tényező szükséges nehezebb körülmények, mint pl. látótávolsággal nem rendelkező útszakaszok, csomóponti ágak, útszűkületek, megállóhelyek, 3%-nál nagyobb emelkedők aluljárók és hidak esetén;



1-27. *ábra.* Egy nap hőmérsékletváltozásait a súrlódási tényező változása kíséri, főleg a gumianyag reológiai tulajdonságai miatt (Francia kísérlet [20])

f=0,48 súrlódási tényező szükséges kedvezőtlen körülmények, mint pl. szintbeli csomópontok esetén, 200 m-nél kisebb sugarú ívekben, 5%-nál nagyobb emelkedő szakaszokon, általában rossz forgalmi körülmények között.

Angliában és *Svájcban* 1960, ill. 1964 óta [24, 29] az *SRT* mérésekre három irányérték használatos.

SRT=65 és e feletti értékek esetén a burkolat érdessége *„jó"*, ezt kell megvalósítani kedvezőtlen körülmények esetén, mint pl. 150 m-nél kisebb sugarú ívekben, 8%-nál meredekebb és 100 m-nél hosszabb emelkedőkön, városi csomópontok jelzőlámpái előtt és körforgalomban;

SRT=55 és e feletti értékek esetén a burkolat érdessége *„általában kielégítő"*. Általában ezt kell biztosítani normális viszonyok mellett. Az új burkolatok átvételekor ennél kisebb érték nem adódhat;

SRT=45 és e feletti értékek esetén a burkolat érdessége *„csak kedvező körülmények között kielégítő"*. Ez az állapot megtűrhető egyenes vagy nagysugarú utakon, csomópontokon kívül, kis emelkedőkön, jól belátható, közel egynemű forgalmi úton. A *45-nél kisebb SRT értékű burkolatok nedves időben csúszásveszélyes utakként értékelendők.*

Megjegyezzük, hogy egy *hazai 1969. évi szabványjavaslat* is a fenti SRT értékek és elvek szerint kategorizálta a burkolatok érdességi követelményeit, négy „veszélyességi zónát" különböztetve meg [12].

A *Német Szövetségi Köztársaságban* más úton jutottak közel hasonló szabályozásra 1965 és 1968-ban [30]. Az országban kiterjedt vizsgálatokkal kb. 700 különböző korszerű útszakaszon mérték a stuttgarti típusú mérőkocsival vontatott, teljesen lefékezett ötödik mérőkerékkel a csúszó súrlódási tényezőket. Ezek gyakorisági eloszlását és sebességektől való függését láttuk az 1-20. ábrán (*Wehner*, [33]). Mértékadó irányértékeknek az ábrán látható 90%-hoz tartozó vonal súrlódási tényezőit vették, mint amelynél alacsonyabb értékek a korszerű útburkolatú utaknak csak kb. 10%-án fordulnak elő. A baleseti vizsgálatok is azt mutatták, hogy ilyen helyeken a balesetek sűrűsödtek. Ezek az irányértékek tehát* [30]:

a) külső útszakaszokon, nagyobb sebességű forgalom esetén:

f=0,33 a 60 km/h sebesség mellett,
f=0,26 a 80 km/h sebesség mellett;

b) városi útszakaszokon, vagy kisebb sebességű forgalom esetén:

f=0,42 a 40 km/h sebesség mellett,
f=0,33 a 60 km/h sebesség mellett.

* Megjegyezzük érdekességképpen, hogy az 1-24. ábra szerint a 45–55–65 SRT értékek a német mérőkocsinál *f*=0,22 ... 0,35 ... 0,42 súrlódási tényezőknek felelnek meg. Különbség mégis, hogy az SRT értékek 60 km/h sebességnek, a német *f* értékek pedig sorra 80–60–40 km/h sebességeknek felelnek meg.

Ha a vontatott mérőkerekes mérőkocsival mérve a fentieknél kisebb súrlódási tényezők adódnak egyes útszakaszokon, akkor „meg kell vizsgálni, hogy alkalmas intézkedésekkel lehetséges-e elérni a forgalombiztonság megjavítását". Különösen veszélyes helyeken, ahol hirtelen fékezés és nedves felület sokszor várható, ott a fentieknél nagyobb érdesség is szükséges lehet. Emellett: „A fenti irányértékeknek csak korlátozott jelentőségük van. Semmiképpen sem lehet azokat tisztán formálisan, mint egzakt határértékeket tekinteni a nedves felületen még kielégítő vagy ki nem elégítő forgalombiztonság eldöntésére. Az irányértékek megadása azt sem jelentheti, hogy az útügyi hatóság állandóan érdességméréseket végez, hogy az összes olyan útszakaszokat, amelyek a fenti irányértékeket nem elégítik ki, azonnal jelzéssel lássák el, vagy érdesítsék." „Az útügyi hatóság minden törekvés ellenére sem adhat garanciát arra, hogy minden út mindenkor bizonyos érdességi határértékeknek feleljen meg. Ha az egyes útszakaszok érdesítése emeli is a forgalombiztonságot, a gépjárművezetőnek mégis mindig figyelembe kell venni azt, hogy nedves utakon a súrlódás az abroncs és a burkolat között jelentősen csökken, és általában ilyenkor csak egy csökkentett sebesség mellett adódik ugyanakkora biztonsági fok, mint máskor, száraz burkolat mellett." (Merkblatt über Strassengriffigkeit, 1968 [30].)

A fenti igen fontos elvi következtetéseket egy 1968. évi, az utak érdességével kapcsolatban tartott nemzetközi konferencia megerősítette [36]. Természetes azonban, hogy emellett az útügyi hatóságok, az útépítő és fenntartó szakemberek mindent megtesznek az utak érdességének fokozására, és ha az már erősen lecsökkent, lehetőség szerint érdesítőrétegekkel való utólagos javítására is. A nagyob érdesség létrehozásának technológiai módszereit később annak helyén részletesen tárgyaljuk.

1.3. ÚTBURKOLATOK FELÜLETI EGYENLETESSÉGE

1.3.1. A felületi egyenletesség hatása a gépjármű üzemére

A legtökéletesebb gépi felszereléssel és gondossággal sem lehet tökéletesen sík burkolatfelületet létrehozni, ezt azonban a gépjármű nem is igényli. A gondos és szakszerű építéssel előállított burkolatfelületen csak olyan korlátozott nagyságú és hatású egyenetlenségek — pl. hosszirányú hullámok — keletkeznek, amelyek a jól rugózott gépjármű és utasai számára mind utazáskényelmi, mind pedig üzemköltség-alakulási szempontból egyaránt jól megtűrhetők. Feltétlenül szükséges azonban olyan mérési módszereket és betartandó egyenletességi határértékeket alkalmazni, amelyekkel az

útépítések végzése közben, majd a kész burkolat átvételekor ellenőrizni lehet, vajon az építés során technológiai hibából nem keletkeztek olyan hullámok, egyenletességi hiányosságok, amelyek utazáskényelmi, biztonsági és üzemköltségalakulási szempontból már hátrányosak és megengedhetetlenek.

Eltekintve az új vagy jól fenntartott burkolatoknál elő nem forduló hirtelenebb lépcsőktől, kátyúktól, a felületi egyenletességet azon szabálytalan hullámok hossza és amplitúdója jellemzi (1-28. ábra), amelyeket vagy gondos szintezéssel, vagy inkább e célra alkalmazott egyszerűbb vagy komplikáltabb eszközökkel (mérőléccel és ékkel vagy kerekes hullámosságmérőkkel) diagramban is rögzíteni lehet. A legtöbb országban az eddigi előírások többnyire csak a 4 m hosszú léc alatt mérhető húrmagasságot korlátozták pl. 3...6...10 mm-ben. Már az 1-28. ábráról is látható, hogy csak ez nem jellemezheti egyedül a burkolat egyenletességét. Helyesebb, ha a hullámok hossza (pl. mélyedéstől mélyedésig terjedő távolsága) szerint a hullámokat a következőképpen nevezzük el:

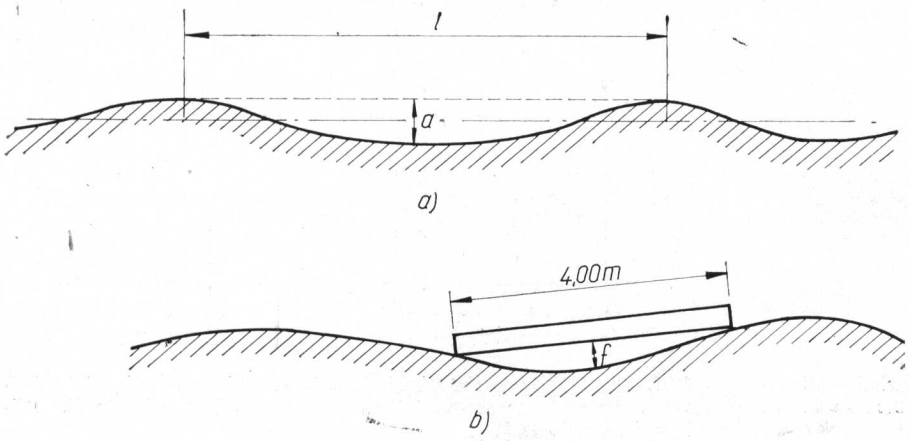
rövid egyenletességi hullámok: 1...3 m hosszúak,
közepes hullámok: 3...20 m hosszúak,
hosszú hullámok: 20 m feletti hosszúak.

A hullámos felületen v sebességgel végighaladó gépkocsi az l hosszú hullámokon $f=v/l$ frekvenciával rezgésbe jönne. A valóságban azonban a gumiabroncs, a kerékrugózás, az ülésrugózás igen erősen letompítja a rezgések, gyorsulások hatását a gépkocsi utasaira. Így a rövid hullámok gyakorlatilag érezhetetlenek, csak a futás hangja változik, ugyanígy a hosszú hullámok csak igen nagy sebességek mellett érezhetőek. Főként az 1 és 20 Hz közötti, ezen belül is a 2...10 Hz közötti rezgések érezhetők erősen, ennek megfelelően az útburkolaton elsősorban a kis—közepes nagyságú (3...20 m-es) hullámok, ezek között is főleg a 2...8 m hosszúak okoznak utazáskényelmi és járműrezgési, biztonsági szempontból is hátrányt. Mindez azonban igen erősen függ a sebességtől és a kocsi rugózásától, dinamikai jellemzőitől, és így lehetséges, hogy egy burkolat pl. közepes sebességgel igen egyenletesnek hat, viszont nagyobb sebesség mellett már igen kellemetlen rajta az utazás. Igen jól jellemzi a helyzetet az 1-2. táblázat, amelyben az új, 1969. évi svájci burkolat egyenletességi szabvány határértékadatainak megfelelő rövid—közepes és hosszú hullámok és amplitúdók találhatók [38]. A táblázat második részében közepes és nagy sebességek mellett *Fiala* közelítő módszerével [38] számították az f frekvenciát, a b_s rugózatlan kerékgyorsulást, a b_F lecsökkent gyorsulást, amely a rugózott jármű vezetőjére hat, a $\Delta P/P\%$ keréknyomáscsökkenést, és végül a k érzékenységi tényezőt, amely az f, b_F adatokból számítva, a burkolat egyenetlenségi hibáit a rezgések és gyorsulások szubjektív hatásainak megfelelően a gépjárművezető szemszögéből jellemzi ($k=0,6$

1-2. táblázat. Még megengedett rövid—közepes és hosszú egyenetlenségi hullámok által okozott dinamikai hatások gépkocsin Fiala szerint számítva (Grob, 1969. [38])

	Egyenetlenség-hullámok adatai (Tűrések a svájci szabvány szerint)						Eredményezett hatások				
V	l	a	P_2	P_4	P_8	Δh	f	b_S	b_F	k	$\frac{\Delta P}{P}$
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Hz	m/s²	m/s²	—	%
40 m/s=144 km/h	1	1	2				40	63,4	0,06	0,3	9
	6	2		3			6,7	3,5	0,8	12	11
	16	6			6		2,5	1,5	1,2	21	15
	32	8,5				+ 5 —12	1,2	0,5	0,5	9	8
20 m/s=72 km/h	1	1,5	3				20	24	0,4	2,9	15
	6	2,7		4			3,3	1,2	0,7	12	9
	16	8			8		1,2	0,5	0,5	8,8	8
	32	10				+ 5 —15	0,6	0,15	0,15	2,8	2

P_2, P_4, P_8, a 2—4—8 m hosszú léc alatt mért húrmagasságok, Δh a megengedett pályaszint-magassághiba az 1968. évi svájci szabvány szerint. Többi jelzést lásd a szövegben.



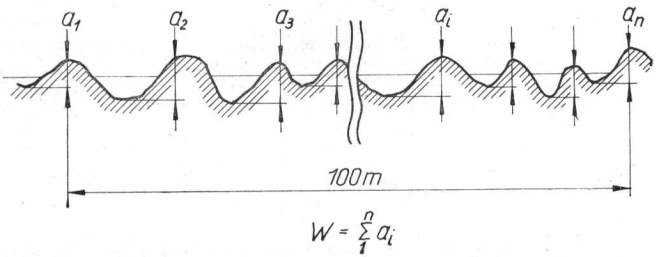
1-28. ábra. A burkolatok felületi egyenletességét a szabálytalan felületi hullámok l hossza és a amplitúdója jellemzi, valamint egy mérőléc alatt mért f húrmagasság

érezhető, 1,6 jól érezhető, 4 erősen, 10 igen erősen érezhető, $k > 10$ esetén pedig kényelmetlen az utazás a kocsiban). Az 1-2. táblázat adatait tanulmányozva kiderül, hogy közepes és nagy sebességek esetén is egyaránt a *közepes hosszúságú hullámok* a kényelmetlenek, a hosszú hullámok főleg nagy sebesség esetén érezhetők csak. Ha azonban a hosszú hullámok amplitúdója nagyobb (15...20 mm), akkor a hosszú hullámokon is kellemetlen lehet az utazás, mivel a táblázat szerint hosszú hullámok esetén a rugózás alig segít, mert a b_s és b_F gyorsulások értékei alig vagy egyáltalán nem térnek el egymástól. Ezt az elméleti vizsgálatot számos helyszíni kísérlettel igazolták.

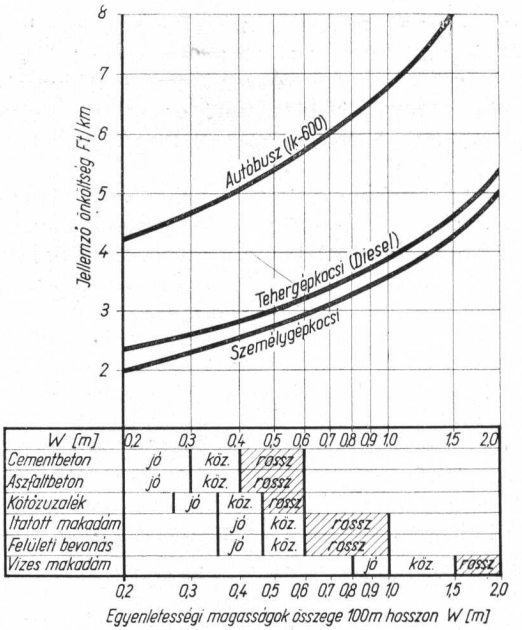
Az egyenetlenségek káros hatását természetesen nemcsak a hullámhosszak, hanem a hullámamplitúdók vagy másként mérve a hibák húrmagasságai is erősen befolyásolják. Így igen érdekes hazai vizsgálatokat végzett erre vonatkozóan az ATUKI (dr. *Rózsa Sándor* [7, 10]). Különböző eszközökkel mérték számos úton a hullámamplitúdók, azaz az „egyenetlenségi magasságok" a mm értékeit. Ezek nagysága és eloszlása az 1-29. ábra szerint is igen jól jellemzi a burkolat felületi minőségét, amíg az átlagos a egyenetlenségi magasság értéke nem mértékadó. Ehelyett egyetlen *egyenetlenségi mérőszámként*, az 1-29. ábra szerint értelmezve, az útburkolat 100 m hosszú szakaszán található a_i egyenetlenségi magasságok egyszerű összege (W) a végzett kutatás szerint igen jól jellemzi a burkolatfelület egyenletességét:

$$W = \Sigma a_i .$$

Számos burkolatfajtán mérték egyidejűleg felületi egyenletességet és járműüzemi költséget, és ennek eredményeképpen igen fontos korrelációs összefüggéseket teremtettek a járműfajták üzemi önköltségének Ft/km értéke, valamint a W (m) egyenletességi mérőszám értéke között, és ugyanakkor megadták az egyes útburkolatfajták jó—közepes—rossz minőségi állapotának megfelelő W határértékeket is (1-30. ábra). Ezeket a görbéket a közúti gazdaságossági számításokban is jól fel lehet használni. Emellett azonban azt is kimutatták, hogy a burkolatfelületet jellemző W egyenetlenségi

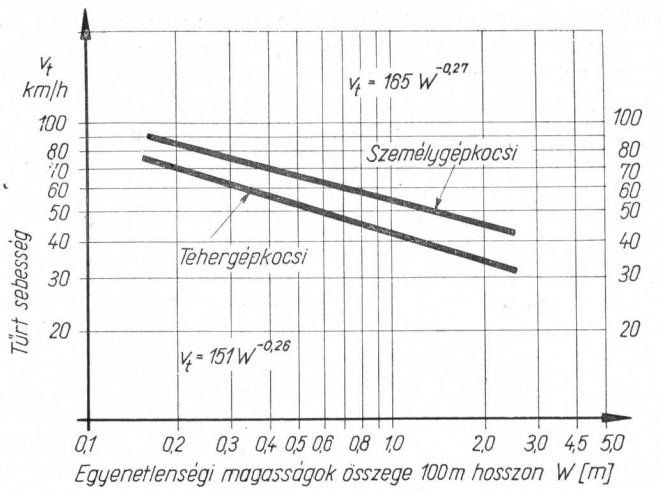


1-29. *ábra.* A W egyenetlenségi mérőszám a felvett burkolat-hullámprofilon az a_i egyenetlenségi magasságok (amplitúdók) összege 100 m hosszú szakaszon



1-30. *ábra.* A gépjárművek önköltsége annál jobban emelkedik, minél nagyobb a W egyenetlenségi mérőszám, azaz minél kedvezőtlenebb a burkolatfelület (ATUKI-kutatás, dr. Rózsa [10])

mérőszám, tehát az egyenetlenségi magasságok, hullámamplitúdók nagysága és gyakorisága erősen befolyásolja, sőt meghatározza az ún. *tűrt sebesség* nagyságát. Ez a gépjárművezető által ösztönösen felvett sebesség akadálytalan egyenes úton, amelyet csak a pályaegyenetlenségek befolyásolnak.



1-31. *ábra.* Minél nagyobb a burkolatot jellemző W egyenetlenségi mérőszám, annál kisebb az ösztönösen kialakuló „tűrt" sebesség (ATUKI-kutatás, dr. Rózsa [10])

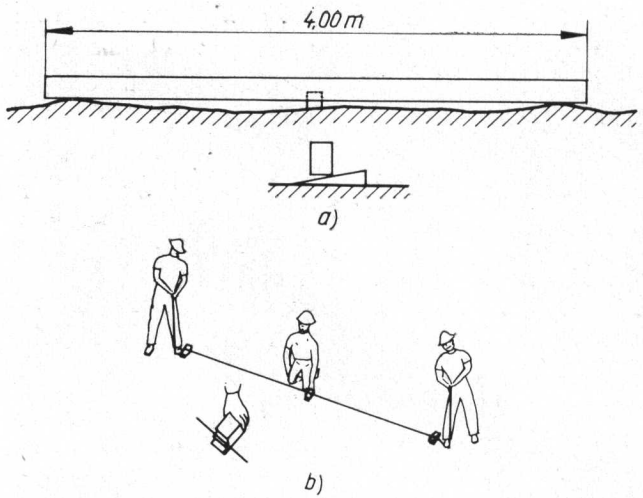
Egyenetlen, rossz felületű úton a gépjárművezető tartósan csak csökkentett, „tűrt" sebességgel hajlandó menni, hogy a kényelmetlen érzést és a rázkódásokat még megfelelően csökkentse. Rózsa számos hazai utat vizsgálva szoros összefüggést talált a W egyenetlenségi mérőszám és a v_t km/h tűrt sebesség értéke között. Az összefüggést kettős logaritmikus papíron egyenes vonal ábrázolja személygépkocsi és tehergépkocsi esetén egyaránt (1-31. ábra) [10]. Jól látható ebből is, hogy a burkolatfelület kifogástalan, jó egyenletességét („hullámmentességét") *gazdasági és utazáskényelmi szempont*ból is feltétlenül meg kell valósítani.

E két szemponthoz még harmadiknak a *biztonsági szempontot* is csatolni kell. Már. az 1-2. táblázatban a 25. oldalon láttuk, hogy a még megengedettnek ítélt hullámok esetén is számolhatunk $\Delta P/P = 10...15\%$ kerék-tehermentesüléssel, és ez a hibának ítélt nagyobb egyenetlenségeknél még jóval nagyobb is lehet. Ugyanakkor azonban különösen ívekben a lecsökkent keréknyomás a $H = f_1 (P - \Delta P)$ összefüggésnek megfelelően jóval kisebb H súrlódási oldalerőt tud felvenni; így tehát a burkolategyenetlenségből adódó pillanatnyi oldalellenállás-csökkenés ívben esetleg jelentős veszéllyel is járhat.

A pályaegyenetlenségeket, hullámokat azért kell mérni tudni, hogy bizonyos határértékek betartását az építés és fenntartás során megbízhatóan ellenőrizni lehessen.

1.3.2. A felületi egyenletesség geometriai mérési eszközei

Az útburkolatok felületi egyenletességét, a szabálytalan hullámok adatait egyrészt az építés során a kivitelező saját maga számára ellenőrzi, méri, hogy azonnal javíthasson, másrészt az elkészült út átadás-átvételekor a beruházó számára egyenetlenségmérést kell végezni a minősítés érdekében. Mindkét célra más-más módszereket használnak. A sokféle „hullámosságmérési" (azaz egyenletességmérési) módszer és eszköz mind valamilyen kompromisszumot jelent. Az egyedül helyes és a valóságnak teljesen megfelelő módszer a burkolatfelület kijelölt vonalának a gondos *végigszintezése lenne*, azonban rendkívül munkaigényes volta miatt ezt csak kivételesen, rövid szakaszokon alkalmazzák. (Hosszú hullámokat tulajdonképpen csak szintezéssel lehet megállapítani.) Az összes többi mérési módszernek az a közös alapvető nehézsége, hogy a *mérési alapvonal* mindig *önkényesen* felvett magassági helyzetű, és ezért a felületi hullámokat *mindig kissé torzítva kapjuk meg*. Ez azonban végső soron nem is érdekel annyira bennünket, ha az alkalmazott mérési módszerrel el lehet azt érni, hogy az egyenetlen, hibás, hullámos felületű burkolat kedvezőtlen tulajdonságait a mérési módszer megfelelő arányossággal ki is mutatja, jó minőségű burkolaton pedig csak kismértékű hullámosságot mér. Ezen feltétel teljesülése esetén már sokkal inkább a mérési módszer *üzemszerű alkalmazásának munkaigénye*, *időszükséglete*,



1-32. ábra. Egyenetlenségmérés *a)* 4 m hosszú léccel és mérőékkel, *b)* 4...8...12 m hosszú kifeszített acélhuzallal és ékkel

a műszer jó szállíthatósága stb., tehát gyakorlati szempontok döntik el a választást.

1. Fix alapú mérőműszerek. Ezek szakaszosan mérnek, többnyire 4 m hosszon.

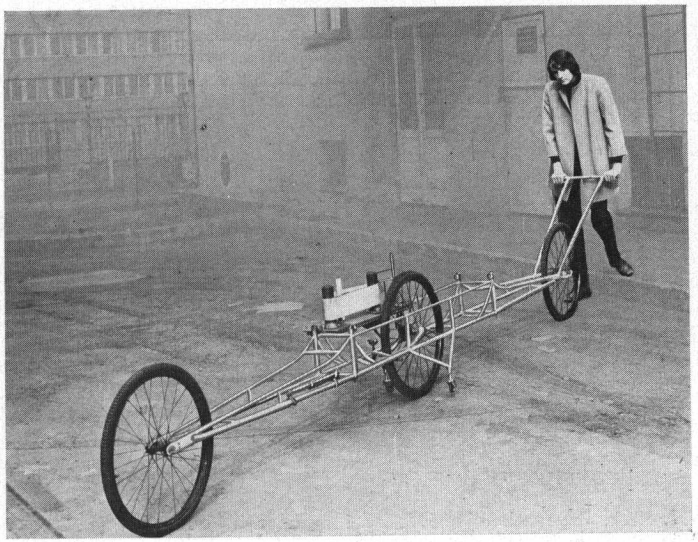
a) 4 m hosszú mérőléc, ékkel (1-32*a* ábra) ma már klasszikusnak számító, ma is legelterjedtebb mérési mód, ami azonban igen munkaigényes hosszabb mérés esetén. Fő feladatköre az építés közbeni futó ellenőrzés, egyelőre azonban sok helyen használják átvételi ellenőrzésre is. Másik hátránya, hogy a 4 m-es léc pontossága gépi gyalulás esetén is csak időleges, és hosszú hullámokat nem mérhetünk vele.

b) *4...8...12 m hosszú kifeszített dróthuzallal* és ékkel való mérés (1-32*b* ábra), elve a mérőléces méréssel azonos, két azonos méretű acélhasábhoz szorítják le a kifeszített huzalt. Előnye az, hogy a 4 m-nél jóval hosszabb hullámok is mérhetők vele. Munkaigényessége szintén rendkívül nagy.

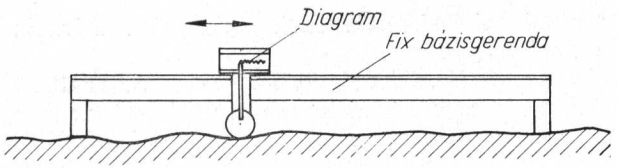
c) Álló alapvonalú, *fix-gerendás mérőkerekes műszerek*. Ilyenek hazánkban az ATUKI által kifejlesztett *AV-60*, valamint az *R-62* típusú készülék (1-33*a* ábra). Az *AV-60* 4 m hosszú fix gerendán végigtolható szán, amelynek diagram-írószerkezetét a burkolaton végiggördülő mérőkerék magassági ingadozása vezérli. A kapott eredmény a 4 m hosszú útszakasz egyenetlenségi hullámvonala, 1:1 magassági, 1:100 hosszléptékben. Az *R-62* típusú készülék esetén a 4 m-es fix gerendán végigtolt kézi mérőműszert ismét a burkolaton gördülő mérőkerék vezérli. A műszer azonban nem diagramot rajzol, hanem számlálószerkezettel regisztrálja a függőleges kitérések, ill. hullámmagasságok számát és azok összegét, a már ismert

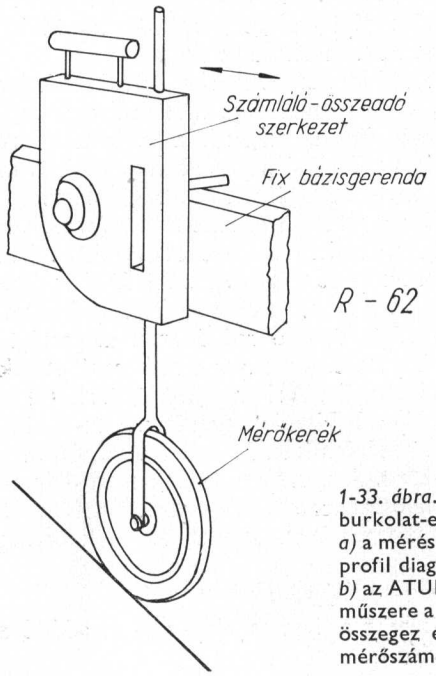
$$W = \Sigma a$$

értéket, és emellett még a 4 m-es alapvonalon adódó a_{max} legnagyobb amplitúdót is.



1.4 kép. Az Útügyi Kutató Intézet *(UKI)* háromkerekes burkolat-egyenletesség-mérő berendezése



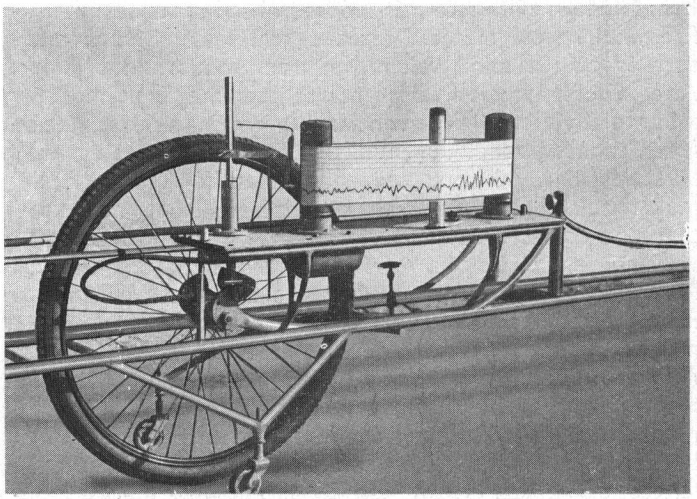


1-33. ábra. Fix bázisvonalú burkolat-egyenetlenségmérők: *a)* a mérés alapelve, a burkolat-profil diagram rajza valósághű; *b)* az ATUKI-R62 jelű számlálóműszere a mérőkerékkel azonnal összegez és a W egyenetlenségi mérőszámot adja meg

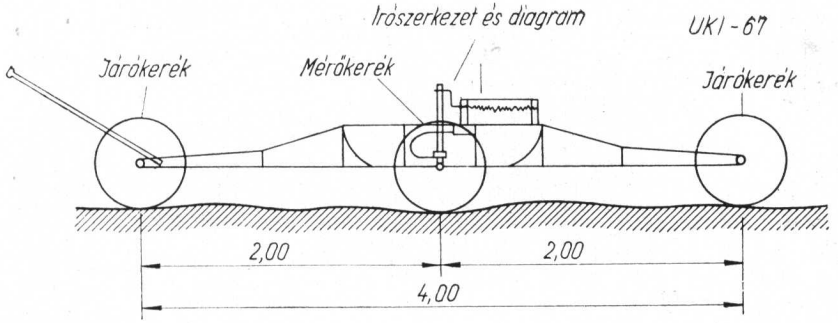
Amíg az *AV-60* típusú készüléket sok országban ismerik, addig az *R-62* típusú számlálószerkezethez hasonlót tudomásunk szerint külföldön még nem alkalmaztak.

2. *Háromkerekes folytonosüzemű egyenetlenségmérők.* Ezek már folyamatosan végigtolhatók a vizsgált útvonalszakasz hosszában. Írószerkezetük olyan diagramvonalat rajzol fel útarányosan, amely ha nem is a torzítatlan burkolatszintvonalnak felel meg pontosan, azonban igen jól jellemzi a burkolatfelület egyenetlenségeinek az alakulását. Itt tulajdonképpen nincs alapvonal, a három kerék helyzete a burkolat három pontjának megfelelő hullámvonal görbületét jellemző húrmagasságot vagy húrszöget rögzíti, és folyamatosan felrajzolja a diagrampapírra. A mérés jól reprodukálható, gyors, kényelmes, az eredmények feldolgozása közepes munkaigényű, a kapott eredmény az út egyenletességi tulajdonságait jól és megbízhatóan jellemzi.

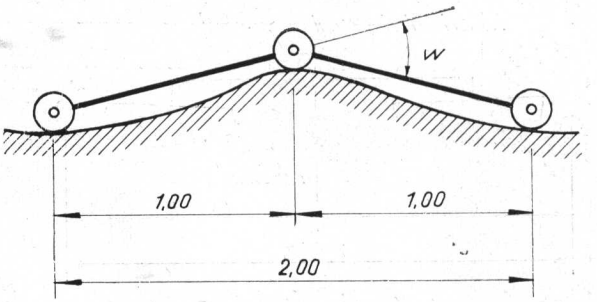
a) Az *UKI-67* típusú háromkerekes hullámosságmérő műszer az 1-34. ábrán látható. Tulajdonképpen a több helyen, így az USA-ban ma is alkalmazott Galloway-készüléknek igen gyakorlatias, szétszedve személygépkocsival is jól szállítható változata, amelynek három kerékpárabroncs-kereke a durva, érdesített felületen is egyértelmű mérést tesz lehetővé. A 4 m távolságban levő két fix kerék között középen a mérőkerék függőleges elmozdulásait egy írószerkezet diagramra rögzíti, amelynek 1:1 magassági- és 1:500 hosszléptéke van. Ez a diagramvonal nem felel meg pontosan a burkolati hullámoknak, azonban az egyenetlenségeket igen megbízhatóan jellemzi *egy hosszabb szakaszon*. Gyakorlatilag nem okoz bajt az az elméleti hátrány, hogy ha az egyenetlenség pontosan egy olyan sinus-görbe, amelynek hullámhossza 2 m vagy 4 m, akkor az írószerkezet első esetben éppen kétszeres



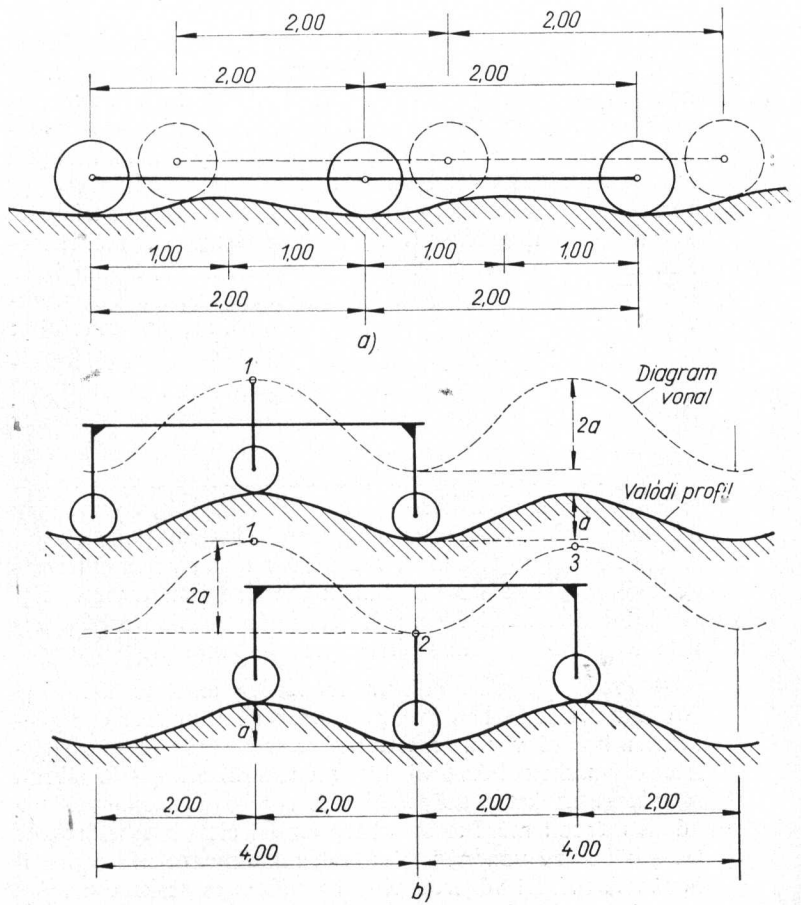
1.5 kép. Az *UKI*-mérőberendezés írószerkezete és diagramja



1-34. ábra. Az UKI-67 típusú háromkerekes egyenetlenségmérője torzított, de jellemző diagramot ad a burkolatfelület hullámairól



1-36. ábra. A svájci szabvány által alkalmazott háromkerekes „*Goniometer*" alapelve. A műszer a pályagörbülettel arányos *w* szög változását mutatja diagramban [38]

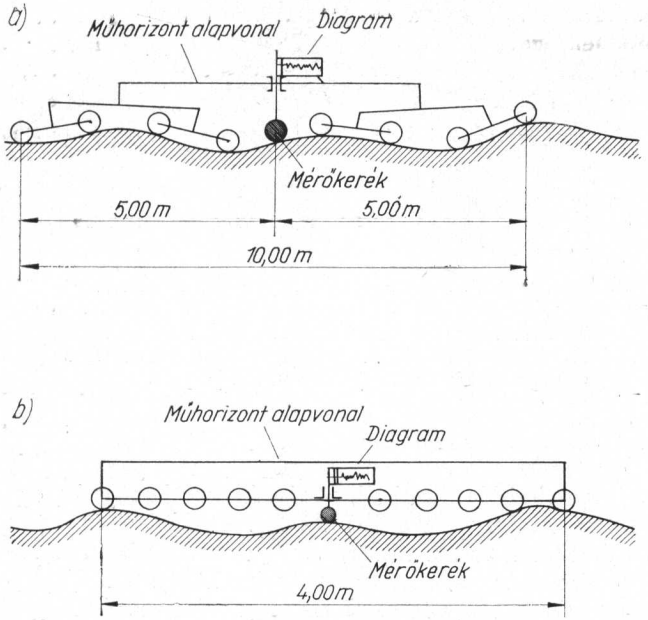


1-35. ábra. A háromkerekes egyenetlenségmérők szélső elméleti hibái: *a)* hullámhossz az egy keréktáv; *b)* hullámhossz a két keréktáv. Hosszabb szakasz mérései esetén ez a hatás gyakorlatilag nem érvényesül észrevehetően, mert a hullámok nem szabályosak a valóságban

amplitúdót rajzol fel, a második esetben pedig egy vízszintes vonalat (1-35. ábra). A valóságban ugyanis teljesen valószínűtlen, hogy pontosan akkora hullámok egymásután többször ismétlődjenek. Ugyanakkor pedig az UKI részletes összehasonlító mérései (1969 [11]) igen jó összhangot állapítottak meg a 4 m-es léccel mért nemzetközileg még elterjedt ékes hullámosságmérés és az UKI-67 típusú háromkerekes egyenetlenségmérő adatai között. Tudomásul kell venni természetesen, hogy a valódi burkolatprofilt (amit pl. a szintezés vagy az AV-60 műszer valósan rögzít) sem a léces, sem a háromkerekes műszer nem reprodukálja.

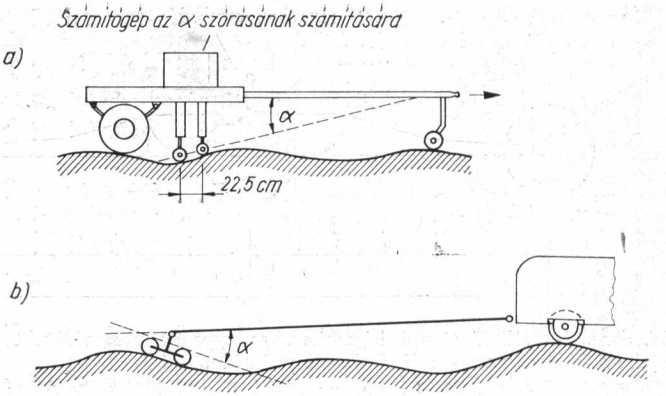
b) A svájci „*Goniometer*" (1-36. ábra) az 1969. évi svájci szabvány szerint már nem is az egyenetlenségek magasságértékeit, hanem a három kerék által meghatározott két szelőegyenes közötti *szöget méri* és regisztrálja diagramban. Ez a *w* szög (radiánban %-ban kifejezve) ugyanis szintén a hullámvonal görbületével arányos, és ismét jól jellemzi a burkolat egyenletességi minőségét egy hosszabb szakaszon (már egyáltalán nem törekedve arra, hogy a pálya valódi hossz-szelvény profilját vagy a lécmérési eredményeket megközelítse). A kerekek távolságai 1—1 méter, így a háromkerekes eszköz igen egyszerű, nem nagy, jól szállítható, gyors mérést tesz lehetővé. Hátránya csak az, hogy hosszabb hullámokat ez a műszer sem képes regisztrálni.

3. Sokkerekes mozgóbázisú egyenetlenségmérők. Ezeknél a mérőműszereknél egy 8 vagy 10 járókerékkel alátámasztott merev tartógerenda vagy merev váz alkotja a mozgó bázisvonalat, műhorizontot, amelyhez képest középen mérőkerék menet közben a magassági változásokat diagramra rögzíti. Az így előállított műhorizont bázisvonal is mozog



1-37. ábra. Sokkerekes mozgóbázisú egyenetlenségmérők mérési elve: *a)* A francia eredetű *Viagraphe; b)* a német eredetű *Planograf*

1.6 kép. A 10 járókerekes „*Planograf*" burkolategyenetlenség-mérő berendezés



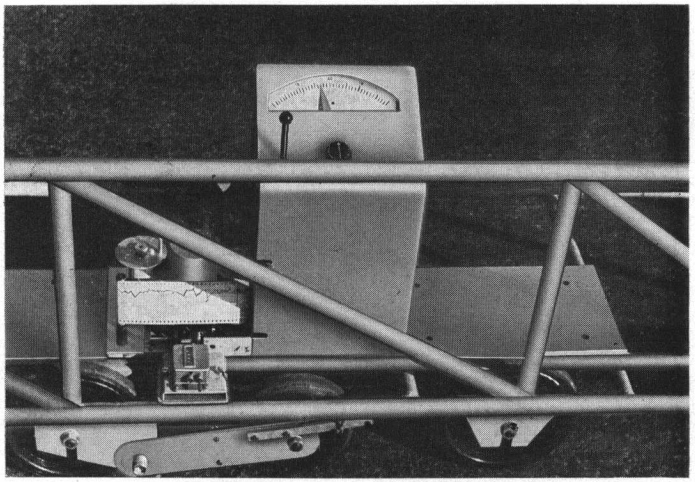
1-38. ábra. Profilhajlásmérő műszer; *a)* amerikai eredeti megoldás *(Chloe)* alapelve; *b)* az európai megoldás (Schwaderer)

azonban a pályaegyenetlenségek szerint, ezért a mérőkerék által felrajzolt diagram itt sem lesz azonos a valóságos profillal, hanem annak csak geometriai torzítású mása lesz. A burkolat egyenetlenségi minőségét egy hosszabb szakaszon ezek a sokkerekes készülékek is jól jellemzik diagramjaikkal, hátrányuk azonban a költséges műszerek mellett egyrészt a kapott diagramok feldolgozásának munkaigénye. A diagramvonalak itt különösen hullámosak, mivel egy egyenetlenségen a mérőkeréken kívül még 8 vagy 10 kerék megy keresztül, és ennyiszer is befolyásolja az egy egyenetlenség a diagramot. A diagramvonal fő vonulata azonban mégis jellemző. Megemlítendő itt:

a) A francia eredetű „*Viagraphe*", amely 10 m hosszú, 8 járókerekes, csuklós kiegyenlítőműves egyenletességmérő (1-37*a* ábra), jelentős előnye, hogy közepes hullámokat is felvesz.

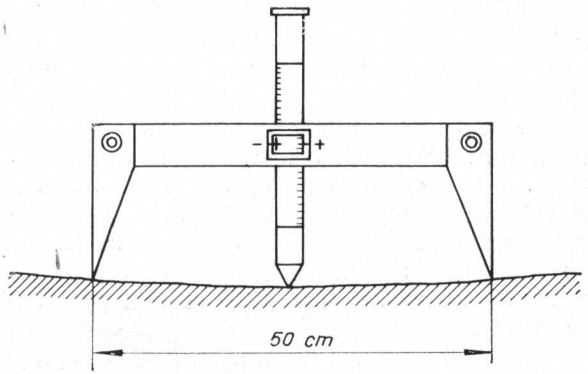
b) A német eredetű „*Planograf*", amely csak 4 m hosszú, de 10 járókerekes (1-37*b* ábra). Szándékoltan merev rácsos gerendába vannak a kerekek csuklók nélkül beágyazva, így a 10 keréknek csak egy része fekszik fel a hullámos burkolatra, és így ez a „műhorizont", mozgó bázis a mérőléc elhelyezkedéséhez jobban hasonló. Ennek ellenére az UKI vizsgálatai szerint 4 m-es mérőléccel mért eredményeket kevésbé közelíti meg, mint a háromkerekes egyszerűbb műszer.

4. *Profilhajlásmérő műszer* eredetileg az amerikai nagy AASHO útkísérletben nyert alkalmazást. A műszer egy gépkocsira hosszú vonórudazattal ráakasztott guruló rész, kétkét egymáshoz közeleső kis mérőkerékkel (1-38. ábra). A műszer azokat a szögértékeket regisztrálja, amelyeket a két kis közeli mérőkerék középpontjai által meghatározott irány a hosszú vonórúd irányával, mint mozgó bázisvonallal bezár. A mérési végeredmény egy 30 m-es szakaszon mért α hajlásszögek szórásértéke, amelyet rendszerint elektronikus számítógép felhasználásával számítanak, és amit a később tárgyalandó *p* vagy *PSI* „használhatósági index" burkolatértékelési szám megállapításakor használnak fel (35. oldal).



1.7 kép. A „*Planograf*" egyenetlenségmérő írószerkezete

5. A *Varga*-féle „*viaméter*" eredeti érdekes gondolat megvalósítása (1-39. ábra). Egyszerű, fából készült húrmagasságmérő eszközzel 20...30 m-enként meg kell mérni a burkolat 50 cm húrhosszra eső húrmagasságait, amelyek tulajdonképpen a pályahullámok helyi görbületeivel arányosak. A kapott előjeles mm-számhalmaz tulajdonképpen egy statisztikai mintavétel a burkolat végtelen sok mérhető helyéből. Ezen adatok statisztikai tömörítésével könnyű számolással olyan jellemző számérték vezethető le, amely a számos összehasonlító mérés szerint igen jellemző a burkolatfelület egyenletességi minőségére [8, 9, 11]. A módszer elsősorban a kis—közepes hullámokra érzékeny, előnye a gyors mérés, könnyű feldolgozás; viszont hátránya az, hogy a kapott mérőszám teljesen absztrakt, helyi hibákra nem mutat rá és egyenletes jó aszfaltbeton vagy jó betonburkolatra kevésbé érzékeny.



1-39. ábra. A Varga-féle „*viaméter*" a burkolathullámok görbületével arányos húrmagasságokat mérve, a statisztikai kismintavétel alapelvén minősíti a burkolatfelület egyenletességi minőségét [8]

Összefoglalva megállapítható, hogy a számos geometriai egyenetlenségmérő műszer és módszer eredményei alig hasonlíthatók össze egymással. Mindegyik eljárást csak önmagában lehet alkalmazni, külön-külön ezek az eljárások mind jellemzőek a burkolat valóságos egyenletességének minőségére.

1.3.3. A felületi egyenetlenség dinamikai mérési lehetőségei

Csak röviden említjük meg, hogy a burkolatok felületi egyenletességét a geometriai profil mérése helyett az egyenetlenségekből adódó járműrezgésekből, gyorsulásokból is meg lehet ítélni. Régóta alkalmazzák pl. Amerikában a *Roughometer* nevű, gépkocsi utánfutó mérőkereket, amelyet rugózott tömeg vesz körül. A kb. 30 km/h sebesen futó kerék magassági eltolódásait a rugózott tömeghez képest számlálószerkezet méri és azonnal összeadja. A burkolat egyenletességére jellemző mérőszám ez az összeg, osztva a mérési úthossz nagyságával. Hasonló mérést több más országban végeztek. Igen gyakorlati és előnyös a Szovjetunióban a *Birulja-féle* egyszerű, személygépkocsiba építhető számlálószerkezet, amely a hátsó rugózatlan tengelyrész eltolódásait összegezi, és így jellemzi az útburkolatot. Hazánkban az *ATUKI* egy mérőkocsijának utánfutójánál a rugózatlan és rugózott tömegek, valamint a gépjárművezetők testének függőleges rezgéseit és gyorsulását diagramokon rögzítették. Az ilyen mérések értékesek az út szempontjából is, bár elsősorban gépjárműtechnikai céllal készültek. Ilyen irányban kezdett újabb kutatásokat az egyenetlenségek gyorsulásmérésekkel való értékelésére az Útépítési Tanszéken 1970 óta *dr. Koller Sándor*.

1.3.4. Követelmények és előírások az útburkolatok egyenletességére

Jelenleg még a legtöbb állam egyenetlenségi előírásai a 4 m-es léccel és ékkel való húrmagasságmérésre vonatkoznak.

a) Hazánkban az aszfaltburkolatokra az 1969. évi ÉKSZ előírások szerint az egyenetlenségi méréseket az átveendő új burkolatszakaszon végig el kell végezni (4 m-es lécet 2 m-enként lefektetve). A mért húrmagasságokból meg kell állapítani, hogy 100 m-enként hány húrmagasság nagyobb, mint a burkolatfajtára előírt határérték, és ezen szám alapján lehet az illető 100 m-es szakaszt I—II—III. osztályú minőségbe sorolni. Ezek szerint:

1. finiserrel bedolgozott aszfaltbetonok és öntött aszfaltok esetén a 6 mm-nél nagyobb húrmagasságok száma:

I. osztályú minőség esetén:	max 2 db/100 m,
II. osztályú minőség esetén:	max 4 db/100 m,
III. osztályú minőség esetén:	max 6 db/100 m.

2. kézi bedolgozású aszfaltbetonok és öntött aszfaltok esetén a 6 mm-nél nagyobb húrmagasságok száma:

I. osztályú minőség esetén:	max 4 db/100 m,
II. osztályú minőség esetén:	max 8 db/100 m,
III. osztályú minőség esetén:	max 12 db/100 m.

3. a makadámszerű aszfaltburkolatok esetén a 10 mm-nél nagyobb húrmagasságok száma:

I. osztályú minőség esetén:	max 2 db/100 m,
II. osztályú minőség esetén:	max 4 db/100 m,
III. osztályú minőség esetén:	max 6 db/100 m.

Ha a finiserrel beépített aszfaltokon 6 mm-en felüli húrmagasságok száma a megengedettnél nagyobb, akkor mint kézi bedolgozású burkolatot kell átvenni. Ennek, valamint a II—III. osztályba való sorolásnak a következménye gyakorlatilag minőségre ösztönző árlevonás. Ha 15 mm-nél nagyobb hullámot találnak aszfaltbeton-öntött aszfaltnál, és 20 mm-nél nagyobbat makadámszerű aszfaltburkolatnál, akkor teljes szélességben 1,5, illetve 2,0 cm vastag új kopóréteggel I. osztályú burkolattá kell átépíteni a burkolatot. Nem lehet azonban felelőssé tenni a kivitelezőt akkor, ha az új burkolat csak egy rétegben és változó vastagságban készült régi burkolatra vagy alapra, esetleg változó vastagságú és utántömörödésű kiegyenlítő rétegre. Meg kell viszont követelni az egyenletességi előírásokat, ha a burkolat két rétegű (kötőréteg és kopóréteg).

A 4 m-es léccel való mérés helyett előnyösebben lehet alkalmazni az *UKI-67* típusú 3 kerekű egyenletességmérő műszert, amelynek diagramjaiból az amplitúdó magasságokat állapítjuk meg. Ezután az UKI összehasonlító mérései szerint [9, 11] az amplitúdó magasságokat *felezve* kapjuk meg a 4 m-es lécnek megfelelő húrmagasságokat, és ezeket dolgozzuk fel 100 m-es szakaszonként az előző irányelvek és határértékek szerint.

b) Mint az egyik legújabb külföldi burkolategyenetlenségmérési előírást említjük meg az 1968. évi svájci *SNV-640 521* szabványt. A svájci kivitelezés magas színvonalát és kiváló gépeit jellemzik az igen szigorú határértékek, és az a tény, hogy csak egyetlen szigorú határérték-sorozatot írnak elő 2...4...8 m léc-, ill. húrhosszra (a hazai irányelvek értelmében tehát csak I. osztályú határértékeket), és azokat a tapasztalat szerint be is tartják [40]. Különbség csak a sebesség nagysága szerint van.

Svájci egyenetlenségi határértékek új burkolatokra:

1. hosszirányban mérve:	$v_t < 80$ km/h	$v_t \geqq 80$ km/h
P_2 húrmagasság	3 mm	2 mm
P_4 húrmagasság	4 mm	3 mm
P_8 húrmagasság	8 mm	6 mm
W szögérték	6‰	4‰
S_W szögértékek szórásértéke	3‰	2,5‰

2. keresztirányban mérve:

$q > 1\%$ oldalesés esetén:		
P_2 húrmagasság	3 mm	2 mm
P_4 húrmagasság	5 mm	4 mm
$q < 1\%$ oldalesés esetén:		
P_2 húrmagasság	2 mm	2 mm
P_4 húrmagasság	3 mm	3 mm
3. Lépcsők nagysága:	3 mm	2 mm
4. Abszolút magassági pontosság: Δh:	+ 5 mm és −15 mm	+ 5 mm és −12 mm

Külön előírások vannak az alsóbb pályaszerkezeti rétegekre is.

Kiegyenlítő réteg felületén:	$P_4 =$ max 4 mm,	$W =$ max 6‰
Meleg bitumenes útalap:	$P_4 =$ max 8 mm,	$W =$ max 8‰
Alap alsó rétege:	$P_4 =$ max 10 mm,	—.

A fenti határértékeket gondos munka mellett is kizárólag csak automatikus szintező-magasságbeállító rendszerrel felszerelt aszfaltfiniserekkel lehet elérni.

1.4. ÚTBURKOLATOK FELÜLETÉNEK FÉNYVISSZAVERŐ-KÉPESSÉGE

Az útburkolatok fényvisszaverő-képességének elsősorban az esti—éjszakai forgalomban van nagy jelentősége forgalombiztonsági szempontból. Elsősorban a sötét aszfaltburkolatoknál, amelyek nem verik vissza, hanem elnyelik a fényt. Sokszor csak a vezetősávról vagy a vezetőoszlopokról visszavert fényből tudjuk ellenőrizni, hogy a gépkocsi reflektora ég-e vagy sem. Az ilyen sötét burkolaton a ki nem világított gyalogos, kerékpáros vagy egy álló, fekvő akadály idejében való megpillantása a gépjárművezető részéről igen nehéz, reflektorfény mellett is. Fokozódik a hátrány a nedves aszfaltburkolatokon, mivel egyrészt az enyhén nedves aszfaltfelület fényvisszaverése még kedvezőtlenebb, mint a száraz felületé, másrészt viszont a vastagabb vízréteg a burkolaton főleg városokban, átkelési szakaszokon a környező, pl. kirakati fényforrásokat vakítóan, a gépjárművezetőt zavaró módon veri vissza.

Mindezen okokból kívánatos lenne mind a nyílt szakaszokon, mind pedig a közvilágítással ellátott városi vagy átkelési szakaszokon, hogy a burkolat felülete jó fényvisszaverő-képességű legyen, mert akkor a megvilágított burkolatfelület

színe nem fekete, hanem szürkétől a fehérig terjed, s azon az akadályok messziről, világosan felismerhetők.

Az aszfatburkolatok fényvisszaverő-képességét elsősorban az ásványi adalékanyag színének és fényvisszaverő-képességének befolyásolásával lehet javítani. Világosabb színt nyújtanak a sötét bazaltzúzalékokkal szemben a *világosabb színű andezit*, de főleg a *fehérebb mészkőzúzalékok*. Ezen természetes derítő-világosító adalékanyagok alkalmazásakor azonban figyelembe kell venni, hogy a mészkövek általában kisebb szilárdságúak, kevésbé tartósak és főleg jobban kopnak, csiszolódnak, mint az eruptív kőzetek. Külföldön elterjedten alkalmazzák a mesterséges, szilárd, kopásálló, érdes adalékanyagokkal való derítést. Közismert ilyen anyag a Dániából sok államba exportált fehér színű műkőzúzalék, a *Synopal*, máshol a *Luxovit*, ezeket az aszfaltburkolatok adalékanyagába keverik be. Hatásuk a bitumennel való keverés ellenére is jelentős; előnyük a természetes derítőanyagokkal szemben abban áll, hogy nedves időben sem csökken észrevehetően a fényvisszaverő-képességük, míg pl. mészkő esetén ez a csökkenés jól érezhető [13]. Jó eredményt értek el külföldön azzal, hogy *alumíniumdarát* a forró aszfaltbeton burkolat felületén hengerlés előtt szétszórtak. A behengerelt alumíniumszemcsék a burkolatfelületbe tartósan kapaszkodtak, a kopásállóságot csak emelték, viszont a fényvisszaverő-képességet igen jelentősen megjavították.

Hazánkban városi úton az öntött aszfalt érdesítőrétegét részben nagyharsányi fehér mészkőzúzalékkal keverték, így jó eredményt értek el Budapesten a Nagykörúton a jobb fényvisszaverődést nyújtó, világosabb felület készítésében. Külső útszakaszon az Útügyi Kutató Intézet számos kísérleti szakaszt létesített, főleg a 81. számú és az M-1. jelű úton világosabb színű adalékanyagokkal, így leányvári mészkővel, nagyharsányi mészkővel, nógrádkövesdi andezittal, dácittal. Ezen felületi bevonásokkal, illetve aszfaltbetonokkal burkolt szakaszokon számos kísérleti mérést végeztek. Az útfelületet erős gépkocsireflektorral világítva, 12 helyzetben fényelemmel mérték a visszavert fény nagyságát luxokban, mind száraz, mind nedves felületen, s ugyanakkor az angol ingás érdességmérő készülékkel az SRT értékeket is megmérték. A fő jellemző adatokat az 1968...69. évi mérésekből az 1-3. táblázatban láthatjuk [13]. A fő konkluziókat ezekből a mérésekből az alábbiakban lehet összefoglalni:

a) A *száraz* aszfaltburkolatok felületének fényvisszaverő-képessége kb. *negyedére* csökken *vizes* állapotban.

b) A legjobban világosítanak a *mészkőzúzalékok*, amelyek kb. 30%-kal növelik a visszavert fény luxértékeit mind száraz, mind nedves burkolatfelületen. Ezzel szemben viszont az érdességük ezeknek a burkolatfelületeknek kb. 10%-kal csökkent a bazalt vagy andezit eruptív zúzalékokkal készült burkolatokhoz képest.

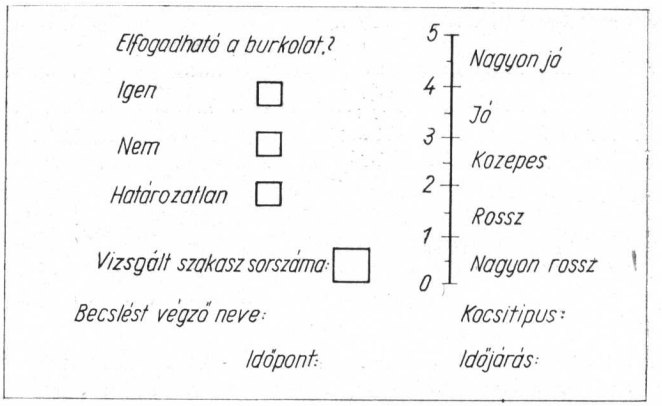
c) Az andezitzúzalékok szintén eredményesen derítik fel a burkolatfelületet, javítják a fényvisszaverést, és emellett az érdességük sem csökken a bazalthoz képest.

1-3. táblázat. Fényvisszaverő-képességi mérések eredményei derített és közönséges kísérleti szakaszon
(Útügyi Kutató Intézet, 1968—69. [13])

Út száma	A próbaszakaszok burkolata	kőzetanyaga	Átlagos fényvisszaverődő-képesség Lux-ban burkolaton száraz	vizes	Érdesség SRT-érték
Szfhvár—Zámoly	Aszfaltbeton	uzsai bazalt	0,47	0,07	56
Szfhvár—Zámoly	Aszfaltbeton	leányvári mészkő	0,50	0,12	49
81	Felületi bevonás HB-vel	5/25 csepeli zúzott kavics	0,23	0,06	51
81	Felületi bevonás HB-vel	12/20 andezit	0,40	0,11	59
81	Felületi bevonás HB-vel	12/20 dácit	0,31	0,08	58
81	Felületi bevonás HB-vel	5/12 bazalt	0,37	0,09	53
81	Felületi bevonás HB-vel	5/12 dácit	0,38	0,11	59
81	Felületi bevonás HB-vel	2/5 bazalt	0,38	0,09	51
M-1	Aszfaltbeton	nógrádkövesdi andezit	0,41	0,10	57
M-1	Aszfaltbeton	nagyharsányi mészkő	0,54	0,13	52
M-1	Aszfaltbeton	5/12 zúzalék 50—50% mészkő és andezit, 0/5 zúzalék 100% mészkő	0,49	0,13	53

d) A dácit világosító hatása az andezitéhez hasonló vagy kisebb, érdessége megfelelő kezdetben, később azonban hamar kopik, csiszolódik kis szilárdsága miatt, és így felületi érdességét erősen elveszti. Ezért alkalmazása világosító anyagként nem javasolható.

Megemlítjük végül, hogy külföldön és hazánkban is érdekes megfigyeléseket végeztek a burkolatfelület *geometriai érdességének* és *fényvisszaverő-képességének* összefüggéséről. Ezek szerint a durva-érdes, jó mikrovíztelenítésű, nagy geometriai érdességű felület szárazon és nedvesen is jobb fényvisszaverő, mint a kevésbé érdes, zártabb felületű burkolat. Emellett a durva-, érdes felület esős időben is jobban és hamarabb megbontja, áttöri a vízfilmet, ezért pl. városokban a burkolatfelület reflexióit, a környező lámpák, kirakatok fényéből adódó vakítóhatást a durva-, érdes burkolatfelület megakadályozza.



1-40. ábra. Kérdőlap az útburkolat *p* használhatósági indexszámának a becsléséhez

1.5. ÚTBURKOLATOK FELÜLETÉNEK HASZNÁLHATÓSÁGI INDEXE

Az út a forgalom számára, a gépjármű és a gépjárművezető reális igényének kielégítésére épül. Bármennyire is jól építették meg az útburkolatot, s bármennyire is jó a fenntartása, a forgalom, a klíma és az idő hatására bizonyos rövidebb-hosszabb idő után az útburkolat minősége erősen leromlik, s megérik a felújításra, újraépítésre. Az útburkolat időben változó, pillanatnyi minőségi állapotának az egyértelmű reális értékelése igen nagy jelentőségű. Mégis, ezt a kérdést a legutóbbi évtizedig nem oldották meg, a burkolatfelületi vizsgálati módszerek fejlődése ellenére sem. Ezek legtöbbjét ugyanis csupán az új burkolati rétegek átadás-átvételi eljárásának céljaira használták fel.

Csak az 50-es évek vége felé dolgozták ki az USA-ban *Carey* és *Irick* az útburkolatok állapotának értékelésére azt az igen fontossá vált módszert, amely a 60-as évek elején a nagyszabású AASHO-útkísérletek révén számos országban elterjedt.

A módszer alapgondolata szerint a burkolat és az út feladata egyértelműen az, hogy megfeleljen az úthasználóknak, illetve az őket legjobban megszemélyesítő gépjárművezetőknek. Ezért az útburkolatok minősítésekor az érdektelen gépjárművezetők nagy tömegének szubjektív véleményeiből kell egy objektív ítéletet alkotni. *Carey* és *Irick* módszerének kialakításakor számos különböző minőségű és elhasználtságú útszakaszokon nagyobb létszámú gépjárművezetőt utaztatott végig saját megszokott kocsijukon. A kísérleti személyek között a legkülönfélébb foglalkozásúak voltak, akik a népességmegoszlást képviselték a háziasszonytól a hivatalnokig és a rendőrig. A vizsgált burkolatszakaszokat mindegyiküknek önállóan kellett minősítenie és osztályoznia egy-egy számmal, az 1-40. ábrán látható kártyákat kitöltve útszakaszonként. A jegyek *0...1* (igen rossz állapotú útburkolat) és 4...5 (kitűnő állapotú útburkolat) között változhattak. Kizárólag a burkolatminőséget kellett értékelni, a vonalvezetés befolyását nem. Az egyes vizsgált szakaszokat az adott időpontban jellemző ún. *használhatósági index-szám* (Present Serviceability Index, PSI-szám, sokszor *p* betűvel jelölve) az összes minősítő személy által adott jegyek számtani átlaga volt. A szerzett tapasztalat szerint az úthasználók eléggé egybehangzóan, viszonylag kis szórással ($\sigma_p = \pm 0{,}5$) minősítették a különböző burkolatokat.

Az eddig viszonylag primitívnek ható módszer kitűnő műszaki megalapozása hosszú kísérletek és korrelációszámítási vizsgálatok után éppen abban volt, hogy *a szubjektív ítéletek átlageredményét szoros matematikai összefüggésbe hozták a vizsgált és minősített burkolatszakasz használhatóságát befolyásoló, pontosan mérhető műszaki burkolatjellemzőkkel.* Így a vizsgált burkolatszakasz hosszirányú hullámosságát, egyenetlenségét az 1-38. ábrában a 30. oldalon már ismertetett *hajlásmérő* utánfutó műszerrel mérték be, pontosan megállapították a burkolat*javítások*, *-foltozások* nagyságát, területét, a *burkolati repedéseknek* a hosszát, ill. területét, végül aszfaltburkolatoknál a *keréknyomok által kijárt mélyedések* húrmagasságait.

A *p* használhatósági index-számot a következő korrelációs összefüggésekkel fejezték ki végül [25, 26, 27]:

Hajlékony (aszfalt) burkolat esetén:

$$p = 5{,}03 - 1{,}80 \log (1 + \overline{SV}) - 0{,}01 \sqrt{c + P} - 1{,}38 \overline{RD^2}. \quad (a)$$

Merev betonburkolatok esetén:

$$p = 5{,}41 - 1{,}80 \log (1 + \overline{SV}) - 0{,}09 \sqrt{c + P}. \quad (b)$$

Itt a következő jelölések vannak:

p a burkolat használhatóságát jellemző index 1...5 között;

$\overline{SV}$ az 1-38. ábra hajlásmérő műszerével minden 30 cm-en megállapították az X_i hajlást, ami a felületi egyenetlenségeket jellemzi. Az így végzett n mérésből nem az átlagos $\overline{X}$ hajlást, hanem a statisztikai σ szórást, standard eltérést számolták ki, a képletben levő $\overline{SV} = \sigma^2$ érték tehát a hajlások szórásnégyzete, varianciája. Ezt az értéket az amerikai hajlásmérő-utánfutón egy analógiás számítógép azonnal számította és megadta;

C a burkolatrepedések, hálós repedések, csak lazán összefüggő burkolatfelületek területének mérőszáma [m²/1000 m²] dimenzióval;

P a burkolatjavítások, foltozások területének a mérőszáma [m²/1000 m²] dimenzióval;

$\overline{RD}$ aszfaltburkolatok esetén a keréknyomoknál mérhető, keresztirányú 1,22 m hosszú húrral mért húrmagasság *hüvelykben*.

A fenti képleteket elemezve kiderül először: az úthasználók a hibátlan burkolatoknál ($P = C = \overline{RD} = 0$) a betonburkolatokat jobbnak tartják; ugyanakkor, ha a betonburkolatot javítják, foltozzák, akkor azt nagyobb értékcsökkenésnek tekintik, mint aszfaltburkolat esetében. Látjuk azonban, hogy a burkolatminőség, a p index alakulására nézve elsősorban az $\overline{SV}$ érték, tehát a hosszirányú felületi egyenetlenségek alakulása van kihatással.

Ezek a matematikai statisztikai alapokon előállított korrelációs összefüggések tehát lehetővé teszik, hogy a pillanatnyi burkolatminőséget mérések alapján nyert adatokkal, képlettel számított p használhatósági index alapján jellemezzék úgy, hogy az index-szám megfeleljen a különféle úthasználó gépjárművezetők szubjektív értékelései átlagának. E módszer alapján értékelték ki 1961...62-ben a nagy AASHO-útkísérletet, amikor is a:

$p = 4{,}5$ esetén: nagyon jó,
$p = 3{,}5$ esetén: jó,
$p = 2{,}5$ esetén: még kielégítő,
$p = 1{,}5$ esetén: rossz,
$p = 0{,}5$ esetén: igen rossz

osztályozást alkalmazták. (Ez az osztályozás számos állam előírásai mellett a magyar pályaszerkezet-tervezési előírások elvi alapjainak megértéséhez is szükséges, mivel ezek az AASHO kísérletre is alapoznak.) Egy burkolat hasznos élettartama addig tart, amíg az azt jellemző p használhatósági index a 4,5 értékről az idő folyamán le nem csökken 2,5, ill. esetleg 1,5 értékre.

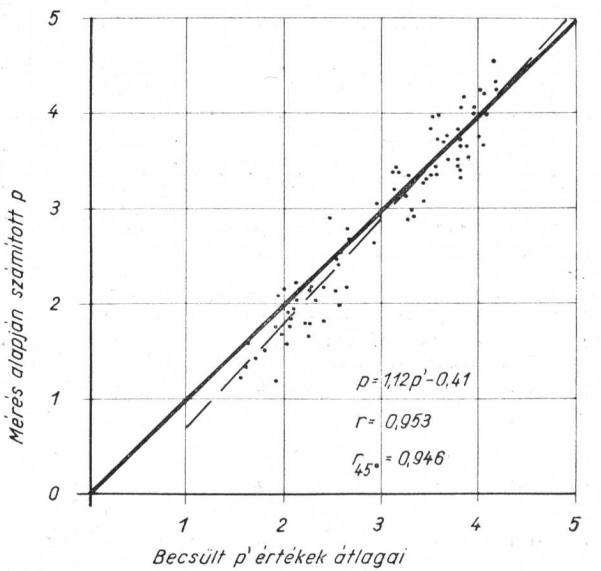
A módszer európai érvényességére Nyugat-Németországban 1967-ben nagyarányú kísérletet végeztek (Schwaderer [28]). 105 db eltérő minőségű kísérleti útszakaszt választottak ki, és a szakaszokon rendre gondosan felmérték a C repedési tényezőt, a P foltozási, javítási tényezőt, az $\overline{RD}$ keresztirányú húrmagasságot, és végighaladva a hajlásmérő készülékkel, a 30 cm-enként mért hajlások értékeiből képezték a hajlások $\overline{SV}$ szórásnégyzetét, varianciáját. Ezen adatok alapján a fenti két képlettel megállapították 105 szakasz mérések alapján számított p használhatósági index-számát.

Ezután 83 teljesen különböző foglalkozású egyén saját személygépkocsijával, és 17 tehergépkocsivezető tehergépkocsival bejárta, és szubjektíven az 1-40. ábrán már bemutatott értékelőlapon számmal osztályozta az összes mérendő útszakaszt minősége szerint. Az így eredményül kapott p *becsült átlagértékek* valamint a felülethibák mérése és a képletek alapján *számított p használhatósági index-számok* igen nagy megbízhatósággal szorosan megfelelnek egymásnak (1-41. ábra).

Megemlítjük még, hogy Csehszlovákiában nemrég 40 megerősített burkolattal átépített útszakaszon szintén végeztek méréseket a jellemző használhatósági index-számok megállapítására, azonban kizárólag a pályahibák felmérésére és egyenetlenségi hullámok mérőlécek alatti mérésére szorítkoztak (Kucera, 1968 [41]). A módosított összefüggés hajlékony burkolatra a következő volt:

$$p = 5{,}00 - X_{\text{átl}} - 0{,}3\sqrt{C + P} - 0{,}22\overline{RD}^2.$$

Itt a második tag a 4 m hosszú léc alatt mért egyenetlenségmagasságok átlagértéke, 10 egymásutáni lécfektetésből. A C



1-41. ábra. A becsült és a méréssel és képlettel megállapított p használhatósági indexszámok igen szoros korrelációban jól megfelelnek egymásnak (*Schwaderer*, 1967 [28])

és P értelmezése változatlan, az $\overline{RD}$ ismét az 1,22 m hosszú, keresztirányban fektetett léc alatt mért húrmagasságok átlaga 10 mérésből, most már cm-ben. A csehszlovák kísérleti mérések távolabbi célja a burkolatélettartam előrebecslésének előkészítése volt.*

A Carey-féle koncepció és képletek tehát Európában is érvényesek. Az új burkolat állapotát így azonnal az átvételkor vagy a fenntartott, vagy már elavult burkolat állapotát később is meg lehet objektíven ítélni és mérni a p indexszámok alapján. A burkolat megújítási szükségességét egzaktabb, méréses alapon lehet ezzel bizonyítani. A p használhatósági index-számok fogalmát később még többször fel kell majd használnunk.

IRODALOM

[1] *Moharos Kálmán:* Útburkolatok érdességének vizsgálata. ATUKI Évkönyv és Tudományos Közlemények, Budapest, 1963. 85.

[2] *Lévai Zoltán—Gulyás László—Rózsa Sándor:* Az útegyenetlenségek hatása a gépjármű üzemére. Autóközlekedési kutatások, Budapest, ATUKI, 1963.

[3] *Gulyás László:* Az útburkolat felületi egyenetlenségeinek vizsgálata. ATUKI-Autóközlekedési Kutatások, Budapest, 1963.

[4] *Koller Sándor—Moharos Kálmán:* A hazai útburkolatérdesség vizsgálatok első eredményei. Közlekedéstudományi Szemle, 1964. 9. 403.

[5] *Moharos Kálmán:* Az útburkolatok érdességének mérésére irányuló kutatások a gépjármű közlekedésben. Közlekedéstudományi Szemle, 1964. 5. 209.

[6] *Rózsa László:* Az útburkolatok felületi érdességének hatása. Autóközlekedési Kutatások (ATUKI), Budapest, 1965.

[7] *Rózsa László:* Az útburkolat felületi minősége, a sebesség és a közlekedési költségek kapcsolatának vizsgálata. Autóközlekedési kutatások, 1965.

[8] *Varga András:* Javaslat közutak felületi egyenetlenségének számszerű mérésére. Mélyépítéstudományi Szemle, 1965. 7. 333.

[9] *Técsy László:* Feltételek kidolgozása az utak felületének kialakítására. Útügyi Kutató Intézet, Budapest, 1966.

[10] *Rózsa László:* Út és gépjármű kölcsönhatása. Autóközlekedési Tudományos Kutató Intézet, 35. számú kiadványa, Közdok, Budapest, 1967.

[11] *Szelényi István:* Utak hullámosságának mérése. Útügyi Kutató Intézet Kutatási téma, Budapest, 1969.

[12] Érdesség mérése és határértékei országos közutak és városi utak burkolatainak felületén. KPM Útügyi ágazati szabvány-javaslat (Útügyi Kutató Intézet, Budapest) 1969.

[13] *Reznák László:* Jelentés a kőanyagok fényvisszaverődési méréseiről. Útügyi Kutató Intézet, Budapest, 1969.

[14] *Babkov:* Korszerű utak tervezése és építése. Moszkva, Dorizdat, 1968.

[15] *Nyekraszov:* Útburkolatok korszerű fenntartása. Moszkva, Dorizdat, 1968.

[16] *Parsin:* Oszposznoszt-koefficient szceplenyija menne 0,4. Avtomobilnüe Dorogi, 1968. 3. 5...6.; Die Strasse, 1969. 3. 146.

[17] *Lukashuk:* New Soviet device for measuring skid resistance of road surface. Traffic Engineering and Controll, 1969. 4. 603.

[18] *Asztrov:* Miként határozzuk meg az útburkolatok érdességét? Avtomobilnüe Dorogi, 1969. 4. 5.

[19] *Glissance:* Bulletin special de Liaison des Laboratoires Routiers Ponts et Chaussées, Paris, Novembre 1966.

[20] *Jeoffroy:* Conception et Construction des Chaussées. Tome I. Eyrolles Editeur, Paris, 1967.

[21] Campagne nationale de glissance 1967. Rapport de synthése. Bulletin de liaison des laboratoires routiers. № 35. Decembre 1968.

[22] Developpement and Performance of the Portable Skid-Resistence Tester, Road Research Technical Paper № 66. RRL. Harmondswoerth, 1964.

[23] *Sabey:* Skidding an Wet Roads. Traffic Engineering and Control. 1967. 4. 718...780. Útügyi Tájékoztató, 1967. 3. 39.

[24] Road Research Laboratory: Instructions for using the portable Skid Resistance Tester. Road Note No 27. London, 1960.

[25] *Carey—Irick:* The Pavement Serviceability-Performance Concepts, Highway Research Board, Bulletin 250.

[26] *Highway Research Board:* The AASHO Road Test. Special Report. Washington, D. C., 1961...62.

[27] Der AASHO Road Test. (Ausschuss-Bericht.) Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg, 1968.

[28] *Schwaderer:* Die Befahrbarkeit von Strassen. Strasse und Autobahn, 1967. 11. 387.

[29] *Griffigkeit:* Messverfahren SRT, Richtwerte SRT. SNV 40 440... 40 441. VSS, 1964.

[30] *Merkblatt* über Strassengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Forschungsgesellschaft für das Strassenweswn, Köln, 1965...1968.

[31] *Wehner:* Einige neuere Feststellungen zu den Fragen der Strassengriffigkeit. Strasse und Autobahn, 1961. 11. 400.

[32] *Kraemer:* Formen und Arten des Reibungsbeiwertes von Strassendecken. Strassen und Tiefbau, 1962. 3. 247.

[33] *Wehner:* Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen und Verkehrssicherheit. Strasse und Autobahn, 1965. 8. 262.

[34] *Hofferberth:* Aquaplaning-Kraftschluss von Fahrzeugreifen auf nassen Strassen. Strassen und Tiefbau, 1966. 7. 605.

[35] *Knoflacher:* Beitrag zur Theorie des Aquaplaning. Bitumen-Teere, 1967. 12. 476.

[36] *Wehner:* Griffigkeit von Zementbetondecken. Strasse und Autobahn, 1968. 1. 13.

[37] *Schulze, K. H.:* Rauheit und Griffigkeit von Fahrbahndecken. II. Strassen-Konferenz in Budapest, Verkehrswissenschaflicher Verein, Budapest, 1969.

[38] *Grob:* Ebenheit und Griffigkeit von Strassenbelägen. Strasse und Verkehr, 1969. 3. 89.

[39] *Dames—Lange:* Griffigkeitsmessungen auf Deckenoberflächen bei hohen Geschwindigkeiten. Strasse und Autobahn, 1969. 8. 272.

[40] *Blumer:* Die neuen Ebenheitsnormen aus der Sicht der Unternehmung. Strasse und Verkehr. 1969. 3. 111.

* Látható, hogy a burkolatjavításokból és a repedésekből, pályahibákból adódó minőségcsökkenést jóval nagyobb súllyal vették figyelembe, mint az amerikai—német változatban.

10. Kiegészítések — Függelék

A következőkben a könyv eredeti kéziratának lezárása és a nyomdai munkák kibontakozása között eltelt kb. másfél év alatt feltétlenül aktuálissá váló kiegészítéseket tesszük meg, az eredeti fejezetszámokra és oldalakra hivatkozva.

10.1. CSÚSZÁSELLENÁLLÁS-MÉRÉS FERDE SÍKÚ MÉRŐKERÉKKEL

(A 1.2.3. fejezethez, 16. oldal.)

A ferde síkú mérőkerékkel való burkolat-csúszásellenállás mérések említett hátrányai mellett azonban van egy gyakorlati szempotból igen fontos előnyük: a *folyamatos mérés* lehetősége. Amíg a befékezett kerékkel csak szakaszosan, időnként lehet mérni, addig pl. az angol *Road Research Laboratory* által 1969—70-ben kifejlesztett csúszásellenállás-mérőkocsival kilométerhosszakban, folyamatosan lehet mérni ferde síkú, 20°-os mérőkerékkel a burkolat csúszásellenállására (érdességére) jellemző *oldalerő-koefficiens* (Sideway-Force Coefficient) SFC számértékének folytonos változását:

$$f' = SFC = \frac{\text{Oldalerő}}{\text{Mérőkerék függőleges reakciója}}.$$

A ferde mérőkerék előtt a nagy víztartályból locsolják a burkolat felületét. A vezetőfülkében egy elektronikus szerkezet érzékeli, számítja és egy papírszalagra nyomtatja a 10—20 méteres szakaszokra vonatkozó mért *SFC* oldalerő-koefficiens értékeket, a szelvényt és a sebességet. Ez a *SCRIM* elnevezésű mérőkocsi a mérést forgalom alatt, zavarás nélkül, 15—100 km/ó sebességek között tudja mérni, s valóban előnyösnek tűnik arra, hogy hosszú útvonalak bemérésével átvételi vagy fenntartási szempontból is jellemezni lehessen a burkolatot. Az *oldalerő-koefficiens azonban nem azonos a fékútnál, vagy a befékezett mérőkeréknél szereplő f súrlódási tényezővel*, angol nevén a *BSF* tényezővel. A kettő közötti összefüggés angol mérések szerint becslésszerűen:

$$BCF = f = 0{,}8\ SCF$$

A sebesség azonban ezt az összefüggést módosíthatja.

(*Road Research Laboratory*: Measurement of skidding resistance on wet roads. LF 129. 1968. Október.)

Angliában az 1970. évben a ferde síkú mérőkerékkel dolgozó mérőkocsi *SFC* értékére, az ingás mérés *SRT* értékére, s végül a befékezett kerékkel végzett mérések $f = BFC$ csúszósúrlódás értékére a sebességektől és útkategóriáktól függő megkívánt értékeket írt elő a *Road Research Laboratory* (10-1. táblázat).

10-1. táblázat. Minimális, biztosítandó csúszásellenállási értékek Angliában

Útkategória	*SFC* (oldalerő) koeff.) 50 km/ó	80 km/ó	*SRT* (Ingás) 48 km/ó	*BFC* (Csúszósúrlódás) 50 km/ó	80 km/ó
A. 150 m-nél kisebb sugarú ív, 5%-nál nagyobb emelkedő, körforgalom, jelzőlámpa és gyalogosátjáró előtt:	0,55	—	65	—	—
B. Gyorsforgalmú utak, napi 2000 járműnél nagyobb forgalmú utak	0,50	0,45	55	0,40	0,30
C. Egyéb utak	0,40	—	45	—	—